



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



**UNIVERSITE ABBES LAGHROUR - KHENCHELA**  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE MOLECULAIRE ET CELLULAIRE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : **Sciences de la Nature et de la Vie**

Filière : **Biologie**

Option : **Microbiologie appliquée**

Thème :

***Etude de l'impact des eaux d'irrigation sur  
la diversité microbienne du sol***

Soutenu le 15 Juillet 2021

Présenté par :

M<sup>elle</sup> **ARROUF Ferial**

M<sup>elle</sup> **LAICHE Elbahdja**

Jury de soutenance :

Présidente : Dr. **HALASSI I.** (MCB) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela  
Encadreur : Dr. **LEULMI N.** (MCB) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela  
Examinatrice : Dr. **MERABTI R.** (MCA) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

**2020 - 2021**



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



**UNIVERSITE ABBES LAGHROUR - KHENCHELA**  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE MOLECULAIRE ET CELLULAIRE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : **Sciences de la Nature et de la Vie**

Filière : **Biologie**

Option : **Microbiologie appliquée**

Thème :

***Etude de l'impact des eaux d'irrigation sur  
la diversité microbienne du sol***

Soutenu le 15 Juillet 2021

Présenté par :

M<sup>elle</sup> **ARROUF Ferial**

M<sup>elle</sup> **LAICHE Elbahdja**

Jury de soutenance :

Présidente : Dr. **HALASSI I.** (MCB) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela  
Encadreur : Dr. **LEULMI N.** (MCB) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela  
Examinatrice : Dr. **MERABTI R.** (MCA) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

**2020 - 2021**

# **REMERCIEMENTS**

*Je remercie en premier lieu **ALLAH** le tout puissant pour toute la volonté et le courage qu'il m'a donné pour l'achèvement de ce mémoire, il a été et sera toujours à côté de moi pour réussir à terminer n'importe quel travail.*

*Au terme de ce travail je tiens à remercier ceux qui m'ont aidé à le réaliser, et qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance*

*Également à mes jury:*

***Mme HALLASSI I.,** Je tiens à vous exprimer toute ma reconnaissance pour l'honneur que vous me faites de bien vouloir juger ma mémoire.*

***Mme MERABTI R.,** Vous nous avez fait un grand honneur en acceptant de siéger parmi les membres de jury de cette mémoire.*

*Ma profonde gratitude s'adresse avant tout au **Dr. LEILMI Nassima** mon encadreur, qui a accepté de diriger mon travail et m'a accordé tout son attention et sa patience pour l'accomplir. Je la remercie pour sa disponibilité, ses précieux conseils scientifiques, ses encouragements ainsi que sa gentillesse qui m'a permis de mener à bien ce travail.*

*Nous exprimons également notre profond remerciement et notre vive Gratitude à nos enseignants de la faculté des Science de la Nature et de la Vie -Khenchela- .*

*Un grand merci à toute l'équipe du laboratoire qui nous fourni les meilleures conditions de travail.*



## *DEDICACES*

A ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager, et me conseiller. A ceux qui n'ont jamais été avares ni de leur temps ni de leurs Connaissances pour satisfaire mes interrogations.

Je dédie ce modeste travail avec vif plaisir à ceux qui sont les plus proches à mon cœur, qui m'ont toujours aimé et qui ont fait toute leurs forces pour que je sois toujours heureuse.

**Mes très chers parents et mes grands-parents.** Qui m'ont soutenus durant toute ma vie, sans eux je serai rien

A mes **sœurs**

A mon **frère**

A toute ma **grande famille**

A mes **amis**

A tous les étudiants de microbiologie

A tous mes **professeurs...**

## *ARROUF FERIAL*



## *DEDICACES*

Je remercie mes très chers parents, **Abd ellah et Rabia**, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs **Ahlem et Aya**, et mes frères **Imed et Abd elkarim**, pour leurs encouragements.

Enfin, je remercie mes amis **Dounia et Achref** qui ont toujours été là pour moi, La femme de mon frère **Nawel** et le mari de ma sœur **Azzedin**,

Je n'oublie pas ma collègue **Ferial** dans ce travail pour l'étendue de la compréhension, de la coopération et du bon traitement soutien.

Inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

*LAICHE ELBAHDJA*



**TABLE DES MATIERES**

<b>Remerciements</b>	
<b>Dédicace</b>	
<b>Résumés.....</b>	<b>I-II-III</b>
<b>Liste des abréviations .....</b>	<b>IV</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>VI</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>VII</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>

*Chapitre I. Microbiologie de sol*

1. Le sol .....	3
2. Les composantes du sol.....	3
➤ La phase solide.....	3
➤ La phase liquide.....	4
➤ La phase gazeuse.....	4
➤ Les organismes vivants.....	5
3. Quelques propriétés physicochimiques du sol.....	5
3.1. La texture.....	5
3.2. La structure.....	5
3.3. Porosité et distribution de taille de pores.....	6
3.4. Conductivité électrique.....	6
3.5. Le degré de saturation .....	6
3.6. Le pH.....	7
3.7. La température.....	7
3.8. La teneur en eau W% .....	7
4. Les microorganismes du sol.....	8
4.1. Les bactéries.....	8
4.2. Champignons.....	9
4.3. Algues.....	10
4.4. Les protozoaires.....	11
5. Pollution des sols.....	11
5.1. Définition.....	11
5.2 Micropolluants des sols.....	12
5.2.1. Micropolluants organiques.....	12
➤ Les hydrocarbures.....	12
➤ Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	12
➤ Les composés organiques volatils (COV).....	12
➤ Phénols et dérivés.....	13
➤ Les pesticides.....	13
5.2.2. Micropolluants inorganiques.....	13
6. les facteurs influençant la biodiversité du sol.....	14
6.1. La température.....	14
6.2. Le pH.....	14
6.3. Humidité du sol.....	15
6.4. Le contenu en azote total et en carbone organique.....	15

*Chapitre II. Impact d'irrigation sur la qualité de sol*

1. Généralités.....	16
1.1. Définition d'irrigation .....	16
1.2. Les ressource en eau pour l'irrigation.....	16
1.2.1. Les eaux de surface.....	16
1.2.1.1. Types d'eau de surface.....	16
➤ Eaux courantes.....	16
➤ Eaux stagnantes.....	16
1.2.2. Les eaux souterraines.....	17
1.2.2.1. Les nappes d'eaux souterraines.....	17
➤ Les nappes d'eau libres.....	17
➤ Les nappes d'eau captives).....	18
1.2.3. Les eaux usées épurées.....	18
➤ Eaux usées domestiques	18
➤ Les eaux usées industrielles	18
➤ Les eaux pluviales	19
➤ Les eaux usées agricoles	20
1.3. Les différents systèmes d'irrigation.....	20
1.3.1. Irrigation gravitaire.....	20
➤ Irrigation en bassins.....	20
➤ Irrigation par planches.....	21
➤ Irrigation à la raie.....	21
1.3.2. Irrigation par aspersion.....	22
1.3.3. Irrigation en goutte à goutte.....	22
2. Importance de l'irrigation.....	23
2.1. Les avantage.....	23
➤ Apport sur le plan économique.....	24
➤ L'irrigation un rempart à la famine.....	24
➤ La satisfaction.....	25
2.2. Les inconvénients.....	25
3. Impact d'irrigation sur la qualité d sol.....	25
3.1. Problème de salinité de sol.....	25
3.1.1. La dégradation des sols par alcalinisation.....	26
3.1.2. La dégradation des sols par salinisations.....	26
3.2. Problème de perméabilité.....	27
3.3. Problème de toxicité.....	27

*Matériel et Méthodes*

1. Echantillonnage .....	28
2. Analyses physico-chimiques.....	29
2.2. Le potentiel hydrogène (pH).....	29
2.2. La conductivité électrique (CE).....	30
2.3. Matière organique .....	30
2.4. Calcaire total.....	30
3. Analyses microbiologiques.....	30

## Table des matières

---

3.1. Préparation des solutions mères du sol.....	30
3.2. Dénombrement de la flore totale aérobie mésophiles (FTAM).....	31
3.3. Dénombrement des actinobactéries .....	32
3.4. Dénombrement des champignons.....	33
3.5. Dénombrement des levures.....	34
3.6. Etude de quelques activités hydrolytiques.....	35
3.6.1. L'activité cellulolytique .....	35
3.6.2. L'activité amylolytique.....	36
3.6.3 L'activité protéolytique.....	36

### *Résultats et Discussion*

1. Echantillonnage.....	37
2. Paramètres physico-chimiques.....	37
2.1. Le potentiel hydrogène.....	38
2.2. La conductivité électrique.....	39
2.3. Matière organique .....	40
2.4. Calcaire total.....	41
3. Résultats des analyses microbiologiques.....	42
3.1. Résultats du dénombrement de la flore totale aérobie mésophiles .....	42
3.2. Résultats du dénombrement des actinobactéries.....	43
3.3. Résultats du dénombrement des champignons.....	44
3.4. Résultats du dénombrement de levures.....	46
3.5. Résultats de l'étude de quelques activités hydrolytiques.....	47
3.5.1. Résultats de l'étude de l'activité cellulolytique .....	47
3.5.2. Résultats de l'étude de l'activité amylolytique.....	49
3.5.3. Résultats de l'étude de l'activité protéolytique.....	50
<b>Conclusion.....</b>	<b>51</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>53</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>59</b>

---

**Liste des abréviations**

<b>%</b>	:	Pour Cent
<b>°C</b>	:	Degré Celsius
<b>cm</b>	:	Centimètre
<b>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>	:	Ion carbonate
<b>CH<sub>4</sub></b>	:	Méthane
<b>N<sub>2</sub></b>	:	Le diazote
<b>Ar</b>	:	Argon
<b>ml</b>	:	Millilitre
<b>mm</b>	:	Millimètre
<b>µm</b>	:	Micromètres
<b>V<sub>P</sub></b>	:	Le volume des vides
<b>V<sub>t</sub></b>	:	Le volume total d'un milieu poreux
<b>Sr</b>	:	Degré de saturation
<b>P<sub>W</sub></b>	:	La masse de l'eau contenue dans l'échantillon
<b>P<sub>d</sub></b>	:	la masse sèche de l'échantillon.
<b>W</b>	:	La teneur en eau
<b>HAPs</b>	:	Les hydrocarbures aromatiques polycycliques
<b>COV</b>	:	Les composés organiques volatils
<b>NO</b>	:	Ponoxyde d'azote
<b>N<sub>2</sub>O</b>	:	Protoxyde d'azote
<b>NH<sub>3</sub></b>	:	Ammoniac
<b>H<sub>2</sub></b>	:	Dihydrogène
<b>O<sub>2</sub></b>	:	Oxygène
<b>OMS</b>	:	Organisation Mondiale de la Santé.
<b>pH</b>	:	Potentiel hydrogène
<b>Zn</b>	:	Zinc
<b>Cu</b>	:	Cuivre
<b>FTAM</b>	:	Flore Totale Aérobie Mésophiles
<b>UFC</b>	:	Unité formant colonies
<b>N</b>	:	Nombre d'UFC par gramme ou par mL de produit initial

<b>V<sub>m</sub>L</b>	:	Volume de solution déposé
<b>n<sub>1</sub></b>	:	Nombre de boîtes considérées à la première dilution retenue
<b>n<sub>2</sub></b>	:	Nombre de boîtes considérées à la seconde dilution retenue
<b>d<sub>1</sub></b>	:	Facteur de la première dilution retenue
<b>MO</b>	:	Matière organique
<b>g</b>	:	Gramme
<b>SM</b>	:	Solution mère
<b>KCL</b>	:	Chlorure de potassium
<b>CE</b>	:	Conductivité électrique
<b>μS/cm</b>	:	microcimens par centimètre
<b>FeSO<sub>4</sub></b>	:	Sulfate ferreux
<b>P.C.A</b>	:	Plate Count Agar
<b>P.D.A</b>	:	Potato Dextrose Agar
<b>mn</b>	:	Minute
<b>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b>	:	Le dichromate de potassium

**Liste des figures**

<b>Figure 1.</b> Le sol.....	<b>03</b>
<b>Figure 2.</b> Constituants formant un sol et quelques exemples d'interactions entre les différents constituants.....	<b>04</b>
<b>Figure 3.</b> Principaux groupes d'actinobactéries .....	<b>09</b>
<b>Figure 4.</b> Les champignons du sol.....	<b>10</b>
<b>Figure 5.</b> Morphologie de quelques algues communes dans les sols.....	<b>11</b>
<b>Figure 6.</b> Présentation des eaux souterraines.....	<b>17</b>
<b>Figure 7.</b> Schéma distinctif d'une nappe libre ou captive.....	<b>18</b>
<b>Figure 8.</b> Consommation d'eau et production d'eaux usées par les principaux secteurs.....	<b>19</b>
<b>Figure 9.</b> Irrigation par bassins.....	<b>20</b>
<b>Figure 10.</b> Mise en eau des planches.....	<b>21</b>
<b>Figure 11.</b> L'irrigation par rigole.....	<b>22</b>
<b>Figure 12.</b> Irrigation par aspersion.....	<b>22</b>
<b>Figure 13.</b> L'irrigation en goutte à goutte.....	<b>23</b>
<b>Figure 14.</b> Le ph mètre utilisé pour la mesure du pH.....	<b>29</b>
<b>Figure 15.</b> Le conductimètre utilisé pour la mesure de la CE.....	<b>30</b>
<b>Figure 16.</b> Schématisation de la méthode de dilution.	<b>31</b>
<b>Figure 17.</b> Mode opératoire du dénombrement de la flore totale aérobie mésophile.....	<b>32</b>
<b>Figure 18.</b> Mode opératoire du dénombrement des actinomycètes.....	<b>33</b>
<b>Figure 19.</b> Mode opératoire du dénombrement des champignons.....	<b>34</b>
<b>Figure 20.</b> Mode opératoire du dénombrement des champignons.....	<b>35</b>
<b>Figure 21.</b> Variation des pH dans les échantillons du sol étudié.....	<b>38</b>
<b>Figure 22.</b> Variation de la conductivité électrique dans les échantillons du sol étudié.	<b>40</b>
<b>Figure 23.</b> Variation de la Matière organique dans les échantillons du sol étudié.....	<b>40</b>
<b>Figure 24.</b> Variation du calcaire total dans les échantillons du sol étudié.....	<b>41</b>

## Liste des figures

---

<b>Figure 25.</b> La flore totale aérobie mésophiles après 48h de culture à 30°C (trois échantillons).....	<b>43</b>
<b>Figure 26.</b> Les actinobactéries après 2 à 4 semaines de culture à 29±1°.....	<b>44</b>
<b>Figure 27.</b> Les champignons après 5 à 7 jours de culture à 25±1°C.....	<b>45</b>
<b>Figure 28.</b> Les champignons après 5 à 7 jours de culture à 25±1°C.....	<b>45</b>
<b>Figure 29.</b> Les levures après 5 à 7 jours de culture à 25±1°C.....	<b>46</b>
<b>Figure 30.</b> Observation microscopique des levures par l'utilisation de bleu de méthylène (X40).....	<b>46</b>
<b>Figure 31.</b> Mise en évidence de la présence des microorganismes cellulolytique.....	<b>48</b>
<b>Figure 32.</b> Observation sous la loupe stéréoscopie des pigments sur papier filtre (X25).....	<b>48</b>
<b>Figure 33.</b> Mise en évidence de l'activité amylolytique des actinobactéries....	<b>49</b>
<b>Figure 34.</b> Mise en évidence de l'activité amylolytique des champignons.....	<b>49</b>
<b>Figure 35.</b> Mise en évidence de l'activité protéolytique des champignons....	<b>50</b>

### Liste des tableaux

<b>Tableau 01.</b> Echelle granulométrique de la texture du sol.....	<b>05</b>
<b>Tableau 02.</b> Les caractéristiques des trois échantillons de sol étudiés.....	<b>28</b>
<b>Tableau 03.</b> Les résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons de sol étudiés.....	<b>37</b>
<b>Tableau 04.</b> Statistiques des principaux paramètres physico-chimiques des sols.....	<b>37</b>
<b>Tableau 05.</b> Echelle d'interprétation du pH du sol.....	<b>38</b>
<b>Tableau 06.</b> Echelle d'interprétation de la conductivité électrique.....	<b>39</b>
<b>Tableau 07.</b> Echelle d'interprétation du Calcaire total.....	<b>41</b>
<b>Tableau 08.</b> Les résultats des analyses microbiologiques des trois échantillons des sols étudiés.....	<b>42</b>
<b>Tableau 09.</b> Les résultats de quelques activités hydrolytiques des échantillons des sols étudiés.....	<b>47</b>



# Résumés

**Etude de l'impact des eaux d'irrigation sur la diversité microbienne du sol**

**Résumé**

Etude de l'impact des eaux d'irrigations sur la diversité microbienne du sol, a révélé une qualité physico-chimiques bonne à acceptable pour la plupart des échantillons. Par contre l'étude microbiologique a montré une augmentation de la flore totale aérobie mésophiles, des actinobactéries, des champignons et levures dans le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après déversement des eaux usées par rapport à ceux irrigué par les eaux d'Oued Meskiana avant déversement des eaux usées

A la lumière de ces résultats, nous pouvons dire que l'utilisation des eaux contient des eaux usées pour l'irrigation influence sur la qualité physico-chimiques et microbiologique

**Mots clés** : Sol, Eau usées, Oued Meskiana, Qualité, Physico-Chimique, Microbiologique,

---

### **Study of the impact of irrigation water on soil microbial diversity**

#### **Abstract**

Study of the impact of irrigation water on the microbial diversity of the soil, revealed good to acceptable physicochemical quality for most of the samples. On the other hand, the microbiological study showed an increase in the total aerobic mesophilic flora, actinobacteria, fungi and yeasts in the soil irrigated by the waters of Oued Meskiana after discharge of wastewater compared to those irrigated by the waters of Oued Meskiana before discharge of wastewater

In the light of these results, we can say that the water use contains wastewater for irrigation influences the physicochemical and microbiological quality.

**Key-words:** Soil, Wastewater, Oued Meskiana, Quality, Physico-Chemical, Microbiological,

---

دراسة تأثير مياه الري على التنوع الميكروبي في التربة

ملخص

أظهرت دراسة تأثير مياه الري على التنوع الميكروبي للتربة جودة فيزيائية كيميائية مقبولة لمعظم العينات. من ناحية أخرى ، أظهرت الدراسة الميكروبيولوجية زيادة في مجموع النباتات الهوائية المتوسطة ، والبكتيريا مقارنة الشعاعية ، والفطريات ، والخمائر في التربة المرورية بمياه واد مسكانة بعد تصريف مياه الصرف الصحي بتلك التي تروى بمياه واد مقارنة بتلك التي تروى بمياه واد مسكانة قبل تصريف مياه الصرف الصحي في ضوء هذه النتائج ، يمكننا القول أن استخدام المياه التي تحتوي على مياه الصرف الصحي للري يؤثر على الجودة الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية لتربة.

**الكلمات المفتاحية:** التراب مياه الصرف الصحي، مسكانة، جودة، فيزيائية كيميائية، ميكروبيولوجية.



# ***Introduction***

Le sol est l'un des plus importants réservoirs de biodiversité de notre planète. On estime qu'un gramme de sol abrite plusieurs milliards de bactéries et champignons, avec plus de 1000 espèces différentes (**Curtis et Sloan, 2005**) et que plusieurs centaines d'espèces faunistiques (protozoaire, nématodes, insectes, vers de terre) vivent également dans un petit volume de sol (quelques 3 cm) (**Wu et al., 2009**). Cette grande diversité varie en termes de richesse taxonomique, d'abondance et de distribution en fonction du type de sol, des conditions climatiques, de la végétation et de l'utilisation des terres.

Le sol occupe également une position centrale dans le fonctionnement de notre système planétaire. A l'interface des quatre autres grands milieux naturels (lithosphère, hydrosphère, atmosphère et biosphère).

L'agriculture, de façon générale, est une grande consommatrice d'eau, qui dans les conditions arides et semi arides, vient souvent à manquer. Pour pallier à cet inconvénient, le meilleur moyen que les hommes aient trouvé jusqu'ici a été un appoint d'eau, à l'aide de procédés divers. C'est ce complément d'eau que l'on appelle irrigation.

