



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Abbes Laghrour Khenchela
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département Ecologie et Environnement

Mémoire

De fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en écologie et environnement

Option : Protection des Ecosystèmes

Thème

Contribution à l'étude de la qualité des sols
sous irrigation à l'eau usée traitée

Présenté par

Bouali Imen

Devant le jury

LARBAA R.

MCB. Univ. ABBES Laghrour Khenchela

Président

ABABSA N.

MCB. Univ. ABBES Laghrour Khenchela

Encadrant

HARRAT W.

MCB. INRA Constantine

Co-Encadrant

ADDAD D.

MCB. Univ. ABBES Laghrour Khenchela

Examinatrice

2017/2018

Remerciements

« Ne s'est-il pas écoulé un laps de temps (important) avant que l'homme n'ait été quelque chose dont on fasse mention ». Coran (16,1)

Je remercie Allah, le Tout Puissant, le Miséricordieux, qui m'a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

C'est avec enthousiasme que j'effectue ce mémoire pour remercier tout ce qui m'a aidé à réaliser.

Je remercie ceux et celles qui ont accepté de lire et de commenter le contenu de ce mémoire et émis de nombreux avis et observations.

*Je suis ravie d'étendre mes sincères remerciements à l'égard de mon encadreur, **Dr ABABSA N**, pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance.*

*Je remercie Notre Maître Et Président du jury **LARBAA. R**, je tiens à remercier pour avoir '**accepter de présider ce jury, qu'il trouve ici l'expression de notre profond respect**'.*

*Notre Maître Et examinateur De Mémoire **Addad. D** Nous tenons à la remercier d'avoir accepté de faire partie de ce jury, d'avoir porté un 'intérêt à ce travail.*

Et à toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué de loin ou de prêt à l'élaboration de ce travail durant notre cursus universitaire dont je cite à titre exceptionnel :

- *Dr HARRAT W. Pour son aide et qui m'a donné les informations de la mycologie.*
- *Dr. Larbaa. Pour son encouragement et son aide.*
- *Mon père Bouali M. Pour son aide et son encouragement qui m'a compagne sur terrain au cours de la réalisation de ce projet.*
- *Melle. Hani I. Qui m'a compagne et m'a donné l'aide et les encouragements.*
- *Melle. Harrat R. Qui m'a compagne et m'a donné l'aide et les encouragements.*
- *Tous les enseignants de la Faculté des S.N.V. du l'université Abbes LaghrourKhenchela.*

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

*Au prophète **Mohamed** Salla Allah Alayhi wa Sallama, à l'**Islam**, et à l'**Algérie**.*

Mes parents et Mes frères

Mes grands parents

A mes fidèles amies

A tous les enseignants que j'ai connus.

A ceux et à celles qu'ils ont l'esprit écologique dans le monde.

Imen écologue

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumés

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Partie I : Synthèse Bibliographique

Chapitre I : Concept et définition de la qualité du sol

I.1.	Qualité du sol	1
I.1.	Définitions de la qualité du sol.....	1
I.1.2.	Rôle de la qualité du sol dans le fonctionnement des écosystèmes.....	1
I.1.3.	Santé et qualité de sol.....	2
I.1.4.	Les indicateurs de l'évaluation de la qualité du sol.....	2
I.1.4.1.	Les indicateurs chimiques	4
I.1.4.2.	Les indicateurs physiques.....	5
I.1.4.3.	Les indicateurs biologique.....	6
I.1.5.	Les facteurs qui influencent sur la qualité du sol.....	6
I.1.6.	Les types de la qualité du sol.....	7
I.1.6.1.	La qualité physique	7
I.1.2.3.	La qualité biologique du sol.....	8
I.1.3.	La qualité chimique.....	9
I.1.3.1.	La surveillance de la qualité du sol.....	10

Chapitre II : L'irrigation par les eaux usées

II.1.	L'irrigation par les eaux usées	11
II.2.	Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation.....	12
II.3.	Les effets bénéfiques de l'irrigation par les eaux usées.....	13
II.3.1.	Les impacts de l'irrigation des eaux usées sur le sol.....	14
II.3.2.	Situation de réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricoles en Algérie.....	15
II.3.3.	Cadre D'usage Des Eaux Usées Epurées.....	15
Partie II: Matériel et Méthodes		17
II.1	Présentation de la zone d'étude	17
II.2	Le climat.....	19
II.2.1.	La température.....	19
II.2.2.	Les précipitations.....	20
II.2.3.	L'humidité relative.....	23
II.2.4.	L'évaporation	24
II.2.5	Les vents	25
II.3.	Méthodes de travail.....	26
II.3.1.	Prélèvement des échantillons de sol pour l'étude de la qualité chimique et physique.....	26
II.3.2.	Prélèvement du sol pour l'étude de la mycologie de sol	27
II.3.3.	Echantillonnage pour la macrofaune du sol.....	27

II.3.4.	Prélèvements pour caractérisation des eaux d'irrigation.....	28
Partie III : Résultats et discussions		
III.1.1.	Etude de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation.....	29
III.1.2.	pH.....	29
III.1.3.	Conductivité électrique.....	29
III.1.4.	Magnésium.....	30
III.1.5.	Calcium.....	31
III.1.6.	Chlore.....	31
III.2.	Etude de la qualité des sols.....	32
III.2.1	Les propriétés chimiques du sol.....	32
III.2.2	pH.....	32
III.2.3	La conductivité électrique.....	33
III.2.3	Chlore.....	34
III.2.3	Sulfates.....	35
III.2.3	Calcium.....	37
III.2.3	Magnésium.....	38
III.2.3	Matière organique	39
III.2.3	Calcaire.....	41
III.2.3	Les propriétés physiques et la teneur en eau.....	42
III.2.4	La teneur en eau.....	42
III.2.5	la densité apparente.....	43
III.3.	Les propriétés biologiques.....	43
III.3.1	La faune du sol.....	44
III.3.2	La mycologie.....	43
a.	Fusarium.....	48
b.	Penicillium.....	48
c.	Rhysopus.....	49
d.	Aspergillus.....	50
e.	Phytium.....	50
f.	Clodosporium	51
g.	Trichoderma.....	51
Annexe		a.

La liste des abréviations

Liste des abréviations

± : Plus au moins

% : Pourcent

CE: conductivité électrique

Cm: centimètre

C ° : Degré Celsius

CX : Nombre de colonies de champignon

CT : Nombre total de colonies

G× : Grossissement fois

Tab :Tableau

Fig. : Figure

g : Gramme

INRA : institut national de la recherche agronomique

ml : Millilitre

MO : matière organique

PH : potentiel hydrique

X % : Pourcentage

pH : potentiel hydrogène

Da : densité a :pparente

Cl : chlorure

SO₄ : sulfate

TE : la teneur en eau

Ca : calcium

Mg : magnésium

PDA : Potato Dextrose Agar

SI : site irrigué par l'eau usée traitée

SII : site irrigué par l'eau de forage

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

OMS : Organisation mondiale de la santé

SAU : La superficie agricole utile

La liste des tableaux

Liste des tableaux

N°	Titre de tableau	page
1	: Répartition de la S.A.U de Remila (délégation agricole de Remila)	17
2	: Caractéristiques chimiques de quelques forages	18
3	: Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand (1983)	34
4	: Seuils de différentes concentrations en MO selon le programme d'interprétation LANO/CA de base Normandie	41
5	: Biodiversité de la faune du sol dans le premier site.....	44
6	: Biodiversité de la faune du sol dans le deuxième site.....	45
7	: Inventaire des genres identifiés par site selon les trois dilutions testées.....	46
8	: Pourcentage des genres identifiés dans les deux sites.....	47

La liste des figures

Liste des figures

N°	Titre de figure	Page
1	: Les indicateurs de l'évaluation de la qualité des sols en relation avec les fonctions du sol	03
2	: Vue satellitaire de la parcelle irriguée à l'eau usée traitée	19
3	: Courbes de variation des températures moyennes mensuelles (1995-2017).....	20
4	: Courbe de variation des températures moyennes annuelles (1995-2017).....	20
5	: Histogrammes de la variation des précipitations moyennes mensuelles (1995-2017).....	21
6	: Histogrammes de variation des précipitations moyennes annuelles (1995-2017).....	22
7	: Diagramme Ombro thermique.....	23
8	: Histogrammes de variation de l'humidité moyenne mensuelle (1995-2017)...	24
9	: Histogrammes de la variation de l'évaporation moyenne mensuelle (1995-2017).....	25
10	: La vitesse Moyenne Mensuelle des Vents en m/s entre 1995-2017).....	25
11	: Méthode d'échantillonnage pour l'étude physicochimique du sol.....	26
12	: Prélèvements pour caractérisation des eaux d'irrigation.....	28
13	: Histogrammes de variation de pH des eaux d'irrigation.....	29
14	: Histogrammes de variation de la CE des eaux d'irrigation.....	30
15	: Histogrammes de variation de Magnésium des deux types d'eaux d'irrigation.....	30
16	: Histogrammes de variation de Calcium des eaux d'irrigation.....	31
17	: Histogrammes de variation des chlorures des eaux d'irrigation.....	31
18	: Histogrammes de Variation de pH des sols irrigués à l'eau traitée (site I)	32
19	: Histogrammes de Variation de pH des sols irrigués à l'eau de forage (site II)	33
20	: Histogrammes de Variation de la CE des sols irrigués à l'eau traitée (site I)...	33
21	: Histogrammes de Variation de la CE des sols irrigués à l'eau de forage (site II).....	34
22	: Histogrammes de Variation des cl dans les sols irrigués à l'eau traitée (site.I)	35
23	: Histogrammes de Variation des cl dans les sols irrigués à l'eau de forage (site II)	35
24	: Histogrammes de Variation des sulfates dans les sols irrigués à l'eau traitée (site I).....	36
	: Histogrammes de Variation des sulfates dans les sols irrigués à l'eau de forage (site II).....	36
25	: Histogrammes de Variation de Ca ⁺⁺ dans les sols irrigués à l'eau traitée (site I).....	37
26	: Histogrammes de Variation de Ca ⁺⁺ dans les sols irrigués à l'eau de forage (site II).....	37
27	: Histogrammes de Variation de Mg ⁺⁺ dans les sols irrigués à l'eau traitée (site I).....	38
28	: Histogrammes de Variation de Mg ⁺⁺ dans les sols irrigués à l'eau de forage (site II).....	39
29	: Histogrammes de variation de la MO dans les sols irrigués à l'eau usée traité (site.I).....	40
30	: Histogrammes de variation de la MO dans les sols irrigués à l'eau usée traité (site.I).....	40

31	: Histogrammes de Variation de la MO dans les sols irrigués à l'eau de forage (site II).....	40
32	: Histogrammes de Variation du CaCO ₃ dans les sols irrigués à l'eau traitée (site I).....	41
33	: Histogrammes de Variation du CaCO ₃ dans les sols irrigués à l'eau de forage (site II).....	42
34	: Histogrammes de Variation de la teneur en eau dans les sols irrigués à l'eau traitée (site I à gauche et site II à droite).....	42
35	: Histogrammes de Variation de la Da dans les sols irrigués à l'eau traitée (site I à gauche et site II à droite).....	43
36	: Pourcentages des genres identifiés sur les deux sites.....	47
37	: Aspect culturale (B) et microscopique (A et C) de <i>Fusarium sp.1</i> : (B) chlamydospore et (C) macroconidies (G ×40).....	48
38	: Aspect culturale (B) et microscopique (A et C) de genre <i>penicillium</i>	49
39	: Aspect culturale (B) et microscopique (A) de genre <i>Rhysopus</i>	50
40	: Aspect culturale (B) et microscopique (A et C) de genre <i>Aspergillus</i>	50
41	: Aspect culturale (B) et microscopique (A et C) de genre <i>Phytium</i>	51
42	: Aspect culturale (B) et microscopique (A et C) de genre <i>Clodosporium</i>	51
43	: Aspect culturale (B) et microscopique (A et C) de genre <i>Trichoderma</i>	51

Introduction générale

Introduction

Les sols sont au cœur des grands enjeux planétaires et forment une ressource naturelle qu'il faut protéger et utiliser durablement. (**Montaigne et al., 2018**). Il abrite d'intenses échanges et transformations biologiques et physico-chimiques (**Gros, 2002**).

La qualité du sol est un élément essentiel de l'agriculture durable. Bien que le terme «qualité du sol» soit relativement nouveau, il est bien connu que la qualité des sols varie et que la qualité du sol change en fonction de l'utilisation et de la gestion (**Zalidis et al., 2002**).

D'après **Arshad et Martin (2002)**, la définition la plus récente du concept de qualité des sol est proposée par Karlen et un comité de : Soil Science Society of America, est la suivante: «l'aptitude d'un sol spécifique à fonctionner dans sa capacité et dans les limites naturelles ou contrôlées des écosystèmes, pour soutenir la productivité végétale et animale , maintenir ou améliorer la qualité de l'eau et de l'air, et soutenir la santé et l'habitation humaines ».

Un déclin significatif de la qualité des sols s'est produit dans le monde entier en raison de changements défavorables de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques et de sa contamination par des produits chimiques inorganiques et organiques. Au cours du dernier demi-siècle, environ 2 milliards des 8,7 milliards d'hectares de terres agricoles des pâturages permanents, et des forêts et des terres boisées ont été dégradés (**Arshad et Martin, 2002**).

L'évaluation de la qualité des sols est un suivi très important pour connaître nos sols et les protéger contre la dégradation, quoiqu'elle soit considérée comme une tâche difficile à étudier à cause de la multitude des indicateurs à mesurer.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact d'une activité anthropique sur la qualité des sols agricoles. Il s'agit de la pratique de l'irrigation avec les eaux usées traitées.

Ce mémoire est constitué de trois parties entièrement dédiées à l'étude et l'évaluation de la qualité des sols sous irrigation avec des eaux usées traitées, en plus d'une introduction et d'une conclusion.

La partie I est une synthèse bibliographique composée de deux chapitres : le premier portant sur le concept de qualité des sols et les différents indicateurs, le deuxième chapitre est consacré à la pratique de l'irrigation avec les eaux usées et leurs impacts sur les sols.

La partie II est consacrée à la présentation du périmètre d'étude et le matériel et méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail.

La partie III présente les résultats obtenus de cette étude.

Partie I :
Synthèse bibliographique

I. Qualité du sol

I.1. Définitions de la qualité du sol

Beaucoup de définitions de la qualité des sols ont été proposées entre les années 1990 et 2000 (**Arshad et Martin, 2002**). Pour **Johnson et al. (1997)**, la qualité des sols est reliée seulement à l'environnement comme le service d'approvisionnement, stockage et séquestration de carbone, régulation de rythme hydrologique. **Vitousek (1997)**, indique que la qualité du sol est définie selon la capacité de délivrer les fonctions éco-systémiques. Alors que, de point de vue agronomique, la notion de la qualité de sol s'intéresse beaucoup plus par les propriétés de fertilité, la productivité et la durabilité des ressources (**Gros, 2002**). En intégrant les deux points de vue, **Gagnarli et al. (2015)**, indiquent que les conditions environnementales agissent sur le sol donc sa qualité et influencent sur la productivité biologique qui contrôle la qualité de l'environnement et favorise certains condition précisés a la santé des plantes et des animaux et les mêmes auteurs ajoutent que l'évaluation de la qualité du sol est une question complexe qui dépend de la combinaison de toutes les propriétés physiques, chimiques et biologiques.

La définition la plus citée est celle de **Doran et Parkin (1994)**, dans la quelle ils considèrent la qualité d'un sol comme la capacité d'un sol à fonctionner en maintenant la productivité biologique, la qualité de l'environnement et la santé des plantes et des animaux.

I.2. Rôle de la qualité du sol dans le fonctionnement des écosystèmes

Le sol est un milieu vivant beaucoup plus complexe que l'air ou l'eau ; son rôle est essentiel dans la production de biomasse et dans le cycle biogéochimique des éléments, et ces caractéristiques fonctionnelles peuvent être altérées par les dégradations et les pollutions anthropiques. Les conséquences peuvent alors affecter les autres composantes des écosystèmes terrestres (plantes, animaux, hommes), mais également des écosystèmes aquatiques. L'eau est en effet un facteur important de la formation et du fonctionnement des sols. Ceux ci vont en retour déterminer la qualité des eaux de surface et des nappes phréatiques (**Gros, 2002**). Le sol joue un rôle essentiel dans le cycle des éléments via les processus d'altération des roches et les processus de décomposition de la matière organique. Il est une matrice dans laquelle les plantes puissent trouver leurs nutriments et conditionnent en retour sa formation et l'évolution de ses propriétés abiotiques et biotiques (**Gros, 2002**).

Le sol peut ainsi être considéré comme une véritable interface dans l'environnement (**Robert, 1996**) et comme une composante majeure de la santé des écosystèmes. La santé des écosystèmes, basée sur leur aptitude à fonctionner naturellement, est donc fortement dépendante de la santé des sols. Il est dès lors essentiel de considérer les facteurs qui influencent l'évolution et la transformation des sols, dans les processus de fonctionnement des écosystèmes. (**Gros, 2002**).

I.3. Santé et qualité de sol

La santé du sol état d'une combinaison des propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol qui influence la croissance des plantes (**Huber, 2016**). La **FAO. (2008)**, a défini la santé des sols comme étant: «La capacité du sol à fonctionner comme un système vivant. Les sols en bonne santé maintiennent en leur sein une diversité d'organismes qui contribuent à combattre les maladies des plantes, les insectes et les adventices, s'associent de façon bénéfique et symbiotique aux racines, recyclent les nutriments végétaux essentiels, améliorent la structure du sol et, partant, la rétention des eaux et des nutriments, le tout contribuant à améliorer la production végétale».

Singer et Warkentin (1996) ont évoqué que les termes "santé" et "qualité" des sols sont fréquemment utilisés pour définir le même concept. Gros (2002), indique que les agriculteurs américains préfèrent l'utilisation du concept de santé des sols au lieu du concept de qualité.

I.4. Les indicateurs de l'évaluation de la qualité du sol

La détermination et l'évaluation de la qualité des sols nécessitent la définition de plusieurs indicateurs. Ces indicateurs sont généralement des propriétés mesurables des sols ou des plantes qui informent du bon fonctionnement du sol (**Pankhurst et al., 1997**)

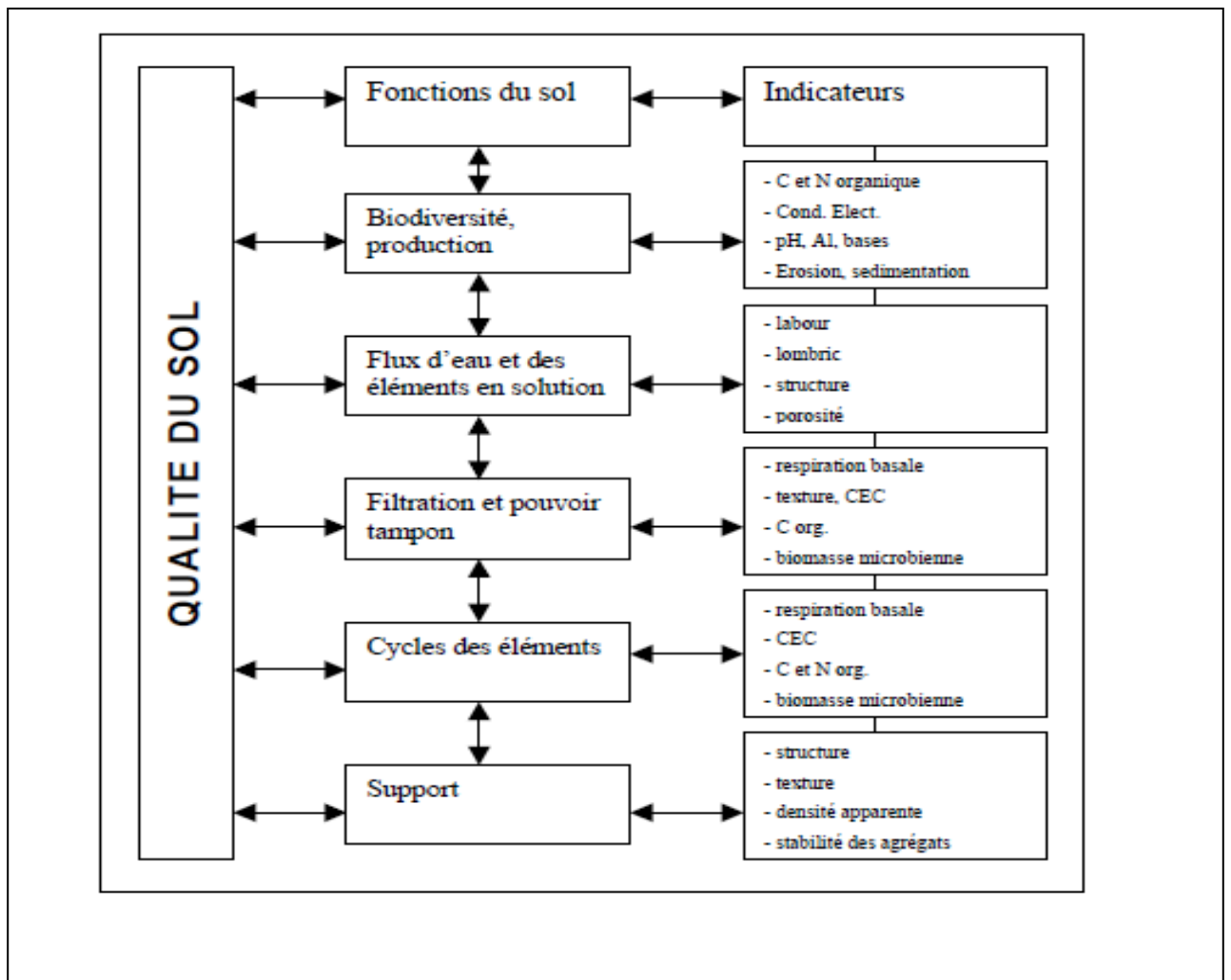


Figure 1. Les indicateurs de l'évaluation de la qualité des sols en relation avec les fonctions du sol (Mausbach et Tugel, 1997).

