

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

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

Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département Nutrition et Technologie Agro-Alimentaire



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Science du sol

Présenté par : HEDIA Khaled.
MAHMOUDI Tidjania Ritedj.
MARIH Nabila.

Thème

**L'effet de la nature des sels sur la densité microbienne du
sol**

Soutenu publiquement le 10 /09/2020

Jury :

Présidente : M^{me} BOUAZZA.K
Encadrant : M^r OUADAH .S
Co-encadrant : M^{me} OULBACHIR. K
Examineur : M^r BENAHMED.M

Grade :

KMCB
MAA
Pr
MCB

Année universitaire 2019-2020

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,

*À mes très chers parents pour leur encouragement, amour et
patience*

*À mon oncle M'Hamed que dieu el Rahman l'accueil dans son
vaste paradis,*

*À tous ma famille et tous ceux qui ont participés de près ou de
loin à la réalisation de ce travail,*

À tous mes amis (es).

Khaleed

*Tout d'abord, je remercie mon dieu de m'avoir donné la
capacité et la volonté pour réussir.*

*Je souhaitais que mes chers parents qu'Allah les accueille dans
son vaste paradis sont là de ma côté ce jour.*

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le
symbole de tendresse et de la bonté par excellence à ma mère
qu'Allah ait pitié.*

*À mon cher père aucun dédicace ne saurait exprimer l'amour,
l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour
vous qu'Allah ait pitié.*

À ma chère sœur, le symbole de sacrifice et de l'amour Khadija.

*À mon chère frère Ahmed que j'aime beaucoup, je lui souhaite
de tout mon cœur une vie pleine de réussite.*

À mon cher oncle Mohamed que dieu le protège.

À tous mes oncles et mes cousins et mes proches.

À ma grande mère et mes tantes.

À tous la famille Mahmoudi

À ma sœur et chère ami feryel.

À tous les collègues et les amis de près et de loin.

À tous ceux qui m'aiment.

À tous ceux qui j'aime.

Ritedj

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à ceux qui me sont chers ;

À mon cher père

Aucun dédicace ne serait exprimé mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

À la mémoire de ma mère Allah yarhamha

Ce travail est dédié à ma mère, décide trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

J'aurai tant aimé que tu sois présente.

Que dieu ait ton âme dans son vaste paradis.

À mes chers et adorables frères et sœurs, mes belles-sœurs et beaux-frères ;

En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissances je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès.

À mes chers petits neveux et nièces :

Aucun dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur.

À ma chère tante et son époux et à ma cousine et mon cousin

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère .

*À mes amies de toujours : Kenza, Sarah, Hadjira, Sinam,
Meriem*

*En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des
moments agréables que nous avons passés ensemble*

*Veillez trouvez dans ce travail l'expression de mon respect le
plus profonds et mon infection la plus sincère.*

*À toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce
modeste travail et a tout ce que j'ai omis de citer.*

Nabila

Remerciement

Avant tout, nous tiendrons à remercier ALLAH qui nous a donné le courage et la patience pour terminer ce modeste travail.

*Aussi nous tiendrons à exprimer notre remerciement et notre profondes gratitude à notre encadreur Mr **Ouadah Sahraoui**, qui accepter de nous encadrer, de dirige ce travail, et pour son aide très précieuse, ses prises en charge, son aide et ses bons conseils, qui ont abouti à l'élaboration de ce travail.*

Nous tiendrons à remercier vivement les membres du jury pour leurs attentions et intérêts portés envers notre travail. Merci de nous honorer de votre présence.

Enfin, un grand merci à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous mes amis.

Table des matières

Dédicaces

Remerciement

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

I. L'azote dans le sol :

1. Introduction :	5
2. Les formes d'azote :	5
2.1 L'azote organique :	5
2.2 L'azote ammoniacal :	6
2.3 L'azote nitrique (NO ₃ ⁻) :	6
3. Cycle d'azote :	6
3.1 Définition :	6
3.2 Fixation de l'azote :	7
3.3 Assimilation :	8
3.4 Ammonification :	9
3.5 Nitrification :	9
3.5.1 Nitrification autotrophe :	9
3.5.2 Nitrification hétérotrophe :	9
3.6 Dénitrification :	10