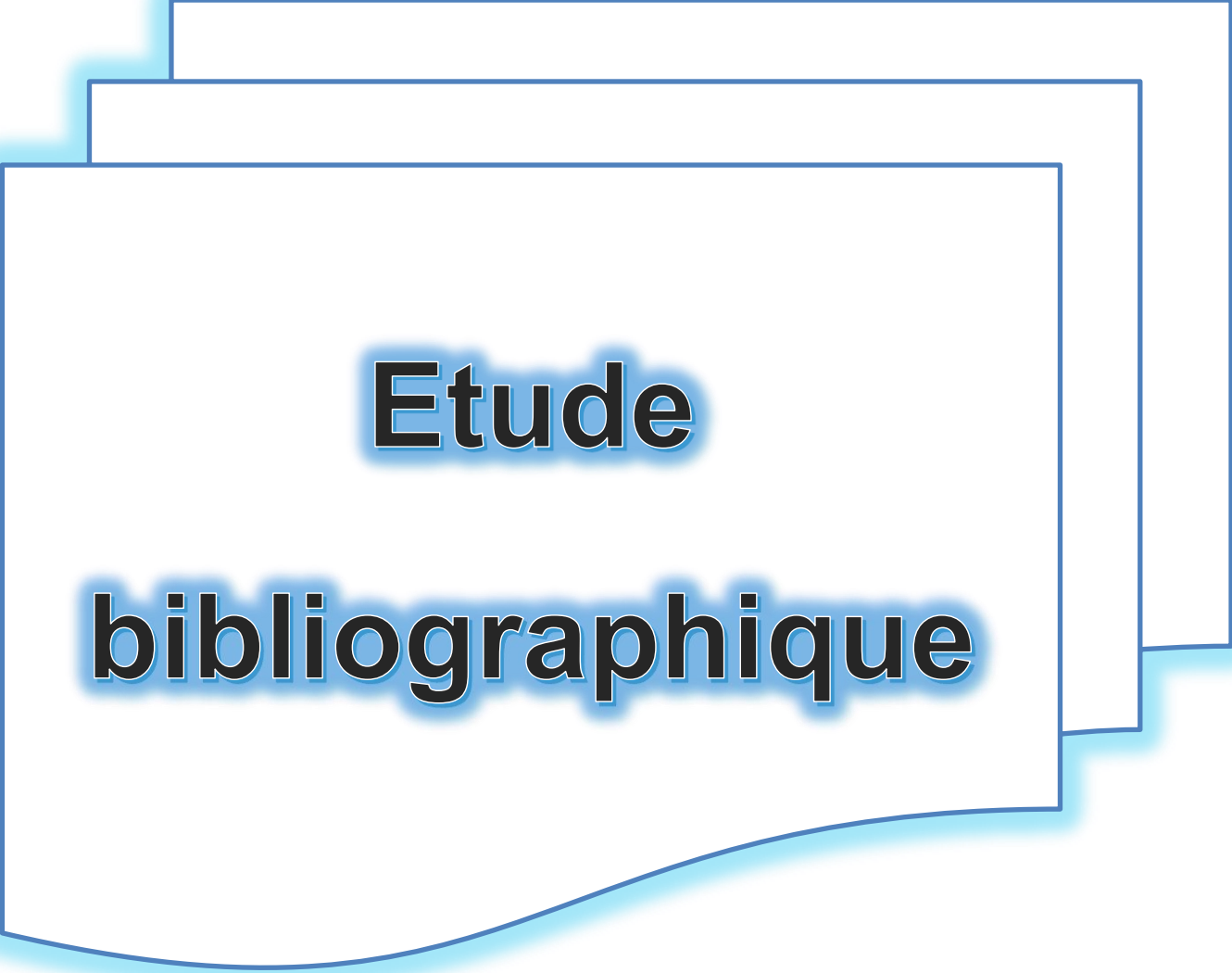
La réutilisation de l'eau pour l'irrigation a été largement appliquée à l'agriculture en raison des avantages liés à possibilités de récupération des nutriments, implications socio-économiques, réduction de l'application d'engrais et des effluents dispositions. Cependant, le traitement scientifique et technique application d'eaux usées domestiques pour l'irrigation ou l'aquifère la recharge est principalement réduite aux pays à forte développement scientifique et technique et pénurie d'eau (Sheng, 2005). Critères de qualité de l'eau généralement appliqués la réutilisation agricole ont été principalement fondées sur des aspects microbiologiques, et physico-chimiques (**OMS, 1989**).

Ainsi, l'objectif de notre travail est l'étude de l'impact des eaux d'irrigations sur la diversité microbienne du sol.

Ce mémoire est réparti en trois grandes parties :

La première partie est consacrée à l'étude bibliographique qui est composée de deux chapitres. Le premier porte sur la microbiologie du sol et le deuxième traite Impact d'irrigation sur la qualité du sol. La deuxième partie est réservée à la présentation du

matériel et des méthodes mis en œuvre dans ce travail. Et enfin, la troisième partie détaille la discussion des résultats obtenus ainsi que leur interprétation.



**Etude**  
**bibliographique**

## 1. Le sol

Le sol est défini comme la couche supérieure de la croûte terrestre composée de particules minérales, de matières organiques, d'eau, d'air et d'organismes (**NF ISO 15799, 2004**). Cependant le sol est un milieu vivant, complexe et dynamique, en évolution constante sous l'effet de différents paramètres tels que le climat, la topographie, la végétation et l'action de l'homme. Il joue un rôle d'interface entre les phases liquides et gazeuses dans l'environnement où il intervient comme système source, système transformateur, et système de transfert des éléments en trace (**Benahmed, 2017**).



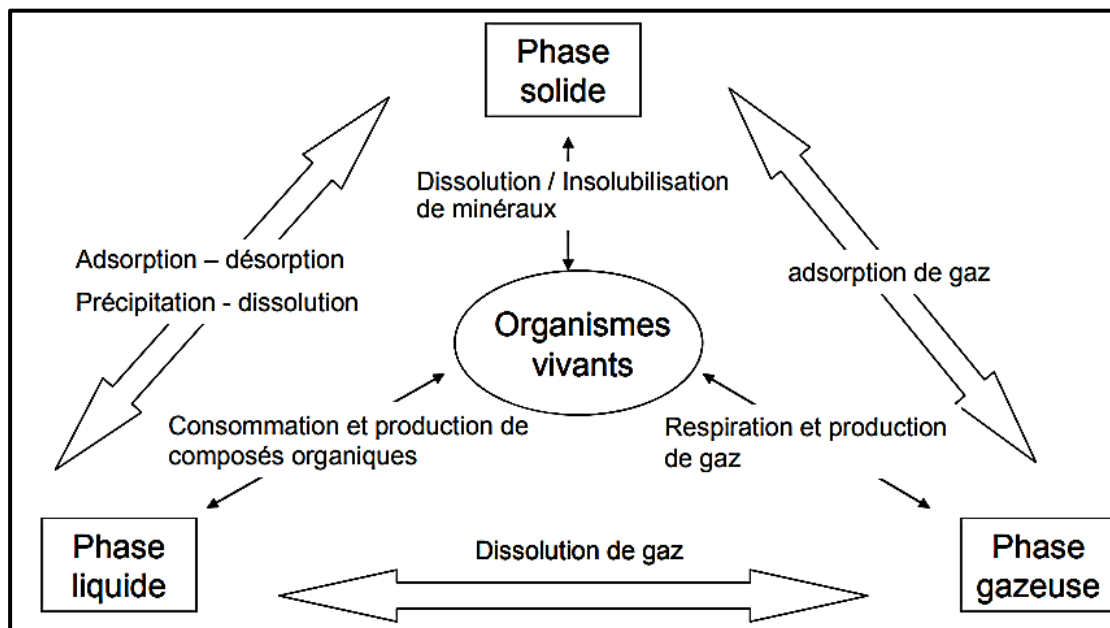
**Figure1.** Le sol.

## 2. Les composantes du sol

Le sol est un milieu poreux, triphasique et organisé, composé de trois phases inertes respectivement solide, liquide et gazeuse. Les proportions entre ces différentes phases peuvent varier dans le temps. Aux trois phases inertes s'ajoutent un compartiment vivant. Ces 4 compartiments interagissent entre eux et sont le siège de nombreuses réactions bio-physicochimiques, dont quelques exemples sont cités dans **la Figure 2**.

### ➤ La phase solide

La phase solide est la phase prépondérante du sol et représente 50 à 70 % du volume. Elle est formée de trois types de constituants : les composés inorganiques (90 % du volume total), organiques et biotiques (tels que la faune, la flore et les microorganismes) (**Navel, 2011**).



**Figure 2.** Constituants formant un sol et quelques exemples d'interactions entre les différents constituants (Darcheville, 2008).

### ➤ La phase liquide

La phase liquide du sol est principalement constituée par l'eau de pluie, dans laquelle sont dissous les ions minéraux et les molécules organiques, qui font varier sa composition et sa vitesse de transfert d'un sol à l'autre. La composition de l'eau du sol dépend du milieu géologique avec lequel elle interagit chimiquement. Du point de vue de la réactivité chimique et biologique, le pH de l'eau du sol constitue une propriété majeure qui met en jeu l'ensemble des réactions biologiques et chimiques qui se déroulent dans le sol. La composition chimique de la phase aqueuse est régulée par des processus chimiques à l'interface roche-eau et atmosphère-eau, ainsi que par des processus biologiques tels que la photosynthèse ou la respiration (Karabi, 2016).

### ➤ La phase gazeuse

La phase gazeuse, ou atmosphère du sol, occupe les pores du sol non envahis par la phase liquide. L'atmosphère du sol contient généralement de 18 à 20 % d' $O_2$ , mais la teneur en  $O_2$  peut chuter à 2 % voire 0 % au voisinage des racines, de résidus organiques en décomposition, au cœur d'agrégats ou de mottes saturées en eau, ou en profondeur dans le sol. La teneur en  $CO_2$  peut varier de 0,3 à 5 % et peut atteindre et dépasser les 20 % dans certains cas (voisinage de racines ou source importante de matière organique). L'atmosphère du sol contient toujours aussi  $N_2$ ,  $H_2O$  vapeur et Ar,

mais elle contient aussi très souvent d'autres gaz produits et/ou consommés biologiquement :  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$  ou  $\text{CH}_4$  (Darcheville, 2008).

➤ **Les organismes vivants**

Les organismes vivants du sol sont en excluant les racines et la méso-faune (proportion typique de biomasse entre parenthèse), les bactéries (25 %), les champignons (59 %), les algues (traces), les protozoaires (4 %) et la microfaune (12 %) (Gobat *et al.*, 1998). Les bactéries représentent les microorganismes les plus abondants dans le sol en densité et en nombre, même si les champignons représentent une quantité de biomasse plus importante. Les microorganismes du sol sont aujourd'hui reconnus comme étant un des facteurs clé dans l'évolution des sols.

### 3. Quelques propriétés physicochimiques du sol

#### 3.1. La texture

La texture d'un sol est la répartition granulométrique de ses constituants minéraux en fonction de leur taille. Plus spécifiquement, elle réfère à la proportion des argiles (moins de 2 micromètres de diamètre), limons (de 2 à 20 micromètres de diamètre) et sables (de 20 micromètres à 2 millimètres de diamètre). Selon le pourcentage de chaque fraction minérale, il est possible de distinguer des sols argileux, des sols limoneux ou des sols sableux et beaucoup d'arrangements : sols sablo-limoneux, argilo-sableux, limono-argileux...etc (Mouhoun, 2019).

**Tableau 1.** Echelle granulométrique de la texture du sol (Mouhoun, 2019).

Terre fine					Terre grossière	
Argile	Limons fins	Limons grossiers	Sable fins	Sable grossiers	Graviers	Cailloux
<2µm	2µm à 20 µm	20 µm à 50 µm	50µm à 200µm	200µm à 2mm	2mm à 20mm	>20 mm

#### 3.2. La structure

La structure du sol fait référence à l'organisation des sédiments définis par la texture. Plusieurs types de structure, ainsi que plusieurs formes d'agrégats, peuvent être définis mais la présentation est simplifiée à trois seulement : particulière, massive, en agrégats (Estabragh, 2014).

- **Particulière** : les sédiments n'ont pratiquement aucune cohésion et restent à l'état de particules libres. Ceci est le cas, par exemple de sables ou de graviers.

- **Massive** : les sédiments sont pris en masse, d'un sol bloc. Ceci est le cas des argiles lourdes.
- **Agrégé** : ceci représente la grande majorité des sols. En effet, sous l'effet cohésif des argiles et des matières organique surtout (et dans une moindre mesure les limons), le sol s'organise en une hiérarchie d'agrégats : les particules forment de micro-agrégats, qui se combinent pour former les méso-agrégats, et ensuite des macro-agrégats.

### 3.3. Porosité et distribution de taille de pores

La porosité désigne la fraction du volume total du sol occupé par des vides (eau + air). Elle se caractérise par la distribution de la taille des pores, par leur forme, leur connectivité... Ce réseau poreux intervient dans de nombreux processus qui se produisent dans le sol tels que, par exemple, la circulation de l'eau et de l'air, le transport de solutés et la croissance et le développement des racines (**Hunt et al., 2016**).

La porosité est une grandeur physique entre 0 et 1 ou en pourcentage entre 0 et 100 %. Elle est aussi une valeur numérique définie comme le rapport entre le volume des vides  $V_p$  et le volume total  $V_t$  d'un milieu poreux :

$$n = V_p / V_t$$

### 3.4. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'un sol ou un sédiment est une mesure de la quantité d'ions présents et qui pourraient se dissoudre en présence d'eau. Elle permet de déterminer le degré de la salinité d'un sol. Celle-ci est traduite par la mesure de sa concentration en ions dans sa phase liquide en utilisant la propriété d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique proportionnellement à sa concentration en ions. En général, les sels minéraux d'un sol sont de bons conducteurs électriques (**Mouhoun, 2019**).

### 3.5. Le degré de saturation $S_r$

La saturation est la concentration à partir de laquelle une substance ne peut se dissoudre dans un solvant. Ce point de saturation dépend de la température, et de la nature de solvant et du soluté. Cette dépendance est utilisée dans l'opération de recristallisation pour la purification des composés chimiques.

$$Sr = V_W / V_V$$

Avec  $V_V$  le volume d'eau que contient l'échantillon de sol.

### 3.6. Le pH

Les sols peuvent avoir une réaction acide ou alcaline ; d'autres peuvent être neutres. On mesure la réaction chimique du sol d'après la valeur de son pH. La valeur du pH varie de 0 à 14, le pH=7 correspondant à une réaction neutre. Des valeurs inférieures à 7 indiquent que le sol est acide ; des valeurs supérieures à 7 indiquent que le sol est alcalin. Plus le pH s'éloigne de la neutralité, plus fortes sont l'acidité ou l'alcalinité. La méthode la plus exacte pour mesurer le pH du sol consiste à utiliser un pH mètre électrique qui donne directement la valeur du pH quand on plonge des électrodes en verre dans une solution obtenue en mélangeant une part d'échantillon de sol avec deux parts d'eau distillée.

### 3.7. La température

La température influence la viscosité de la solution du sol : la diminution de la température augmente la viscosité, augmentant de fait les forces de frottement qui s'opposent à la migration des charges électriques. C'est donc la vitesse de migration, et le cas échéant, la mobilité des ions qui sont réduites par une baisse de température, et avec elles la conductivité électrique du milieu. En outre les températures plus élevées peuvent favoriser la dissociation des solutés, ce qui augmente la densité de charges en solution et la conductivité électrique (Muñoz et Berga, 2005).

### 3.8. La teneur en eau W%

Des milieux poreux, on désigne par teneur en eau la quantité d'eau liquide contenue dans un échantillon de matière, par exemple un échantillon de sol, de roche, de céramique ou de bois, la quantité étant évaluée par un rapport pondéral ou volumétrique. Cette propriété intervient dans un large éventail de disciplines scientifiques et technique, et s'exprime comme un rapport ou quotient, dont la valeur peut varier entre 0 (échantillon complètement sec) et (pour la teneur « volumétrique ») la « porosité à saturation » du matériau.

$$W = P_W / P_d$$

Avec  $P_W$  la masse de l'eau contenue dans l'échantillon et  $P_d$  la masse sèche de l'échantillon. Le degré de saturation définit la proportion d'eau dans les vides.

#### 4. Les microorganismes du sol

Les microorganismes du sol sont représentés par les eucaryotes (champignons, algues et protozoaires) et les procaryotes (bactéries et *cyanobactéries*). Leur biodiversité est considérable ainsi que leur distribution qui est en fonction non seulement de la présence de substrats énergétiques (essentiellement des résidus végétaux) et d'éléments minéraux, mais aussi de nombreux facteurs physiques et chimiques caractérisant chaque sol, notamment la structure, l'aération, le pH, la température et la teneur en eau (**Ghoreishi *et al.*, 2017**). Les microorganismes du sol assurent des fonctions clés dans la circulation du flux d'énergie et de la matière dans l'environnement comme : la biodégradation de la matière organique, la production de nutriments pour les plantes, la fixation de l'azote, la biodégradation des polluants, etc. (**Hien *et al.*, 2010**).

##### 4.1. Les bactéries

Les bactéries sont les microorganismes les plus abondants et métaboliquement les plus actifs du sol. En fonction des propriétés du sol, tous les types physiologiques bactériens sont représentés : autotrophes et hétérotrophes, mésophiles, thermophiles et psychrophiles, aérobies et anaérobies. On estime d'ailleurs que tous les groupes de bactéries connus pourraient être isolés d'un échantillon du sol, si les techniques et les milieux adéquats sont utilisés (**Benahmed, 2017**).

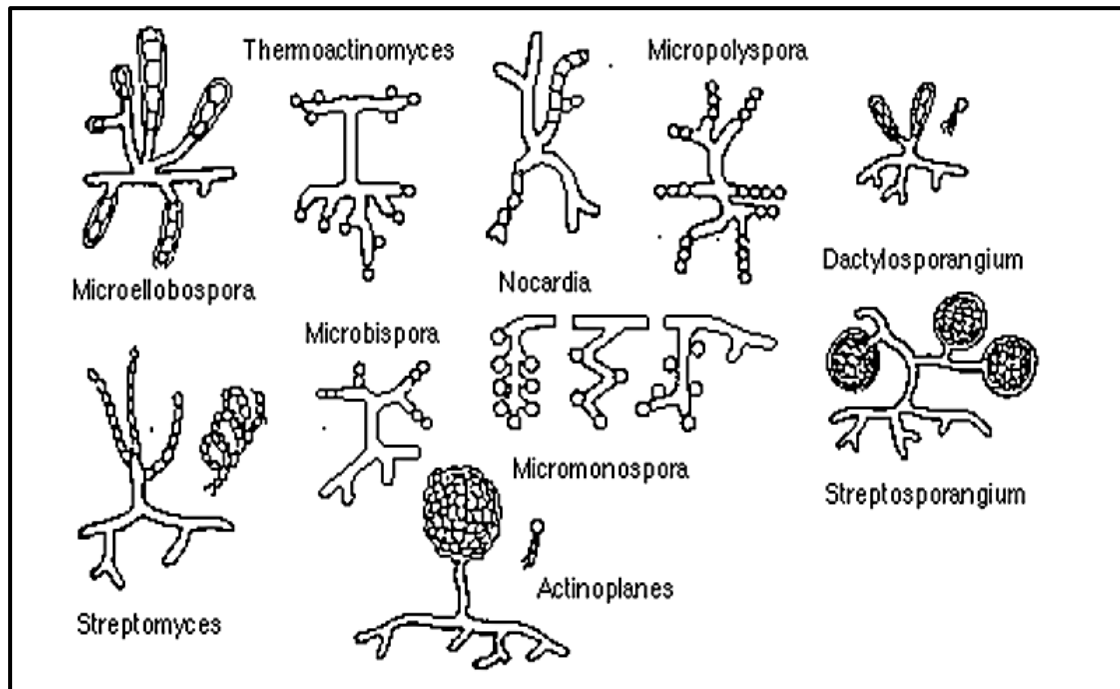
Les bactéries du sol sont à dominante GRAM positif, avec comme groupes principaux : les *Corynébactéries*, les *Actinomycètes*...

##### ➤ Les actinobactéries

Souvent décrits comme un groupe distinct par les microbiologistes du sol, les actinobactéries sont en fait des Eubactéries Gram positives à structure végétative de type mycélien (Figure3). Les actinobactéries présentent des similitudes avec les Eubactéries et les Champignons et il existe des formes de transition entre les formes mycéliennes typiques et les formes unicellulaires présentant une aptitude peu marquée à former un mycélium ramifié. Le diamètre des filaments des formes mycéliennes est toutefois environ deux fois plus faible (0,5 à 1,2  $\mu\text{m}$ ) que celui des mycéliums de champignons (**Roger et Garcia, 2001**).

Les actinobactéries se rapprochent morphologiquement des champignons par :

- la formation de mycélium, souvent aérien, et de conidies;
- l'absence en culture de la turbidité caractéristique des bactéries et la formation d'amas de cellules;
- un taux de croissance généralement cubique et non exponentiel comme chez les Bactéries.