D'après la figure (1) ci-dessus les indicateurs de la qualité des sols sont multiples et la majorité d'entre eux présente l'avantage qui sont mesurables et calculables. Généralement chaque ensemble d'indicateurs influence sur une fonction éco-systémique du sol. Selon les propriétés des sols ces indicateurs peuvent être classées en trois catégories à savoir : les indicateurs physiques, les indicateurs chimiques et enfin les indicateurs biologiques ou bio indicateurs.

Doran and Parkin, (1996) ont signalés que Les indicateurs idéaux devraient (i) Corréler bien avec les processus de l'écosystème, (ii) intégrer les propriétés et les processus physiques, chimiques et biologiques du sol, (iii) être accessible à de nombreux utilisateurs, (iiii) être

sensible à la gestion et au climat, (iiii) être des composants de bases de données existantes et enfin être interprétable.

Il y a trois catégories principales d'indicateurs de sol: chimique, physique et biologique. La qualité du sol tente d'intégrer les trois catégories. **Schoenholtz et al.(2000)**, indiquent qu'il est souvent difficile de séparer clairement les fonctions du sol dans les processus chimiques, physiques et biologiques en raison de la nature dynamique et interactive de ces processus. **Larson et Pierce, (1991)** ont proposé un ensemble minimal de données (MDS) des indicateurs de qualité du sol, il s'agit de la disponibilité des nutriments, le carbone organique total et labile, la Texture, la capacité d'eau disponible dans la Structure du sol (densité apparente, K) la résistance du sol (densité apparente ou résistance à la pénétration) la profondeur d'enracinement maximale, le pH et la Conductivité électrique.

I.4. 1. Les indicateurs chimiques

Au plan chimique, le sol est avant tout la source d'ions indispensables pour les plantes. La présence d'ions en excès peut être à l'origine de phénomènes de toxicité. Au contraire, le déficit de ces ions entraîne une diminution de la fertilité du sol (**Gros, 2002**).

Les indicateurs chimiques peuvent renseigner sur l'équilibre entre la solution du sol (eau du sol et nutriments) et les sites d'échange (particules d'argile, matière organique); la santé des plantes; les besoins nutritionnels des communautés végétales et animales du sol; et les niveaux de contaminants du sol et leur disponibilité pour l'absorption par les animaux et les plantes. (**Doran and Parkin, 1996**)

De nombreuses réactions chimiques qui influent sur la disponibilité des éléments nutritifs (par exemple la forme chimique, l'adsorption, la précipitation) sont influencées par l'environnement chimique du sol, et le pH du sol en particulier (**Schoenholtz et al., 2000**). D'après les mêmes auteurs le pH du sol fournit lui-même peu d'informations directes sur les processus critiques du sol qui affectent de manière critique la capacité de production d'un sol. Mais il reste un paramètre essentiel de la qualité chimique des sols.

La conductivité électrique comme mesure de la concentration ionique et l'effet potentiellement négatif de la salinité sur le potentiel osmotique (c'est-à-dire les relations hydriques) et les déséquilibres nutritifs (dominance Na dans les sols sodiques) sont principalement utilisés dans les sols agricoles (**Schoenholtz et al., 2000**).

La matière organique du sol (SOM) (ou carbone organique du sol (SOC)) est communément reconnue comme l'un des principaux paramètres chimiques de la qualité du sol, mais l'évaluation quantitative de sa contribution à la qualité du sol fait souvent défaut (**Schoenholtz et al., 2000**).

I.4. 2. Les indicateurs physiques

Les indicateurs physiques fournissent des informations sur les caractéristiques hydrologiques du sol, telles que l'entrée et la rétention d'eau, qui influent sur la disponibilité pour les plantes. Certains indicateurs sont liés à la disponibilité des nutriments par leur influence sur le volume d'enracinement et le statut d'aération. D'autres mesures nous renseignent sur l'état d'érosion (**Doran and Parkin, 1996**). Parmi les paramètres mesurables qui nous renseignent sur la qualité physique du sol: la Stabilité agrégat, la Capacité d'eau disponible, la Densité apparente, l'infiltration, les Croûtes de sol, la Structure du sol et la porosité.

Les indicateurs de l'infiltration, de la rétention, de la disponibilité, du drainage et de l'équilibre eau / air sont universellement importants pour la surveillance de toutes les fonctions du sol. La capacité de rétention d'eau disponible et la conductivité hydraulique saturée sont les deux types les plus fréquemment rencontrés dans les ensembles de données d'indicateurs de qualité du sol. La capacité de rétention d'eau disponible mesure la capacité relative d'un sol à fournir de l'eau, et la conductivité hydraulique saturée est un indicateur du taux de drainage du sol qui peut être utilisé pour évaluer l'équilibre eau / air dans les sols. La porosité du sol est redondante à certains égards, mais une mesure distincte du rapport de la porosité capillaire et non capillaire peut être un indicateur sensible du changement physique induit par la gestion qui entraîne des déséquilibres hydriques et aériens (**Schoenholtz et al., 2000**)

Les changements dans la stabilité globale des agrégats peuvent servir d'indicateurs précoces de la récupération ou de la dégradation des sols. La stabilité globale est un indicateur de la teneur en matière organique, de l'activité biologique et du cycle des éléments nutritifs dans le sol. Généralement, les particules en petits agrégats (<0,25 mm) sont liées par des formes plus anciennes et plus stables de matière organique. La décomposition microbienne de la matière organique fraîche libère des produits (moins stables) qui lient les petits agrégats en grands agrégats (> 2-5 mm). Ces grands agrégats sont plus sensibles aux effets de gestion sur la matière organique, servant de meilleur indicateur des changements dans la qualité du sol. De

plus grandes quantités d'agrégats stables suggèrent une meilleure qualité du sol. Lorsque la proportion de gros granulats augmente, la qualité du sol augmente généralement. **Doran and Parkin, 1996**). La densité apparente reflète la capacité du sol à fonctionner pour le soutien structurel, le mouvement de l'eau et du soluté et l'aération du sol. Les densités apparentes au-dessus des seuils indiquent une altération de la fonction. Elle est utilisée pour exprimer les mesures physiques, chimiques et biologiques du sol sur une base volumétrique pour l'évaluation de la qualité du sol et les comparaisons entre les systèmes de gestion (**Doran and Parkin, 1996**).

Une croûte de surface indique une infiltration médiocre, un lit de semis problématique et une réduction des échanges d'air entre le sol et l'atmosphère. Il peut également indiquer qu'un sol a une teneur élevée en sodium qui augmente la dispersion du sol lorsqu'il est mouillé par les précipitations ou l'irrigation (**Doran and Parkin, 1996**).

I.4. 3. Les indicateurs biologiques

Un Bioindicateur a été défini comme un organisme (ou une partie d'un organisme ou une communauté d'organismes) qui renseigne sur l'état et le fonctionnement d'un écosystème. Parmi les bioindicateurs, deux catégories ont été distinguées (i) bioindicateur d'accumulation, (ii) bioindicateur d'effet ou d'impact (**Bispo et al., 2009**).

D'après **Doran and Parkin (1996)**, les indicateurs biologiques peuvent nous renseigner sur les organismes qui forment la chaîne alimentaire du sol responsables de la décomposition de la matière organique et du cycle des éléments nutritifs. Les informations sur le nombre d'organismes, individus et espèces, qui effectuent des travaux ou des niches similaires, peuvent indiquer la capacité d'un sol à fonctionner ou à rebondir après une perturbation (résistance et résilience). Les indicateurs comprennent des mesures de: (i) Vers de terre, (ii) Matière organique particulaire, (iii) l'azote potentiellement minéralisable, (iiii) la respiration (iiiiii) les enzymes de sol et (iiiiiii) le Carbone organique total.

I.4. Les facteurs qui influencent sur la qualité du sol

L'aptitude d'un sol à produire une culture est souvent utilisée comme mesure de sa qualité. La qualité des sols en agriculture permet de cibler les cultures selon leurs exigences agronomiques. En effet, il serait judicieux d'installer des cultures très exigeantes sur les sols de meilleure qualité. Par contre des cultures peu exigeantes peuvent être installés sur des sols de moindre qualité.

la qualité des sols. Un bon nombre de caractéristiques influencent la qualité du sol ainsi que sa productivité (**Bélanger, 2005**). Les facteurs influençant la productivité sont les suivants:

- La fertilité du sol ;
- La capacité du sol à retenir l'eau ;
- L'aération du sol ;
- L'acidité/alcalinité du sol ;
- Le niveau de sels (salinité) dans le sol ;
- L'érosion du sol ;
- La contamination du sol ;
- La topographie et le drainage ;
- La porosité du sol ;
- Le climat.

I.5. Les types de la qualité du sol

L'analyse objective montrera qu'il n'existe pas une qualité, mais des qualités, chimique, physique, biologique, qui peuvent ne pas co-varier dans le même sens (**Ruiz Camacho et al., 2009**). Mais qui influencent l'une sur l'autre.

I.5.1. La qualité physique

La qualité physique d'un sol est étroitement liée à sa structure, c'est à dire à la façon dont les constituants minéraux et organiques sont assemblés les uns par rapport aux autres (Gros, 2002).

Dans le sol, la matière organique et certains ciments minéraux sont les principaux liants dans la formation de mottes ou d'agrégats par les particules de sable, de limon et d'argile (**Tisdall et Oades, 1982**). Dans un sol bien structuré, l'air, l'eau et les éléments nutritifs peuvent traverser les vides contenus dans les agrégats et entre ceux-ci. En outre, l'assemblage des particules solides et des pores résiste bien aux diverses agressions (travail cultural, moisson, impact des gouttes de pluie, etc.) (**Gros, 2002**)

C'est en effet dans les différentes catégories de vides ménagés par cet assemblage que l'eau, les solutés et les gaz circulent ou sont stockés et que les êtres vivants peuvent se développer

(Tessier et al., 1996). La dégradation des propriétés physiques d'un sol peut entraîner une réduction importante de sa qualité. Une déstructuration affecte la pénétration des racines dans le sol (Tramblay-Boeuf, 1995). Bengough *et al.* (1997) ont montré qu'une augmentation de contrainte mécanique, que l'on peut observer lorsque l'on passe d'un sol poreux à un sol plus compact, induit une augmentation de la longueur racinaire. (Gros, 2002).

La modification des propriétés structurales des sols peut également diminuer la perméabilité et donc perturber la circulation des flux de gaz et d'eau, affecter la diffusion des solutés et modifier les mouvements des microorganismes (Duchaufour, 1997). La microflore bactérienne et la faune du sol sont également très sensibles aux modifications de leurs habitats. Les perturbations de l'hétérogénéité physico-chimique et structurale des sols peuvent influencer certaines propriétés biotiques et abiotiques directement impliquées dans la survie de ces organismes (Lavelle et Spain, 2001).

Une partie de la structure du sol est un héritage des conditions de formation et d'évolution des sols à long terme. Dans les sols cultivés, c'est l'action de l'homme qui est la plus visible (labour, lit de semence, passages de roues, etc.) (Coulomb et al., 1990). La structure du sol évolue lentement sous l'action de processus naturels tels que les cycles d'humectation-dessiccation et de gel-dégel (Haynes et Swift, 1990),

Les mesures de la densité apparente, de la porosité, de la résistance de pénétration fournissent des indices courants de l'état de compacité d'un sol et renseigne sur les mouvements d'air, d'eau et sur les obstacles à l'enracinement. La stabilité des agrégats donne un indice révélateur de la sensibilité d'un sol aux dégradations structurales (Seybold et Herrick, 2001). Singer et Ewing (2000) proposent l'utilisation de la texture, du type de structure, de la densité apparente, de la profondeur d'enracinement, du potentiel hydrique, de la stabilité des agrégats, de la conductivité hydraulique et de la distribution des tailles de pores, pour évaluer avec pertinence la qualité des sols permettant une production végétale satisfaisante. (cité par gros ; 2002)

I.5.2. La qualité biologique du sol

Les organismes de sols jouent deux rôles très importants dans la détermination de la structure du sol. D'abord, les microorganismes produisent des sécrétions (polysaccharides) qui améliorent les agrégations des particules du sol, et les hyphes fongiques qui relient les particules du sol (Wright et al., 2007). En second lieu, la faune du sol joue un rôle important dans la création des pores stables dans le sol par les mouvements (les lombrics) et la formation de pellet fécaux (Lavelle et al., 2006).

La qualité biologique des sols fait référence à l'abondance, la diversité et l'activité des organismes vivants qui participe au fonctionnement du sol (**Chaussod, 1996**). La gestion des ressources biologiques des sols doit être considérée comme un élément essentiel de la subsistance de ce système écologique (**Andrén et Balandreau, 1998**). Elle ne pourra être parfaitement maîtrisée que dans la mesure où l'on disposera à la fois d'indices biologiques pertinents et de référentiels d'interprétations garantissant une bonne sécurité de diagnostic. **McGrady-Steed et al. (1997)** affirment qu'il est important de se préoccuper de la protection d'un patrimoine biologique dont la diversité permet non seulement d'assurer une certaine permanence fonctionnelle dans un environnement changeant. Actuellement, la communauté scientifique s'interroge sur le rôle de la biodiversité dans la stabilité des écosystèmes. La relation entre résilience et biodiversité a été abordé par **Elliot et Lynch (1994)**. Les travaux de **Naeem et al. (1994)**, montrent que la diminution de la biodiversité d'un écosystème engendre la réduction de certains processus écologiques. Ils précisent que les écosystèmes les plus diversifiés sont aussi les plus productifs. Ces discussions sont appuyées par (**Copley, 2000**) qui estime que le fonctionnement des écosystèmes terrestres dépend fortement de leur biodiversité.

D'après **Chaussod (1996)**, les composantes élémentaires de la qualité biologique des sols, peuvent être rassemblés en quatre composantes :

- la fertilité : c'est à dire les potentialités agronomiques directement liées à l'activité biologique.
- l'état sanitaire (sensu lato) : faisant référence à la présence ou non d'organismes vivants indésirables, considérés comme des ennemis des cultures
- les externalités : c'est à dire l'impact environnemental du fonctionnement du sol.
- la résilience : ou sensibilité à des contraintes extérieures, principalement d'origine anthropique, et l'aptitude au retour à l'état initial

I.5. 3. La qualité chimique

Au plan chimique, le sol est avant tout la source d'ions indispensables pour les plantes. La présence d'ions en excès peut être à l'origine de phénomènes de toxicité. Au contraire, le déficit de ces ions entraîne une diminution de la fertilité du sol (**Gros, 2002**). Une grande partie des éléments chimiques du sol peuvent soit être exportés du fait des récoltes, soit

éliminés des sols par les eaux et aussi par les activités humaines. **(Bruand et al., 1996)**. Dans le bilan des éléments, il est nécessaire de prendre en compte les réserves naturelles du sol. Du fait des seuls processus naturels, dans les régions tempérées, le sol perd progressivement une partie de son stock en bases, notamment les métaux alcalins (K, Na) et alcalino-terreux (Ca, Mg). **(Robert, 1996)**. Lorsque l'acidité devient suffisamment forte les constituants minéraux des sols peuvent être partiellement dissous et de l'aluminium libre peut être présent dans le sol et les eaux et il apparaît alors des phénomènes bien connus de carence et de toxicité **(Bruand et al., 1996)**. Le taux de saturation en bases S/T ainsi que le pH donnent une information très précise sur l'état d'acidification du sol **(Tessie et al., 1996)**.

I.6. La surveillance de la qualité du sol

Arshad et Martin (2002), ont proposé des lignes directrices pour la surveillance de la qualité du sol, il s'agit de :

1. Divisez la région ou le pays en différentes zones écologiques.
2. Sélectionnez la zone écologique, les fermes ou les bassins versants avec des types de sols similaires.
3. Définir l'objectif ou les exigences de durabilité; l'objectif pourrait être la production d'une culture ou d'un groupe de cultures, la protection de l'environnement ou toute autre utilisation.
4. Sélectionnez un ensemble d'indicateurs pour la zone écologique, les fermes ou les bassins versants. Bien que la sélection des indicateurs de sol varie en fonction des objectifs sociétaux, les indicateurs suivants semblent appropriés pour la production végétale: la matière organique, la couche arable, l'infiltration, l'agrégation, le pH, la conductivité électrique, les suspects de sol et la respiration du sol. Le rendement des cultures peut être utilisé comme intégrateur des indicateurs de sol précédents.
5. Sélectionnez un point de référence (valeur de référence) pour chaque indicateur. Cela pourrait être la valeur moyenne de l'indicateur de rendement / sol des cultures utilisé pour la zone écologique ou le type de sol au début de la période de surveillance. Les informations provenant des bases de données existantes peuvent être utiles pour déterminer les valeurs de référence pour différentes régions.
6. Spécifiez les limites critiques pour les indicateurs sélectionnés. Les limites critiques varient avec chaque indicateur. Pour certains indicateurs, une augmentation ou une

diminution de 10% peut être significative alors que d'autres ne peuvent pas être affectées par une baisse de 20%. Pour les matières organiques, une augmentation ou une diminution de 15% par rapport à la moyenne ou à la valeur de base semble raisonnable à utiliser comme limite critique. Par exemple, si la valeur de référence du carbone organique est de 2%, la matière organique doit augmenter de 15% ou de 2,3% de carbone afin de conclure qu'un changement positif significatif s'est produit dans cet indicateur.

Cette valeur doit diminuer à 1,7% de carbone (changement négatif) pour signaler qu'une action corrective doit être entreprise pour inverser la tendance.

7. Transformer les indicateurs en un indice de qualité / durabilité du sol.
8. Testez la procédure en utilisant les données réelles des différentes pratiques de gestion des sols et des terres utilisées dans les zones écologiques, les fermes ou les bassins versants.

II. L'irrigation par les eaux usées

Au cours du temps, l'importance de l'eau ne cesse d'augmenter et l'approvisionnement en l'eau douce devient de plus en plus difficile, cela est dû à plusieurs causes comme par exemple : la sécheresse, la croissance démographique accrue.

Face à cette pénurie d'eau, en termes d'irrigation, les eaux usées constituent une importante source d'eau et de nutriments pour les agriculteurs sous les climats arides et semi-arides. C'est parfois la seule source d'eau disponible pour l'agriculture lorsqu'elle est bien gérée, l'utilisation d'eaux usées peut contribuer au recyclage de l'eau et ainsi à réduire le coût de l'amendement des terres (**Anonyme, 2013**).

Pouvant réellement représenter un apport constant de ressource en eau dans les pays qui subissent un stress hydrique croissant, les eaux usées sont toujours relarguées pour beaucoup sans traitement (**Legros, 2017**).

Et par le recours inévitable dans l'agriculture aux eaux usées, dans le cadre du sommet mondial de l'eau à Stockholm, l'institut international de gestion des ressources en eau dresse un bilan global de la situation et indique qu'au moins 20 millions d'hectares seraient irrigués dans le monde avec des eaux usées partiellement traitées ou non traitées, principalement pour produire des légumes et du riz (**Yéli, 2009**).

En de nombreux endroits, l'irrigation avec des eaux usées, pouvant provenir *via* les oueds, est apparue spontanément et sans planification dans le but de sauver voire d'améliorer le rendement de la culture (**Anonyme, 2013**).

Ces eaux d'oued, qui constituent une ressource importante, engendrent cependant des nuisances dans les milieux récepteurs et des risques sanitaires pour les populations qui sont en contact permanent ou consommant les produits agricoles irrigués avec ces eaux. (**Bouaroudj, 2012**).

Pour se prémunir de ces risques, le législateur a, selon le principe de précaution, décrété des normes de qualité pour toute sorte d'eau destinée à des fins d'irrigation (JORA n° 30, 1983) (**Bouaroudj, 2012**).