II. La microflore du sol :

1. Introduction :	15
2. Importance générale :	15
3. Bactérie :	15
3.1 Caractères généraux :	15
3.2 Importance dans le sol :	15
4. Champignons :	16
4.1 Caractères généraux :	16
4.2 Importance dans le sol :	16
5. Actinomycètes :	17
5.1 Caractères généraux :	17

5.2	Importance dans le sol :.....	17
6.	Germes transformatrices d'azote :.....	18
6.1	Introduction :.....	18
6.2	Germes ammonifiants :.....	18
6.3	Germes nitrifiants :.....	20
7.	Conclusion :.....	22

III. L'interaction des microorganismes-sels :

1.	Introduction :.....	24
2.	Différents sels dans le sol et leurs interactions avec la microflore tellurique :.....	24
2.1	Les Chlorures :.....	24
2.1.2	Chlorure de potassium KCl :.....	26
2.1.3	Chlorure de calcium CaCl ₂ :.....	26
2.1.4	Chlorure de magnésium MgCl ₂ :.....	26
2.2	Les carbonates :.....	26
2.2.1	Le carbonate de sodium NaCO ₃ :.....	26
2.2.2	Le carbonate de magnésium MgCO ₃ :.....	27
2.3	Les sulfates :.....	28
2.3.1	Les sulfates de sodium Na ₂ SO ₄ :.....	28
2.3.2	Les sulfates de magnésiums MgSO ₄ :.....	29
2.3.3	Les sulfates de potassiums K ₂ SO ₄ :.....	29
2.3.4	Les Sulfates de Calcium CaSO ₄ :.....	29
3.	L'effet des sels sur les microorganismes transformateurs d'azote :.....	29
3.	Conclusion :.....	30

IV. Matériels et méthodes :

1.	L'Objectif :.....	33
2.	Localisation d'essai :.....	33
3.	Préparation des échantillons :.....	33
4.	Détermination du taux d'humidité :.....	33
5.	Le protocole expérimental :.....	33
6.	Méthodes d'analyses :.....	35
6.1	Analyses physico-chimiques :.....	35
6.1.1	Analyses physiques :.....	35
6.1.1.1	Granulométrie :.....	35
6.1.1.2	L'humidité :.....	36
6.1.2	Analyses physico-chimiques :.....	36
6.1.2.1	Le pH eau :.....	36
6.1.2.2	Le pH kCl :.....	36

6.1.2.3	C.E (Conductivité Electrique) :	36
6.1.3	Analyses chimiques :	37
6.1.3.1	Azote total :	37
6.1.3.2	Calcaire total :	37
6.1.3.3	Calcaire actif :	37
6.1.3.5	Carbone organique et matière organique :	38
6.2	Analyses microbiologiques :	38
6.2.1	Technique de dénombrement des microflores telluriques :	38
6.2.2	Préparation des suspensions dilutions :	39
6.2.3	Evaluation des bactéries transformatrices d'azote :	40
6.2.3.1	Dénombrement indirect :	40
6.2.3.2	La mise en évidence du dénombrement par la méthode du nombre le plus probable :	40
6.2.3.3	Les germes ammonifiants :	41
6.2.3.3.1	Principe :	41
6.2.3.3.2	Lecture :	41
6.2.3.4	Les germes nitreux et nitriques :	41
6.2.3.4.1	Principe :	41
6.2.3.4.2	Lecture :	41

V. Résultats et discussion :

1.	Résultat d'analyse du sol avant le traitement :	44
1.1	Les caractéristiques physico-chimiques :	44
1.2	Résultats des analyses microbiologiques :	45
2.	Résultat d'analyse du sol après traitements :	45
2.1	Caractérisation physico-chimiques du sol après les traitements :	46
2.2	La caractérisation microbiologique du sol après les traitements :	49
2.3	Germes ammonifiants :	50
2.4	Germes nitreux (Nitrosomonas) :	52
2.5	Germes nitriques :	54
	<i>Conclusion :</i>	57
	<i>Annexe :</i>	64

Liste des abréviations :

- **N :** *Azote.*
- **NH₄⁺ :** *Ammonium.*
- **NO₃⁺ :** *Nitrate.*
- **NO₂⁻ :** *Nitrite.*
- **N₂ :** *Diazote.*
- **pH :** *Potentiel hydrogène.*
- **S.S.S :** *Solution saline standard.*
- **C.H.A :** *Complexe Argilo-humique.*
- **NTAA :** *Nutrition et Technologie Agro-alimentaire.*
- **SNV :** *Sciences de la Nature et de la Vie.*
- **NPP :** *Nombre le plus probable.*