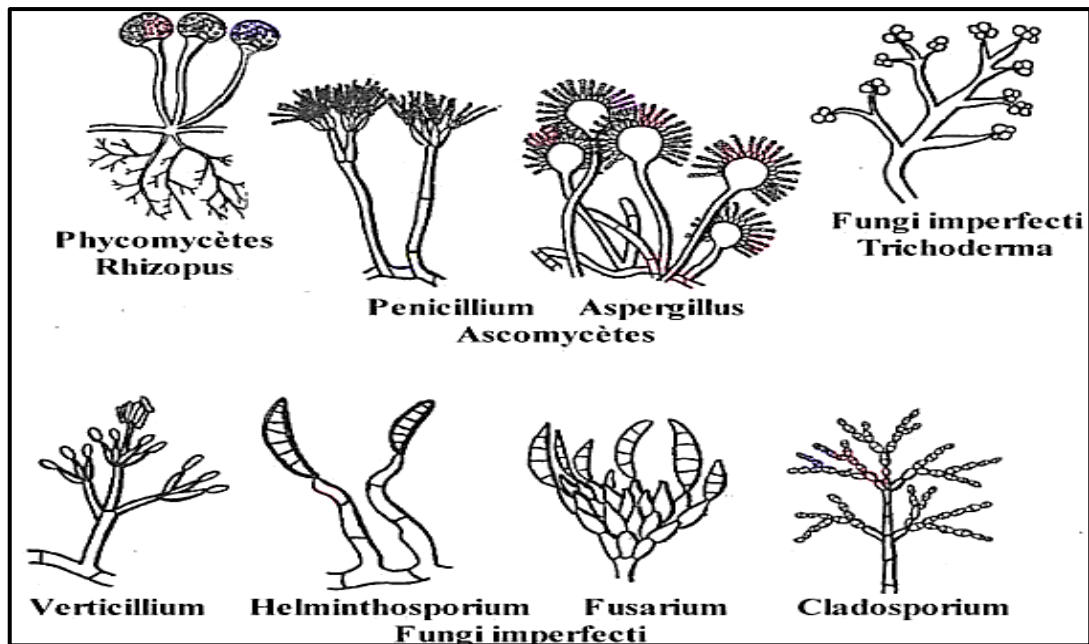


**Figure 3.** Principaux groupes d'actinobactéries (Roger et Garcia, 2001).

Toutefois les analogies entre les Champignons et les actinobactéries sont en fait une convergence de forme plutôt que d'une parenté génétique en raison de la structure procaryote Des actinobactéries alors que les Champignons ont une structure eucaryote.

#### 4.2. Champignons

Les Champignons du sol ou mycètes sont des levures, des Champignons supérieurs et surtout des moisissures des genres *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Mucor*, *Trichoderma*... (Figure4). Ils peuvent être définis comme des microorganismes hétérotrophes filamenteux et immobiles ; mais l'hétérotrophie est la règle générale, les autres critères ne sont pas absolus (Sablonnier, 2002).

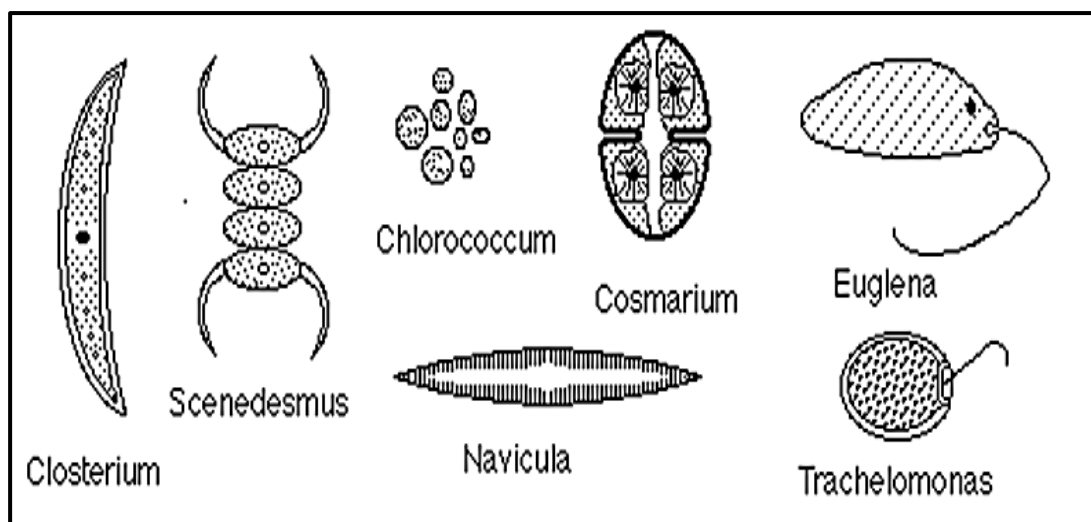


**Figure 4.** Les Champignons du sol (Roger et Garcia, 2001).

### 4.3. Algues

Cet ensemble regroupe des formes extrêmement variées de tailles diverses, depuis les organismes unicellulaires microscopiques jusqu'aux algues marines qui peuvent atteindre 30 m de long. Ce sont les plus simples des eucaryotes chlorophylliens (Figure 5). Leur classification est fondée sur la composition des pigments et de la paroi cellulaire.

Les algues, en raison de leur caractère photosynthétique, ont une signification différente des autres microorganismes du sol. Alors que les bactéries et champignons sont principalement des agents de décomposition et de minéralisation, les algues sont des producteurs primaires. Dans les milieux fertiles, leur contribution, qui est faible par rapport à celle des Phanérogames, passe souvent inaperçue. Par contre dans les milieux extrêmes (pluviométrie réduite, températures élevées ou très basses, milieux hypersalés ....) elles constituent le producteur primaire principal.



**Figure 5.** Morphologie de quelques algues communes dans les sols. (Roger et Garcia, 2001).

#### 4.4. Les protozoaires

Les protozoaires isolés des sols sont variés et se développent dans les zones superficielles humides, au niveau des films d'eau entourant les particules. Le rôle des Protozoaires dans le sol est encore mal compris. Les prédateurs jouent un rôle certain dans l'équilibre biologique des sols puisqu'ils consomment de très grandes quantités de bactéries: un Rhizopode utilise environ 40000 bactéries par division cellulaire (Benahmed, 2017).

### 5. Pollution des sols

#### 5.1. Définition

La pollution et la contamination sont deux expressions couramment employées pour désigner l'accumulation anormale et exogène, généralement due à une activité humaine, d'éléments ou de composés minéraux, organiques ou d'agents pathogènes dans un milieu donné dont la qualité se trouve affectée (Chassin *et al.*, 1990).

Les pollutions du sol sont d'origine industrielle, agricole ou urbaine et ces différentes sources entraînent la présence de nombreuses molécules xénobiotiques différentes.

Les polluants organiques d'origine industrielle incluent le pétrole et ses dérivés, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) et les hydrocarbures chlorés.

L'agriculture est aussi l'une des causes importantes de la pollution des sols. Pensons seulement aux engrais, aux insecticides et aux **pesticides (Van der Perk, 2006)**.

La pollution du sol se présente sous deux formes : localisée et diffuse et chacune de ces deux formes peut être accidentelle ou chronique (**Jeannot et al., 2000**).

## **5.2 Micropolluants des sols**

### **5.2.1. Micropolluants organiques**

Ce sont en grande majorité des produits de synthèse issus de l'activité anthropique. Ils proviennent principalement de trois ensembles d'activités industrielles (production d'énergie, métallurgie, industries chimiques...), urbains (transport, traitement des déchets,...) et agricoles (utilisation de produits phytosanitaires) (**Chu et al., 2005**).

#### ➤ **Les hydrocarbures**

Les hydrocarbures regroupent différents produits pétroliers (pétrole brut, pétrole raffiné, kérosène, essences, fuel, lubrifiants, et huiles à moteurs). On définit les hydrocarbures par des familles de dérivés en fonction de leur utilisation, ces familles sont basées sur des coupes de raffinage pétrolier. Il est possible de préciser le nombre d'atomes des molécules et leurs composants (**Lemière et al., 2001**).

#### ➤ **Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**

Naturellement présents dans les combustibles fossiles, les HAP se retrouvent dans tous les compartiments de l'écosystème terrestre. Les origines naturelles de ces composés sont extrêmement variées: feux de forêt, activité volcanique, processus géochimique, etc... Cependant, une quantité importante de ces composés est d'origine anthropique et résulte notamment des procédés de pyrolyse ou de combustion, utilisés dans l'industrie, les transports ou le chauffage. Parmi les procédés de pyrolyse, les anciennes usines à gaz et les anciennes cokeries ont systématiquement pollué par des HAP les sols de ces sites industriels (**Colin, 2000**).

#### ➤ **Les composés organiques volatils (COV)**

Les composés organiques volatils (COV) reposent à la fois sur des critères chimiques et physiques. En effet, les COV sont tout d'abord des composés

organiques, c'est-à-dire des composés contenant au moins l'élément carbone et un ou plusieurs autres éléments tels que l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, les halogènes (fluor, chlore, brome, iode), le soufre, le phosphore, le silicium, etc. De plus, les COV se caractérisent par leur grande volatilité : ils passent facilement de l'état liquide à l'état gazeux, dans les conditions normales de pression et de température (**ORS, 2007**).

➤ **Phénols et dérivés**

Le phénol est un composé organique aromatique composé de noyau benzénique relié avec un groupement hydroxyle (-OH). Bien qu'il ait une fonction alcool, le phénol a des propriétés uniques et n'est pas classé comme un alcool. Sa structure est relativement simple (**INERIS, 2005**).

Le phénol est présent dans de nombreux végétaux. Dans les laboratoires, il est couramment utilisé comme un produit chimique pour diverses activités. Il peut être trouvé directement en tant que réactif commercial ou bien préparé dans le cadre d'un mélange dans le laboratoire.

➤ **Les pesticides**

Les pesticides sont des produits « phytopharmaceutiques », ou plus communément produits phytosanitaires, destinés à protéger les plantes cultivées et les récoltes des attaques d'insectes, d'acariens, de rongeurs champêtres et de celles des champignons parasites, et à détruire les adventices. D'autres pesticides (produits « biocides ») sont réservés à des usages domestiques, comme la destruction des rats, souris, blattes, la protection des tissus contre les mites et la protection des bois contre les champignons, les termites...etc. (**Devillers et al., 2005**).

### **5.2.2. Micropolluants inorganiques**

Il s'agit d'un ensemble d'éléments ou de composés dont l'accumulation est responsable d'une pollution du sol. Généralement ils sont non biodégradables, accumulatifs et toxiques quand ils sont présents en grande quantité. Les micropolluants minéraux métalliques et non métalliques les plus rencontrés sont le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb, le sélénium, le zinc, l'arsenic, le molybdène, le cobalt, le bore et le thallium (**Boucheseiche et al., 2002**).

## 6. les facteurs influençant la biodiversité du sol

Beaucoup de paramètres biotiques et abiotiques interviennent pour modeler la structure des communautés bactériennes des sols tant en termes de diversité que d'effectifs (**Borneman et Triplett, 1997**). La dynamique bactérienne est aussi très importante, l'écosystème sol étant soumis en permanence à des perturbations de tous ordres qui vont avoir de profondes répercussions sur la structure des communautés.

### 6.1. La température

La température est un facteur contrôlant la diversité microbienne. Par exemple, *Andrews et al.* (2000) ont observé que la richesse en espèces (bactériennes) était plus faible à basse température (4°C) qu'à haute température (> 20°C). L'augmentation de la température pourrait d'une part diminuer la biomasse bactérienne et fongique, ce qui diminuerait l'utilisation des substrats carbonés (**Frey et al., 2008**), mais d'autre part favoriser les champignons par rapport aux bactéries. L'impact de la température sur la diversité taxonomique bactérienne varie selon le type de sol et leur situation géographique (**Lauber et al., 2013**).

### 6.2. Le pH

La biodiversité des sols et ses fonctions sont influencées par des interactions complexes de facteurs abiotiques et biotiques, sur lesquels le changement et la dégradation de l'utilisation des terres peuvent avoir un effet négatif. Parallèlement à d'autres variables physiques et chimiques, les changements dans le pH du sol peuvent avoir une forte influence sur les communautés du sol (**Mark, 2009**).

Le pH du sol a également différencié la structure des communautés microbiennes dans les sols post-glaciaires (**Tripathi et al., 2018**) et arables (*Rousk et al., 2010a*). De telles observations intéressantes sur l'effet du pH du sol sur la biodiversité du sol sont étonnamment rares et peu d'articles traitent directement des impacts des changements de pH sur la biodiversité du sol. Lors d'une recherche dans la Core Collection of Web of Science en février 2018, un seul article enregistré a été retourné sur une recherche de sol, biodiversité, pH dans le champ titre, il s'agissait d'*Oldén et al. (2016)*.

### 6.3. Humidité du sol

L'humidité du sol a une influence sur la conductivité et la capacité thermique cependant cette caractéristique physique varie en fonction de la profondeur et du temps (Gobat *et al.*, 1998). Pour la méso faune et comme pour toute la faune du sol, l'eau est un facteur essentiel, l'excès comme l'insuffisance lui est néfaste.

Par exemple, il a été montré une corrélation positive entre l'humidité et la biomasse microbienne totale.

### 6.4. Le contenu en azote total et en carbone organique

Le contenu en azote total et en carbone organique, du sol sont également connus pour influencer la diversité bactérienne. Ainsi Will *et al.* (2010) ont montré une corrélation positive entre la diversité taxonomique et la quantité de carbone organique, d'azote total dans le sol. En étudiant l'impact du carbone, Fierer *et al.* (2007, 2012) ont décrit une abondance élevée d'*Acidobactéries* (et plus globalement de bactéries oligotrophes) dans un sol pauvre en matière organique et au contraire une abondance élevée de Bactéroidetes ou de  $\beta$ -Protéobactéries (bactéries copiotrophes) dans les sols contenant une grande quantité de carbone biodisponible.

## 1. Généralités

### 1.1. Définition d'irrigation

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (El-Asslouj *et al.*, 2007).

### 1.2. Les ressources en eau pour l'irrigation

#### 1.2.1. Les eaux de surface

Les eaux de surface sont constituées par les eaux des rivières, des fleuves, des étangs, des lacs, des barrages, des réservoirs, des glaciers. Il s'agit d'une masse d'eau bien individualisée, solide ou liquide, immobile ou en mouvement (Manceur et Djaballah, 2016).

La qualité des eaux de surface varie fortement suivant leurs origines. Selon le cas, elles sont naturellement riches en matières en suspension et en matières organiques naturelles, acides, peu minéralisées,... Elles sont également vulnérables aux pollutions.

##### 1.2.1.1. Types d'eau de surface

###### ➤ Eaux courantes

Sous le terme « Eaux courantes » sont cartographiés tous les milieux aquatiques traversés par un courant d'eau. Cela comprend aussi bien les larges étendues d'eau à l'écoulement régulier, comme les rivières, les canaux et ruisseaux de dimensions plus modestes et à régime hydrologique (Delarze et Gonseth, 2008).

###### ➤ Eaux stagnantes

Les eaux dites « stagnantes » sont celles des lacs, des réservoirs, des étangs, des sablières et des canaux. Il existe une convergence entre les systèmes courants et stagnants des points de vue de l'hydrologie. En effet, le temps de séjour des lacs (systèmes stagnants) peut atteindre plusieurs siècles, mais aussi se limiter à quelques semaines, comme c'est le cas de certaines rivières (systèmes courants) en période de

basses eaux. Les systèmes stagnants sont très diversifiés. ils sont d'origine naturelle (tectoniques, volcaniques, glaciaires...) ou artificielle (étangs de pisciculture, barrage-réservoirs...). Leur âge varie de plusieurs millions d'années (lac Baïkal) à quelques mois (sablères) (Claire, 2015).

### 1.2.2. Les eaux souterraines

Les eaux de pluie qui ne sont ni ré-éaporées, ni retournées à la mer par ruissellement, s'infiltrent dans le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines. La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappes (Hadeff et Hasni, 2017).

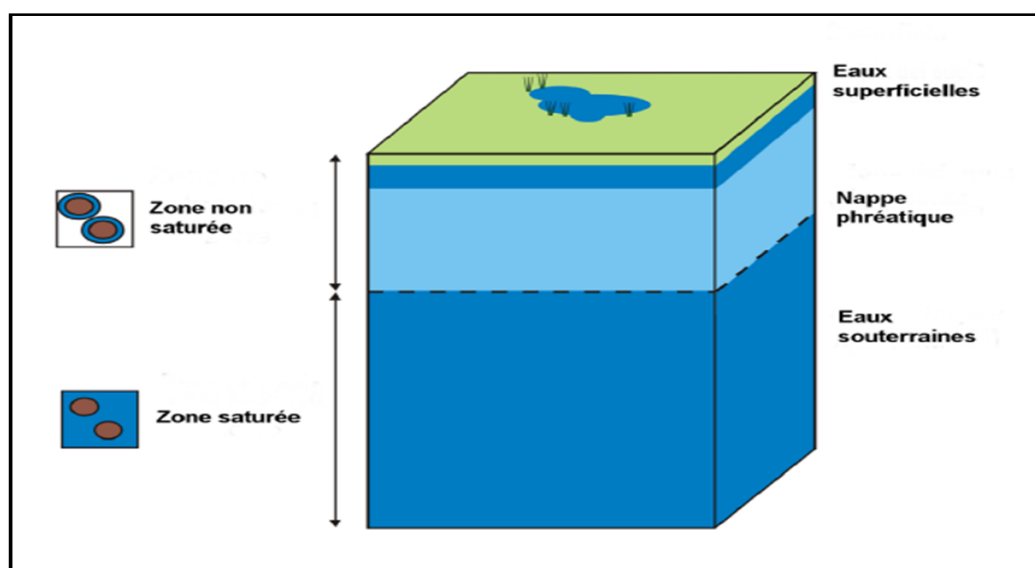


Figure 6. Présentation des eaux souterraines (RAMSAR, 2010).

#### 1.2.2.1. Les nappes d'eaux souterraines

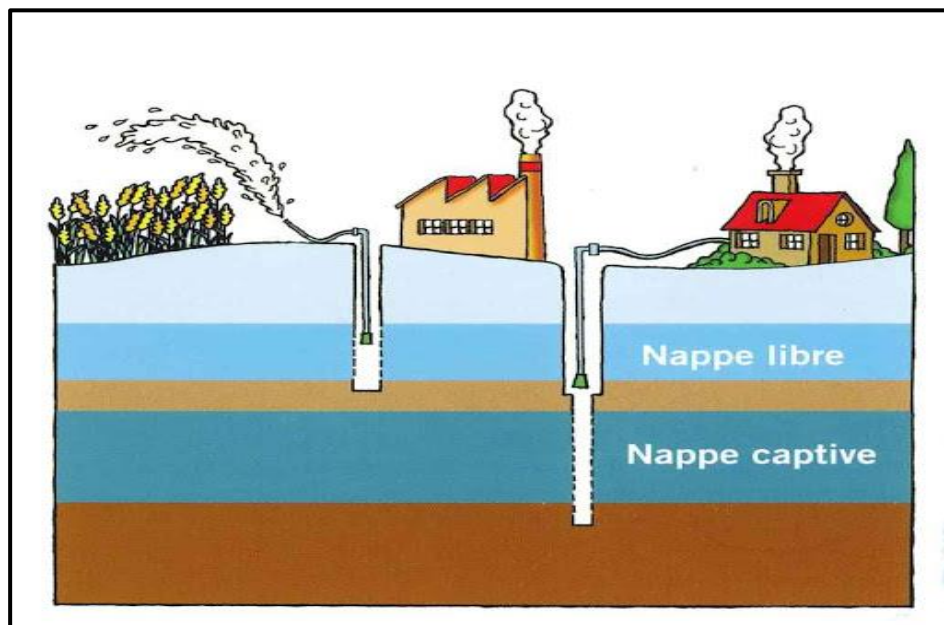
Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de deux types selon qu'elles circulent sous une couche perméable ou non.

##### ➤ Les nappes d'eau libres

Une nappe libre : Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Les eaux de cette nappe ne sont pas maintenues sous pression par un toit moins perméable que la formation qui la contient (AEAG, 2010).

➤ **Les nappes d'eau captives**

Elle est alors séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle n'est donc pas alimentée directement par le sol et elle se situe à des grandes profondeurs et par conséquent est peu sensible aux pollutions (**Degremont, 2005; Cardot, 1999**)



**Figure 7.** Schéma distinctif d'une nappe libre ou captive.

**1.2.3. Les eaux usées épurées**

L'une des conséquences de l'utilisation des eaux est la génération d'eaux usées dont la composition dépend de leur origine ou, dit autrement, de leur nature. On distingue trois grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles et les eaux pluviales (**Martin, 2004**).

➤ **Eaux usées domestiques**

Essentiellement porteuses de pollution organique et se répartissant en eaux ménagères ou grises (salles de bains et cuisines) généralement chargées en détergents, en graisses, en solvant et en débris organiques ; et en eaux vannes (rejets des toilettes) caractérisées par une importante charge en diverses matières organiques azotées et en germes fécaux et pathogènes.