II.1. Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation

La salinité des eaux usées, est un critère d'importance majeure car un excès de sels augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique

(Bouaroudj, 2012). Des problèmes potentiels sont liés à la teneur en sels totaux, au type de sel ou à la concentration excessive d'un ou plusieurs éléments **(Ayers et Westcot, 1985).**

L'alcalinité est un autre paramètre qui peut influencer sur la qualité des sols. La structure du sol et la perméabilité à l'eau sont toutes très sensibles aux types d'ions échangeables présents dans l'eau d'irrigation. L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na, réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu **(Rhoades, 1977).**

La toxicité spécifique des ions, les ions les plus toxiques rencontrés généralement dans l'eau usée traitée sont le sodium (Na), le chlorure (Cl) et le bore (B) qui causent la plupart des cas courant de toxicité. Le bore est un des éléments essentiels aux cultures; cependant, les concentrations de B excédant 0,5 mg/l peuvent être toxiques aux cultures sensibles **(FAO, 2003).**

Les éléments traces et les métaux lourds, Les métaux qui peuvent être présents dans les eaux résiduaires sont le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le molybdène (Mo), le nickel (Ni) et le zinc (Zn), ils peuvent constituer un risque sanitaire significatif pour les humains et les animaux et peuvent également affecter les cultures irriguées **(FAO, 2003).**

II.2. Les effets bénéfiques de l'irrigation par les eaux usées

Les eaux usées constituent souvent une source d'eau fiable tout le long de l'année et contiennent les nutriments nécessaires à la croissance des végétaux. La valeur de ces eaux est reconnue depuis longtemps par les agriculteurs du monde entier. Leur utilisation en agriculture représente une forme de recyclage de l'eau et des nutriments, et réduit souvent l'impact environnemental qu'elles auraient sinon en aval sur les sols et les ressources en eau **(FAO, 2012).**

De nombreuses études ont confirmés l'impact positif des nutriments contenus dans les eaux usées sur les rendements des cultures irriguées **(Aiello et al., 2007; Da Fonseca et al., 2007; Wang et Huang, 2008).** Les effets bénéfiques tels que l'amélioration des rendements des cultures sont plus aisément appréciables à une échelle de temps relativement courte **(Papadopoulos et al., 2009).**

Il est en effet reconnu que les eaux usées contiennent des quantités appréciables d'éléments nutritifs et les bonnes pratiques permettent de valoriser au mieux ces nutriments pour, à la fois obtenir de bons rendements et sauvegarder l'environnement, méritent des développements complémentaires **(Yéli, 2009).**

Mais malgré les aspects positifs des eaux usées non traitées, elles présentent un aspect beaucoup plus négatif que positif les eaux usées non traitées, il ya des quantités excessive de l'azote, phosphore et potassium ; La teneur en azote minéral des eaux usées urbaines, après traitement secondaire, est comprise généralement entre 20 et 60 mg l-1 (FAO, 2003). Et La teneur en phosphore minéral (PO₄³⁻) dans les eaux usées après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg l-1, soit 15 à 35 mg l-1 de P₂O₅ (FAO, 2003). Les métaux lourds (cadmium, cuivre, molybdène, nickel et zinc), des fois concentrés dans les eaux usées surtout les eaux usées industrielles conduisent à une accumulation de métaux dans les sols et les cultures et a été mise en relation avec des problèmes de santé chez les consommateurs de cultures (Chang et al., 1995). Les effets des métaux lourds sur les cultures sont complexes, car ces métaux peuvent participer à des interactions antagonistes, qui influent sur leur absorption par les végétaux (Drakatos et al., 2002). Ces métaux, dans la plupart des cas, s'accumulent dans la plante et peuvent affecter de façon défavorable les humains ou les animaux domestiques se nourrissant de ces plantes (FAO, 2003).

II.3. Les impacts de l'irrigation des eaux usées sur le sol

Selon anonyme (2013), Le sol est un mélange complexe de substances minérales et organiques, à des concentrations qui varient très largement selon les régions et les climats. De ce fait, il est très difficile de donner des indications générales sur les polluants qu'il contient et sur les concentrations de ces polluants. Les effets observés dépendent non seulement des caractéristiques physiques et chimiques des sols, mais aussi du type de culture, de climat, ainsi que de la qualité et du volume des eaux usées utilisées pour l'irrigation. Les seules méthodes relativement précises pour déterminer les effets sur les sols sont :

- la mesure des caractéristiques du sol au stade initial et leur suivi au cours du temps
- la comparaison entre l'irrigation avec des eaux usées et avec de l'eau douce de sols similaires dans des conditions similaires.

En effet les eaux usées sont différentes des eaux conventionnelles par leur teneur en matières en suspension et en sels. Les matières en suspension influencent le colmatage des sols, elles peuvent obstruer les pores et provoquer une imperméabilisation rendant le sol inutilisable (Ayles et Wescot, 1985) et autres effets et problème la salinisation, l'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol et l'accumulation d'éléments potentiellement toxique et l'accumulation de nutriments (FAO, 2003).

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. (FAO, 2003).

L'utilisation des eaux usées en agriculture peut avoir des impacts à la fois positifs et négatifs sur l'environnement. Moyennant une planification et une gestion soigneuses, cette utilisation peut être bénéfique pour l'environnement (FAO, 2012).

II.4. Situation de réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricoles en Algérie

La réutilisation des eaux usées épurées est une action volontaire et planifiée qui vise la production de quantités complémentaires en eau pour différents usage (Hannachi et al., 2014).

La réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique qui date des temps anciens, en Algérie, dès les années 1990, des programmes de réalisation et de modernisation d'ouvrages de traitement destinés à la réutilisation des eaux usées en irrigation ont été mise en œuvre (MRE, 2012).

La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle et parmi les stations d'épuration exploitées par l'ONA (Office nationale d'assainissement) à travers les 43 wilayas (Départements), quelques-unes sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. A fin 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m³ /an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricoles (MRE, 2012).

Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles av évalué d'une manière significative d'environ 17 millions de m³ en 2011 à environ 200 millions de m³ en 2014, et le nombre de stations concernées était de 25 stations d'épurations à l'horizon 2014 (MRE, 2012).

II.4.1. Cadre D'usage Des Eaux Usées Epurées

La législation algérienne à bien encadrée l'utilisation des eaux usées en agriculture parmi les lois, les décrets et les arrêtés on peut citer :

-
- ✓ La loi n° 05 - 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n°60-année 2005).
 - ✓ Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges y afférent (JO n°35 année 2007).
 - ✓ Arrêté interministériel portant spécifications des eaux usées épurées,
 - ✓ Arrêté interministériel portant liste des cultures à pratiquer avec les eaux usées épurées,
 - ✓ Arrêté interministériel portant laboratoires des analyses des eaux usées épurées.

Partie II :
Matériel et Méthodes

Partie II Matériel et Méthodes

1. Présentation de la zone d'étude

Notre étude est réalisée sur des parcelles de la commune de Remila . La commune de Remila situé dans le Nord-Ouest de la wilaya de Khenchela, bordé au Nord par la wilaya d'Oum Baoughi, de l'Est par Kais, Sud par Chelia et Taouziant, et Ouest par Boulfrais et la wilaya de Batna (**DHW, 1984**). Remila est limitée à l'Est Garaet Tarf au Nord par le Djebel Fedjoudj et à L'Ouest par le Djebel Bouarif et son prolongement le Djebel Amrane. (**Bounezra et Medjhed, 2015**).

La commune de Remila est à vocation agro-pastorale. La superficie agricole utile (SAU) est de 21.95 ha soit 90.55% de la superficie agricole totale (estimée à 24 556ha) (**Ghodbane, 2009**). La répartition des cultures par espèces est présentée sur le tableau (1).

Tableau 1. Répartition de la S.A.U de Remila (délégation agricole de Remila) **Ghodbane, 2009**).

Occupations	Culture céréalières	Plantation fruitières	Terres au repos	Prairies naturelles	Total
Superficie (ha)	14.05	3.18	1.73	2.99	21.95
Taux%	63.97	14.47	7.89	13.61	100

Les principaux oueds qui se jettent dans la plaine de Remila sont l'Oued Faïd Tazouaouit, l'Oued Geis et l'Oued Boulfreis. A écoulement permanent et de caractère endoréique les eaux se jettent dans de vastes dépressions salées.

La plaine se caractérise par trois niveaux aquifère (**Zouaoui, 1991**) qui sont : Niveaux grossiers contenus dans le remplissage néogène, formation isolées entres elles par des argiles et marnes, le Miocène gréseux (Bordure de Aurès) et le crétaé calcaire des massifs montagneux. Le réservoir de Remila et la nappe superficielle sont exploités par environ 89 puits et plus de 25 forages d'un débit total de 431/s. Sept forages seulement répondent aux caractéristiques de potabilité (tab. 2) qui leur permettent d'être exploités pour l'irrigation mais surtout pour l'alimentation en eau potable.

Tableau 2. Caractéristiques chimiques de quelques forages (Direction de l'hydraulique)

Forages	Coordonnées			Profondeur (m)	Débit (l/s)	Localisation	Affectation	Etat
	X (km)	Y (km)	Z (km)					
ZK1	880,44	259,30	864	120	16,20	Ouled Mira	Irrigation	N.E
ZK 2	877,46	261,36	861	128	16,40	Ouled Mira	AEP	E
ZK 4	882,90	262,74	858	182	18	Ouled Mehnia	Irrigation	E
ZK 6	881,09	262,87	859	192	19,2	Ouled Mehnia	Irrigation	Ed
ZK 7	889,91	261,09	155	155	20	Ouled Mehnia	Irrigation	Ep
ZK 12	888,08	255,14	880	70	1,8	Ouled Hnin	Irrigation	Ed
ZK 19	880,70	259,02	864	125	31,8	Ouled Mira	AEP	Ep

N.E : non exploité E : exploité Ed : endommagé

Il ressort d'après ces données que le développement hydro-agricole de la plaine de Remila ne peut être assuré que par une exploitation rationnelle des potentialités hydrique réparties le long de la zone avec bien sur des actions parallèles d'aménagements hydriques touchant particulièrement le réseau d'irrigation (type de réseau) et le réseau de drainage (**Ghodbane, 2009**).

D'après les donné morphologique et analytique la plaine de Remila présentes des caractéristique spécifique à elle de manière générale, les données dégagées sont semblables et typique des sols salés des zones aride et semi –aride de l'Algérie (**Zouaoui, 1989**).

La texture dominante est argileuse sur certains sols la présence d'une stratification entre plusieurs texture est évidente. L'aspect texturale dominant sur ces sols est une contrainte à ne pas négligé car il limité le choix de culture ainsi que leur croissance l'impact est ressenti au niveau de la production. Deux autre aspects limitant aussi sont dégagés le taux élevé de calcaire totale ainsi que la salinité, ils sont caractéristique de la plupart des sols en zone semi –aride (**Halitim, 1973**).

Les deux parcelles sur les quelles nous avons réalisé notre travail se localisent à cette région. Une première parcelle irriguée avec les eaux usées traitées de la STEP de la ville de Kais (Site I) (figure 2) et la deuxième parcelle est irriguée avec une eau de forage (Site II).



Figure 2. Vue satellitaire de la parcelle irriguée à l'eau usée traitée (site I) et (site II) .

2. Le climat

Le climat est un facteur important qui influence sur la genèse et l'évolution des sols. Notre étude est réalisée dans une zone à climat semi aride.

La température est un facteur qui contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'être vivants dans la biosphère (**Ramade, 2003**).

Les données de température de la station météorologique d'el Hamma présentés sur la figure (3) montrent que la température varie entre 6,38 et 26,89°C. Les températures les plus élevées sont observées de Juin à Septembre, et les plus basses de Décembre à Mars et on remarque que le mois le plus froid est Janvier avec une moyenne de 6 °C et les mois les plus chauds sont Juillet et Août avec des valeurs de 27°C.

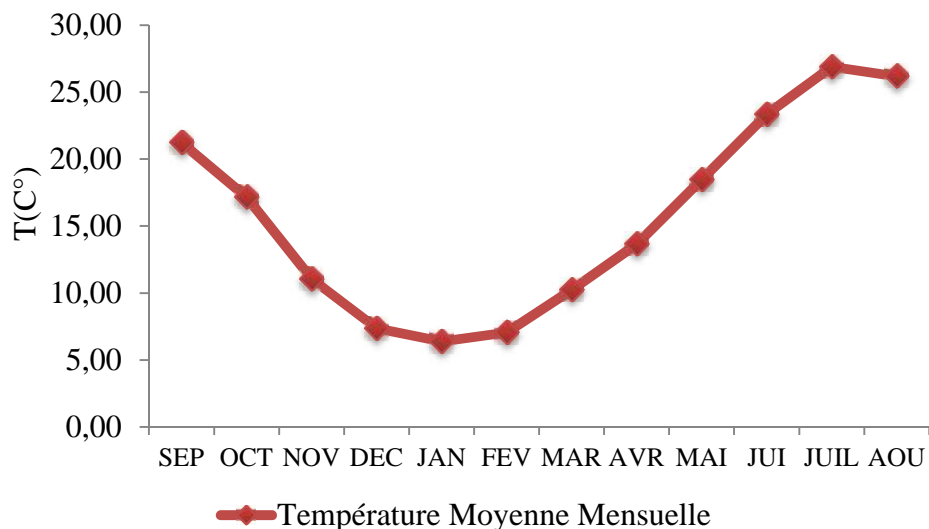
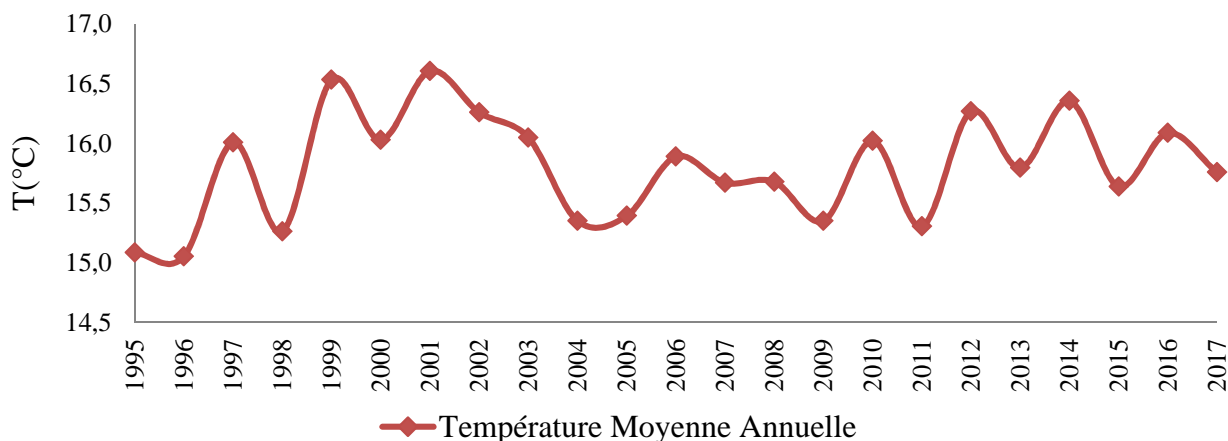


Figure 3. Courbes de variation des températures moyennes mensuelles (1995-2017)

La figure (4) présente les moyennes des températures annuelles de la période (1995-2017). Elle montre que la moyenne annuelle la plus basse est enregistrés en 1996 (15.1 °C) et la moyenne la plus élevée est enregistrée en 2001 (16.6°C).



Source : Station de météorologique d'El Hamma

Figure 4. Courbe de variation des températures moyennes annuelles (1995-2017)

Les précipitations en milieu aride et semi-aride sont souvent de type convectif : courte durée, forte intensité et hétérogénéité spatiale (Aouidane, 2017).

La figure (5) montre que les mois le plus pluvieux durant la période (1995-2017) sont les mois de Mai et Septembre avec 5,00mm, alors que le plus sec le mois de Juillet avec 15.17 mm la répartition saisonnière des pluies dans la zone d'étude est la suivante :

- printemps (Mars, Avril, Mai) avec 144.16 mm
- Eté (Juin, Juillet, Août) avec 81.17mm
- L'automne (Septembre, Octobre, Novembre) avec 131.61 mm
- L'hiver (Décembre, Janvier, Février) avec 113.13 mm

Donc nous remarquons que la saison pluvieuse est le printemps, et la saison sèche est l'été.

Les précipitations moyennes annuelles (2005-2017) qui figurent sur la figure (6), montrent que les années les plus pluvieuses sont 2004 et 2011 avec des cumules de 618,6mm et 626,3mm respectivement, tandis que l'année 2017 était la plus sèche avec un cumule annuel de 276.0 mm seulement.



Figure 5. Histogrammes de la variation des précipitations moyennes mensuelles (1995-2017)

Source : Station de météorologique d'El Hamma

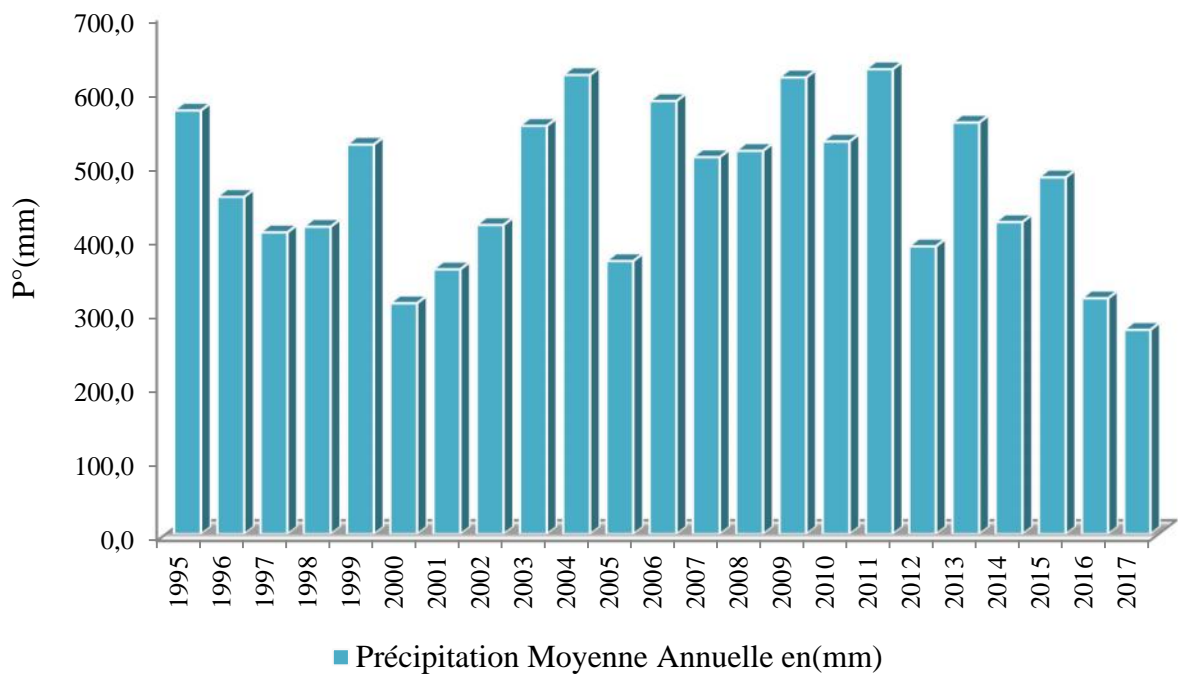


Figure 6. Histogrammes de variation des précipitations moyennes annuelles (1995-2017)

Source : Station de météorologique d'El Hamma

Le Diagramme Ombrothèrmique de BAGNOULS et GAUSSEN met en évidence la notion des saisons humides et sèches, comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal au double de la température ($P = 2T^{\circ}\text{C}$).

Le diagramme Ombrothèrmique montre que la région d'étude (figure 7) présente deux périodes :

Une période humide et pluvieuse : la moitié de Octobre jusqu'au mois de Mai

Une période sèche : début du moi de Juin jusqu' au la moitié du mois d'octobre.

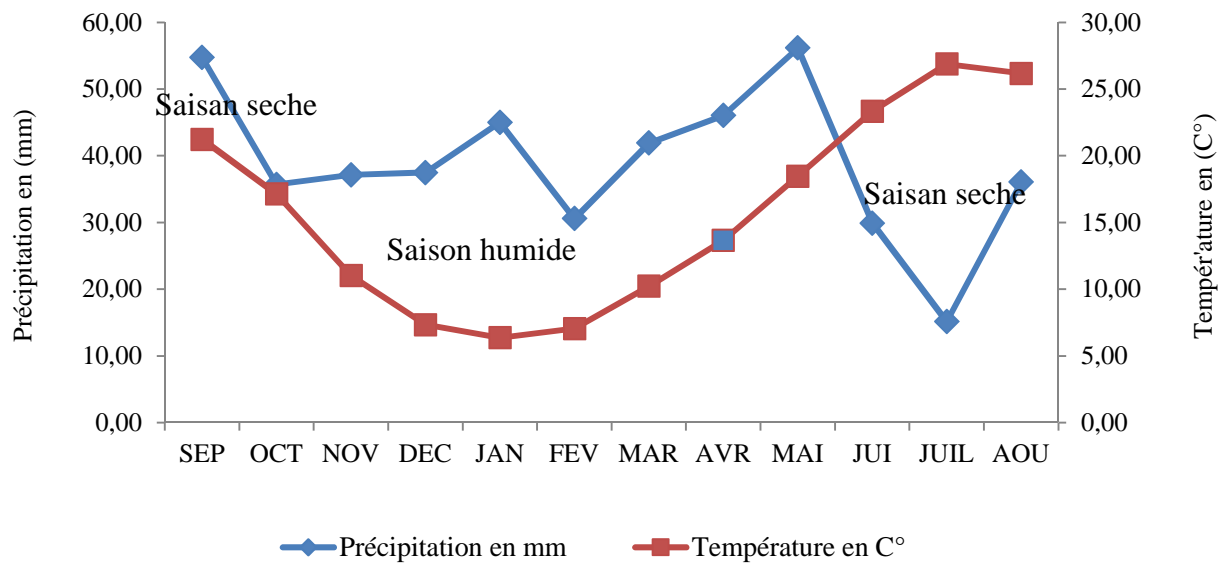


Figure7. Diagramme Ombro thermique

L'humidité relative de l'air (ou degré d'hygrométrie), couramment notée φ , correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air, P_{vap} , sur la pression de vapeur saturante ou tension de vapeur à la même température $P_{sat}(T)$. Exprimée souvent en pourcentage, son expression devient (Khabthane, 2015)

$$\varphi [\%] = \frac{P_{vap}}{P_{sat}(T)} \times 100$$

La figure (8) qui représente les histogrammes de la variation de l'humidité moyenne mensuelle durant la période (1995-2017), montre que les valeurs les plus élevées sont enregistrées durant la période hivernale, correspondant aux mois de décembre, Janvier et Février. La sécheresse de l'air s'établit en été; en particulier au cours des mois de Juillet et Août.