Liste des figures :

Figure 1 : Vue schématique de la loi de Liebig (d'après Liebig vers 1850). Figure adaptée d'Encyclopédie Larousse.Fr.....	5
Figure 2 : Schéma complet du cycle de l'azote (Jehanno, Baradel, 2016).	6
Figure 3 : vue macroscopique et microscopique des processus de cycle d'azote dans le sol conduisant à l'absorption d'azote; Figure adaptée de Pearson Education Inc.	7
Figure 4 : (A, B). Bactéries du sol (Dari, 2013).....	16
Figure 5 : Champignons du sol, A : <i>Aspergillus</i> , B : <i>Penicillium sp</i> , Figure adaptée de Environmental Microbiology Laboratory, Inc.	17
Figure 6 : Actinomycètes, espèces <i>Frankia</i> ; A : Figure adaptée de Las Pilitas Nursory 2012, B et C (Natacha, 2013).	18
Figure 7: Bactérie ammonifiant du sol espèce : <i>Bacillus macerans</i> (Versolovic et al, 2011).....	19
Figure 8 : Champignons ammonifiant du sol espèce : <i>Aspergillus niger</i> (d'hlewyn et Chevalie, 2019).	20
Figure 9 : (A et B) Bactéries nitrifiantes, figure adaptée de Aquaportail.com, mise en jour 02/12/2019.	20
Figure 10 : Dispositif expérimentale.	34
Figure 11 : étuve à 28°C pour l'incubation.....	35
Figure 12 : Préparation des suspensions dilutions.	39
Figure 14 : Histogramme de variation des pH en fonction des différents sels.	47
Figure 15 : Histogramme de variation du calcaire total (C.T) et actif (C.A) en fonction des différents sels.	48
Figure 16 : Histogramme de variation du Carbone organique % en fonction des différents sels.....	49
Figure 17 : Histogramme de la variation de nombre des bactéries ammonifiantes (germes /gramme de sol) en fonction des différents sels traités.	51
Figure 18 : Histogramme de la variation de nombre des bactéries nitreux (germes /gramme de sol) en fonction des différents sels traités.....	53
Figure 19 : Histogramme de la variation de nombre des bactéries nitriques (germes /gramme de sol) en fonction des différents sels traités.	55

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Exemples des différents types de microorganismes fixateurs de N ₂ (Roger.PA et Gracia J-L, 2001).....	8
Tableau 2 : Description des étapes du cycle de l'azote (Aurelie, 2004).	11
Tableau 3 : processus métaboliques dus aux microorganismes dans le sol (Prescott, 2002).	11
Tableau 4 : les caractéristiques des deux genres de bactéries nitrifiantes (Féray, 2000).	21
Tableau 5 : Principales caractéristiques du Chlorure de sodium d'après Kaufmann cité par (Lozach, 2001).	26
Tableau 6 : le degré de la solubilité du Na ₂ SO ₄ en fonction du Température (Bourahla, 1991). ...	28
Tableau 7 : Valeur des paramètres physico-chimiques du sol avant le traitement.	44
Tableau 8: Dénombrement des microorganismes dans le sol étudié ; Ammonifiants, nitreux et nitriques avant le traitement.	45
Tableau 9 : Valeur des paramètres physico-chimiques après le traitement.....	46
Tableau 10: Dénombrement des Ammonifiants (germes /gramme de sol) dans le sol après le traitement des différents sels.	50
Tableau 11 : Nombre des bactéries ammonifiantes après le traitement des différents sels en fonction du témoin.....	50
Tableau 12 : Dénombrement des germes nitreux (germes /gramme de sol) dans le sol après le traitement des différents sels.....	52
Tableau 13 : Nombre des bactéries nitreux (germes /gramme de sol) après le traitement des différents sels en fonction du témoin.....	52
Tableau 14 : Dénombrement des germes nitriques (germes /gramme de sol) dans le sol après le traitement des différents sels.....	54
Tableau 15: Nombre des bactéries nitriques (germes /gramme de sol) après le traitement des différents sels en fonction du témoin.....	54

Introduction générale

Introduction

Dans les régions arides et semi-arides, la variabilité des précipitations et la forte évapotranspiration affectent l'eau et l'équilibre des sels dans le sol, alors que les conditions climatiques sont favorables à l'ascension des sels, à la concentration de la solution du sol et à la précipitation des sels dans la zone racinaire et l'horizon superficiel dit arable entraînant la salinisation (**Hachicha,2007**).