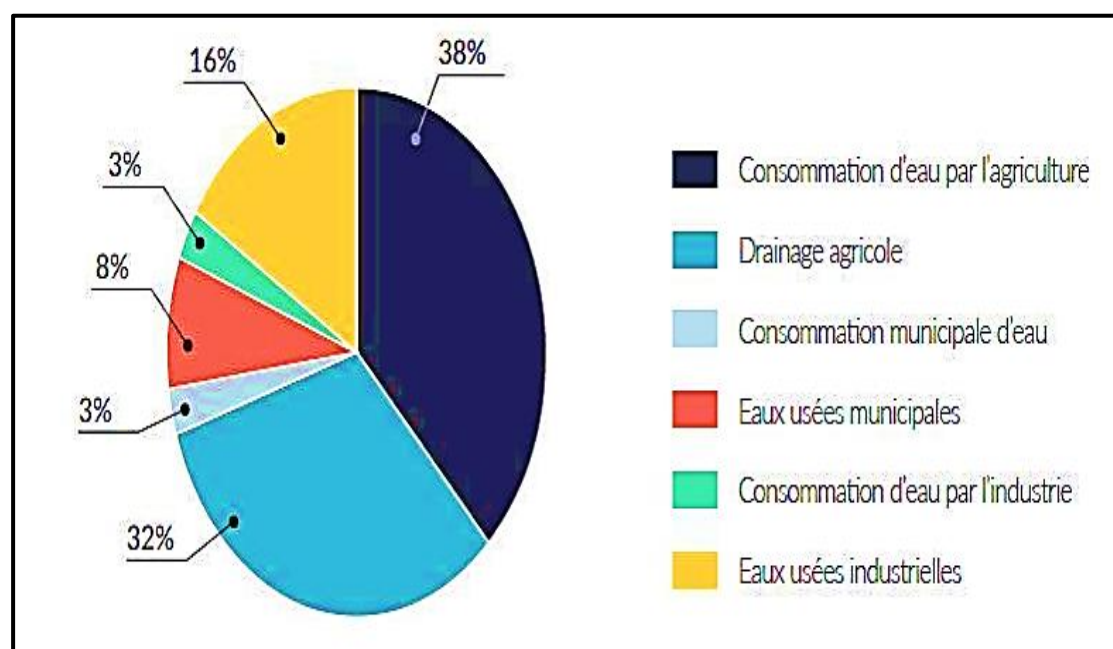
➤ **Les eaux usées industrielles**

Les eaux usées industrielles regroupent toutes les eaux qui sont en principe rejetées par l'usine dans le milieu extérieur, après avoir contribué à la fabrication, au nettoyage, au transport, au refroidissement (**Woodard,**

2001). De façon générale, elles se composent des :

- Eaux de fabrication,
- Eaux des circuits de refroidissement,
- Eaux de lavage des sols et des machines,
- rejets des services généraux.

Selon le dernier rapport de l'agence des nations unies chargée des questions de l'eau (**Un water, 2017**), l'industrie est l'activité humaine qui génère le plus d'eaux usées (**Figure 1.2**). La composition et la concentration des effluents industriels sont extrêmement variables suivant le type d'industrie (**Shi, 2000**).



**Figure 8.** Consommation d'eau et production d'eaux usées par les principaux secteurs (**Un water, 2017**).

#### ➤ Les eaux pluviales

Les eaux pluviales peuvent être fortement polluées en particulier en début de pluie du fait du lessivage des fumées dans l'atmosphère des lavages des chaussées grasses et des toitures chargées de poussière, du lessivage des zones agricoles traitées (écoulement de purin, épandage d'engrais et de désherbants) et des zones de terrassements (écoulement de boues). Les polluants présents dans ces eaux peuvent être des matières organiques biodégradables ou non, des matières en suspension ou dissoute, des toxiques.

➤ **Les eaux usées agricoles**

Les eaux usées agricoles Elles proviennent du lessivage des terres cultivées et traitées avec des engrais et des pesticides, l'utilisation extensive de ces produits sont à l'origine de la présence des nitrates et des éléments traces métalliques (Zn, Cu, Pb,...) dans ces eaux.

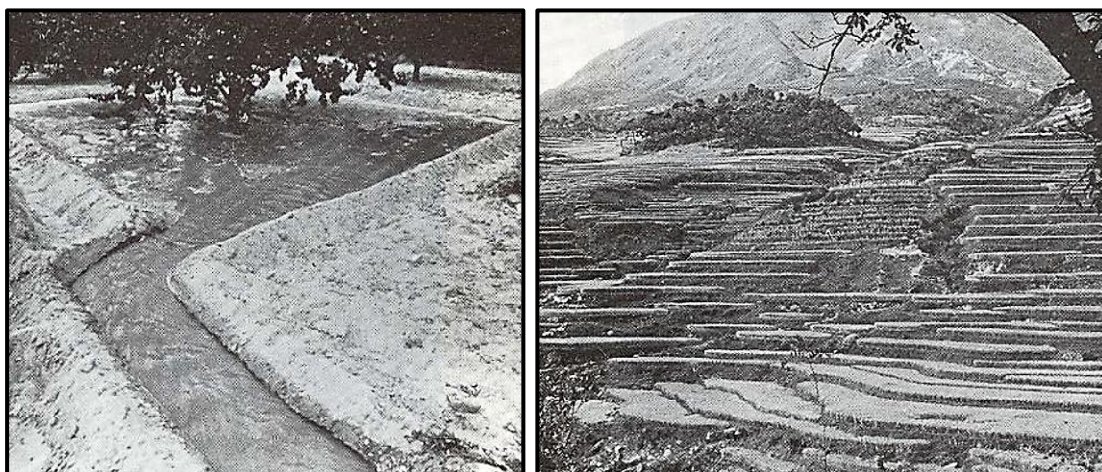
### 1.3. Les différents systèmes d'irrigation

#### 1.3.1. Irrigation gravitaire

L'irrigation gravitaire regroupe l'ensemble des techniques d'arrosage dans lesquelles la distribution de l'eau à la parcelle se fait entièrement à l'air libre par simple écoulement à la surface du sol. La répartition de l'eau est assurée grâce à la topographie du terrain, et aux propriétés hydriques du sol (ruissèlement, infiltration, et capillarité).

➤ **Irrigation en bassins**

L'irrigation en bassin est la méthode d'irrigation la plus connue, l'eau est apportée sous forme d'une nappe dans un bassin (qui peut être cloisonné) aménagé sur un sol nivelé de pente variant de 0,1 à 1 % ; elle est la plus simple de toutes les méthodes d'irrigation. Avec ce système, les digues sont construites autour de ces surfaces, les transformant en bassins à l'intérieur desquelles le plan d'eau peut être contrôlé. Les bassins sont remplis jusqu'à la profondeur désirée et l'eau s'infiltré ensuite dans le sol (Sophie et Alexandre, 2003).



**Figure 9.** Irrigation par bassins (FAO, 1990).

Selon **Tiercelin (2006)**, l'irrigation par bassin est une méthode où l'eau est appliquée sur une surface de pente relativement nulle, et endiguée de façon à remplir d'eau, et attendre par la suite que l'eau s'infilte. La majeure partie de l'infiltration se fera quand le bassin est rempli.

➤ **Irrigation par planches**

Les planches sont des bandes de terrain, aménagées en pente douce et séparées par des diguettes. Elles sont aussi appelées calants ou planches d'arrosage.

L'alimentation en eau des planches est faite de plusieurs façons: soit à l'aide de prises d'eau aménagées sur le canal d'amenée et équipées d'une vannette, soit par des siphons, ou bien par des tuyaux d'alimentation passant à travers les berges du canal d'amenée (**FAQ, 1990**). La lame d'eau introduite ruisselle en descendant la pente de la planche, guidée par les diguettes des deux côtés de celle-ci (**voir figure 9**).



**Figure 10.** Mise en eau des planches (**FAO, 1990**).

➤ **Irrigation à la raie**

L'irrigation à la raie Ou par rigole convient parfaitement aux sols présentant une pente comprise entre 0,2 et 3%. Les sillons sont séparés d'une distance variant entre 0,6 et 1,25 m, selon le type de sol et la culture. Suivant le débit dont on dispose, on peut irriguer un ou plusieurs sillons à la fois. Les raies peuvent être parallèles ou perpendiculaires à la rigole permanente d'amenée d'eau. d'une manière générale, l'irrigation est réalisée suivant un débit unique ou suivant une succession de deux débits différents, un premier débit important qui est appelé débit d'attaque et un

deuxième débit plus faible qui est appelé débit d'entretien (FAO, 1990). L'irrigation à la raie se prête mieux à la mécanisation par siphon, par rampe à vannettes, par gaine souple ou par transirrigation.



**Figure 11.** L'irrigation par rigole (FAO, 1990).

### 1.3.2. Irrigation par aspersion

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle.



**Figure 12.** Irrigation par aspersion.

### 1.3.3. Irrigation en goutte à goutte

Nécessité de l'irrigation en goutte à goutte L'irrigation améliore l'établissement des arbres, l'utilisation des éléments nutritifs, la surface du feuillage et la santé des arbres. il améliore également la taille et la qualité du fruit. L'irrigation goutte-à-goutte est fondée sur le concept de la prévention plutôt que le soulagement du stress

hydrique. La réponse des cultures à cette approche est positive. Les avantages de l'irrigation au goutte-à-goutte sont :

- la technique est facilement automatisée
- l'arrosage peut se faire par temps venteux ou pendant la pulvérisation
- le feuillage n'est pas mouillé, ce qui réduit les problèmes de maladies
- l'eau n'entre pas en contact avec le produit, donc le risque de la salubrité des aliments lié à l'eau de qualité inférieure est réduit;



**Figure 13.** L'irrigation en goutte à goutte

Malgré ces techniques, l'efficacité de l'irrigation est à déplorer. Il est indispensable de pratiquer d'autres techniques plus efficaces et peu consommatrices d'eau, en particulier dans le cas des zones semi-arides et arides, dont le potentiel de ressources en eau mobilisées est faible. La recherche et l'expérimentation de nouvelles techniques d'irrigation économiques en eau est indispensables pour mieux intensifier l'agriculture en zones arides.

## **2. Importance de l'irrigation**

### **2.1. Les avantages**

Tant qu'on ne saura pas faire pleuvoir où et quand on veut, l'irrigation restera le seul moyen d'augmenter les rendements et de les régulariser dans bien des régions du monde.

En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres, et selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus (et même dix en zone aride) de production (**Plauchu, 2003**).

L'irrigation n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures. Elle est considérée plutôt comme un ensemble d'actions de développement intégré des milieux agricole et rural qui doit se traduire non seulement par l'augmentation de la production et l'amélioration du niveau de vie de l'agriculteur, mais doit se traduire également par la préservation du milieu, notamment des terres agricoles, et par une économie de l'eau d'irrigation qui elle-même se traduit par une économie dans l'utilisation de l'énergie (électricité, fuel, etc.) (Plauchu, 2003).

➤ **Apport sur le plan économique**

Depuis les années 60 la pratique de l'irrigation est à l'origine d'une augmentation de la production alimentaire globale dans l'ensemble des pays du tiers monde (De Regt, 1990). Répondant ainsi à une demande de produits alimentaires qui a considérablement augmentée par suite de l'essor démographique qui s'est manifesté dans la plupart des pays en voie de développement où, dans certains, la population double tous les 25 ou 30 ans.

L'irrigation n'a pas été seulement un atout dans l'augmentation de la production, elle a favorisé l'extension des surfaces agricoles mais également une diversification de produits plus large consommation que dans le passé.

➤ **L'irrigation un rempart à la famine**

L'irrigation bien maîtrisée est un rempart utilisé de longue date pour endiguer la sous-alimentation et renforcer la sécurité alimentaire des sociétés, la preuve en est que :

Le boom de la production agricole mondiale entre 1950 et 1990 doit beaucoup à l'irrigation. Entre ces deux années le rendement en céréales a plus que doublé et la récolte a presque triplée. Au début des années 50 on a étendu la surface cultivée, mais le boom, sans précédent historique, de la croissance des rendements et de la production est associé au doublement des surfaces irriguées, soutenue à partir des années 60 par la mise au point de nouvelles variétés de riz et de blé réagissant de manière optimale aux engrais et à l'eau (Tiercelin, 1998).

### ➤ La satisfaction

Tous les pays cherchent à satisfaire la demande nationale, mais ceux qui le peuvent s'efforcent d'exporter leurs surplus agricoles ou la totalité de certaines productions qui ne trouvent pas ou peu de débouchés sur le marché national. Certaines cultures de plantations irriguées, souvent héritage d'une colonisation, donnent des produits qui doivent être nécessairement exportés, c'est le cas par exemple de l'Algérie ou le Maroc qui doivent trouver des clients pour leurs agrumes (**Conac, 1978**).

## 2.2. Les inconvénients

L'irrigation présente deux inconvénients majeurs pour les milieux aquatiques. Elle est grande consommatrice d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions. L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation qui peut être apprécié par la conductivité électrique (CE) et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière, due aux échanges ioniques, concerne surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol; il est évalué par le coefficient d'absorption du sodium (SAR).

Mal conduite, elle peut être néfaste pour les sols. Lorsqu'ils sont trop secs, l'infiltration de l'eau se fait mal et si l'apport est trop important, une grande partie de l'eau stagne ou ruisselle le long des pentes. En s'évaporant, l'eau stagnante laisse en dépôt les sels qu'elle contient, favorisant une salinisation des sols qui deviennent progressivement incultes et doivent être abandonnés; c'est un phénomène que l'on observe surtout dans les régions arides et semi-arides. Quant au ruissellement de l'eau, il favorise l'érosion des sols, surtout lorsqu'ils sont secs. À l'inverse, des sols trop imbibés sont néfastes pour la plupart des végétaux dont ils asphyxient les racines. Les sols doivent donc être convenablement drainés afin de permettre à l'eau en excès de s'évacuer.

## 3. Impact d'irrigation sur la qualité de sol

### 3.1. Problème de salinité de sol

L'irrigation peut conduire à la salinisation des sols particulièrement dans les zones arides et semi-arides qui sont caractérisées par une évaporation élevée (**Ndiaye et al., 2008**). La salinisation est le processus d'accumulation des sels dans le sol sous l'influence d'apport d'eau salée, de l'aridité du climat ou de conditions hydrologiques particulières (lixiviation insuffisante, proximité de la nappe) (**Olivier, 2014**). Elle est

appelée salinisation, si elle passe par la voie neutre, ou alcalinisation si elle est accompagnée par une augmentation du pH du sol (**Tabet, 1999**). Cette salinisation des sols conduit à l'abandon des terres agricoles et provoque une baisse de la production agricole.

### **3.1.1. La dégradation des sols par alcalinisation**

Les sols alcalins, caractérisés par un PH élevé, souvent au-dessus de 9 et une forte proportion de sodium sur le complexe d'échange (supérieure à 15% aux sols salés), deux points les distinguent des sols salés Ce sont :

- La composition chimique de la solution du sol à nette prédominance bicarbonaté sodique ;
- Une dégradation des propriétés physiques des sols, les cations sodium tendent à provoquer la des structure en favorisant la dispersion des colloïdes minéraux.

### **3.1.2. La dégradation des sols par salinisations**

La salinisation est l'accumulation des sels hydrosoluble dans le sol. Les sels se dissolvent et se déplace avec l'eau. Quand l'eau s'évapore, les sels restent. Elle a pour principales conséquences :

- L'augmentation de la pression osmotique dans la solution du sol empêche la pénétration de l'eau dans la plante, provoque une plasmolyse des cellules, parfois irréversible et qui peut aboutir à la mort du végétal.
- Certaines plantes sont adaptées à ces concentrations, ce sont les plantes halophytes, mais les plantes cultivées ne le sont pas.
- Une toxicité pour les végétaux due à l'accumulation de certains ions, dont : chlorure, sodium, bore, qui s'accumulent dans les feuille et peuvent provoquer des dommages métaboliques.
- Diminution de l'activité microbienne du sol, la nitrification et la production de CO<sub>2</sub>.les produits organique formés changent.

Lorsque le sodium domine dans l'eau, on parle de salinité, et lorsque il domine adsorbé à l'argile on parle de sodicité.

### 3.2. Problème de perméabilité

Un problème de perméabilité lié à la qualité de l'eau apparaît quand la vitesse d'infiltration de l'eau ou à travers le sol est ralentie par la présence ou l'absence de certains sels dans l'eau. On l'évalue d'après deux paramètres: premièrement, la qualité totale des sels étant donné qu'une eau contenant peu de sel peut compromettre la perméabilité du sol; deuxièmement, la comparaison du taux sodium contenu dans l'eau avec les taux de calcium et de magnésium (FAO, 1990). Les carbonates et les bicarbonates peuvent aussi influencer sur la perméabilité du sol et doivent être évalués.

### 3.3. Problème de toxicité

Certains ions comme le B, Cl et le Na, à un certain niveau de concentration, ont un effet sur la croissance des plantes. L'apparence des fruits et légumes est quelquefois marquée par l'azote qui entraîne une croissance excessive (mais dans ce cas les engrais mal répartis peuvent aussi être mis en cause). la betterave, la vigne, les abricotiers, les agrumes sont sensibles à l'excès d'azote. L'irrigation par aspersion, à partir d'eau bicarbonatée, provoque des dépôts blanchâtres. D'autres inconvénients, forte acidité ou forte alcalinité des produits, doivent être importés au PH de l'eau (Debieche, 2002).



**Matériel et  
méthodes**

## 1. Echantillonnage

Dans le but d'étude de l'impact des eaux d'irrigations sur la diversité microbienne du sol, trois échantillons de sol ont été prélevés.

Le prélèvement d'un échantillon de sol est une opération délicate, l'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de sol.

Les échantillons du sol sur lesquels nous avons réalisé notre étude, sont prélevés des terres agricoles irriguées par l'Oued Meskiana.

Oued Meskiana couvre une superficie de 465.6km<sup>2</sup>, avec une longueur de 53.80Km et les coordonnées suivantes (**Zidi, 2021**)

- Latitude : 35,51' Nord et 35,13' Nord.
- Longitude : 7,50' Est et 7,14' Est.

Les terres qui entourent l'oued sont exploitées par les agriculteurs pour les cultures maraîchères.

Pour évaluer l'impact de l'irrigation avec les eaux d'Oued Meskiana sur la qualité microbiologique du sol, nous avons choisis trois points de prélèvements au. Le tableau 2 résume les caractéristiques des trois points de prélèvement.

**Tableau 2.** Les caractéristiques des trois échantillons de sol étudiés.

Point de prélèvement	Site 1	Site 2	Site 3
Caractéristiques	<b>Avant déversement des eaux usées</b>	<b>Après déversement des eaux usées</b>	<b>Non irrigué</b>
	Sol cultivé en Persil, irrigué par les eaux d'Oued Meskiana partie Amont, les eaux de l'Oued sont touché par une faible eutrophisation	Sol cultivé en Cerfeuil, irrigué par les eaux d'Oued Meskiana partie Avale à 100m du déversement des eaux usées	Non irrigué, non cultivé, non travaillé avec quelque plantes sauvage.

Les échantillons sont prélevés à l'aide d'une tarière sur une profondeur 30 cm. Cette profondeur représente la profondeur de la majorité des racines des produits

cultivés et qui représentent aussi la couche hémi-organique dans laquelle, se manifeste généralement une activité biologique élevée à cause de l'effet rhizosphérique important sur le plan édaphique (Zidi, 2021).

Les échantillons de sol prélevés ont été nettoyés de tous les débris et tamisés à l'aide d'un tamis à mailles rondes de 2 mm de diamètre en prenant soin de stériliser le tamis avec de l'alcool éthylique à 70 % entre chaque échantillon afin d'éviter les contaminations bactériennes. Chaque échantillon a été divisé en deux parties. Une première moitié pour les analyses physico-chimiques du sol (séchés à la température ambiante) et l'autre moitié pour les analyses microbiologique du sol (conservé au réfrigérateur à 4°C).

## 2. Analyses physico-chimiques

### 2.1. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH du sol exprime une acidité "actuelle" qui correspond à la concentration en ions  $H^+$  libres libérés dans la solution d'extraction; sa mesure ne donne pas toujours des résultats reproductibles due probablement à la variabilité de l'échantillonnage, c'est pourquoi la mesure du pH KCl est intéressante ; sa valeur sera plus basse en raison de l'échange d'ions  $K^+$  avec des ions  $H^+$  fixés sur le complexe adsorbant. La différence entre ces deux pH traduit donc l'acidité potentielle du sol.

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre électro métrique étalonné avec deux solutions à pH connu (pH 4 et pH 10) à 20°C, dans une suspension du sol et d'eau distillée, après agitation pendant 1 h, suivie d'un repos de 18 h, selon la norme (NF X 31- 117 1999).



**Figure 14.** Le ph mètre utilisé pour la mesure du pH.

## 2.2. Conductivité électrique du sol (CE)

La conductivité électrique mesure la teneur en sels solubles d'une solution. Cette mesure a été faite à l'aide d'un "conductimètre" équipé d'un dispositif de compensation de température de référence de 25°C. Cet appareil est préalablement étalonné à l'aide d'une solution de chlorure de potassium (KCl).