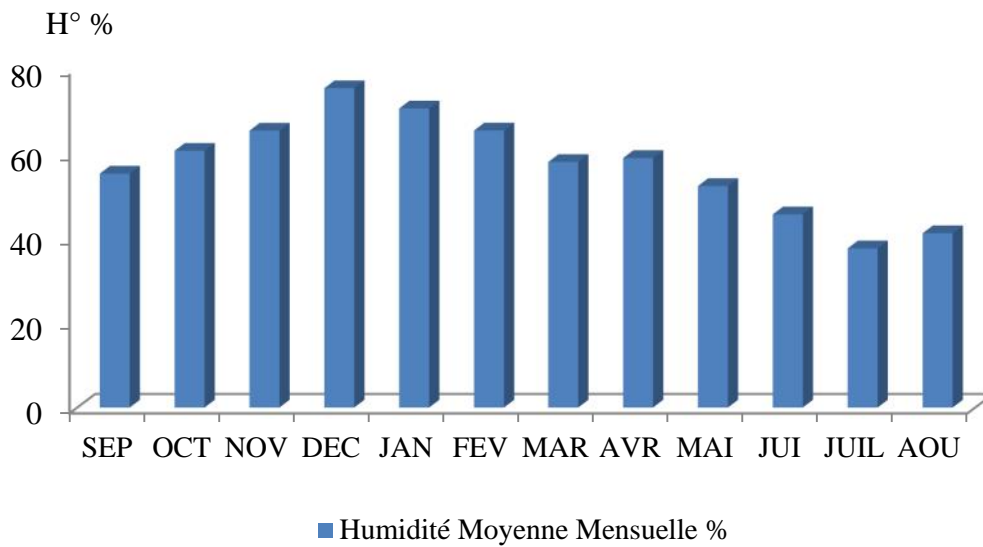


Figure 8. Histogrammes de variation de l’humidité moyenne mensuelle (1995-2017) Source : Station météorologique d’El Hamma

L’évaporation est la restitution de l’eau par l’atmosphère sous forme de vapeur à partir de la surface du sol, quelle que soit sa nature (Sol, végétaux, eau libre). Elle est donc un élément très important pour l’établissement du bilan hydrologique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l’humidité de l’air, le couvert végétal. On distingue : d’évapotranspiration potentielle (ETP) et l’évapotranspiration réelle (ETR) (Gaagai, 2009).

L’estimation de l’évaporation sur la période allant de 1995 à 2017 est atteinte une valeur maximale de 246.56 mm (Juillet), alors que la valeur minimale a été enregistrée au mois de Décembre avec 53.3 mm (figure 9).

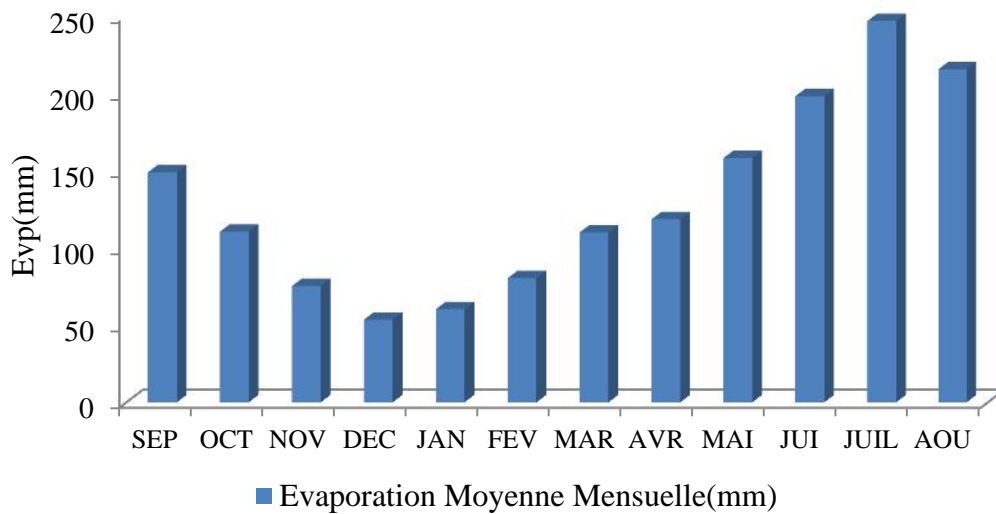


Figure 9. Histogrammes de la variation de l'évaporation moyenne mensuelle (1995-2017)

Source : Station météorologique d'El Hamma

Le vent est un paramètre qui influence sur le sol. Les données de la vitesse moyenne du vent sont indiquées sur la figure (10). Sur cette figure nous observons que la vitesse moyenne la plus élevée est enregistrée au cours du mois de mars avec 4.44m/s, alors que les vitesses les plus faibles sont enregistrées au mois d'octobre avec une valeur de 3.05m/s et au mois d'aout avec 3.01m/s.

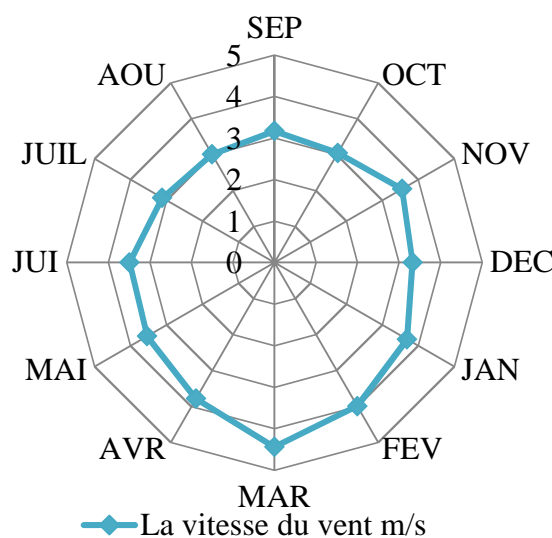


Figure 10. La vitesse Moyenne Mensuelle des Vents en m/s entre 1995-2017. Source : Station météorologique d'El Hamm

3. Méthodes de travail

3.1. Prélèvement des échantillons de sol pour l'étude de la qualité chimique et physique

Pour l'étude des propriétés chimiques du sol, nous avons choisi de travailler sur deux profondeurs pour les deux parcelles d'étude, la première couche est de 0-15cm et la deuxième couche de 15-30 cm, pour cela nous avons utilisé une têtère dont la sonde est de 15cm. Cinq points de prélèvements sont choisis sur chaque parcelle comme c'est montré sur la figure (11). L'échantillonnage est de type quinquennal, c'est-à-dire quatre points d'échantillonnage sur les quatre coins à l'intérieure de la parcelle pour éviter l'effet bordure et un point au milieu.

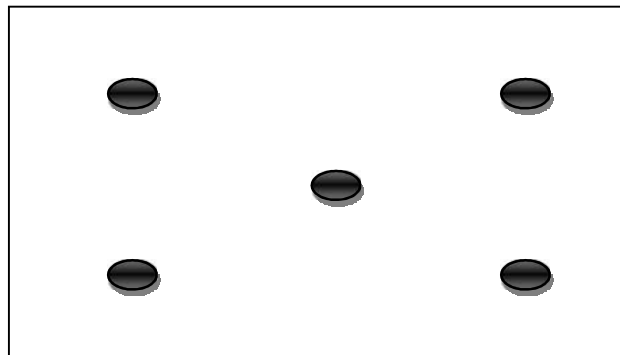


Figure 11. Méthode d'échantillonnage pour l'étude physicochimique du sol

Après prélèvement les échantillons sont préparés pour l'étude chimique, ils sont séchés à l'aire libre puis tamisés à 2mm. Les paramètres mesurés sont le pH, la conductivité et le pouvoir oxydorédox sur l'extrait de la pâte saturée en utilisant un multi-paramètre de type HANA. Les sels sont dosés sur la solution de l'extrait de la pâte saturée. Les chlorures par la méthode de Mohr, les sulfates par spectrophotomètre à absorption moléculaire en utilisant le $BaCl_2$ et le réactif combiné, le calcium et magnésium en utilisant l'EDTA, Noire d'Eriochrome et Murixide. Ainsi nous avons dosé le carbone organique du sol en utilisant le protocole de la méthode de Anne décrite par Aubert, où l'excès de bichromate est titré par une solution de sulfate de fer et d'ammonium en présence d'indicateur : le diphenylamine. Le calcaire total est déterminé par le calcimètre de Birnard.

Pour les paramètres physiques du sol nous avons mesuré : la densité apparente sur la couche superficielle sur les mêmes cinq point des prélèvements pour l'analyse chimique, nous avons utilisés des cylindres d'un volume de $106,85 \text{ cm}^3$. Ainsi qu'une analyse granulométrique a été

réalisé sur l'ensemble des échantillons par méthode de sédimentation. Les mêmes échantillons de la densité apparente sont utilisés pour déterminer la teneur en eau.

3.2. Prélèvement du sol pour l'étude de la mycologie de sol

Afin de réaliser un inventaire de la mycoflore tellurique des deux sites nous avons fait trois prélèvements dans chaque site sur la couche à l'aide d'une tarière, puis nous avons mélangé les trois échantillons de chaque site pour avoir un échantillon représentatif de chaque site. Les échantillons ont été séchés dans une étuve à 30 °C pendant une nuit.

L'analyse de la mycoflore a été conduite selon la technique des suspensions-dilutions.

Dans un Erlenmeyer de 250 ml contenant 90 ml d'eau distillée stérile sont ajoutés aseptiquement 10 g de sol sec préparé précédemment. Ce mélange est agité mécaniquement à l'aide de barreaux magnétiques pendant 30 minutes afin de mettre en suspension les particules de sol ainsi que les spores et mycéliums qui y sont attachés. La suspension obtenue correspond à la dilution 10^{-1} .

10 ml de la dilution 10^{-1} sont prélevés aseptiquement et mis dans 90 ml d'eau distillée stérile donnant ainsi la dilution 10^{-2} qui est agitée pendant deux minutes avant de prélever 10 ml que l'on ajoute à 90 ml d'eau distillée stérile et ainsi de suite jusqu'à la dilution 10^{-8} .

1 ml est prélevé à partir de chaque dilution, en opérant de la dilution 10^{-8} à la dilution 10^{-1} , et ensemencé sur deux milieux de culture différents (PDA et milieu S de Messiaen et Lafon), à l'aide d'une pipette Pasteur de verre stérile.

Les boîtes ensemencées sont incubées à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ pendant 3 à 7 jours et une photopériode de 12h jusqu'au début d'apparition des champignons. Le dénombrement des champignons est effectué sur plusieurs observations.

3.3. Echantillonnage pour la macrofaune du sol

Pour l'étude de la macrofaune du sol, dans chaque site, sept échantillons de sol sous forme de monolithe de terre de $0.5 \times 0.5 \times 0.3$ m de dimension sont prélevés à cinq mètres d'intervalle les uns des autres le long d'une ligne diagonale dont la direction a été choisie au hasard (figure 12). Une bêche a été utilisée pour faciliter le travail ; un tri manuel a été réalisé sur le volume de chaque blocs de sol. Nous avons collecté tous les invertébrés visibles à l'œil nu puis on les a conservés dans une solution de formole de 4%. Puis ces invertébrés sont nettoyés et identifiés et classés en unités taxonomiques (ordre) au laboratoire.

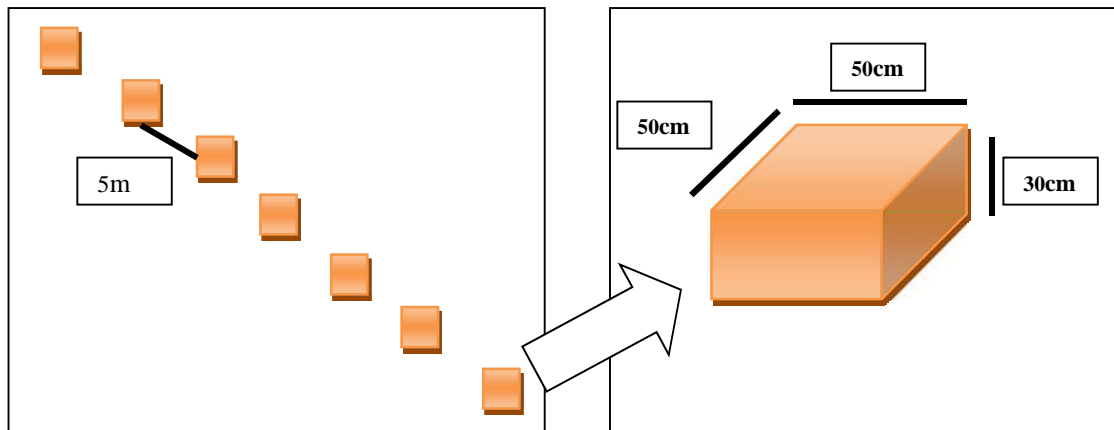


Figure 12. Méthode d'échantillonnage des invertébrés du sol

3.4. Prélèvements pour caractérisation des eaux d'irrigation

A fin d'étudier la qualité des eaux d'irrigation, nous avons réalisé un échantillonnage pour une simple caractérisation. Trois échantillons sont prélevés de chaque type d'eau (les eaux usées traitées déversées dans l'oued et les eaux de forage) dans des bouteilles en polyéthylène. Tous les paramètres sont analysés au niveau du laboratoire. Il s'agit de pH, CE, Cl, Mg et Ca, avec les mêmes protocoles cités pour les analyses chimiques de sol.

Partie III :
Résultats et discussion

I. Etude de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation

Le pH des deux types d'eau ne présente pas des différences marquées, avec une légère augmentation pour les eaux de forage, il reste dans les normes de L'OMS réservées pour les eaux potables qui indiquent une plage de variation de 6,5 à 8,5 (OMS, 2003). Pour les eaux usées traitées déversées dans l'oued les valeurs de pH varient entre 7,22 et 7,43. Et pour l'eau de forage les valeurs de pH varient entre 7,4 et 7,6 (figure 13).

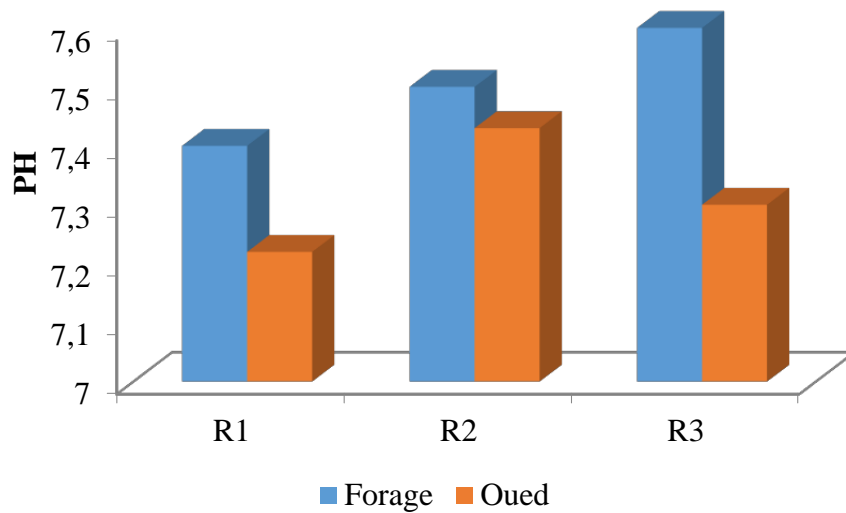


Figure 13. Histogrammes de variation de pH des eaux d'irrigation

La conductivité électrique (CE) nous indique sur la salinité du milieu. Généralement les valeurs de la CE sont plus élevées pour les eaux de forage que les eaux traitées. La conductivité électrique varie entre 0,95 et 0,99 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour l'eau traitée. Alors que pour les eaux de forage, une même valeur de 1,8 $\mu\text{s}/\text{cm}$ est enregistrée pour les trois répétitions (figure 14)

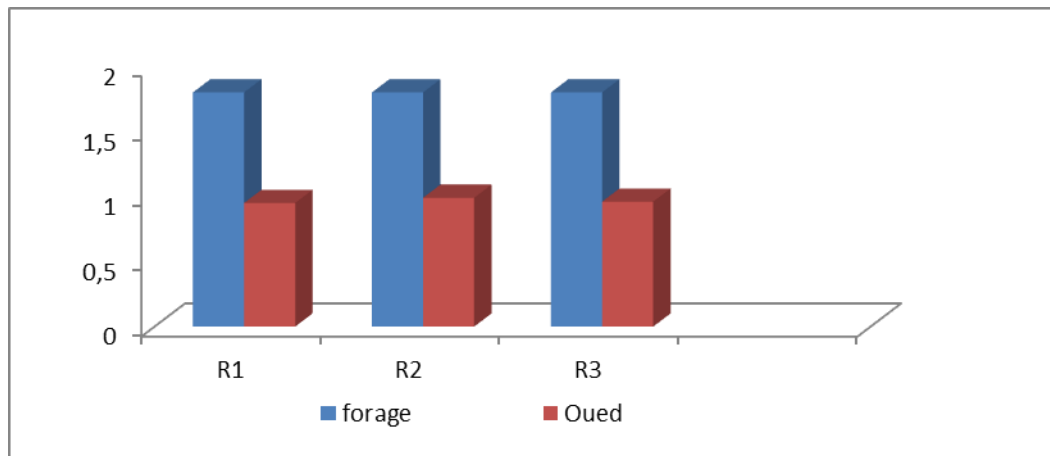


Figure 14. Histogrammes de variation de la CE des eaux d'irrigation

Pour le **magnésium**, les teneurs varient entre 53,46 mg/l et 58,32 mg/l pour l'eau de Forage, tandis que pour l'eau traitée déversée dans l'oued la plage de variation est un peu plus grande par rapport à l'eau de forage, les teneurs en Mg varient entre 48,6 mg/l et 63,18 mg/l. Ces résultats dépassent la norme de l'OMS (2003) qui est 50 mg/l (figure 15).

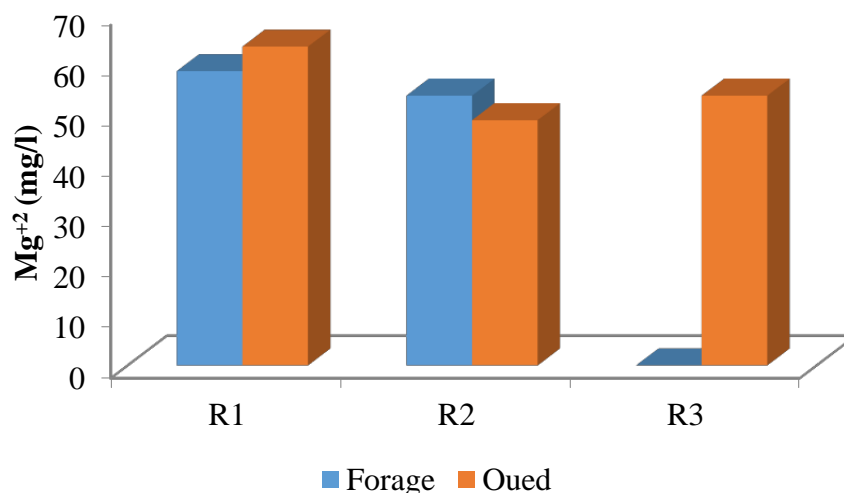


Figure 15. Histogrammes de variation de Magnésium des deux types d'eaux d'irrigation

Pour le **calcium**, les valeurs varient entre 224,448 mg/l et 256,512 mg/l pour le site II, alors que pour le site I malheureusement on n'a pas pu obtenir des résultats d'analyse. Ces

concentrations dépassent largement la valeur limite fixée par l’OMS (70 mg/l) pour les eaux potables (OMS, 2003) (figure 16).

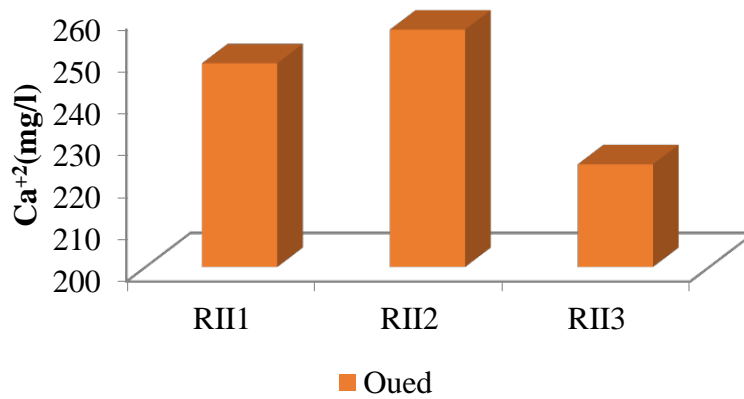


Figure 16. Histogrammes de variation de Calcium des eaux d’irrigation

Selon **Rodier (1996)**, les teneurs en **Chlorures** (Cl) des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Pour nos échantillons les teneurs en **Cl** varient entre 315.84 mg/l et 428.64 mg/l pour l’eau de forage. Ces concentrations dépassent la norme de l’OMS fixée à 250 mg/l (OMS, 2003). Alors que pour les eaux traitées déversées au niveau d’oued, les valeurs sont moins faibles et varient entre 191.76 mg/l et 203.04 mg/l. (figure 17).