L'accumulation des sels solubles dans le sol, est l'un des principaux problèmes auquel l'agriculture fait face (**Zid et Boukhris, 1977**). Donc la salinité quel que soit sa nature chimiques (faciès salin), est un processus majeur de la dégradation des sols qui conduit à la perte au moins 3 ha de terre cultivable chaque minute (**Anonyme,2006 in Boukhalfa, 2013**) et crée une forte pression osmotique qui menace la vie des êtres vivants et microorganismes du sol (**Maricle et al, 2007**).

D'après (**Innov-Agri, 2017**) Les micro-organismes représentent 75 à 90 % de la biomasse vivante dans le sol, ils ont un rôle major dans les différentes réactions, décompositions et de synthèse de la matière organique par leurs enzymes. Ils ont également un rôle important dans les cycles géochimiques des éléments.

En effet un sol dans son climat dissimule une biodiversité microbienne lui permettant d'assurer tous les processus de métabolisme, à la synthèse de matière organique et sa transformation notamment la minéralisation de l'azote indispensable au développement des plantes (**Oulbachir, 2010**).

L'azote est donc un facteur de rendement et parfois de qualité (**Pisson, 2000**). La croissance de la plupart des végétaux dépend de la présence de ce dernier dans le sol (**Kouadria, 2019**).

La composante microbienne du sol s'insère dans plusieurs étapes importantes dans le cycle de l'azote, le rôle de ces peuplements microbiens semble encore plus critique, puisque certaines transformations biochimiques de cet élément ont été trouvées exclusivement chez ces microorganismes (**Hayatsu et al, 2008**).

La fixation biologique de N₂ représente aujourd'hui, à l'échelle mondiale, un apport environ 1,5 fois supérieur à celui des engrais. Elle est estimée à environ 195 millions de tonnes d'N par an (**Smil, 2002**). En effet, l'activité des bactéries fixatrices d'azote permet de satisfaire environ 90% des besoins de la plante en azote (**Berrada et Fikri, 2014**).

La variabilité des processus pédologiques entraine des modifications importantes et influe directement ou indirectement sur les propriétés biologiques des sols (**Chur chman et al.1993, Brady et Weil 2002**). L'un de ces contraintes est l'accumulation des différents sels dans la zone rhizosphérique cette salinité à une sensibilité exprimée par une réduction de la survie des microorganismes dans le sol, de l'activité de la nitrogénase ; enzyme de réduction

Introduction générale

de l'azote moléculaire et par conséquent la réduction de l'azote total dans la plante (**Rai, 1992 in Sadj, 2017**).

Plusieurs travaux ce sont penchés sur l'effet des sels sur les micro-organismes sans traiter l'influence de la nature des sels sur ces derniers.

La question qui se pose ; est-ce que la nature des sels (facies salin) a des effets sur la variation de la densité microbienne du sol ?

L'objectif de notre travail est d'évaluer la densité microbienne notamment celles fixatrices d'azote par différents traitements de sels (Facies salin), les sels utilisés sont : Chlorures, sulfates, carbonates et bicarbonates de sodium.

Pour atteindre notre objectif on a divisé ce travail en deux parties :

La première partie ; qui est une synthèse bibliographique contenant trois chapitres ; un premier dans lequel on a défini l'azote, leur formes et sa cycle biologique. Le deuxième chapitre représente la microflore du sol dont les microorganismes qui transforment l'azote : ammonifiants, nitreux et nitriques.

Le troisième chapitre consiste à présenter les différents sels rencontrés dans le sol et leurs interactions avec les microorganismes. C'est à dire l'influence des propriétés de ce dernier sur la croissance des bactéries transformatrices d'azote.

La deuxième partie est la partie expérimentale ; présentée en deux chapitres : un chapitre matériels et méthodes : on a présenté le Protocol expérimental suivie durant l'étude et le matériel utilisé et en fin un chapitre de résultat et discussion dont on a discuté les résultats trouvés.