Cette mesure est réalisée en plongeant l'électrode dans une suspension suivant un rapport sol / eau distillée de 1/5. Les résultats sont exprimés en  $\mu\text{S} / \text{cm}$  après une agitation d'une heure, repos d'1/2 heure et une centrifugation de 2 à 4 mn.



**Figure 15.** Le conductimètre utilisé pour la mesure de la CE.

## 2.3. Matière organique

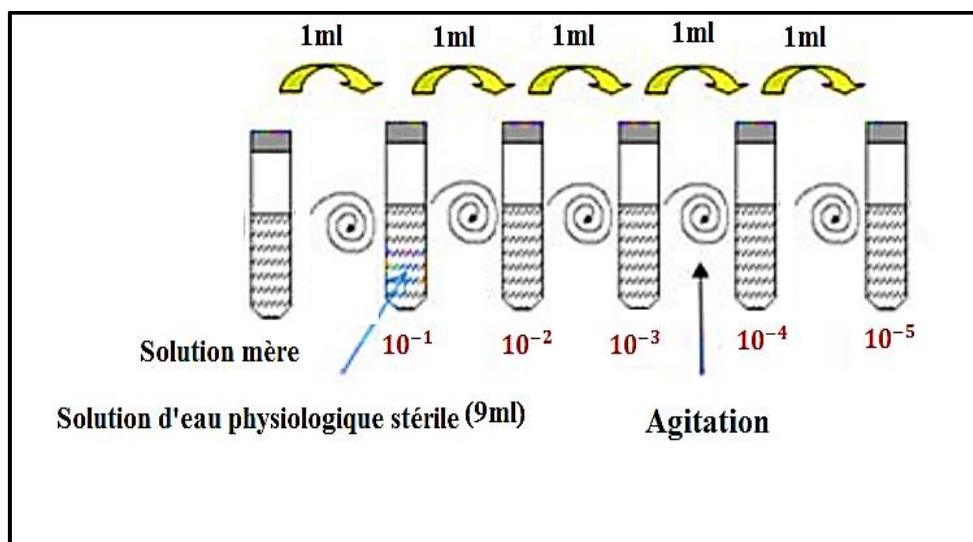
Le dosage du carbone organique a été effectué par la méthode de Walkley-Black dont le principe est basé sur l'oxydation à froid du carbone organique de l'échantillon du sol par une solution de bichromate de potassium en excès ( $K_2Cr_2O_7$ ) en milieu fortement acide. L'excès du bichromate dans la réaction est dosé par une solution de sel de Mohr (réductrice), la quantité réduite est proportionnelle à la teneur en carbone organique. La terre étant mise dans un excès de bichromate, le surplus de ce réactif est titré avec une solution de sulfate ferreux ( $FeSO_4,7H_2O$ ) en présence de diphenylamine. La matière organique est obtenue par la formule suivante :  $MO \% = C \% \times 1.72$ .

## 3. Analyses microbiologiques

### 3.1. Préparation des solutions mères du sol

1g de sol a été prélevé de chacun des trois prélèvements puis versés dans des flacons contenant 100 ml d'eau physiologique stérile et agitée pendant quelque

minutes au vortex pour assurer l'homogénéisation. Une série de dilutions a été effectuées à partir de la solution mère allant de  $10^{-1}$  jusqu'à  $10^{-5}$  (**Figure 16**).



**Figure 16.** Schématisation de la méthode de dilution.

### 3.2. Dénombrement de la flore totale aérobique mésophiles (FTAM)

Cette flore, appelée aussi FAMR (flore aérobique mésophile revivable) est un bon indicateur de la qualité générale et de stabilité des produits (**Guiraud, 2012**).

Le dénombrement de la FTAM a été effectué en utilisant la gélose PCA (**Annexe I**) maintenue en surfusion à  $45^{\circ}\text{C}$  dans des boîtes de Pétri. Pour obtenir une répartition homogène des colonies,  $100\mu\text{l}$  de la solution mère et de chaque dilution a été ensemencé en surface sur des boîtes de Pétri contenant le milieu PCA. L'incubation est effectuée à  $30^{\circ}\text{C}$  pendant 48h. L'opération est répétée deux fois pour chaque dilution (**Figure 17**).

Le dénombrement de la microflore totale se fait par comptage des colonies apparues dans des boîtes de Pétri en unité formant colonies (la méthode UFC) considère qu'une cellule ensemencée sur un milieu de culture favorable donnera naissance à une colonie macroscopiquement visible. On ne retient que les boîtes ayant entre 30 et 300 colonies :

- moins de 30 colonies, le résultat est non significatif.
- plus de 300 colonies le résultat est faussé car les colonies sont trop nombreuses.

On utilise la formule mathématique

$$N = \frac{\sum \text{Colonies}}{V \text{mL}(n_1 + 0.1n_2) * d_1}$$

N : Nombre d'UFC par gramme ou par mL de produit initial

$\sum$  Colonies : Sommes des colonies des boîtes interprétables

VmL: Volume de solution déposé (1 mL)

$n_1$ : Nombre de boîtes considérées à la première dilution retenue

$n_2$  : Nombre de boîtes considérées à la seconde dilution retenue

$d_1$ : Facteur de la première dilution retenue(NF ISO 7218,1996).

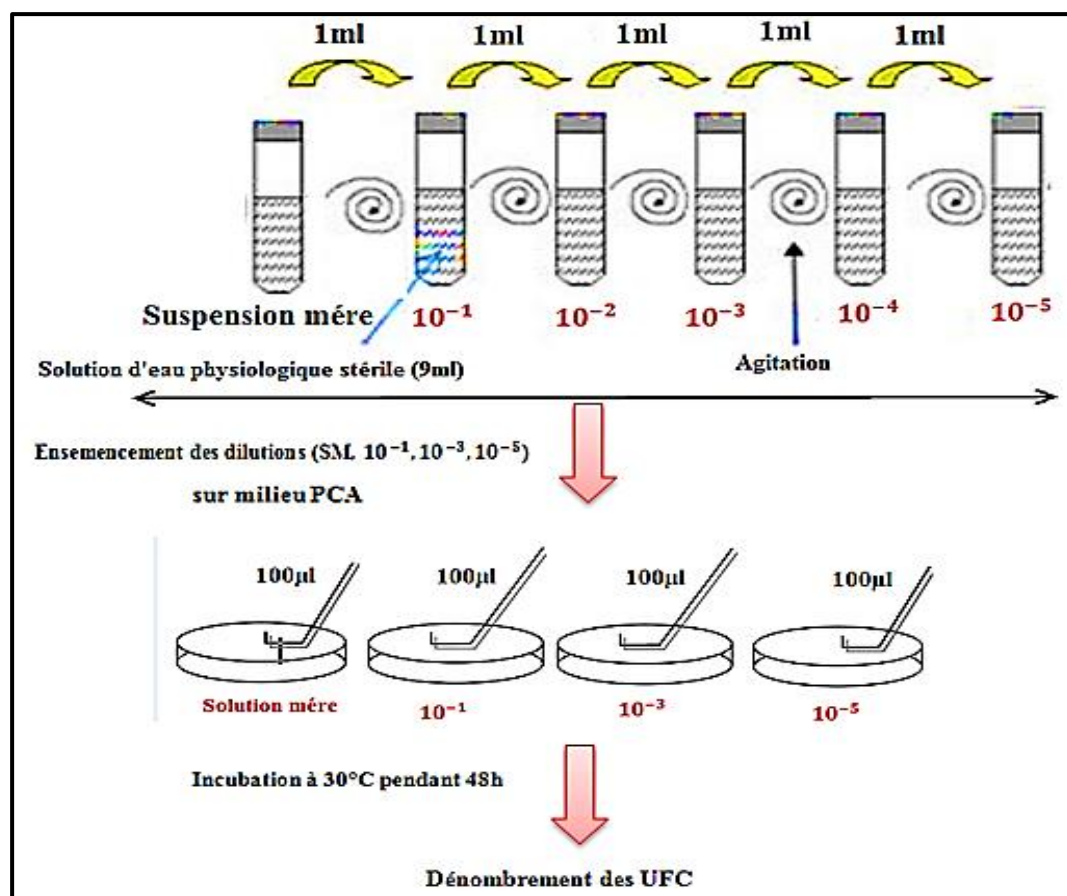
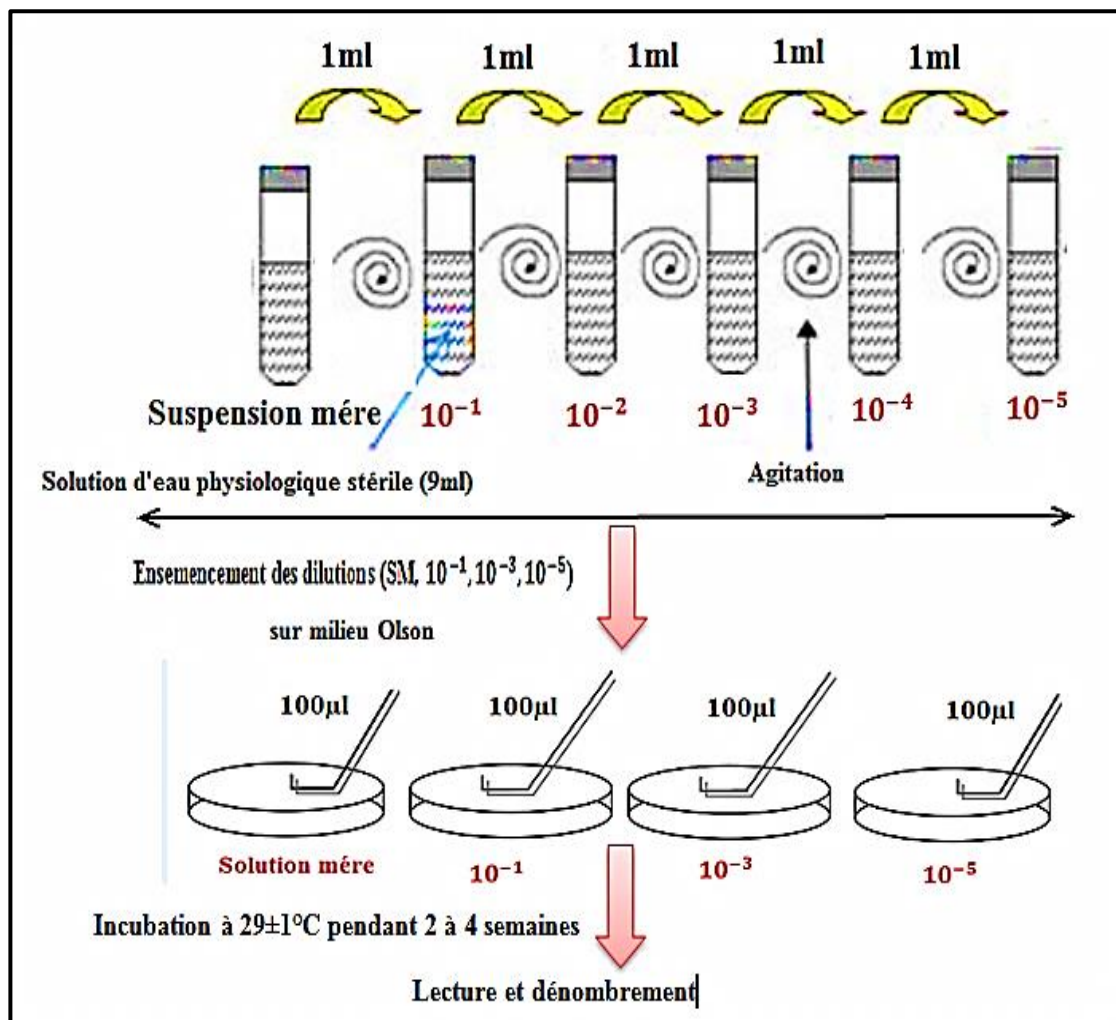


Figure 17. Mode opératoire du dénombrement de la flore totale aérobie mésophile.

### 3.3. Dénombrement des actinobactéries

100µl de la solution mère et de chaque dilution (SM,  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-5}$ ) a été ensemencé en surface sur des boîtes de Pétri contenant le milieu Olson (Annexe I). L'opération est répétée deux fois pour chaque dilution (Kitouni, 2007).

Après l'ensemencement, les boîtes sont incubées à  $29\pm 1^\circ\text{C}$  pendant 2 à 4 semaines et examinées régulièrement. Les colonies présentant les critères des actinobactéries sont dénombrées (**Figure 18**).



**Figure 18.** Mode opératoire du dénombrement des actinobactéries.

### 3.4. Dénombrement des champignons

Les ensemencements sont effectués par la méthode de suspension-dilution. On réalise des dilutions décimales dans l'eau physiologique stérile jusqu'à  $10^{-5}$ , puis on étale 100 µL des dilutions suivantes (SM,  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-5}$ ) à la surface de milieu de culture PDA (**Annexe I**). L'opération est répétée deux fois pour chaque dilution.

Après l'ensemencement, les boîtes sont incubées à  $25\pm 1^\circ\text{C}$  pendant 5 à 7 jours. Les colonies présentant les critères fongiques sont dénombrées (**Figure 19**).

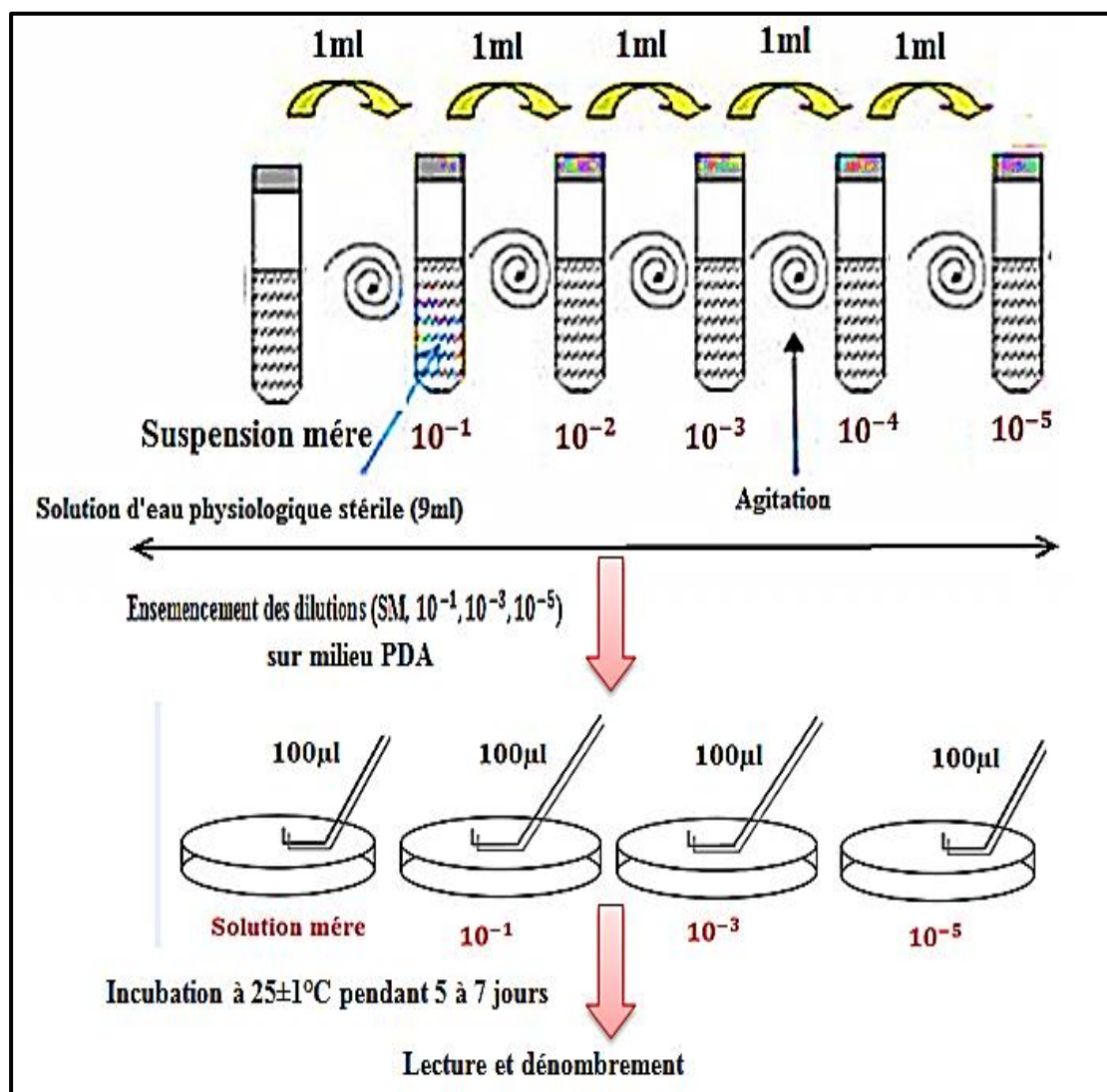


Figure 19. Mode opératoire du dénombrement des champignons.

### 3.5. Dénombrement des levures

100µl de la solution mère et de chaque dilution ( $SM$ ,  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-5}$ ) a été ensemencé en surface sur des boîtes de Pétri contenant le milieu sabouraud (**Annexe D**). L'opération est répétée deux fois pour chaque dilution.

Après l'ensemencement, les boîtes sont incubées à  $25\pm 1^\circ\text{C}$  pendant 5 à 7 jours (**Figure 20**).

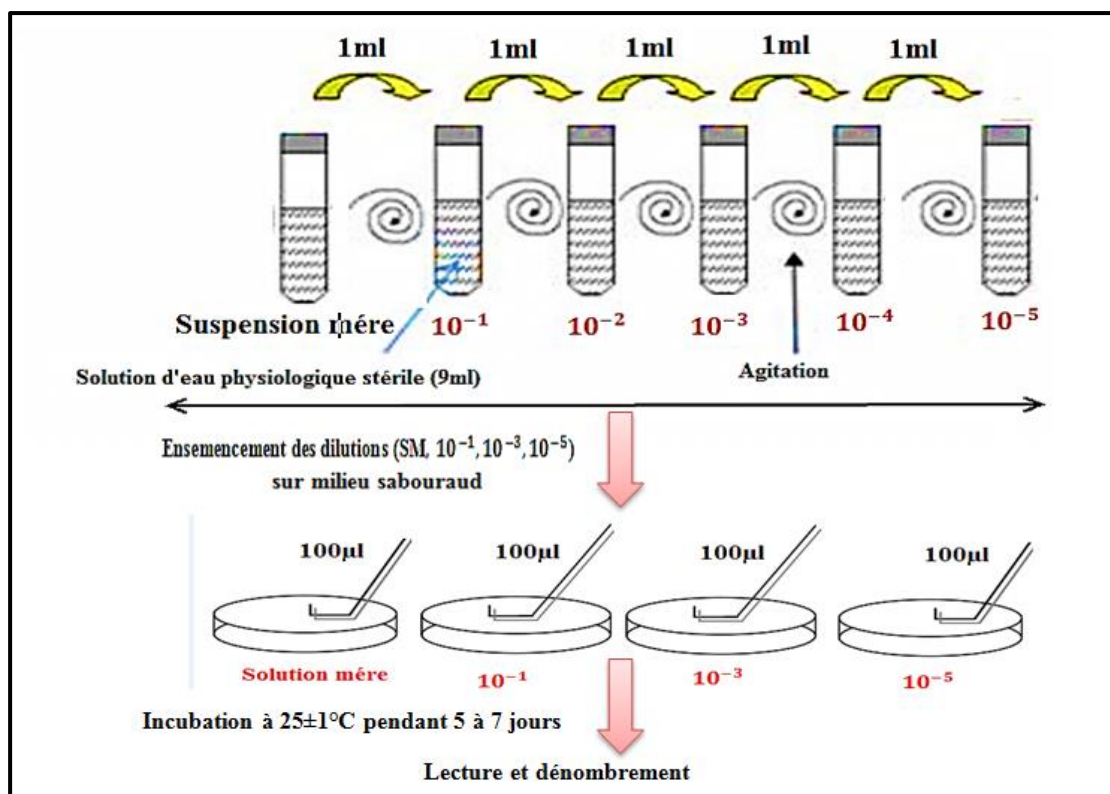


Figure 20. Mode opératoire du dénombrement des champignons.

### 3.6. Etude de quelques activités hydrolytiques

#### 3.6.1. L'activité cellulolytique (des actinobactéries, champignons et des levures)

Des tubes à essais contenant 10 ml de milieu liquide M13 (**Annexe I**) sont ensemencés par :

- Des colonies des actinobactéries, isolées à partir de solution mère des échantillons étudiés (1,2 et 3).
- Des colonies des champignons et de levures isolées à partir de la dilution 10<sup>-3</sup> des échantillons étudiés (1,2 et 3).