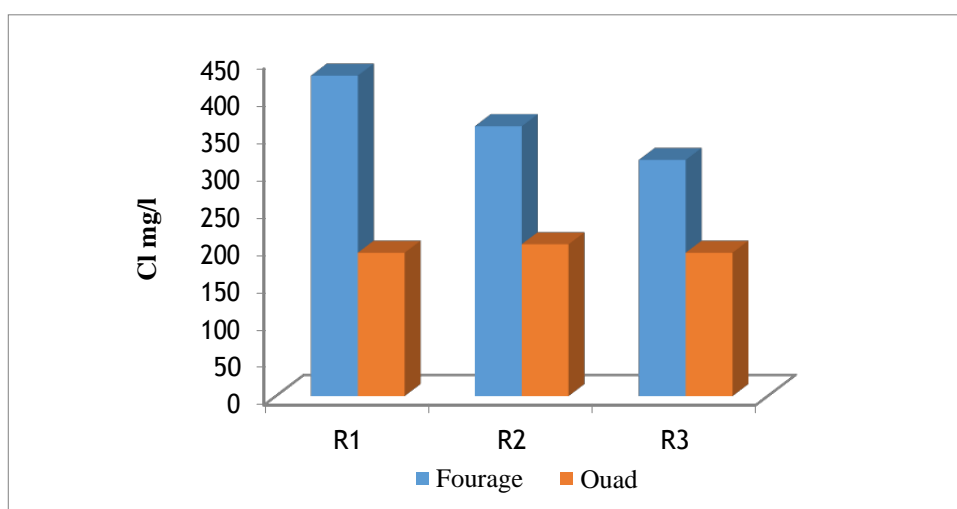


Figure 17. Histogrammes de variation des chlorures des eaux d’irrigation

I. Etude de la qualité des sols

II. 1. Les propriétés chimiques du sol

Le pH du sol est une expression synthétique des conditions physicochimiques qui président en partie à la structuration du sol, à l'activité microbienne et à la disponibilité des éléments nutritifs (Genot et al., 2007).

Les résultats des analyses du sol montrent que les valeurs de pH dans le site des sols irrigués à l'eau usée traitée (Site I) oscillent entre un minimum de 7.48 (Site I.3) et un maximum de 8.04 (Site I.1), ce qui signifie que le pH des échantillons des sols analysés pour ce site est légèrement alcalin à alcalin (figure 18) Généralement la valeur moyenne des pH de la première couche (0-15cm) est légèrement plus élevée que celle de la deuxième couche (15-30 cm) où nous avons enregistré respectivement 7.7 et 7.63.

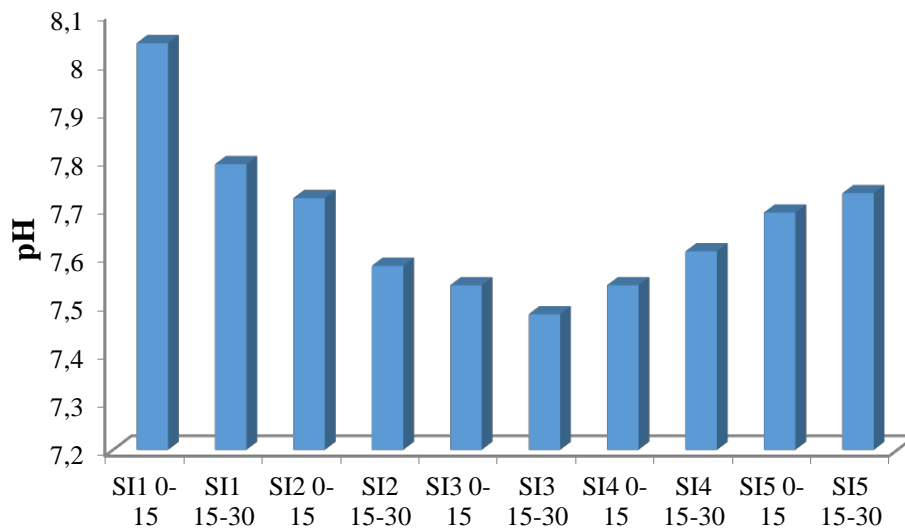


Figure 18. Histogrammes de Variation de pH des sols irrigués à l'eau traitée (site I)

Les résultats de mesure de pH pour le deuxième site sont figurés sur la figure 19. Cette dernière fait déceler que les valeurs de pH varient entre 7.48 et 7.74. Une valeur moyenne de pH égale à 7.64 est enregistrée pour les deux couches.

Donc on comparant les valeurs de pH des deux sites nous remarquons que les valeurs de pH sont plus élevées pour les échantillons de sol irrigué à l'eau usée.

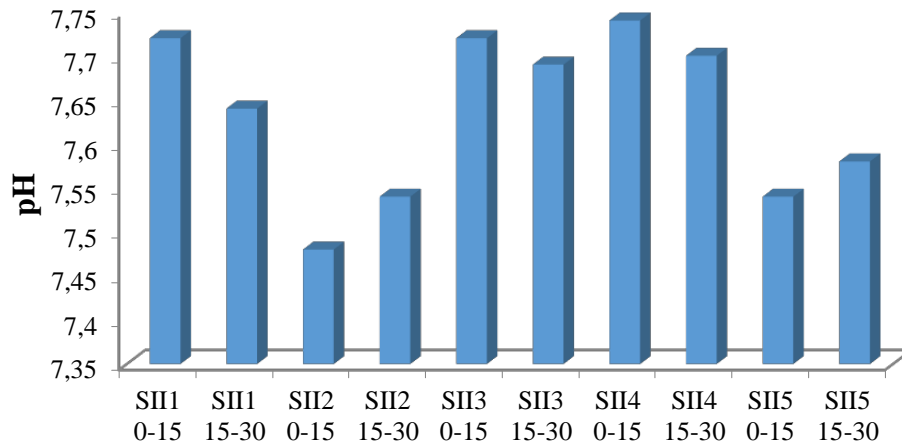


Figure 19. Histogrammes de Variation de pH des sols irrigués à l'eau de forage (site II)

La conductivité électrique (CE) permet d'obtenir une estimation de la teneur globale en sels dissous, elle ne s'applique qu'aux terres salées et aux terres à taux de fertilisation très élevé. De plus, elle est nécessaire pour l'étude du complexe adsorbant des sols salés (Aubert, 1978).

Les résultats obtenus pour les échantillons de sol du premier site (figure 20) montrent que le sol de ce site est classé dans les trois classes de la salinité des sols (tableau 3) classe I, classe II et classe III, où les valeurs de la CE varient entre 0,14ms/cm et 1,26 ms/cm. Généralement la conductivité électrique est plus faible pour la première couche superficielle est cela est peut être du à la période de prélèvement des échantillons (période de lixiviation).

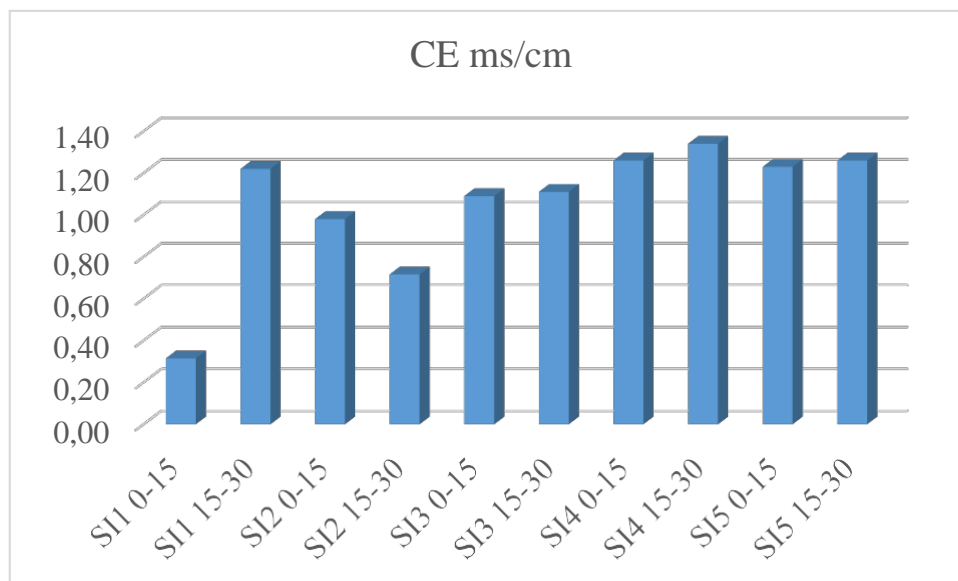


Figure 20. Histogrammes de Variation de la CE des sols irrigués à l'eau traitée (site I)

Pour le deuxième site, les résultats présentés sur la figure 21, nous montrent une plage de variation un peu plus grande que celle du premier site où les valeurs de la CE oscillent entre 0,71ms/cm et 2,18ms/cm.

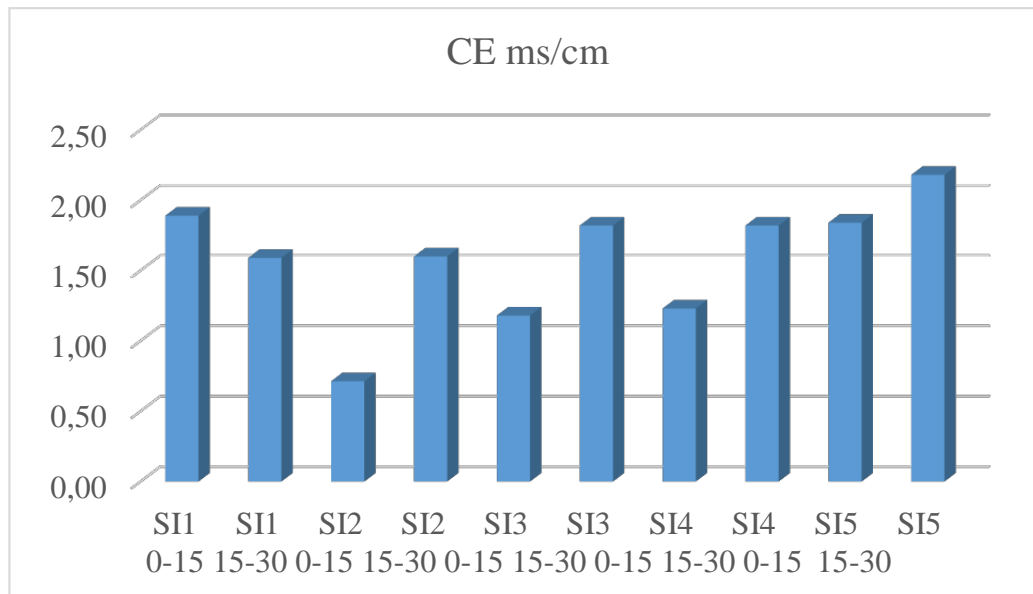


Figure 21. Histogrammes de Variation de la CE des sols irrigués à l'eau de forage (site II)

Tableau 3. Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand (1983).

Classe	CE en $\mu\text{s/cm}$ à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

Les chlorures sont des sels minéraux dont la concentration dans les milieux est en relation avec la salinité.

Les résultats des analyses des échantillons du sol montrent que les valeurs de Cl dans le Site I oscillent entre un minimum de 4.512 meq/100g (au niveau de SI.1) et un maximum de 12.40 meq/100g (au niveau des site I.5) (figure 22).

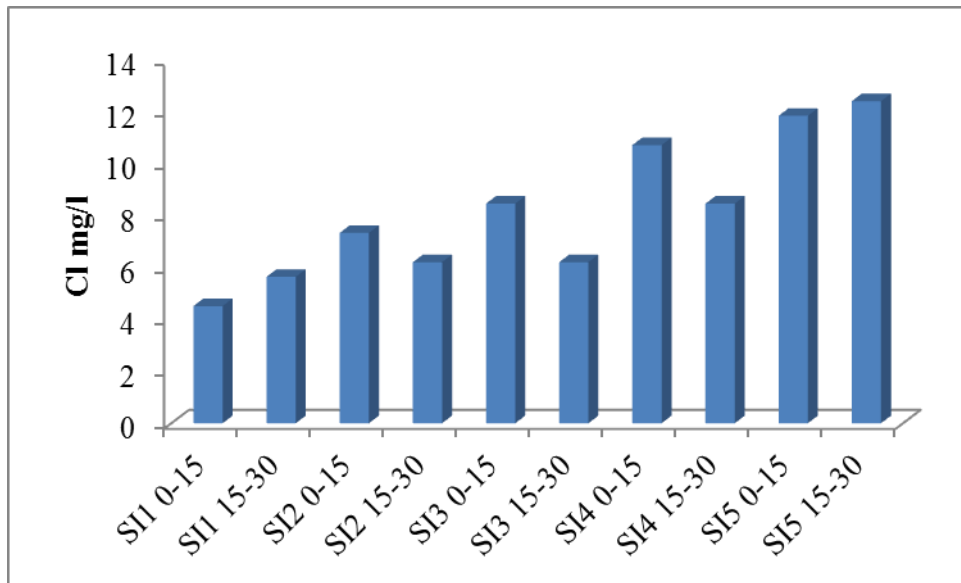


Figure 22. Histogrammes de Variation des chlorures dans les sols irrigués à l’eau traitée (site.I)

Concernant le deuxième site, les résultats d’analyses des échantillons de sol montrent que les valeurs de Cl oscillent entre un minimum de 5.64 meq/100g (au niveau de Site II.2) et un maximum de 21.996 meq/100g (au niveau de site II.5). Généralement les concentrations en Cl de la couche de la profondeur sont supérieures à ceux de la couche de surface, sauf pour le SI1, où nous avons enregistré le contraire (figure 23).

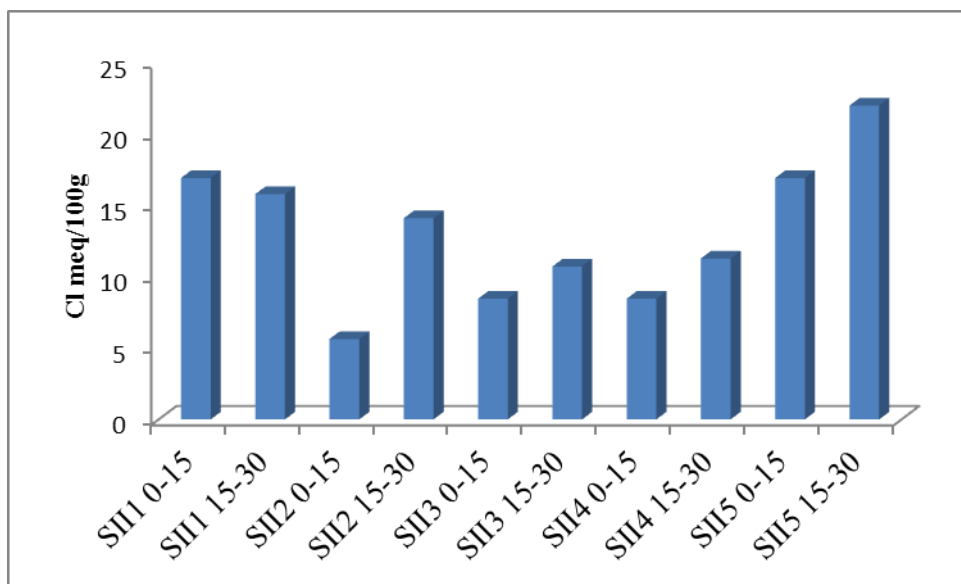


Figure 23. Histogrammes de Variation des chlorures dans les sols irrigués à l’eau de forage (site II)

Les **concentrations des sulfates (SO₄)** dans le premier site sont très proches les uns des autres avec des valeurs qui ne dépassent pas 0.002 mg/l. A noter que quatre échantillons ont une valeur de zéro mg/l. Cela est peut-être dû à la faible salinité enregistrée surtout pour le SI.1 et le SI.4 (figure 24).

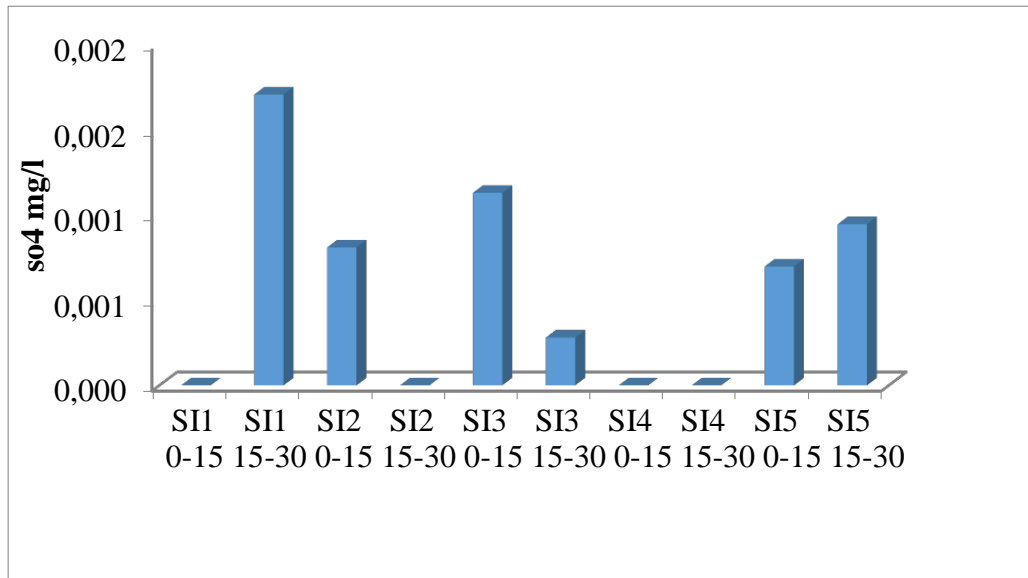


Figure 24. Histogrammes de Variation des sulfates dans les sols irrigués à l'eau traitée (site I)

Au niveau du deuxième site, les concentrations des SO₄ variées entre 0.003 mg/l et 0.013 mg/l (figure 25).

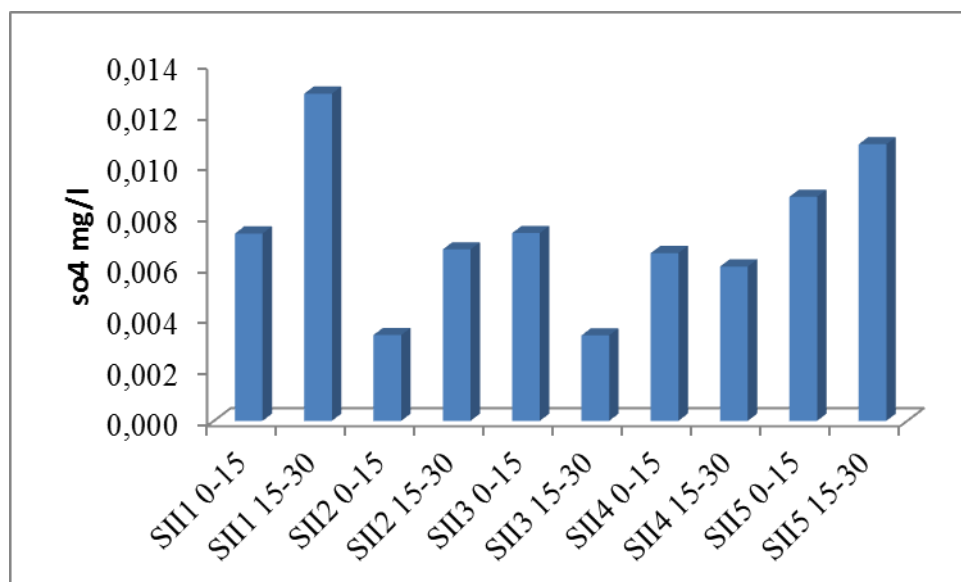


Figure 25. Histogrammes de Variation des sulfates dans les sols irrigués à l'eau de forage (site II)

Pour le calcium, les résultats d'analyses du sol pour le **premier site** montrent que les valeurs de Ca^{++} dans ce site oscillent entre un minimum de 160.32 mg/l (au niveau de Site I.1) et un maximum de 681.36 mg/l (au niveau de site I.3) (figure 26).

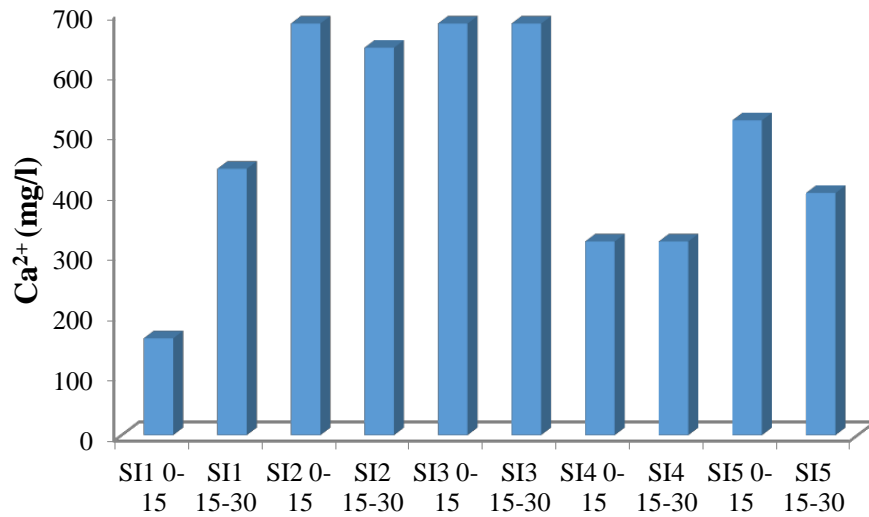


Figure 26. Histogrammes de Variation de Ca dans les sols irrigués à l'eau traitée (site I)

Les résultats d'analyses des échantillons du sol montrent que les valeurs de Calcium dans le Site II oscillent entre un minimum de 120.24 mg/l (au niveau de Site II.1) et un maximum de 280.56 mg/l (au niveau de site II. 5) (figure 27).

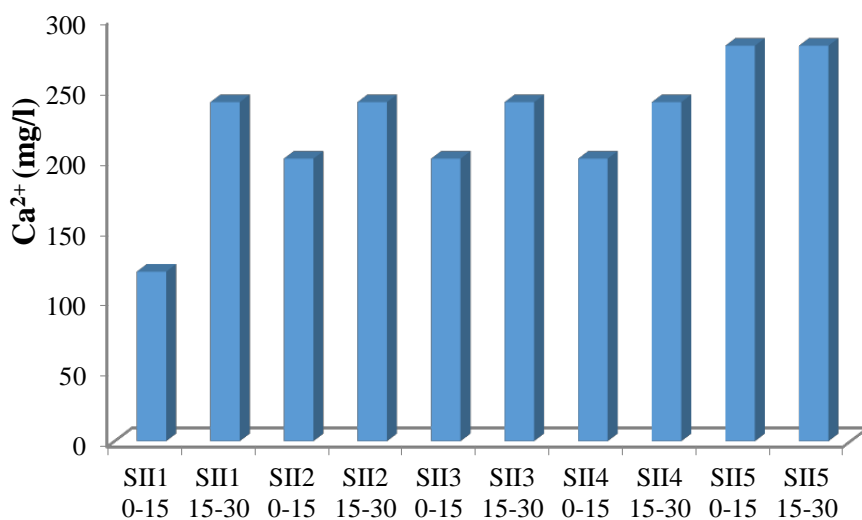


Figure 27. Histogrammes de Variation de Ca dans les sols irrigués à l'eau de forage (site II)

En comparant les valeurs de Ca des échantillons de sol des deux sites, il est bien clair que le premier site est plus riche en calcium que le deuxième.

Pour le magnésium qui est un paramètre lié au calcium, les résultats d'analyses des échantillons de sol montrent que les valeurs de Mg^{+2} dans le Site I oscillent entre un minimum de 48.6 mg/l (au niveau des Sites I.2, I.3 et I.4) et un maximum de 97.2 mg/l (au niveau des site I.5) (figure 28).

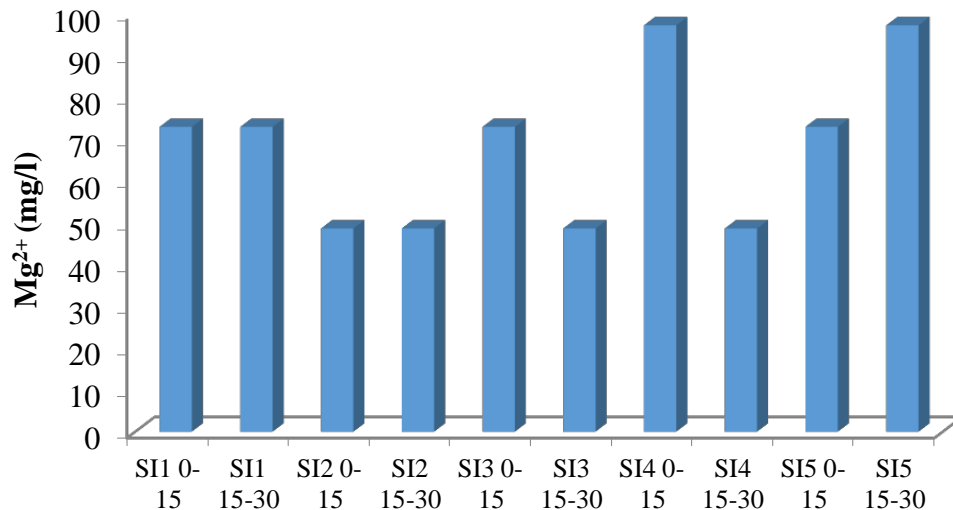


Figure 28. Histogrammes de Variation de Mg dans les sols irrigués à l'eau traitée (site I)

Les résultats d'analyses des échantillons de sol montrent que pour le Site II, les valeurs de Mg^{+2} oscillent entre un minimum de 24.3 mg/l (au niveau de Site II.3) et un maximum de 194.4 mg/l (u niveau de site II.5) (figure 29.).

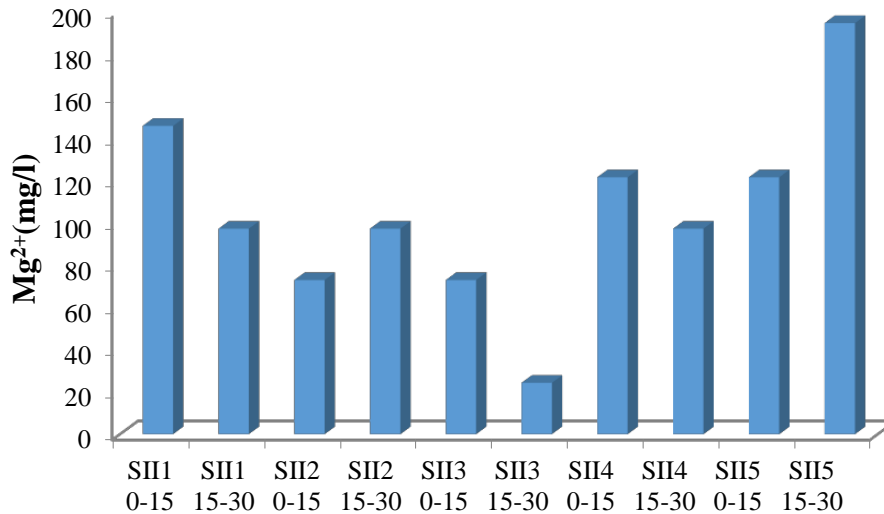


Figure 29. Histogrammes de Variation de Mg dans les sols irrigués à l'eau de forage (site II)

Le **carbone organique** du sol est l'attribut de sol le plus régulièrement rapporté par des études à long terme et est un indicateur clé de la qualité du sol, étant inextricablement lié à d'autres indicateurs physiques, chimiques et biologiques de la qualité des sols (Reeves, 1997).

Les résultats des analyses des échantillons de sol du site I, montrent que les teneurs de la matière organique (MO) dans ce site varient entre un minimum de 8.94 % (I.1) et un maximum de 17.89 % (II.5). Ces valeurs indiquent que le sol de ce site est très riche en matière organique (tableau 4). Généralement la teneur en MO est plus élevée en profondeur, sauf pour le SI.3 (figure 30).

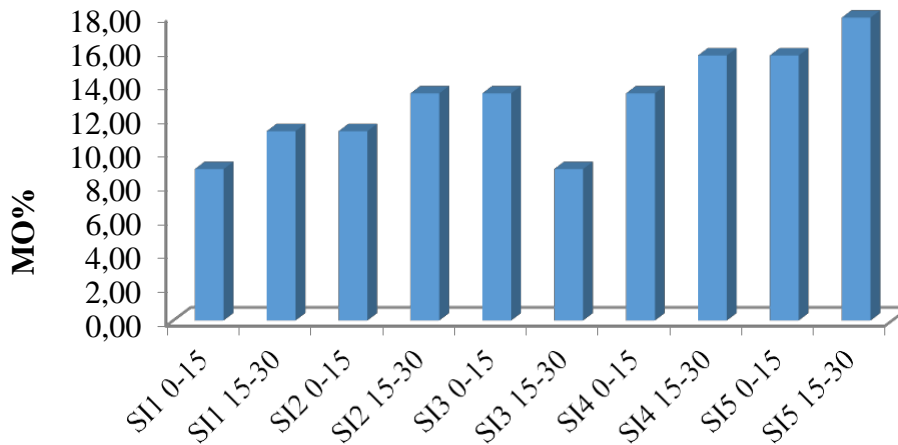


Figure 30. Histogrammes de variation de la MO dans les sols irrigués à l'eau de forage (site.II)

Concernant le site II, les résultats présentés sur la figure (31), nous indiquent que les teneurs en MO varient entre 8.94% et 20.12%. En se référant au tableau (5) les échantillons de sol de ce site sont classés comme très riche en MO.

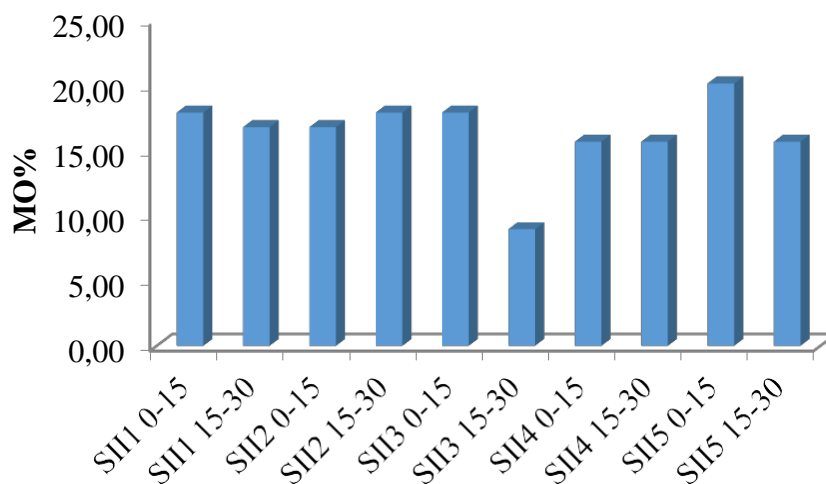


Figure 31. Histogrammes de Variation de la MO dans les sols irrigués à l'eau de forage (site II)

Tableau 4 : seuils de déférentes concentrations en MO selon le programme d'interprétation LANO/CA de base Normandie

TENEUR EN MO	INTERPRETATION	
MO < 14 ‰	Sol très pauvre en matière organique	
14 ‰ ≤ MO < 20 ‰	Sol pauvre en matière organique	
20 ‰ ≤ MO < 30 ‰	Argile < 22%	Sol bien pourvu en matière organique
	22% < ARG.<30% (Ou teneur en argile inconnue)	Sol moyennement pourvu en matière organique
	Argile > 30%	Sol pauvre en matière organique
30 ‰ ≤ MO < 40 ‰	Sol bien pourvu en matière organique	
MO ≥ 40 ‰	Teneur élevée en matière organique	

(Source : programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie)

Le calcaire total est un élément omniprésent avec des pourcentages élevés dans les sols des zones semi-arides de l'est Algérien.

Les résultats de la mesure du calcaire total (CaCO_3) du sol montrent que dans le Site I les valeurs oscillent entre 32.37 % (I.1, I.2, I.3 et I.4) et 35.45 % (I.5) (figure 32).

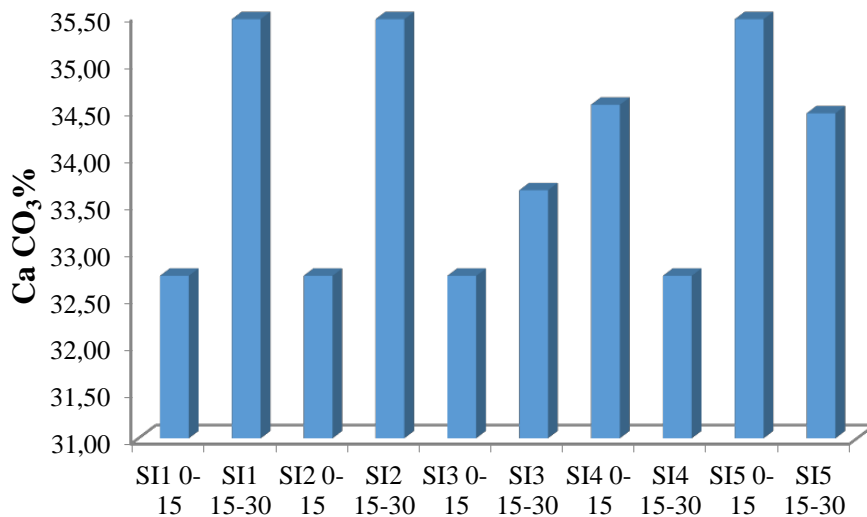


Figure 32. Histogrammes de Variation du CaCO_3 dans les sols irrigués à l'eau traitée (site I)

Alors que pour le site II, les pourcentages du CaCO_3 varient entre 23.73% (II.5) et 49.06% (II.1) (figure 33).

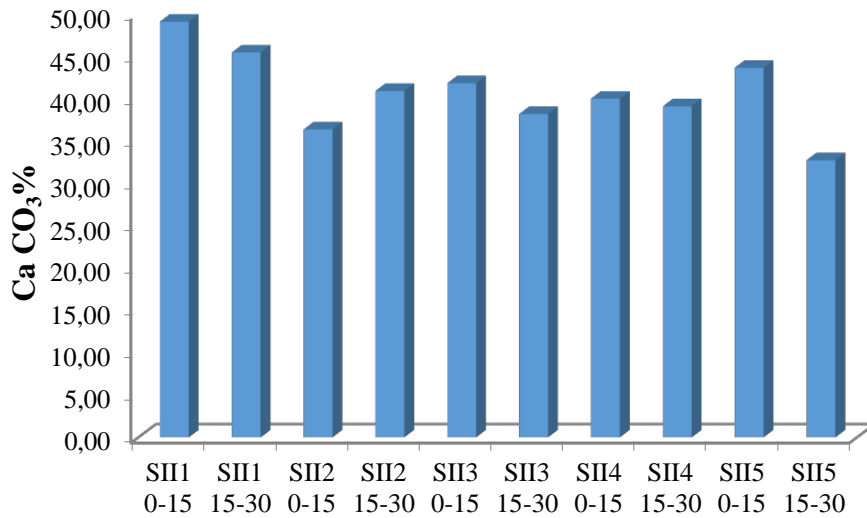


Figure 33. Histogrammes de Variation du CaCO₃ dans les sols irrigués à l'eau de forage (site II)

II. 2. Les propriétés physiques et la teneur en eau

La teneur en eau c'est le pourcentage d'eau dans le sol. Les valeurs ont été mesurées pour les couches supérieures.

valeurs de la teneur en eau varient entre 10.18% et 2.8% pour le premier site (figure 34 à gauche) et entre 4.5% et 3.41% pour le deuxième site (figure 34 à droite).

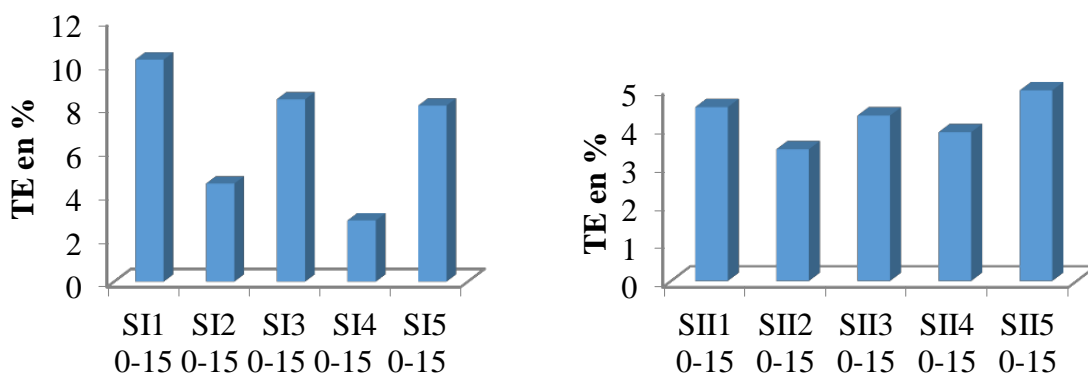


Figure 34. Histogrammes de Variation de la teneur en eau dans les sols irrigués à l'eau traitée et à l'eau de forage (site I à gauche et site II à droite).

Pour la densité apparente qui est un paramètre physique très important qui nous indique sur la porosité du sol. Les valeurs varient entre 1.04 g/cm^3 et 1.12 g/cm^3 pour le premier site (figure 35) et entre 0.74 g/cm^3 et 1.15 g/cm^3 pour le deuxième site (figure 35).

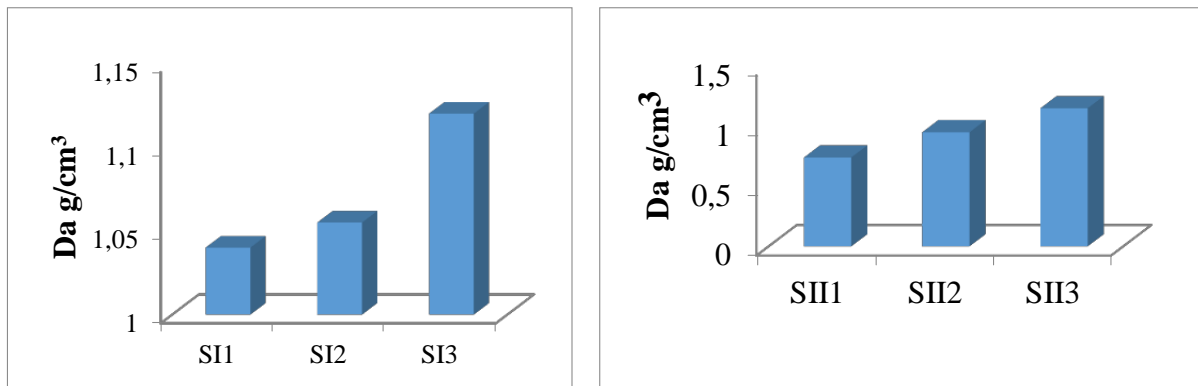


Figure 35. Histogrammes de Variation de la Da dans les sols irrigués à l'eau traitée et à l'eau de forage (site I à gauche et site II à droite).

II. 3. Les propriétés biologiques II.

3. 1. La faune du sol

La faune du sol est constituée par des individus dont la plupart sont très petits et encore très mal connus.

Dans cette partie nous allons présenter les résultats de toute la faune collectée, durant notre étude, avec le protocole suivi.

Chaque bloc de sol trié, nous a fournis des données chiffrées de populations (tableau 6) où nous avons inventorié pour le premier site un total de 80 individus. Alors que pour le deuxième site un total de 126 individus a été dénombré.

Pour les placettes du premier site nous avons dénombré un total de **80** individus de faune de sol appartenant à cinq classes (arachnida, crustacea, Insecta et myriapoda, Clitellata et Gastéropoda) et sept ordres (tableau 7), dont la classe insecta domine largement en nombre d'ordre de trois,

Au niveau de la parcelle du site II, nous avons recensé **126** individus (tableau 7). Ils sont répartis en six classes (**Arachnida, Insecta, Myriapoda, Crustacea, Clitellata et Gastéropoda**) et neuf ordres (tableau 8). Même pour ce site la classe des insecta domine avec quatre ordres, alors que les autres classes sont représentées par un seul ordre.

A noter que pour chaque site un individu est non identifié, il est indiqué par le terme inconnu sur les deux tableaux.

Tableau 5. Biodiversité de la faune du sol dans le premier site

Embranchement	Sous Embranchement	Classe	Ordre	Site I							
				1	2	3	4	5	6	7	
Arthropoda	Chelicerata	Arachnida	Araneae	01	02	01	02		01		
	Mandibulata	Crustacea	Isopoda	02				01		03	
		Insecta	Coleoptera		04	03	07	04	01	04	08
			Hymenoptera			05			02	02	17
			dermoptera		01	02		02		03	01
Annelida		Clitellata	Haplotaxida								
			Sous ordre	Tubificina		01	01				01
				Lumbricina	01	01		14	01	01	
mollusca		Gastéropoda	Archaeogastropoda	03	01			04	01		
Inconnu									01		
Total				12	15	09	22	09	13		
				80							

Tableau 6. Biodiversité de la faune du sol dans le deuxième site

Embranchement	Sous Embranchement	Classe	Ordre	Site II								
				1	2	3	4	5	6	7		
Arthropoda	Chelicerata	Arachnida	Araneae		01	01						
	Mandibulata	Crustacea	Isopoda				01	01	03			
		Insecta	Coleoptera		05		01	02		06	01	
			Hymenoptera			06	02					03
			dermoptèra				01					
			Orthoptera								01	
Myriapoda	Diplopoda		02		02		01	03				
Annélida		Clitellata	Haplotaxida : sous ordre Lumbricina	06	08	05	07	03	14			
Mollusca		Gastéropoda	Archaeogastropoda	07	05	03	10	05	06	03		
Inconnu						01						
Total				20	20	16	20	10	33	07		
				126								

II. 3. 2. La mycologie de sol

Plusieurs genres sont identifiés au cours de l'analyse microbienne, soit un total de 7 genres de champignons sont répertoriés sur l'ensemble des deux sites de prélèvement (*Fusarium*, *Pythium*, *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*), (tableau 7).