Après l'ensemencement une bandelette de papier filtre stérile de 7.5 cm de longueur sur 1 cm de largeur comme source de cellulose a été posé dans les tubes. Puis les tubes ensemencés par :

- Des actinobactéries sont incubées à 29±1°C pendant 2 à 4 semaines et examinées régulièrement.
- Des champignons et levures incubées à 25±1°C pendant 5 à 7 jours et examinées régulièrement.

L'apparition des pigments sur le papier filtre indique une hydrolyse de la cellulose. (Macy *et al.*, 1982).

### 3.6.2. L'activité amylolytique (des actinobactéries, champignons et des levures)

On coule la gélose M12 (**Annexe I**) maintenue en surfusion à 45°C dans des boîtes de Pétri. On laisse la gélose se solidifier. Pour les actinobactéries les boîtes de pétri sontensemencés par touches on utilisant les colonies isolées à partir de solution mère des trois enchantions. Alors que pour les champignons et les levures les boîtes de Pétri sontensemencés par touches par des colonies isolées à partir de la dilution  $10^{-3}$  des échantillons étudiés. Après l'ensemencement (**Larpent, 1975**).

- Les boîtesensemencées par des actinobactéries sont incubées à  $29\pm 1^\circ\text{C}$  pendant 2 à 4.
- Les boîtesensemencées par champignons et levure sont incubées à  $25\pm 1^\circ\text{C}$  pendant 5 à 7.

La lecture de l'activité amylolytique est effectuée après addition 2 ml de lugol (**Annexe II**) sur la culture. L'apparition d'un halo clair autour des colonies indique une hydrolyse de l'amidon due à la présence de la microflore amylolytique.

### 3.6.3 L'activité protéolytique (des actinobactéries, champignons et des levures)

Des boîtes de Pétri contenant le milieu M10 (**Annexe I**) sontensemencés par touches par des colonies des actinobactéries isolées à partir de solution mère des échantillons étudiés (1,2 et 3). D'autre boîte sontensemencés par touches par des colonies des champignons et de levure isolées à partir de la dilution  $10^{-3}$  des échantillons étudiés (1,2 et 3). Après l'ensemencement, les boîtes de pétriensemencées par des actinobactéries sont incubées à  $29\pm 1^\circ\text{C}$  pendant 2 à 4 semaines. Alors que les boîtes de pétriensemencées par des champignons et levure sont incubées à  $25\pm 1^\circ\text{C}$  pendant 5 à 7 (**Frazier, 1926**).

La lecture de l'activité protéolytique est effectuée par addition du réactif R I (**Annexe II**) Il se produit un précipité blanchâtre si la gélatine n'a pas été hydrolysée. La zone transparente autour les colonies indique la présence d'une protéase qui hydrolyse la protéine.



**Résultats et  
discussion**

## 1. Echantillonnage

Notre étude portait sur trois échantillons du sol. Les échantillons à tester ont été collectés à partir de trois points différents au niveau d'Oued Meskiana d'Oum El-Bouaghi. Durant le mois de Mai 2021.

Les points sélectionnés diffèrent entre elles par leur irrigation (Avant déversement des eaux usées, Après déversement des eaux usées, non irrigué). Les 3 échantillons sont principalement utilisés pour cultiver du Persil et Cerfeuil (**Tableau 3**).

Les analyses physico-chimiques et microbiologiques des trois échantillons ont été réalisées au niveau du laboratoire d'analyse de la qualité microbiologique et physicochimique des eaux, des produits agro-alimentaires, cosmétiques et détergents (EURL SID, Khenchela). Ainsi que dans le laboratoire d'université Abbes Laghrour Khenchela.

## 2. Résultats des paramètres physico-chimiques

Les résultats des paramètres physico-chimiques obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 03.** Les résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons de sol étudiés.

Paramètres	Echantillon 1	Echantillons 2	Echantillon 3	Normes
<b>pH</b>	7,98	7,99	7,88	NF ISO10390
<b>Conductivité électrique</b>	1,27	2,80	0,87	NF ISO10390
<b>matière organique (%)</b>	3,49	5.32	2.16	NF ISO10694
<b>CaCO<sub>3</sub> Total (%)</b>	31,31	32,40	32,87	NF ISO10693

**Tableau 04.** Statistiques des principaux paramètres physico-chimiques des sols.

Paramètres	Maximum	Minimum	Moyenne	Médiane	Écart-type
<b>pH</b>	7.99	7.88	7.95	7.98	0.003
<b>CE (mS/cm)</b>	2.80	0.87	1.65	1.27	0.69
<b>Matière organique %</b>	5.32	2.16	3.66	3.49	1.76
<b>CaCO<sub>3</sub> Total (%)</b>	32.87	31.31	32.19	32.40	0.43

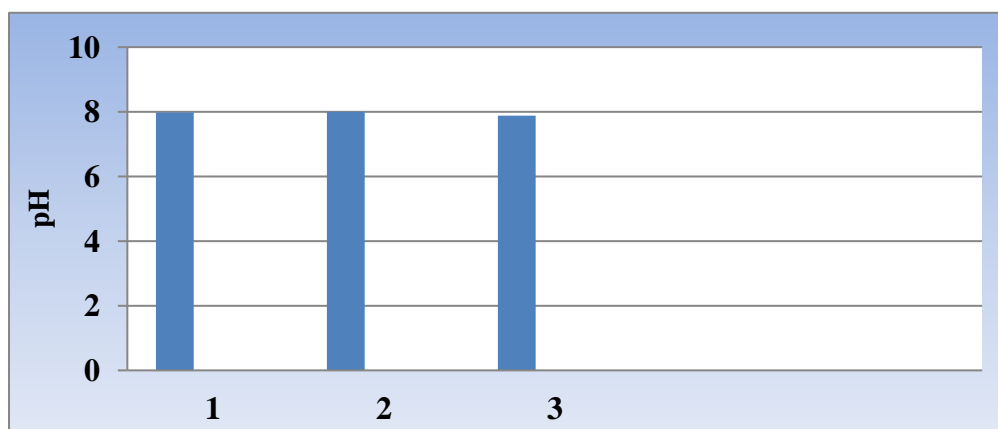
## 2.1. Le potentiel hydrogène

Le pH est un paramètre important qui représente le degré d'ionisation du milieu étudié, il nous donne également une indication sur le niveau de la pollution du sol (**Brisou et Denis, 1980**). Les valeurs du pH enregistrées dans notre étude varient entre (7,88 et 7,9) (**Tableau 04**) (**Figure 21**).

**Tableau 05.** Echelle d'interprétation du pH du sol (NF ISO10390)

pH	Appréciation
inférieur à 3,5	hyper-acide
3,5 et 4,2	très acide
entre 4,2 et 5,0	Acide
5,0 et 6,5	peu acide
entre 6,5 et 7,5	Neutre
entre 7,5 et 8,7	basique
pH supérieur à 8,7	très basique

Selon (NF ISO10390) et à partir du **Tableau 5** les échantillons étudiés (1, 2, et 3) présentent des valeurs du pH qui tendent vers l'alcalinité. En moyenne le pH enregistré est de 7.95 avec une médiane de 7.98 suivie par un écart type de 0.003 (**Tableau 4**).



**Figure 21.** Variation des pH dans les échantillons du sol étudié.

La nette différence entre le pH moyen et son écart type ainsi que la nette convergence de ce pH moyen avec sa valeur médiane font apparaître une remarquable homogénéité entre les 3 échantillons des sols analysés.

Le pH du sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après déversement des eaux usées décroît suite à l'oxydation des composés organiques et la nitrification de l'ammonium (Mohammad et Mazahreh, 2003). Des résultats similaires ont été aussi rapportés par Alhands et al (1995). Mais, d'une manière générale, les valeurs du pH du sol des sites étudiés sont favorables à l'activité microbienne et à la croissance des cultures (Marschner, 1995).

Ces résultats sont similaires à ceux obtenu par Mebirouk (2016) sur l'étude du mode de tolérance de *Thymus algeriensis* et *Artemisia herbaalba* aux sols métallifères dans la zone minière du Djebel Hamimat (Oum el Bouaghi).

## 2.2. La conductivité électrique

La conductivité électrique nous renseigne sur le degré de salinité de la solution du sol et sa teneur en sels dissouts. Les valeurs extrêmes de la conductivité électrique des sols étudiés sont entre 0.87 et 2.80 mS/cm. Elles sont en moyenne de 1.65 mS/cm avec une médiane de 1.27 et un écart type de 0.69 mS/cm (Tableau 4).

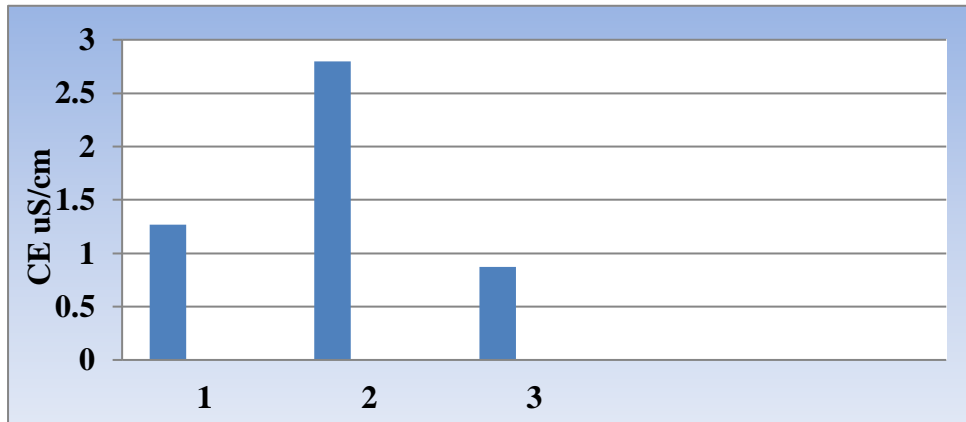
**Tableau 06.** Echelle d'interprétation de la conductivité électrique le GEPPA (in Baize, 2000)

Conductivité électrique	Appréciation
CE à 25° inférieur à 0.500 mS	non salin
CE à 25° entre 0.500 et 1,000 mS	légèrement salin
CE à 25° entre 1,000 et 2,000 mS	Salin
CE à 25° entre 2,000 et 4,000 mS	très salin
CE à 25° supérieur à 4,000 mS	extrêmement salin

Selon GEPPA (in Baize, 2000) et à partir du Tableau 06. Le 33.33% des échantillons des sols étudiés (Echantillon 3) sont considérées comme des sols légèrement salins. Le 33.33 % des échantillons des sols étudiés (Echantillon 1) sont considérées comme des sols salins. Les 33.33% restants (Echantillon 2) sont considérées comme des sols très salins.

Les résultats des mesures de la conductivité électrique de trois échantillons de sol étudiés indiquent que la conductivité électrique est plus élevée dans le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après déversement des eaux usées (2.80 mS/cm) que dans le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana avant déversement des eaux usées (1.27mS/cm) et le sol non irrigué (0.87mS/cm). Ces valeurs rejoignent les résultats obtenus par Tamrabet (2011) dans ses études sur la contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage (Figure 22).

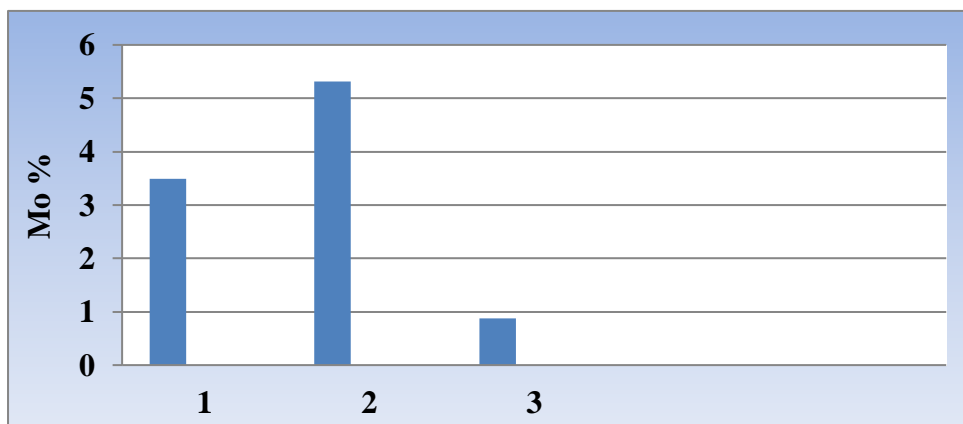
L'eau d'irrigation est la principale source d'apport de sels du sol (**Hussain et Al-Saati, 1999**). La salinité des eaux usées est plus élevée que celle des eaux pluviales. L'irrigation des cultures, avec les eaux usées, augmente, donc, la salinité des sols irrigués.



**Figure 22.** Variation de la conductivité électrique dans les échantillons du sol étudié.

### 2.3. Matière organique (MO)

Le taux de matière organique dans les sols étudiés varie de 2.16 % à 5.32 % avec une moyenne de 3.66%, une médiane de 2,31% et un Ecart-type de 1.67 (**Tableau 4**).



**Figure 23.** Variation de la Matière organique dans les échantillons du sol étudié.

Suite aux normes données par Duthil (**1970**), 33.33% des teneurs en matière organique des sols analysés (Echantillon 3) sont comprises dans l'intervalle des taux normaux (1,5% à 2,5%), alors que 66.67% (Echantillon 1 et 2) des sols étudiés dépassent les teneurs normales en matière organique (**Figure 23**).

Les résultats montrent une nette augmentation de la teneur en matière organique dans le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après déversement des eaux usées. La valeur maximale est de 5.32% comparée dans le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana avant déversement des

eaux usées (3,49%) et le sol non irrigué qui présentent une valeur minimale de 2.16%. Cet effet est le résultat de la teneur élevée des eaux usées d'irrigation en minéraux et en composés organiques (Rusan *et al.*, 2007).

Ces dernières valeurs rejoignent les résultats obtenus par Mancino et Pepper, (1992) dans leur étude sur l'irrigation du gazon avec des effluents d'eaux usées secondaires.

#### 2.4. Calcaire total

Les taux de calcaire total des sols étudiés varient de 31,31% à 32.87% avec une moyenne de 32.19 %, une médiane de 32.40 % et un écart type de 0.43% (Tableau 4).

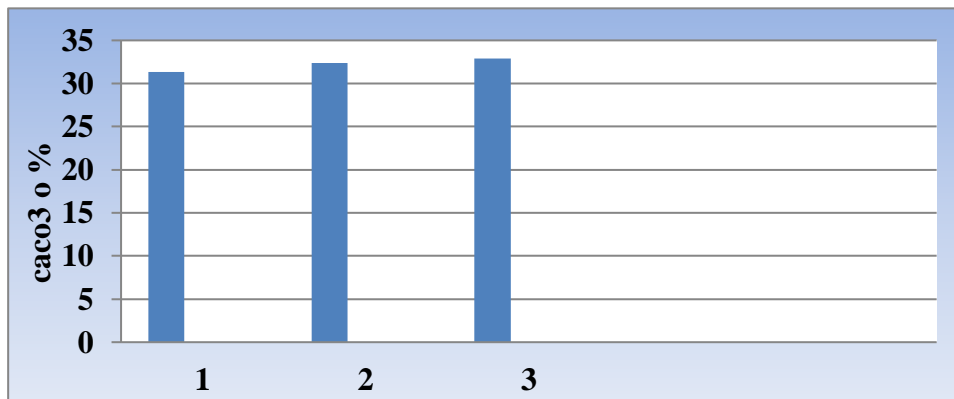


Figure 24. Variation du calcaire total dans les échantillons du sol étudié.

Selon GEPPA (in Baize, 2000) et à partir du Tableau 7. Le 100% des échantillons des sols étudiés (Echantillon N° 1,2 et 3) sont considérées comme des sols fortement calcaires. La présence des calcaires est due principalement à la nature du matériau géologique qui présente une prédominance de formation calcaire et marno-calcaire.

Tableau 07. Echelle d'interprétation du Calcaire total le GEPPA (in Baize, 2000)

Calcaire total	Appréciation
Inférieur à 1%	non calcaire
Entre 1% et 5%	peu calcaire
Entre 5% et 25%	modérément calcaire
Entre 25% et 50%	fortement calcaire
Entre 50% et 80%	très fortement calcaire
Supérieur à 80%	excessivement calcaire

### 3. Analyses microbiologiques

Les résultats des paramètres microbiologiques obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 08.** Les résultats des analyses microbiologiques des trois échantillons des sols étudiés.

	<b>Paramètres</b>	<b>Nombre d'UFC/mL</b>
<b>Echantillon N°1 (Irrigué par les eaux d'Oued Meskiana Avant déversement des eaux usées)</b>	<b>FTAM</b>	28.18x10 <sup>2</sup>
	<b>Les actinobactéries</b>	Non significatif
	<b>Les champignons</b>	Non significatif
	<b>Les levures</b>	Non significatif
<b>Echantillon N°2 (Irrigué par les eaux d'Oued Meskiana Après déversement des eaux usées)</b>	<b>FTAM</b>	68.18x10 <sup>2</sup>
	<b>Les actinobactéries</b>	43.5x10 <sup>2</sup>
	<b>Les champignons</b>	84.54x10 <sup>2</sup>
	<b>Les levures</b>	45x10 <sup>2</sup>
<b>Echantillon N°3(Non irrigué)</b>	<b>FTAM</b>	46.81x10 <sup>2</sup>
	<b>Les actinobactéries</b>	Non significatif
	<b>Les champignons</b>	Non significatif
	<b>Les levures</b>	Non significatif

#### 3.1. Résultats du dénombrement de la flore totale aérobie mésophiles (FTAM)

Le dénombrement de la flore totale aérobie mésophiles sur le milieu de culture gélosé (PCA) se fait par comptage des colonies apparues dans les boîtes de Pétrie par la méthode UFC (unité formant une colonie) qui considère qu'une cellule sur un milieu de culture favorable donnera naissance à une colonie macroscopiquement visible. On ne retient que les boîtes ayant entre 30 et 300 colonies.

Les résultats du dénombrement de la flore totale aérobie mésophiles, consignés dans Tableau 8 montrent nette augmentation de la flore totale aérobie mésophiles dans le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après déversement des eaux usées (L'échantillon N°2). La valeur

maximale est de  $68.18 \times 10^2$  UFC/mL comparée dans le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana avant déversement des eaux usées ( $46.81 \times 10^2$  UFC/mL) et le sol non irrigué qui présentent une valeur minimale de ( $28.18 \times 10^2$  UFC/mL) (**Figure 25**).

La variation de la flore totale aérobie mésophiles semble être liée aux paramètres abiotiques comme la température et le pH, qui influencent le développement des microorganismes (**Ouhmidou et al., 2015**). Il faut signaler d'une manière générale, les valeurs du pH du sol des sites étudiés sont favorables à l'activité microbienne et à la croissance des cultures (**Marschner, 1995**). On peut aussi expliquer la charge de la FTAM trouvées dans l'échantillon N°2 par la richesse des eaux usées en microorganismes (**Toze, 1999**).



**Figure 25.** La flore totale aérobie mésophiles après 48h de culture à 30°C (trois échantillons).

### 3.2. Résultats de dénombrement des actinobactéries

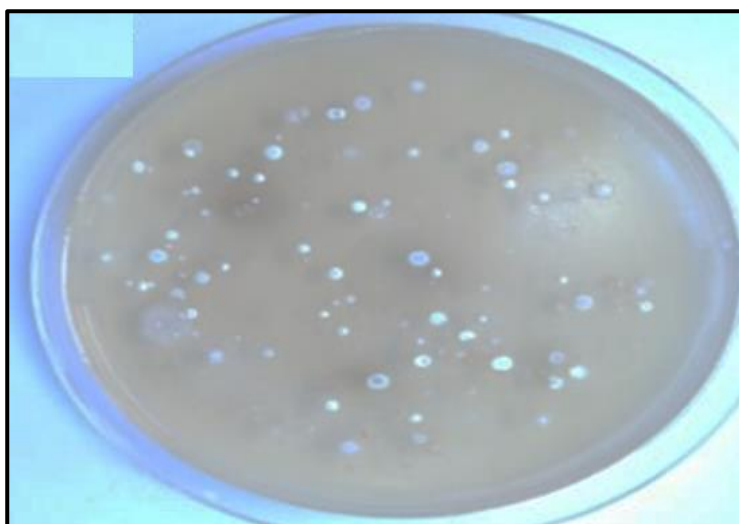
Les actinobactéries sont des bactéries à Gram positif avec un coefficient de Chargaff (GC%) élevé, saprophytes, largement distribuées dans le sol (**Goodfellow et O'Donnell, 1989**). Elles présentent des similitudes avec les champignons.

Les colonies d'actinobactéries ont été reconnues par leur aspect morphologique caractéristique. Elles apparaissent sèches, rugueuses, colorées ou non, adhèrent à la gélose et présentent un mycélium végétatif et aérien, certaines montrent seulement un mycélium du substrat (**Boudemagh, 2007**).