Les deux sites ont présenté le même nombre de genre et de diversité fongique soit 5 genres notés dans le SI et 5 genres dans le SII (mais il s'agit pas des mêmes genres). Les trois genres *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizopus* sont identifiés dans les deux sites, alors que *Pythium* et *Trichoderma* sont identifiés dans le site I seulement et *Cladosporium* et *Aspergillus* dans le Site II seulement.

L'analyse de la mycoflore a révélé une petite différence entre les espèces isolées. Cela peut être expliqué par plusieurs facteurs dont le couvert végétal, la nature d'eau d'irrigation, les pratiques agricoles ...

La somme des deux répétitions R1 et R2 du genre Fusarium est le plus dominant et diversifié au niveau du site I, avec 19 colonies dénombrées pour la première dilution 7colonies pour la deuxième dilution et 4 colonies pour la troisième dilution. Le genre Trichoderma est le moins identifié de la gamme, nous avons noté seulement une seule colonie au niveau du site1 (tableau 7).

Tableau 7. Inventaire des genres identifiés par site selon les trois dilutions testées

Site	Dilution					
	10 ⁻¹		10 ⁻²		10 ⁻³	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
SI	10 fusarium	1 rhizopus	3 pénicillium	1 trichoderma	1 fusarium	3 fusarium
	5 Pythium	9 fusarium	2 fusarium	5 fusarium	2 rhizopus	1 pénicillium
		2 pénicillium	1 rhizopus	1 rhizopus	2 pythium	1 rhizopus
SII	4 pénicillium	5 pénicillium	3 rhizopus			
	2 fusarium	1 rhizopus	1 aspergillus	3 fusarium	2 clodosporium	1 clodosporium
	1 rhizopus	4 fusarium	1 fusarium	2 rhizopus		2 rhizopus
	3 aspergillus	4 aspergillus	1 pénicillium			

Pour le site I, le genre Fusarium présente le pourcentage le plus élevé par rapport aux autres genres avec un pourcentage de 60%. (tableau 8) comparativement au, alors que le genre Pénicillium présente le pourcentage le plus élevé 26.31% pour le site II (figure 36).

Tableau 8. Pourcentage des genres identifiés dans les deux sites.

Genre	Pourcentage (%) SI	Pourcentage (%) SII
Fusarium	60%	21,05%
Pythium	14%	00%
Pénicillium	16%	26,31%
Rhizopus	12%	23,68%
Trichoderma	2%	00%
Aspergillus	00%	21,05%
Clodosporium	00%	7,89%

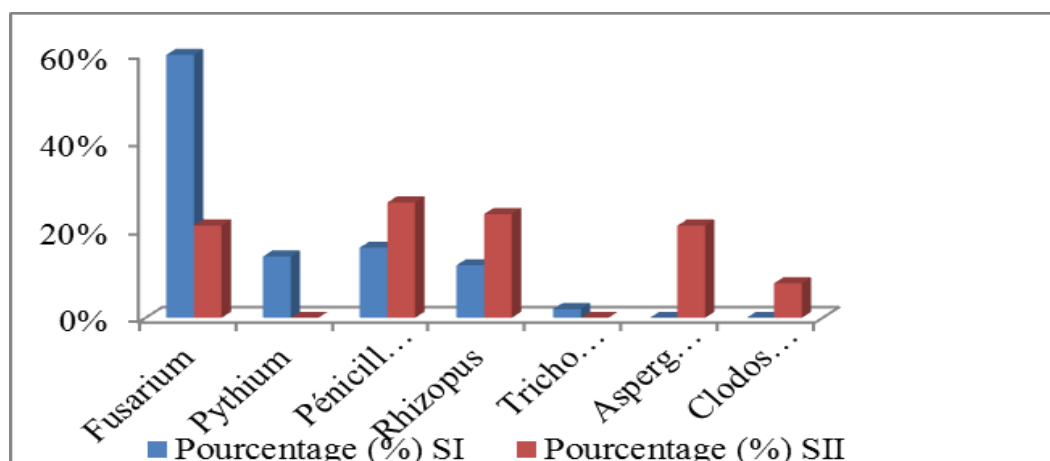


Figure 36. Pourcentages des genres identifiés sur les deux sites.

Le genre **Fusarium** est présent au niveau de toutes les dilutions et dans les deux sites analysés à un pourcentage dominant de 60% pour le SI et de 21.05% pour le SII sur la totalité des champignons identifiés (tableau 8).

Ce champignon est un ascomycète caractérisé par un mycélium plus ou moins aérien blanchâtre-rosâtre rarement crème et cotonneux (figure 37). Sous microscope les espèces de *Fusarium* observées se différencient essentiellement selon la forme de leurs macroconidies. Ce caractère est complété par la présence ou l'absence de chlamydozoospores ainsi que par la présence, l'absence ou la forme des microconidies (figure 37. C2).

Les macroconidies (figure 37-A2) sont des spores pluricellulaires fusiformes plus ou moins courbées. La cellule apicale est plus ou moins crochue et la cellule basale est pédicellée. Elles peuvent être absentes et dans ce cas on risque de confondre le genre *Fusarium* avec le genre *Acremonium*.

Certaines espèces n'en produisent jamais de chlamydozoospores ces dernières peuvent être terminales, ou intercalaires, isolées ou en groupes ou en chaînes (figure 37.B2). Les phialides sont portées par l'extrémité du conidiophore ; elles sont étroites plus ou moins effilées.

Les résultats de l'identification correspondent à ceux décrits par **Leslie et Summerell (2006)**.

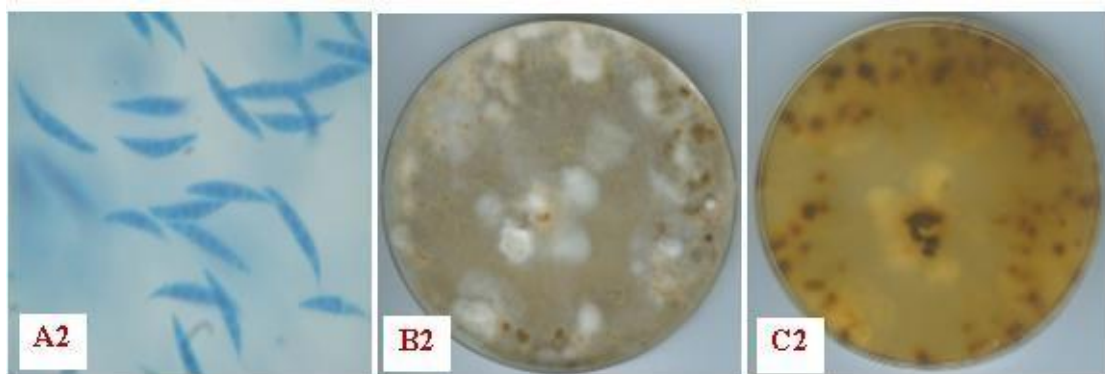


Figure 37. Aspect culturale (B) et microscopique (A et C) de *Fusarium sp.1* : (B) chlamydozoospore et (C) macroconidies (G \times 40)

Le genre **Penicillium** est présent dans la majorité des dilutions et dans les deux sites à un pourcentage dominant de 26,31% sur la totalité des champignons identifiés sur le site II (tableau 8).

Ce champignon est un champignon imparfait (Deutéromycètes), il appartient à l'embranchement des Ascomycota. L'aspect culturel est de type moisissures, le mycélium peut avoir une multitude de couleurs (figure 38) allant du vert, bleu au blanc. L'observation microscopique révèle la présence de conidiophores dressés, plus ou moins ramifiés, terminés des phialides (figure 38). Les phialides sont disposées en verticilles à l'extrémité des conidiophores. Les phialides sont serrées les unes contre les autres, l'ensemble donne une image de pinceau (ou pénicille). Les conidies produites en grand nombre par les phialides restent en chaîne et contribuent à donner à la tête conidienne un aspect en pinceau. Les pinceaux peuvent être monoverticillé, biverticillé, terverticillé ou tetraverticillé.

Les caractéristiques observées concordent avec ceux décrits par **Visagie et al. (2014)**.

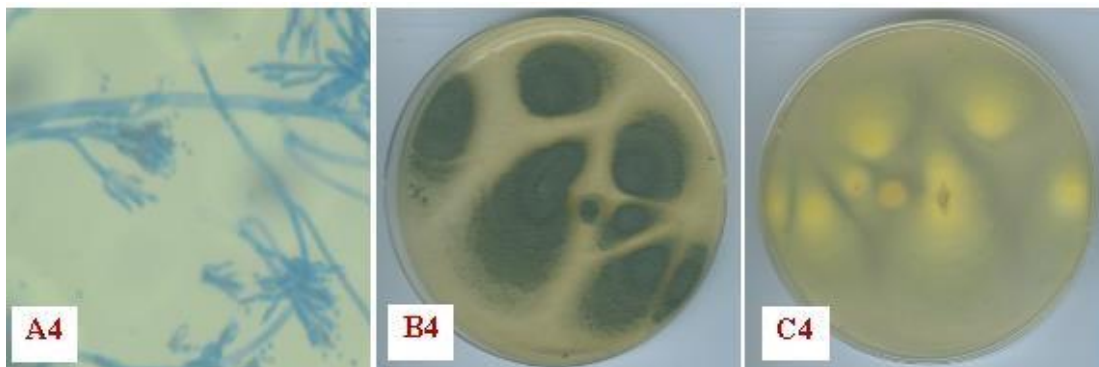


Figure 38. Aspect culturelle (B) et microscopique (A et C) de genre *penicillium*

Le genre **Rhizopus** est plus identifié au niveau des faibles dilutions (10^{-1}). Ce genre est présent au niveau de deux sites à un pourcentage de 12% pour le SI 23,68% pour le SII sur la totalité des champignons dénombrés (tableau 8). Il est caractérisé par un mycélium blanchâtre dense et caractérisé par la présence de stolons, hyphes aériens grâce auxquelles le champignon se dissémine (figure 39). Sous microscope des mycéliums siphonnés (sans cloison) sont observés avec la présence de sporocyste avec, dans le prolongement de l'axe du sporocystophore, une formation globuleuse, appelée columelle et la formation d'appendices en forme de racines, nommés rhizoïdes.

Les caractéristiques observées correspondent à ceux décrit par **Demirag et al. (2000)**.

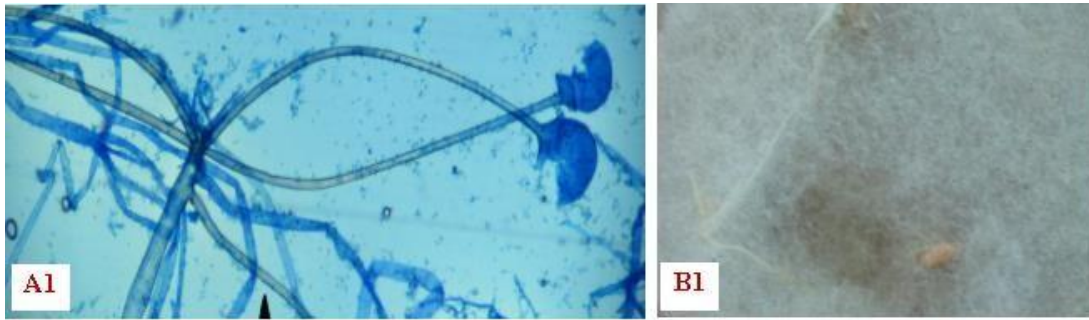


Figure 39. Aspect culturelle (B) et microscopique (A) de genre *Rhizopus*

Le genre **Aspergillus** est présent au niveau du site II pour la dilution (10^{-1}) avec un pourcentage de 21.05 % sur la totalité des champignons identifiés, soit le deuxième après le *Penicillium* pour ce site (tableau 8).

Les aspergillus sont des champignons imparfaits (Deutéromycètes), classe des Ascomycètes. L'aspect culturel est de type moisissure dont la colonie se présente sous forme duveteuse de divers couleurs en générale au début de la culture le mycélium est blanchâtre et prend en produisant des spores une couleur verdâtre, jaunâtre ou marron.

L'observation sous microscope révèle la présence de conidiophores dressés, terminés par une vésicule supportant, soit une seule rangée de phialides (structure unisériée), soit une rangée de phialides et une rangée de cellules sous-jacentes appelées métules (structure bisériée) (figure 40).

Les conidies produites en grand nombre par les phialides donnent, à la tête conidienne, un aspect radié si les stérigmates couvrent l'ensemble de la vésicule, ou une apparence en colonne si seule la partie supérieure de celle-ci est fertile.

Les résultats obtenus correspondent aux caractéristiques décrits par **Silva et al. (2011)**.

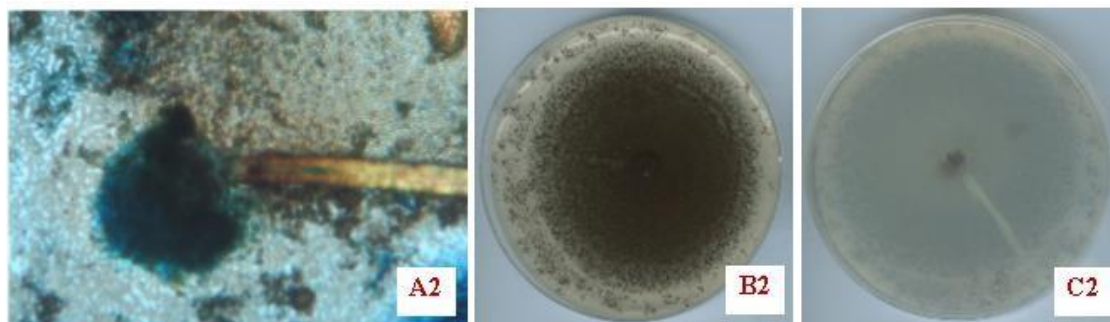


Figure 40. Aspect culturelle (B) et microscopique (A et C) de genre *Aspergillus*

Le genre **Phytium** est présent uniquement au niveau du site 1 à la dilution (10^{-1}) et (10^{-3}) avec un taux de 14% sur la totalité des champignons comptés (tableau 8).

Le *Pythium* est de la famille des Pythiacées. La culture est caractérisée par un mycélium de couleur blanche. Sous microscope les hyphes sont sans cloisons en présence de sporanges ronds (figure 41).

De Cock et Levesque (2004) ont décrit des caractéristiques similaires à ceux obtenu dans cette étude concernant ce champignon.

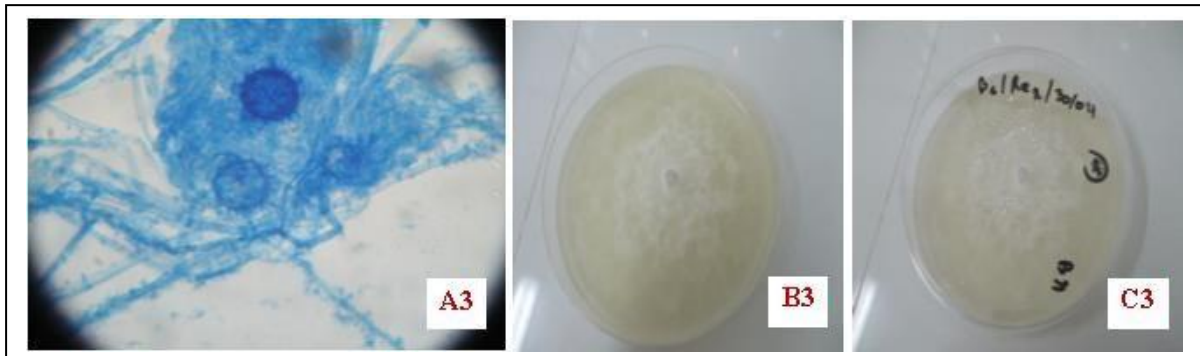


Figure 41. Aspect culturale (B) et microscopique (A et C) de genre *Phytium*.

Le genre *Clodosporium* est identifié que dans le site II avec un pourcentage de 7,89% sur la totalité des champignons comptés (tableau 8).

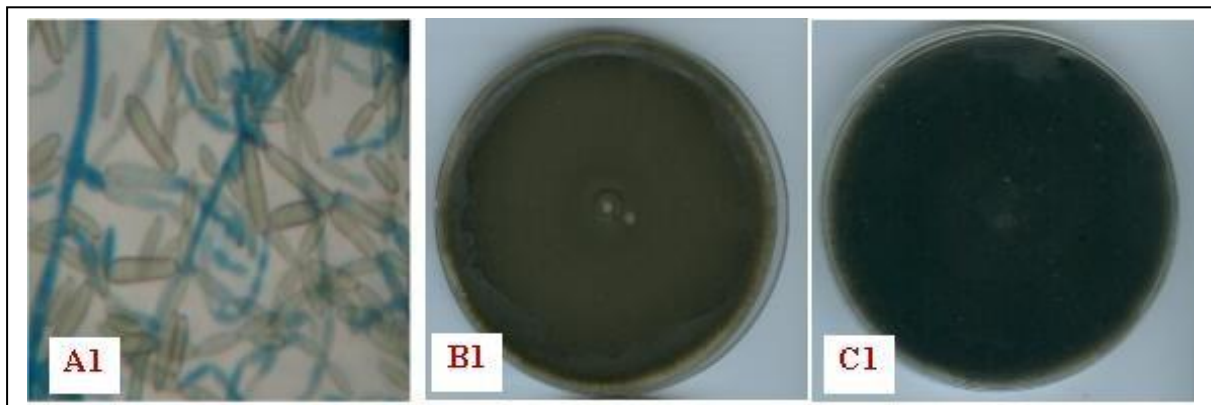


Figure 42. Aspect culturale (B) et microscopique (A et C) de genre *Clodosporium*.

Le genre *Trichoderma* est identifié que dans le site I, avec un pourcentage de 7,89% sur la totalité des champignons comptés (tableau 8).

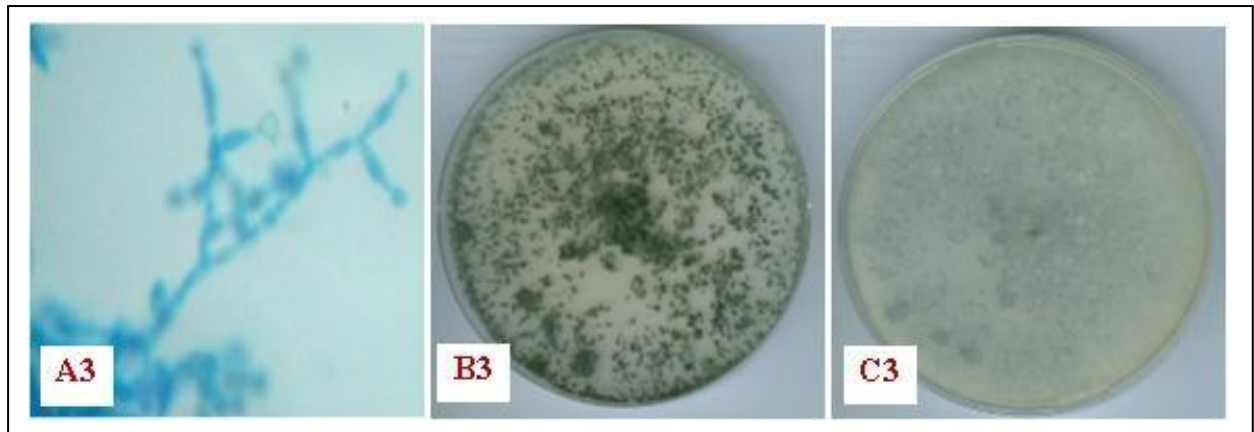


Figure 43. Aspect culturale (B) et microscopique (A et C) de genre *Trichoderma*.

Conclusion générale

Conclusion

L'évaluation de la qualité des sols est un suivi très important pour connaître nos sols et les protéger contre la dégradation, malgré qu'elle est considérée comme une tâche difficile à étudier à cause de la multitude des indicateurs à mesurer.

Dans notre modeste travail nous avons mesuré quelques indicateurs à savoir ; la densité apparente (indicateurs de la qualité physique), le pH, la CE, Cl, SO₄, Ca, Mg, MO (indicateurs de la qualité chimique) et l'abondance et la diversité de la faune et la diversité mycologique (indicateurs de la qualité biologique). Sur des sols irrigués avec deux types d'eau différente : une eau usée traitée rejetée par la station de traitement des eaux usées de la ville de Kais et une eau de forage. L'irrigation a été pratiquée sur ces sols depuis une année seulement.

Les sols sont situés à la commune de Kais / la plaine de Rmila considérée comme une zone agricole potentielle. Le climat est semi-aride.

Les résultats de l'analyse de l'eau ont montrés que l'eau traitée ne présente pas un caractère salin et elle est chargée en magnésium. Les résultats des analyses physicochimiques des sols ont montré que le sol du site irrigué à l'eau traitée à un caractère alcalin et ne présente pas une salinité élevée et le taux de MO est moins faible pour ce site par rapport au site irrigué avec l'eau de forage. Pour la l'abondance de la faune, nous avons dénombré 80 individus seulement pour le site irrigué à l'eau traitée avec cinq classes taxonomique et huit ordres dont la classe insecta domine largement avec trois ordres, contre 126 individus pour le site irrigué à l'eau de forage avec six classes et neuf ordres, même pour ce site la classe insecta est la plus représentée, mais cette fois avec quatre ordres. L'étude de la mycologie tellurique à montrée la présence du même nombre de genre dans les deux sites avec une variation dans les genres.