D'après les résultats présentés dans le tableau 08, on remarque que la charge bactérienne en actinobactéries enregistré dans le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après

déversement des eaux usées (L'échantillon N°2) est égale à  $43.5 \times 10^2$  alors que les deux échantillons N°1 et N°3 montrent des résultats non significatifs (<30 colonie par boîte). Ceci peut s'expliquer par la charge en actinobactéries très faible dans les deux échantillons (**Figure 26**).

La présence des actinobactéries dans l'échantillon N°2 peut être due au pH du sol qui est légèrement alcalin. Ce pH est favorable au développement de ce groupe des microorganismes (**Giri et al., 2005**). En plus de pH, d'autres paramètres écologiques sont impliqués tel que la période et le site de prélèvement : Jiang et Xu (**1996**) ont montré que les actinobactéries sont généralement plus abondantes durant les saisons sèches (printemps et été) que les saisons pluvieuses (automne et hiver).



**Figure 26.** Les actinobactéries après 2 à 4 semaines de culture à  $29 \pm 1^\circ$  (l'échantillon N°2).

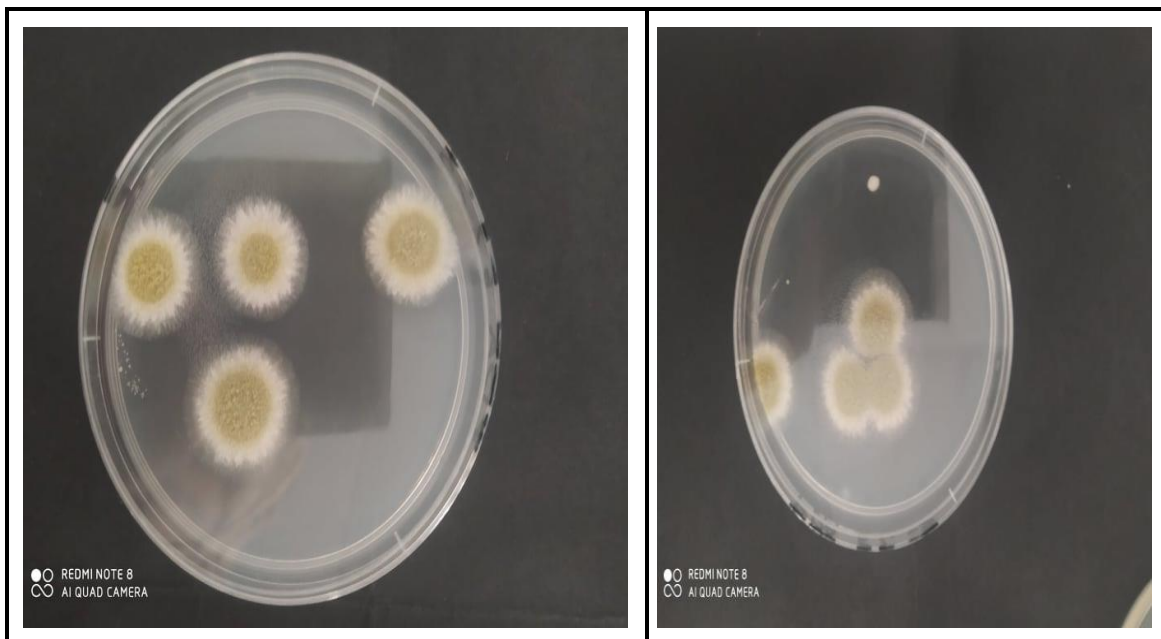
### 3.3. Résultats du dénombrement des champignons

Le dénombrement de la microflore fongique présente dans les différents échantillons des sols étudiés a été réalisé par comptage des colonies apparues dans des boîtes de Pétri en unité formant colonies (la méthode UFC).

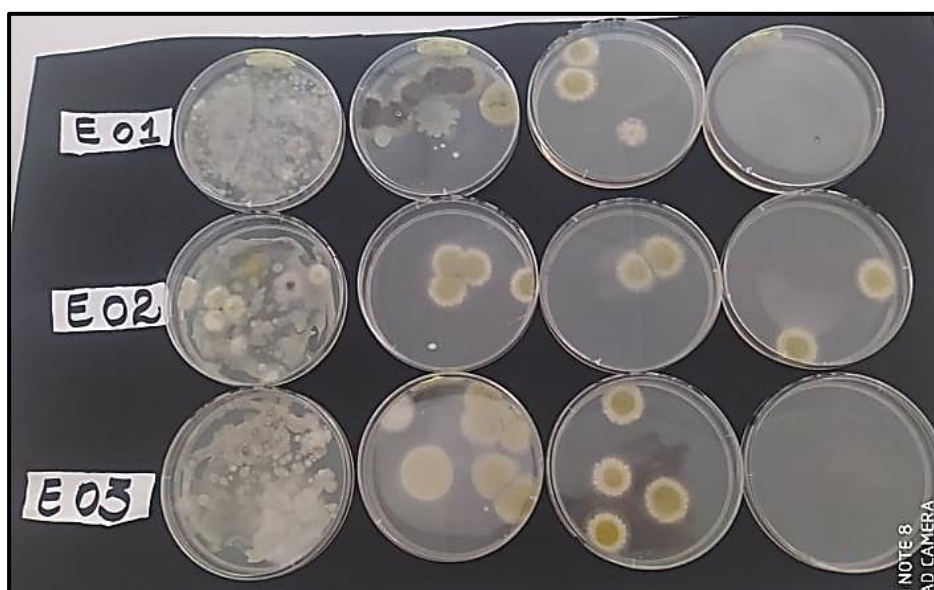
D'après les résultats présentés dans le tableau 08, on remarque que la charge fongique enregistrée dans sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après déversement des eaux usées (L'échantillon N°2) est égale à  $84.54 \times 10^2$  (**Figure 27**) alors que les deux échantillons N° (1 et 3) montrent des résultats non significatifs (<30 colonie par boîte). Ceci peut s'expliquer par la charge fongique très faible dans les deux échantillons.

Il faut signaler que les températures modérées enregistrées durant notre période d'échantillonnage (Mai, 2021) expliquent, probablement, la charge fongique enregistrée dans le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après déversement des eaux usées (L'échantillon N°2).

Ces derniers résultats rejoignent les résultats obtenus par Boiron (1996) qui a signalé que certaines espèces fongiques se retrouvent sur différents types de sols, comme les *Aspergillus*, *Penicillium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Absidia*, *Rhizopus*, *Mortierella*, *Zygorhynchus*, *Chaetomium*, *Gymnoascus*.



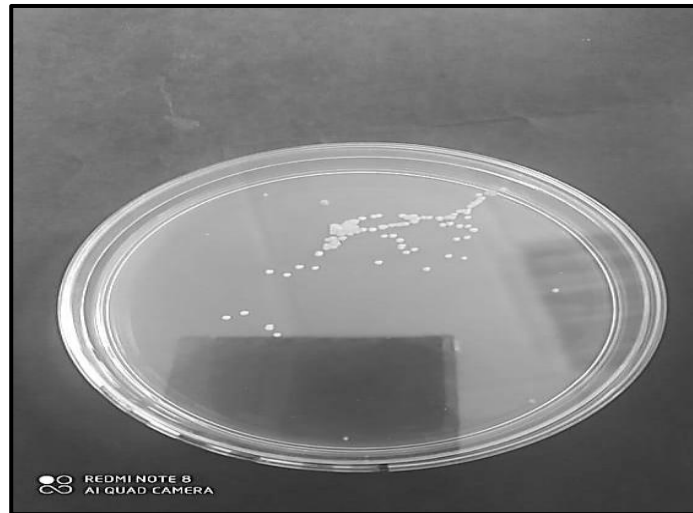
**Figure 27.** Les champignons après 5 à 7 jours de culture à 25±1°C.



**Figure 28.** Les champignons après 5 à 7 jours de culture à 25±1°C.

### 3.4. Résultats du dénombrement de levures

Les levures sont des champignons microscopiques unicellulaires eucaryotes. D'après les résultats présentés dans le tableau 08, on remarque que la population de levures enregistré dans l'échantillon du sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après déversement des eaux usées (L'échantillon N°2) est égale à  $45 \times 10^2$  alors que les deux échantillons N°1 et N°3 montrent des résultats non significatif ( $< 30$  colonie par boîte) (**Figure 29**).



**Figure 29.** Les levures après 5 à 7 jours de culture à  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  (solution mère ; l'échantillon N°2).

La faible charge de levures enregistrées dans notre étude peut être due au pH. Ce dernier est considéré comme l'un des facteurs physicochimiques qui affectent l'écologie des levures. Les échantillons du sol possèdent un pH neutre à légèrement basique favorisant plutôt une reproduction rapide des populations bactériennes au dépens de celle des levures qui sont plutôt acidophiles (pH optimum entre 4.5 et 5.5) (**DEAK, 2006**). Ceci explique les résultats de notre étude (pH qui tendent vers l'alcalinité).



**Figure 30.** Observation microscopique des levures par l'utilisation de bleu de méthylène (X40) (solution mère, l'échantillon N°2)

### 3.5. Résultats de l'étude de quelques activités hydrolytiques

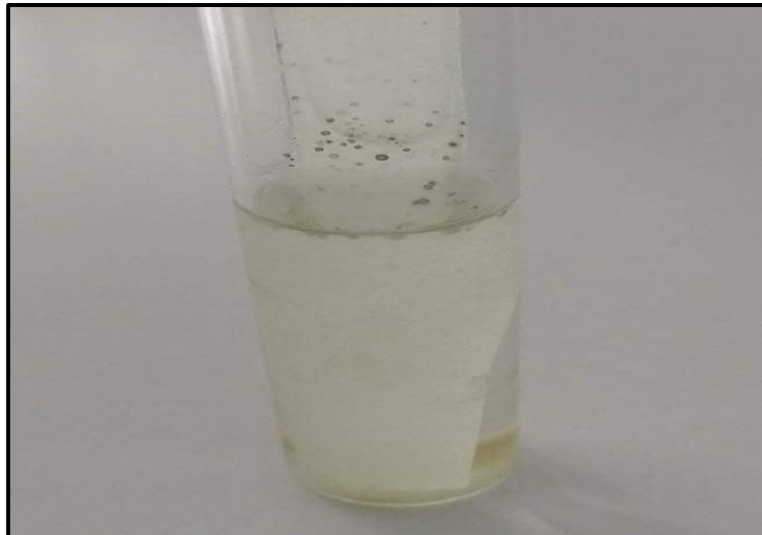
**Tableau 09.** Les résultats de quelques activités hydrolytiques

		Activités cellulolytique	Activités amylolytique	Activités protéolytique
<b>Echantillon N°1 (Irrigué par les eaux d'Oued Meskiana Avant déversement des eaux usées)</b>	<b>Les actinobactéries</b>	+	+	-
	<b>Les champignons</b>	+	+	+
	<b>Les levures</b>	-	-	-
<b>Echantillon N°2 (Irrigué par les eaux d'Oued Meskiana Après déversement des eaux usées)</b>	<b>Les actinobactéries</b>	+	+	-
	<b>Les champignons</b>	+	+	+
	<b>Les levures</b>	-	-	-
<b>Echantillon N°3 (Non irrigué)</b>	<b>Les actinobactéries</b>	-	+	-
	<b>Les champignons</b>	+	+	+
	<b>Les levures</b>	-	-	-

#### 3.5.1. Activité cellulolytique

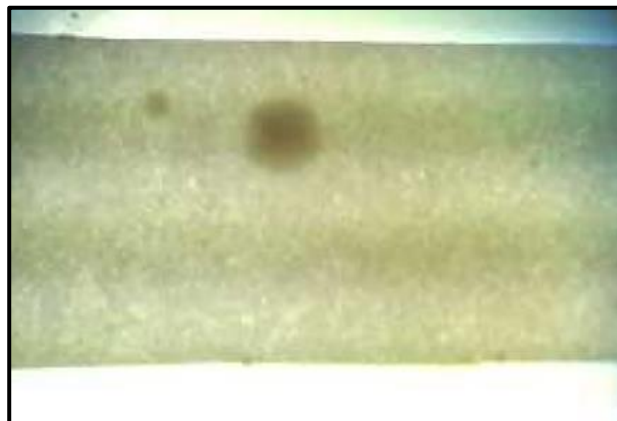
La dégradation de la cellulose représente un processus important en agronomie et dans la vie du sol en général. C'est en effet, le constituant essentiel quantitativement du tissu végétal, donc la source majeure de carbone pour les microorganismes de sol (**Chastrusse, 1998**).

Les résultats d'étude de l'activité cellulolytique de trois colonies d'actinobactéries, appartenant de trois échantillons du sol étudiés sont présenté dans le tableau **09**. D'après ce dernier, les colonies des actinobactéries isolées à partir des échantillons (N°1 et 2) présentent une activité cellulolytique sur le milieu M13 cela traduit par la formation des pigments sur le papier filtre (**Figure 31**), ce qui indiquant que les colonies testés possédant l'enzyme responsable de l'hydrolyse de la cellulose (cellulase). Ces enzymes sont généralement produites par les actinobactéries, en particulier les espèces thermophiles et les streptomycètes (**Sanglier, 1993**). Alors que les colonies des actinobactéries isolées à partir d'échantillons N°3 ne montrent pas une activité cellulolytique.



**Figure 31.** Mise en évidence de la présence des microorganismes cellulolytique (Echantillons N°2)

L'activité cellulolytique des trois colonies des champignons isolés à partir de trois échantillons des sols étudiés (1,2 et 3) présentent une activité cellulolytique. En effet, les champignons aérobies stricts ont un équipement enzymatique leur permettant d'hydrolyser les polysaccharides des parois cellulaires végétales (**Carlile et al., 1997**). De plus, la capacité à dégrader la cellulose en aérobiose est largement répandue chez les ascomycètes et les basidiomycètes (**Lechien, 2009**).

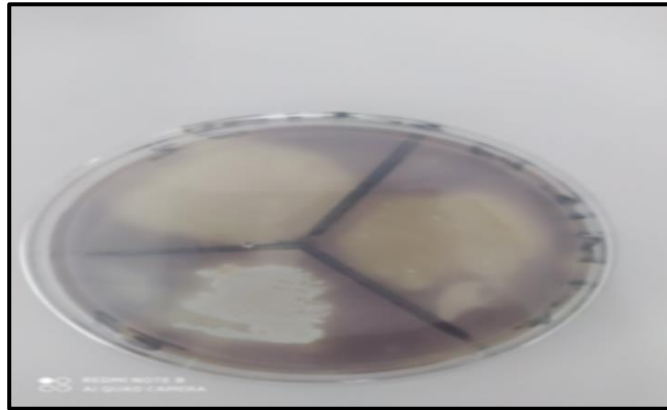


**Figure 32.** Observation sous la loupe stéréoscopie des pigments sur papier filtre (X25) (Echantillons N°1)

Par contre les résultats l'activité cellulolytique des levures isolées à partir de trois échantillons étudiés (1,2 et 3) ne montrent pas une activité cellulolytique. En effet, très peu de levures ont une activité cellulolytique telle qu'*Aureobasidium pullulan* ce qu'explique l'absence de l'activité cellulolytique de nos résultats (**Scriban, 1999**).

### 3.5.2. Résultats de l'étude de l'activité amylolytique

A partir du tableau 08, les isolats d'actinobactéries et les isolats de champignons isolés à partir de trois échantillons des sols étudiés (1,2 et 3) montrent une activité amylolytique intéressante. Après l'addition du lugol, l'apparition d'un halo clair autour de chaque colonie traduit la dégradation de l'amidon (**figure 34**), cela montre que les isolats testés possèdent une amylase.



**Figure 33.** Mise en évidence de l'activité amylolytique des actinobactéries.

Ces résultats ressemblent à ceux présentées par Kuo et Hartman (1966), qui ont montré la production des amylases par les souches de *Thermoactinomyces vulgaris* lors de ses études réalisée sur l'isolement de taches amylolytiques de *Thermo-actinomyces vulgaris* et production d'amylases thermophiles d'actinomycètes.

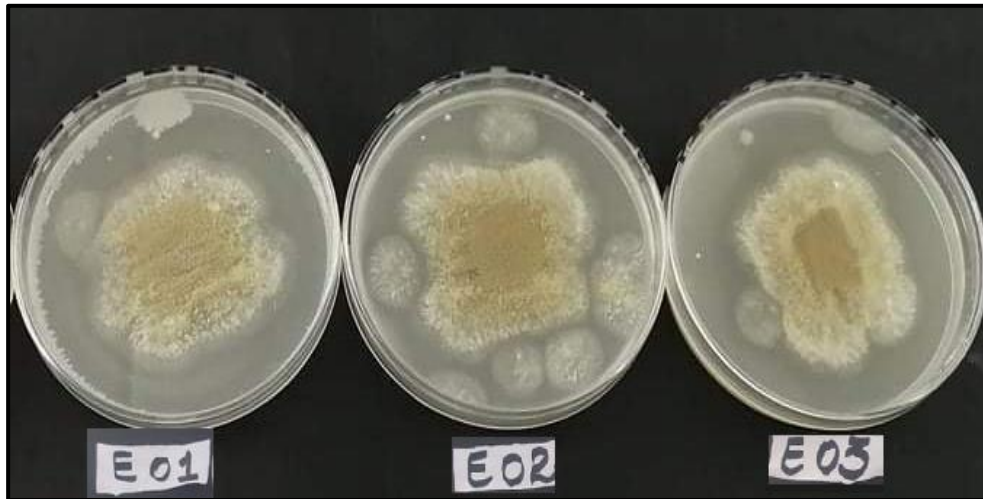
D'autre part que trois colonies des actinobactéries et des levures isolées à partir des trois échantillons des sols étudiés (1,2 et 3) ne montrent pas une activité amylolytique.



**Figure 34.** Mise en évidence de l'activité amylolytique des champignons.

### 3.5.3. Résultats de l'activité protéolytique

L'activité protéolytique des isolats d'actinobactéries et de levures isolées à partir des trois échantillons des sols étudiés (1,2 et 3) ne montrent pas une activité protéolytique.



**Figure 35.** Mise en évidence de l'activité protéolytique des champignons.

Ces résultats ne sont pas en accord avec ceux présentés par Gulve et Deshmukh (2011) pour l'étude des activités enzymatiques des actinobactéries isolés à partir des sédiments marins, ou ils ont montrés que les genres *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Nocardia*, *Saccharopolypora* possèdent une activité protéolytique. Ainsi que les travaux de Kurup *et al.* (1975) qui ont montré la capacité d'une nouvelle souche d'actinomycètes thermophile (*Thermophile Thermoactinomyces candidus*) à dégrader la caséine. Par contre les résultats d'étude de l'activité protéolytique des isolats de champignons isolés à partir de trois échantillons des sols étudiés (1,2 et 3) présentent une activité protéolytique sur le milieu M10 cela traduit par la formation d'une zone transparente autour les colonies, ce qui indique la présence d'une protéase qui hydrolyse la protéine (**Figure 35**).



**Conclusion**

Dans le but d'étude de l'impact des eaux d'irrigations sur la diversité microbienne du sol, trois échantillons de sol ont été prélevés à partir de trois sites différents régions (Sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana avant déversement des eaux usées, Sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après déversement des eaux usées, sol non irrigué), durant le mois de Mai 202.