Nos résultats révèlent que l'impact de l'irrigation avec l'eau usée traitée à influencé beaucoup plus sur la diminution de l'abondance de la faune du sol, sur l'élévation de pH et sur la lixiviation des sels vers la profondeur et donc la diminution de la salinité des sols.

En principe nous ne pouvons pas donner un jugement final de l'impact des eaux traitées par la station de Kais sur la qualité des sols irrigués et cette étude doit être suivie pendant plusieurs années pour évaluer l'effet réel de ces eaux sur la qualité des sols de la région.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A :

- **Andren O., Balandreau J., 1998.** Biodiversité et fonctionnement du sol : où en sommes-nous aujourd'hui ? 16ème congrès mondial de science du sol, symposium 11, Montpellier, 20-26 Août 1998.
- **Anonyme, 2013.** Aspects environnementaux. Volume II : utilisation des eaux usées en agriculture, 26 pages.
- **Aouidane A., 2017.** Origines de la salinisation des eaux et des sols d'une zone à remila. Thèse Doctorat Université Mohamed Khider Biskra, 146 pages.
- **Arshad M.A., and Martin S. 2002.** Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88 (2002) 153–160
- **Aubert G., 1978.** Méthode d'analyses des sols, 191 pages.
- **Ayers RS et Westcot DW., 1976.** La qualité de l'eau en agriculture. *Bull. FAO N° 29* Rome 81 pages.

B :

- **Bélangier N., 2005.** Les sols et leur environnement. Texte gracieusement offert par : Terry Tollefson, Département des sciences du sol Université de la Saskatchewan.
- **Bispo A., Grand C. et Galsomies L., 2009.** Le programme ADEME "Bioindicateurs de qualité des sols" : Vers le développement et la validation d'indicateurs biologiques pour la protection des sols. *Étude et Gestion des Sols, Volume 16, 3/4, 2009 :145 - 158.*
- **Bouaroudj S., 2012.** Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation 3, 7 pages.
- **Bounezra K et Medjhed K, 2015.** Elimination des nitrates par charbon actif (CAP) dans les eaux de la plaine de remila (wilaya de khenchela). Mémoire. Master. univ. ABBES LAGHROUR-khenchla, 58 pages.
- **Bruand A., Duval O., Gaillard H., Darthout R., Jamagne M., 1996.** Variabilité des propriétés de rétention en eau des sols : importance de la densité apparente. *Étude et Gestion des Sols*, 40 pages.

C :

- **Chaussod R., 1996.** La qualité biologique des sols : évaluation et implication. *Étude et Gestion des Sols* 3 :261-278.

- **Chaussod R (1996)** La qualité biologique des sols : évaluation et implication. Etude et Gestion des Sols 3 :261-278.
- **Copley J., 2000.** Ecology goes underground. Nature 406 : 452-454.

D :

- **D. Tessier, A. Bruand, Y. Le Bissonnais et E. Dambrine., 1996.** Qualité chimique et physique des sols Étude et Gestion des Sols, Numéro Spécial « Le sol, un patrimoine menacé ? » 3, 4 : 229 -244.
- **Demirag A., Elkhammas E.A., Henry M.L., Davies E.A., Pelletier R.P., Bumgardner G.L., Djigal. D, (2003).** interaction entre la communauté microbienne du sol (bactéries champignons mycorhizienne) et les nématodes bacterivores : effet sur la nutrition minérale et la croissance de différente plante .Diplôme de docteur de 3 ème cycle de biologie végéta.166 pages.
- **DHW, 1984.** Shema directeur de planification d'aménagement ;derection de l'hydrolique de la wilaya de kenchla, 27 pages.
- **Djigal D., 2003.** Interactions entre la communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorhizienne) et les nématodes bactériovores : effet sur la nutrition minérale et la croissance de différente plante. Diplôme de docteur de 3ème cycle de biologie végétale, 166 pages.
- **Doran J. W. et M. R. Zeiss, 2000.** Soil health and sustainability., managing the biotic component of soil quality. Appl. Soil Ecol., 15, 3-11.
- **Doran J. W. et T. B. Parkin, 1994.** Defining and assessing soil quality. Madison,WI: SSSA Spec. Publ. No. 35, Soil Sci. Soc. Am., Inc. and Am. Soc. Agron., Inc.
- **Doran J.W. et Safley M., 1997.** Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In Defining and assessing soil health and sustainable productivity, eds. C. Pankhurst, B.M. Doube et V.V.S.R. Gupta, Biological Indicators of Soil Health, CAB International., Wallingford, Oxon, UK., 1-28.

E :

- **Elliot ET. 1986.** Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. Soil Science Society of America Journal 50:627-633.

F :

- **FAO, 2003.** Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

- **FAO. 2008.** An international technical workshop Investing in sustainable crop intensification : The case for improving soil health, FAO, Rome : 22-24 juillet 2008. *Integrated Crop Management*, 6(2008). Rome.
- **FAO, 2012.** Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. Volume II utilisation des eaux usées en agriculture, 26 pages

G :

- **Gagnon M., 2009.** Le diagnostic de l'état des sols, Publication INRA France, 2009, (site internet : www.environnement.ens.fr)
- **Genot, V., Colinet, G., Bock, L., 2007.** Fertilité des sols agricoles et forestiers en région Wallonne. Dossier scientifique, rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement Wallonne. Faculté universitaire agronomiques de Gembloux, 13 pages.
- **Ghodhbane S., 2009.** Contribution à la détermination de l'aptitude en irrigué des terres de Remila par l'utilisation de deux méthodes : la méthode développée par la FAO pour L'IRAN et la méthode d'évaluation en irrigué par épandage. Mémoire. Ingénieur. université Hadj Lakhdhar Batna ,71 pages
- **Gros R., 2002.** Fonctionnement et qualité des sols soumis à des perturbations physiques et chimiques d'origine anthropique. Thèse. doctorat. Université de Savoie, 227 pages.

H :

- **Halitim A., 1973.** Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en valeur .thèse 3eme cycle, université de rennes, 176 pages.
- **Hornick S. B., 1992.** Factors affecting the nutritional quality of crops. *Amer. J. Alternative Agric*, 7, 63-68.
- **Huber, 2016.** Évaluation de la santé des sols à l'aide de différentes méthodes. Journée des producteurs en pépinière de l'IQDHO.

I :

- **IWMI, 2008.** Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries – results from global assessment. International Water Management institute, 37 pages.

J :

- **Johnson D. L., S. H. Ambrose, T. J. Bassett, M. L. Bowen, D. E. Crummey, J. S. Isaacson et D. N. Johnson, 1997.** Meanings of environmental terms. *J. Environ. Qual.*, 26, 581-589

K :

- **Khabthane, A., 2014.** Contribution a l'étude des caractères morphologiques, physiologiques et des marqueurs moléculaires pour l'évaluation du polymorphisme phénotypique et génétique des espèces du genre *Tamarix* dans différents écotopes de la zone steppique de KHENCHELA (EST ALGERIEN). Thèse. Doctorat.

L :

- **Larson WE. et PierceFJ., 1991.** Conservation and enhancement of soil quality. Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World. Vol. 2. IBSRAM Proc. 12, 2 Technical Papers, International Board for Soil Research and Management, Bangkok, Thailand, 175-203.
- **Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., and Rossi, J. P. 2006.** Soil invertebrates and ecosystem services, *Euro. J. Soil Biol.*, 42, Supplement 1, S3–S15, doi:10.1016/j.ejsobi.2006.10.002,.
- **Legros N., 2017.** La réutilisation des eaux usées traitées en irrigation comme incubateur d'un processus de pérennisation et de bonne gouvernance des infrastructures d'assainissement : cas pratique de la station d'épuration de Tidili au Maroc. Mem master. Univ. KADI AYYAD, Maroc. 93 pages.
- **Leslie John F. et Summerell Brett A., 2006.** *The Fusarium Laboratory Manual*. Ed. Blackwell Publishing., 399 pages.

M :

- **Martin S., D. Baize, M. Bonneau, R. Chaussod, H. Ciesielski, J.-P. Gaultier, P. Lavelle, J.-P. Legros, A. Leprêtre et T. Sterckeman, 1999 .** Le suivi de la qualité des sols en France, la contribution de l'Observatoire de la Qualité des Sols. *Etude et Gestion des Sols*, 6, 215-230.
- **Mausbach MS., Tugel A., 1997.** Soil quality: A multitude of approaches. Kearney Foundation Symposium. California Soil Quality: from critical research to sustainable management. Berkeley, California, March 25.
- **McGrady-Steed J, Harris PM, Morin PJ., 1997.** Biodiversity regulates ecosystem predictability. *Nature* 390 :162-165.

- **Montaigne W., DeBon H., Domenach A.-M., Roggy J.-C., 2018.** Gestion durable de la fertilité des sols par l'utilisation de matières organiques : retours d'expérience en Guyane française. *Innovations Agronomiques* 64 (2018), 71-82

N :

- **Naeem S, Thompson LJ, Lawler SP, Lawton JH, Woodfin RM., 1994.** Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368 : 734-737.

P :

- **Pankhurst C, Doube BM, Gupta VVSR., 1997.** Biological indicators of soil health. CAB International, Wallingford.
- **Papadopoulos, F. et al., 2009.** Assessment of Reclaimed Municipal Wastewater Application on Rice Cultivation. *Environmental Management*, 43 (1) : 135-143.

R :

- **Reeves D.W., 1997.** The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Research* 43, 131-167.
- **Rhoades, J.D. 1977.** Potential of using saline agricultural drainage for irrigation. *In Proc. Water management for irrigation and drainage. ASAE, Reno, Nevada, July 1977* :85-116.
- **Robert M., 1996.** Le sol : Interface dans l'environnement, ressources pour le développement. Edition Masson 244 pages.
- **Rodier, 1996.** Analyse de l'eau. 8^{ième} Ed. DUNOD 1365 pages.
- **Ruiz Camacho N., Velasquez E., Pando A., Decaëns T., Dubs F., Lavelle P., 2009.** Indicateurs synthétiques de la qualité du sol. *Etude et Gestion des Sols, Association française pour l'étude des sols, 2009, Bioemco-0056010816 (3/4), 323-338.*

S:

- **Schoenholtz S.H., Van Miegroet H., Burger J.A. 2000.** A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities *Forest Ecology and Management* 138, 335-356.
- **Silva Daiani M., Batista Luis R, Rezende Elisangela F., Fungaro Maria Helena P., Sartori D., Alves E., 2011.** Identification of fungi of the genus *Aspergillus* section *Nigri* using polyphasic. *Brazilian Journal of Microbiology.*, 42 : 761-773.

- **Singer MJ, Warkentin BP 1996.** Soils in an environmental context : an american perspective. *Catena* 27 :179-189.
- **Singer MJ, Warkentin BP (1996)** Soils in an environmental context: an american perspective. *Catena* 27 :179-189.

V :

- **Visagie C.M., Houbraken J., Frisvad J.C., Hong S.B., Klaassen C.H.W., Perrone G., Seifert K.A., Varga J., Yaguchi T. et Samson R.A., 2014.** Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. *Studies In Mycology.*, 78 : 343–371.
- **Vitousek, P. M.** Human domination of earth's ecosystems, *Science*, 277, 494–499, 1997.

W :

- **Wright S. F., Green V. S. and Cavigelli M. A., 2006.** Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems, *Soil Till. Res.*, 94, 546–549, doi :10.1016/j. still.2006.08.003, 2007.

Y :

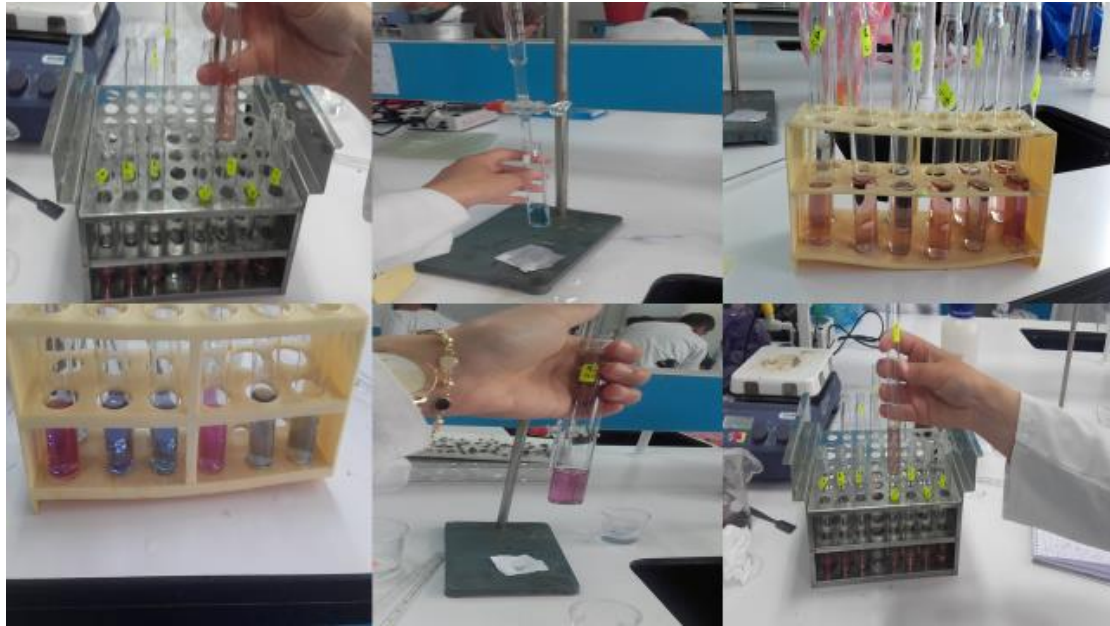
- **Yéli M., 2009.** Recyclage des eaux usées en irrigation : potentiel fertilisant, risques sanitaires et impacts sur la qualité des sols. Thèse. Doctorat. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 141pages.

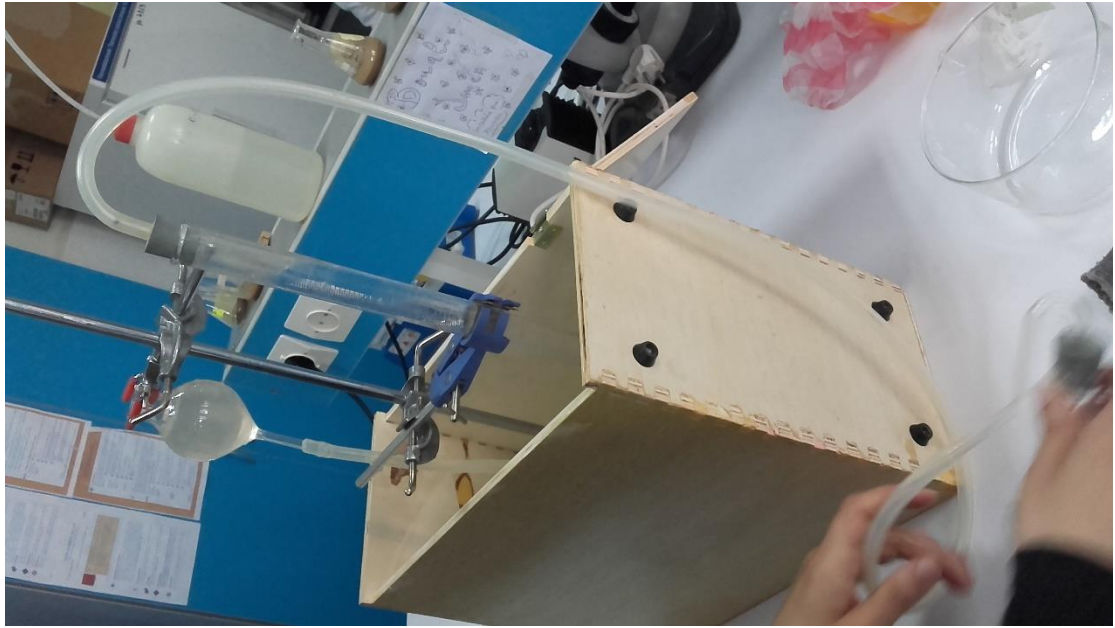
Z :

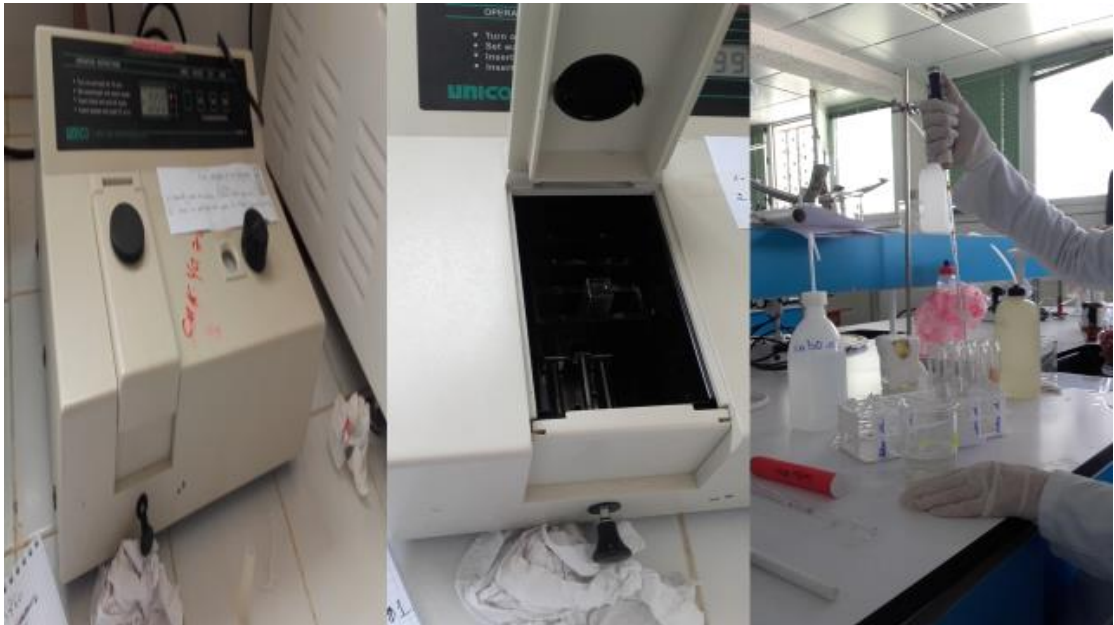
- **Zalidis G., Stamatiadis S., Takavakoglou V., Eskridge K., Misopolinos N., 2002.** Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88, 137–146.
- **Zouaoui A, 1991.** Contribution à l'étude de l'évolution des terres de la plaine de Remila (Kais wilaya de Khenchela)

Annexe













التربة هي مورد أساسي في الأنظمة البيئية. هدفنا هو عبارة عن دراسة تأثير مياه الصرف الصحي المعالجة على نوعية التربة في سهل الرميطة

أظهرت نتائج تحاليل مياه المعالجة انها غير مالحة و ليست محملة بالمغنيزيوم و نتائج التحاليل الفيزيائية و الكيميائية للتربة بينت ان التربة المسقية بالمياه المعالجة غير مالحة و تحتوي على نسبة قليلة من المادة العضوية مقارنة مع التربة المسقية بالمياه الجوفية اما بالنسبة لعدد الحشرات فوجدنا 80 نوع في التربة المسقية بالمياه المعالجة و 126 نوع في التربة المسقية بالمياه الجوفية إضافة إلى دراسة تحاليل الفطريات ووجدنا نفس العدد في الموقعين مع اختلاف في الأنواع.

الكلمات المفتاحية: نوعية التربة ، مياه الصرف الصحي المعالجة ، خصائص التربة ، الخواص الفيزيائية والخواص الكيميائية ، علم الفطريات في التربة .

Année Universitaire 2017/2018

Présenté par :

BOULI Imen

Contribution à l'étude de la qualité des sols sous irrigation à l'eau usée traitée

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

Résumé :

Le sol est une ressource essentielle pour les écosystèmes. Notre travail est une initiation à l'étude de l'effet des eaux usées traitées sur la qualité du sol dans la plaine de Remila. Les résultats de l'analyse de l'eau ont montrés que l'eau traitée ne présente pas un caractère salin et elle est chargée en magnésium. Les résultats des analyses physicochimiques des sols ont montré que le sol du site irrigué à l'eau traitée à un caractère alcalin et ne présente pas une salinité élevée et le taux de MO est moins faible pour ce site par rapport au site irrigué avec l'eau de forage. Pour la l'abondance de la faune, nous avons dénombré 80 individus seulement pour le site irrigué à l'eau traitée, contre 126 individus pour le site irrigué à l'eau de forage. L'étude de la mycologie tellurique à montrée la présence du même nombre de genre dans les deux sites avec une variation dans les genres.

Mots clés : qualité du sol, eau usée traitée, faune du sol, propriétés chimiques propriétés physiques, mycologie de sol.

Encadrant: ABABSA .N MCB Univ. Abbès Laghrour Khenchela

Co-Encadrant : HARRAT.W MCB INRA

Devant le Jury :

Président : LARBAA. R MCB Univ. Abbès Laghrour Khenchela

Examineur : ADDAD .D MCB Univ. Abbès Laghrour Khenchela