Les résultats de la caractérisation physico-chimique montrent que le 100 % de nos échantillons ont présentés des sols qui tendent vers l'alcalinité. Le 33.33% des sont considérées comme des sols légèrement salins. Le 33.33 % des échantillons des sols étudiés (Echantillon 1) sont considérées comme des sols salins. Le reste des échantillons (33.33 %) sont considérées comme des sols très salins

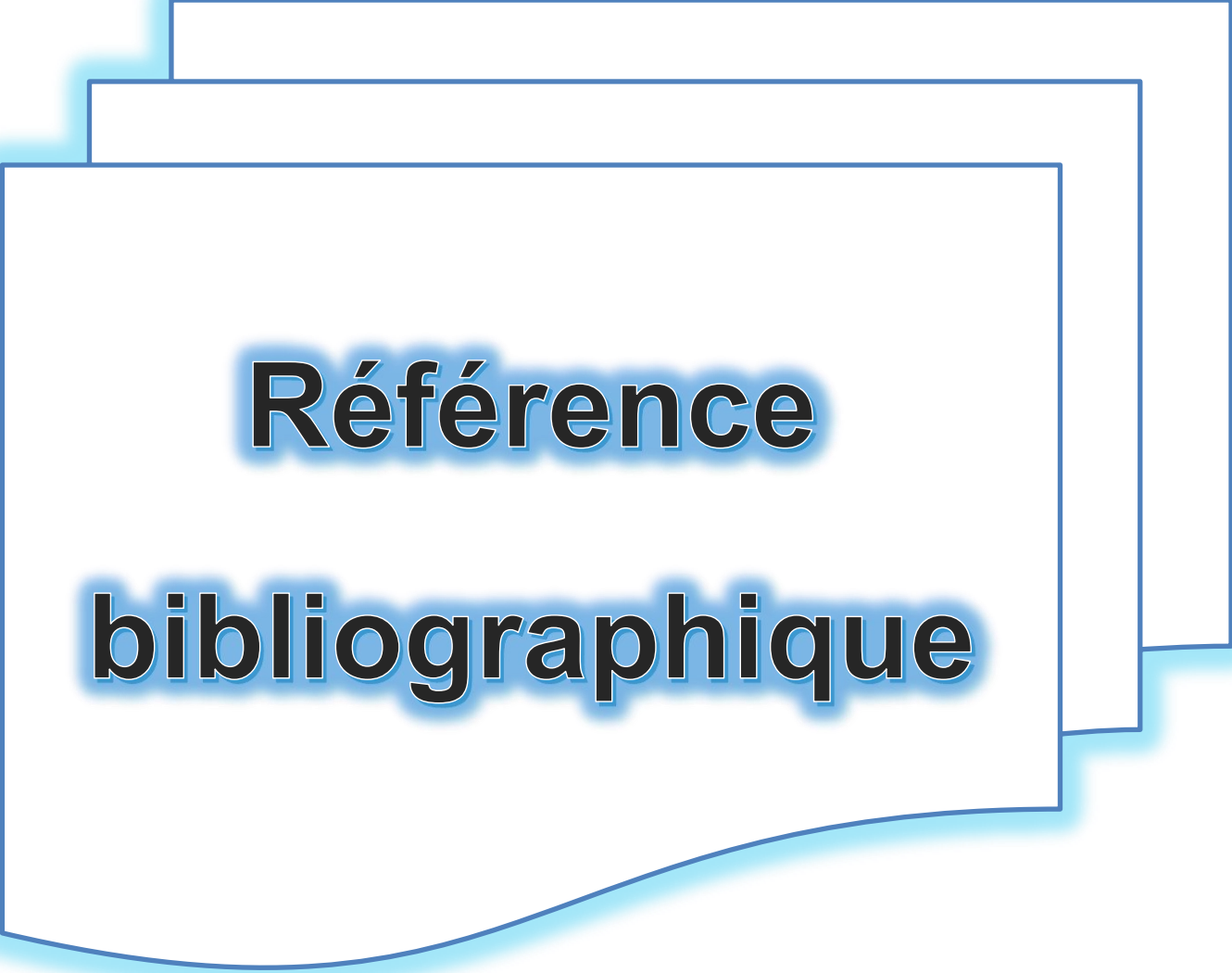
Les résultats des paramètres microbiologique reflètent une nette augmentation de la flore totale aérobie mésophiles, des actinobactéries, des champignons, des levures comparées dans le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana avant déversement des eaux usées et le sol non irrigué.

La mise en évidence de quelques activités hydrolytiques des actinobactéries, des champignons, des levures présentent dans nos échantillons montrent que certain de ces microorganismes sont caractérisées par quelque activité.

A travers ces résultats, nous constatons, que le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après déversement des eaux usées montre des taux élevées des paramètres physico-chimique et microbiologique par rapport aux autres ».

Dans l'intérêt d'apporter un apport complémentaire à cette étude, il serait intéressant :

- D'élargir le nombre et la zone d'échantillonnage
- Réaliser des prélèvements durant plusieurs saisons



**Référence  
bibliographique**

- Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG). (2012).** Les eaux souterraines, Toulouse, Cedex.P.4-5.
- Alhands M.N., Allick S.A., Overman A.R., Leseman, W.G. and Vidak W. (1995)** Municipal water use at Tallahassee, Florida. Trans. ASAE 38(2):411-418.
- Baize D. (2000).** Guide des analyses en pédologie. Edition I.N.R.A, Paris. P. 257.
- Benahmed M. (2017).** Effet des précipitations sur la distribution du Zn et du Pb issus de retombées atmosphériques dans le sol : Cas de la fonderie de Tiaret (ALFET). (Wilaya de de sidi bel Abbes). Thèse de Doctorat, Université Djilali Liabes (sidi bel Abbes).P.03.
- Boiron M. (1996).** Eurocancer. Edition, John Libbey Eurotext (France). P.P.400.
- Boucheseiche C., Cremille E., Pelte T., Pojer K. (2002).** Pollution toxique et écotoxicologique : notions de base. Guide technique N°7. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Montpellier (France).P.82.
- Boudemagh A., Boulahrouf H. (2005).** Isolement d'actinomycètes productrices de substances antibactériennes à partir de la sebkha de Ain Mlila. Scienc. Techno. 23: 5 10.
- Brisou J. F., Denis F. (1980)** Techniques de surveillance de l'environnement maritime. Ed. Masson, France. P.206.
- Carlile M. J., Watkinson S. C. (1997).** The fungi, Academic Press, New York, N.Y.P.P: 269-275
- Chassin P., Baize D., Cambier P., Sterckeman T., (1996).** Les éléments traces métalliques et la qualité des sols : impact à moyen et à long terme. Forum « le sol un patrimoine menacé ?». Paris (France) P.297-303 .
- Chastrusse C. (1998).** Localisation et diversité de bactéries cellulolytiques lors d'un cycle de dessiccation/réhumectation. Cas d'un sol ferrugineux tropical sous jachère naturelle. Mémoire. D'études approfondies, Université. Claude Bernard, Lyon, France, P.38.
- Chu W., Kwan C. Y., Chan K. H., Kam S. R. (2005).** Kinetics modeling and reaction pathway of 2, 4-dichlorophenol transformation by photo-fenton-like oxydation. J. Hazardous Materials, 121: 119-126.

**Claire A., Paul A., Gudrun B., Hélène B., Thierry C., Nathalie D., Agnès D., Katia F., Patrick F., Stéphane G., Bertrand G., Ghislain de M. (2015).** L'eau a découvert. Edition, CNRS (France). P.365.

**Colin F. (2000).** Pollution localisé des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés. Edition TEC et DOC.P.417.

**Conac F. (1978).** Irrigation et développement agricole. L'exemple des pays méditerranéens et danubiens Editions SEDES P.291.

**Curtis TP., Sloan WT. (2005).** Exploring microbial diversity-a vast below. Science 309:1331– 1333.

**Darcheville O. (2008).** Rôles des composantes géochimiques et microbiologiques d'un sol sur le comportement du sélénium en conditions oxiques et anoxiques (France).Thèse de Doctorat, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse(France).P.P.251.

**De Regt B. (1990).** L'irrigation et la culture du riz au Suriname. Revue. Le Courrier n°24 Nov.- décembre P. 94-95. 7

**Deak T. (2006).** Environmental Factors Influencing Yeasts. In: Rosa C., Peter G. (Eds), Ecophysiology and biodiversity of yeasts. Springer, Berlin Heidelberg, P.P.61.

**Debieche T.H. (2002).** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse de Doctorat, Université De Franche comté P.199.

**Delarze R., Gonseth Y. (2008).** Guide des milieux naturels de Suisse: Ecologie – Menaces – Espèces caractéristiques, Rossolis, Bussigny. P.424.

**Deville J., R. Farret, P. Girardin, J.-L. Rivière, G. Soulas F. (2005).** Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides. Edition Tech et Doc, Londres, Paris, New York. P. 11.

**Duthil J. (1970).** Elément d'écologie et d'agronomie (Tome I : connaissance du milieu).Edition Baillière et Fils, Paris, P.385.

**El Asslouj J., Kholtei S., El Amrani N., et Hilali A. (2007).** Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. J. Afrique Science 03(1) 109 – 122.

**Fierer, N., Jackson, R.B. (2006).** The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103: 626–631.

**Frazier W.C.A. (1926).** Contribution à l'étude de la microflore des sols alfatiens au cours de l'année. Recherche des micro-organismes cellulolytiques. Mémoire de Magister, Université. Es-Sénia, Oran, Algérie. P.105.

**Frey S.D., Drijber R., Smith H., Melillo, J. (2008).** Microbial biomass, functional capacity, and community structure after 12 years of soil warming. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 2904– 2907.

**Ghoreishi G., Alemzadeh A., Mojarrad M., Djavaheri M. (2017).** Bioremediation capability and characterization of bacteria isolated from petroleum contaminated soils in Iran. *Sustainable Environment Research*, 27, 195-202.

**Giri B., Giang P.H., Kumari R., Prasad R., Vanna A. (2005).** Microbial diversity in soils. In: Eds Buscot F., Varma A., *Microorganisms in soils: Roles in genesis and functions*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg , Germany. P.P. 195-212.

**Gobat J.M., Aragono M., Matthew Y.W. (2003).** Base de pédologie ; biologie des sols: le sol vivant. Edition. Lausanne.P.522.

**Goodfellow F., Williams C. (1983).** Ecology of actinomycetes. *Ann revmicrobiol.* 37 : 189-216.

**Guiraud J.P. (2012).** Microbiologie alimentaires, collection Industries agroalimentaires. Edition Dunod, Paris.P.696.

**Gulve R. M., Deshmukh A. M., (2011).** Enzymatic activity of actinomycetes isolated from marine sediments. *Recent Reserch in Science and technology.* 3(5), 80-83.

**Hadef D., Hasni M. (2017)** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'oued Boutane région de Khemis-Miliana W.Ain Defla. Thèse de Doctorat, Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana (Ain - Defla). P.43.

**Hunt, A. G., Ewing, R. P., Horton R. (2013).** What's Wrong with Soil Physics? - *Soil J. Science Society of American*, 77(6), 1877-1887.

**Hussain C. Saati A.J. (1999).** Wastewater quality and its reuse in agriculture in Saudi Arabia. *Desalination.* 123:241-251.

**Hussain C., Saati A.J. (1999).** Wastewater quality and its reuse in agriculture in Saudi Arabia. *Desalination*. 123:241-251.

**INERIS., (2005).** Phénol Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Institut National de l'Environnement Industriel et des risques P.1-47.

**Jiang, C., Xu L., (1996).** Diversity of Aquatic Actinomycetes in Lakes of the Middle Plateau, Yunnan, China. *Appl. Environ. Microbiol.* 62:1: 249-253.

**Kuo M.J., Hartman P.A. (1966).** Isolation of amylolytic strains of *Thermoactinomycesvulgaris* and production of thermophilic actinomycete amylases, *J. Bacteriol.* Vol. 92.No.3

**Kurup V. P. Barboriak J. J. Fink J. N., Lechevalier M. P., (1975).** *Thermoactinomycescandidus*, a new species of thermophilic actinomycètes. *International Journal of Systematic Bacteriology.* 25(2), 150-154.

**L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).** (1990). Méthode D'irrigation. Edition provisoire (France).P.P.74.

**Larpent J.P., Larpent-Gourgaud M. (1975).** Memento technique de microbiologie. Edition Tech et Doc, Paris, (France). P.269.

**Lauber C.L., Strickland M.S., Bradford M.A., Fierer N. (2008).** The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. *Soil Biology and Biochemistry, Special Section: Enzymes in the Environment* :40, 2407–2415.

**Lechien V. (2009).** Etude des propriétés physicochimiques de celluloses fossiles nonbiodégradables. Thèse de doctorat. Université de liège, Europe, P.132.

**Lemière B., Serguin J.J., Le guern C., Guyonnet D., Baranger Ph. (2001).** Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. BRGM/RP-50662-FR.

**Macy J.M., Farrand J.R., Montgomery D. (1982).** Contribution à l'étude de la microflore des sols alfatiens au cours de l'année. Recherche des microorganismes cellulolytiques. Mémoire de Magister, Université. Es-Sénia, Oran, Algérie, P.P.165.

**Manceur Y., Djaballah S. (2016)** Analyse microbiologique de l'eau distribuée dans la ville de Tébessa. Thèse de Doctorat, Université Labri Tébessi Tébessa. P.36.

**Mark T., Marta G., Tandra F., Iain D., Sarah D., Vinicius H., Tom S., Anita D.(2009).** Long-term acidification of pH neutral grasslands affects soil biodiversity, fertility and function in a heathland restoration. *J. Elsevier*, 180: 401-415.

**Marschner H. (1995).** Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic press, NY.P.102.

**Martin G. (1982).** Point sur l'épuration et le traitement des effluents. Technique et Documentation .Edition, Lavoisier 5 (1).

**Mohammad M. J., and Mazahreh N. (2003).** Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. *Soil Sci. Plant Anal*, 34(9et 10):1281-1294.

**Mouhoun C. (2019).** Caractérisation physico-chimique et microbiologique saisonnière des décharges d'Ain-El-Hammam et Timizart (wilaya de Tizi-Ouzou, Algérie). Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.P.P.128.

**Nadia.S. (2012).** Projet d'eau ; méthode d'irrigation en milieu aride.

**Navel A. (2011).** Distribution, spéciation, impact et transfert du cuivre dans un sol sous vigne : rôle de la structuration spatiale et du statut organique. (France). Thèse de Doctorat, Université Grenoble (France).P.12.

**NF ISO 15799 (X31-603). (2004).** Qualité du sols–Lignes directrices relatives à la caractérisation écotoxicologique des sols et des matériaux du sol.

**NF ISO 15799 (X31-603). 2004.** Qualité du sols–Lignes directrices relatives à la caractérisation écotoxicologique des sols et des matériaux du sol.

**NF ISO 7218 (1996),** Microbiologie des aliments : Règles générales pour les examens microbiologiques.

**Kitouni M. (2007).** Isolement de bactéries actinomycétales productrices d'antibiotiques à partir d'écosystèmes extrêmes identification moléculaire des souches actives et caractérisation préliminaire des substances élaborées. Thèse de doctorat : Microbiologie : Université Mentouri Constantine.P.100.

**Observatoire régional de santé d'Ile-de-France (ORS) (2007).** Les composés organiques volatils. Edition Gremy (France). P.P.127.

**Oldén A., Raatikainen K.J., Tervone k., Halme P., (2016).** Grazing and soil pH are biodiversity drivers of vascular plants and bryophytes in boreal wood-pastures *Agric.* 222: 171-184.

**Ouhmidou M. et chahlaoui A. (2015).** Caractérisation bactériologique des eaux du barrage Hassan Addakhil (errachidia-maroc). *Larhyss. J.* ISSN 1112- 3680, n°22, pp. 183-196.

**Plauchu V. (2003).** *Economie de l'environnement*, Grenoble, Ed. L'Harmattan, P.P.265.

**RAMSAR (2010)** Gestion des eaux souterraines ; Lignes directrices pour la gestion des eaux souterraines en vue de maintenir les caractéristiques écologiques des zones humides, Switzerland. P.P. 12-13.

**Roger A., Garcia J.I. (2001).** *Introduction à la microbiologie du sol*, Université de Provence (France).

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

**Sablonnier, B. (2002).** *Biologie microbienne [Microbial biology]*. P.P. 157-202.

**Sanglier J. J., Wellington E. M., Kamoun A., Kelly C., Mercer D. K., Prinzis S.,Tngo C, (1993).** Novel bioactive compound from Actinomycetes. *Res. Microbiol.* 144: 661-663.

**Scriban R. (1999).** *Biotechnologie :5éme édition. Technique et documentation* Edition :Lavoisier, P.P. 149-157.

**Shi, H. (2000).** Industrial wastewater types, amounts and effects, in : point sources of pollutions : local effects and it's control. *Encyclopedia of Life Support Systems*, Paris, France P.4

**Sophie A., Alexandre E. (2003).** *Projets d'aménagement hydraulique, concertation et planification participative de bassin : une approche en termes d'« Action Publique Négociée ».*J. Elsevier, 11 : 255–265.

**Tamrabet L. (2007).** *Traitement et réutilisation des eaux usées dans les pays du MENA: Cas de l'Algérie. Rapport réalisé pour le compte de la FAO (Office Régional du FAO au Proche Orient, Caire, Egypte).*

**Tiercelin J. (2006).** Traité d'irrigation. 10<sup>ème</sup> Edition. Tec et doc, Paris (France). P.P.1266.

**Tiercelin, J-R. (1998).** Traité d'irrigation, Edition Lavoisier TEC et DOC, Paris, P.1011.

**Toze, S., (1999).** PCR and the detection of microbial pathogens in water and wastewaters. *Water Res.* 33:3545–3556.

**Tripathi, J.C., Stegen K., Dong J.M., Adams Y. (2018).** Soil pH mediates the balance between stochastic and deterministic assembly of bacteria. *J. ISME* 12: 1072–1083.

**Ugarte C. (2015).** Etude de la variabilité des propriétés physiques et hydrodynamiques d'un sol argileux sous l'effet de conduites en protection intégrée contre les adventices. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne (France). P.P.2011.

**UN WATER . (2017).** Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017. Place de Fontenoy, 75352 Paris P. 07.

**Will C., Thürmer, A., Wollherr, A., Nacke, H., Herold, N., Schrumpf, M., Gutknecht, J., Wubet, T., Buscot, F., Daniel, R. (2010).** Horizon-specific bacterial community composition of German grassland soils, as revealed by pyrosequencing based analysis of 16S rRNA genes. *Applied and Environmental Microbiology* 76: 6751–6759.

**Woodard F. (2001).** Industrial Waste Treatment Handbook, WOODARD & CURRAN. Edition Waste Management. Butterworth–Heinemann, United States of America.

**Wu T., Ayres E., Li G., Bardgett RD., Wall DH., Garey JR. (2009).** Molecular profiling of soil animal diversity in natural ecosystems: Incongruence of molecular and morphological results. *Soil Biol Biochem* 41:849–857.



# **Annexes**

---

## Annexe I. Composition des milieux de culture utilisés

### 1. Gélose nutritive standard

- Hydrolysate trypsique de caséine.....02,5g
- Extrait de viande .....05.0g
- Glucose.....01.0g
- Extrait de la levure ..... 2,5g
- Agar .....15g
- Eau distillé..... 1000 ml
- pH=7±0.2 à 37°C

### 2. Gélose M10

- Peptone.....5,0 g
- Extrait de levure.....3,0 g
- Gélatine .....40.0 g
- NaCl.....05,0 g
- Agar.....12,0 g
- Eau distillée.....1000 ml
- pH=7(**Frazier, 1926**).

### 3. Gélose M12

- Peptone.....10.0 g
- Extrait de levure.....2,0 g
- Gélose .....12.5g
- Amidon.....02,0 g
- Agar:.....12,0 g
- Eau distillée.....1000 ml
- pH=7(**Frazier, 1926**).

### 4. Gélose M13

- $NaNO_3$ .....0.5g
- $K_2HPO_4$ .....1,0 g
- $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ .....0.5g
- $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ .....0,01g
- Extrait de levure.....0.5 g

- KCl.....0.5g
- Eau distillée.....1000 ml
- pH=7,3
- On ajoute dans chaque de tube du papier filtre de 1cmde largeur et 7cmde longueur (Macy *et al.*, 1982).

#### 5. Gélose Potato Dextrose Agar (P.D.A)

- Infusât pomme de terre.....200ml
- Dextrose.....20g
- Eau distillé..... 1000 ml
- Agar.....20g
- pH=5.4 (Iarpen et Iarpen –Gourgaud, 1985).

#### 6. Gélose de sabouraud

- peptone pancréatique.....05g
- peptone tryptique.....05g
- Glucose.....20g
- Eau distillé..... 1000 ml
- Gélose.....20g
- Ph=6.3 (Iarpen et Iarpen –Gourgaud, 1985).

### Annexe II. Réactif et colorant

#### 1. Lugol (Iarpen et Iarpen –Gourgaud, 1985).

- Iode.....2g
- Iodure de potassium KI.....2g
- Eau distillé..... 200 ml

#### 2. Réactif R1 (Frazier, 1926).

- HgCl<sub>2</sub>.....15 g
- HCl à10 %.....20ml
- Eau distillé..... 100 ml

**Nom : ARROUF**

**Prénom : Ferial**

**Nom : LAICHE**

**Prénom : Elbahdja**

*Diplôme: Master*

**Thème : Etude de l'impact des eaux d'irrigation sur la diversité  
microbienne du sol**

**Résumé**

Etude de l'impact des eaux d'irrigations sur la diversité microbienne du sol, a révélé une qualité physico-chimiques bonne à acceptable pour la plupart des échantillons. Par contre l'étude microbiologique a montré une augmentation de la flore totale aérobie mésophiles, des actinobactéries, des champignons et levures dans le sol irrigué par les eaux d'Oued Meskiana après déversement des eaux usées par rapport à ceux irrigué par les eaux d'Oued Meskiana avant déversement des eaux usées

A la lumière de ces résultats, nous pouvons dire que l'utilisation des eaux contient des eaux usées pour l'irrigation influence sur la qualité physico-chimiques et microbiologique

**Mots clés** : Eau usées, Oued Meskiana, Qualité, Physico-Chimique, Microbiologique,

**Devant le jury:**

Présidente : **M<sup>me</sup> HALASSI I.** (MCB) Univ. Abbès Laghrour - Khenchela

Promotrice : **M<sup>me</sup> LEULMI N.** (MCB) Univ. Abbès Laghrour - Khenchela

Examinatrice : **M<sup>me</sup> MERABTI R.** (MCA) Univ. Abbès Laghrour - Khenchela