*Première partie : Synthèse
bibliographique*

Chapitre I: L'azote
Dans le sol

I. L'azote dans le sol :

1. Introduction :

L'azote (N) est omniprésent dans la nature. C'est le constituant majeur de l'atmosphère, et le quatrième composant en quantité des êtres vivants après le carbone (C), l'hydrogène (H) et l'oxygène (O). Cependant, seule une petite fraction de l'azote est immédiatement disponible pour ces derniers. Le diazote atmosphérique (N₂) est en effet très inerte et ne peut être assimilé par les plantes qu'après transformation en des formes assimilables par voie biologique ou industrielle (fabrication d'engrais). Toutes les formes d'azote chimiquement et biologiquement actives constituent l'azote dit réactif (N_r). Il peut subir toute une série de transformations dans l'air, l'eau et le sol ainsi qu'au sein des êtres vivants, allant jusqu'au retour à sa forme diazote par la dénitrification : c'est le cycle de l'azote (**Genrmon, Cellier, 2016**).

Les ressources en azote de la planète sont pratiquement illimitées grâce au réservoir atmosphérique (N₂). Pourtant l'azote est, après l'eau, le principal facteur limitant la croissance des végétaux. En effet, pour être utilisable par les végétaux, l'azote doit être sous forme minérale (NH₄⁺ et NO₃⁻) (**Smil, 2002**).

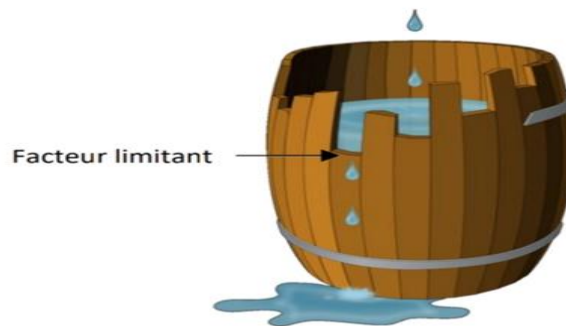


Figure 1 : Vue schématique de la loi de Liebig (d'après Liebig vers 1850). Figure adaptée d'Encyclopédie Larousse.Fr.

2. Les formes d'azote :

D'après (**Huber et Schaub, 2011**) dans le sol, l'azote peut exister sous trois formes principales représentant trois stades de décomposition des matières organiques :

2.1 L'azote organique :

Est la réserve d'azote du sol. Il n'est pas directement utilisable par les plantes. La plus grande partie se trouve sous forme d'humus stable dosant 5 % d'azote. Ce stock représente généralement entre 1 et 3 % de la terre fine, beaucoup plus dans les sols humifères. Un taux élevé d'azote organique n'est pas forcément l'indice d'une bonne aptitude du sol à bien nourrir les plantes en azote : il peut s'agir d'une minéralisation trop faible de cet azote.

2.2 L'azote ammoniacal :

L'azote ammoniacal est une forme transitoire, mais retenue par le système adsorbant. Résultant de l'ammonification, les ions ammonium NH_4^+ sont retenus par les charges négatives du complexe argilo-humique (C.H.A). On dit qu'ils sont « fixés » mais ils sont assez rapidement oxydés par les bactéries nitrifiantes qui les transforment en ions nitrates NO_3^- .

2.3 L'azote nitrique (NO_3^-) :

Très soluble, est la forme principale d'absorption de l'azote par les plantes. Ces cations, non retenus par le système adsorbant, peuvent être perdus par lessivage s'ils ne sont pas absorbés par les plantes ou par les bactéries « organisatrices », c'est-à-dire retransformés en azote organique. La perte annuelle par lessivage peut être de 30 à 150 kg/ha sur sols nus, de 3 à 80 kg/ha sur sols cultivés, ce qui montre l'intérêt des cultures occupant le sol à l'automne, les « engrais verts » ou « cultures intermédiaires ».

Les formes d'azote dans le sol et leur évolution sont dépendantes de l'activité biologique.

3. Cycle d'azote :

3. 1 Définition :

Le cycle de l'azote est le résultat du métabolisme microbien sur les composés azotés. Les transformations mises en jeu sont des réactions d'oxydoréduction modifiant le niveau de valence de l'atome azote (Mammeri, 2007. Bassompierre, 2007). Et définit comme une succession des réactions d'oxydoréduction aérobies et anaérobies permettant la transformation de l'azote gazeux (Zaghmouri, 2013). Le cycle de l'azote (Figure 2) fait intervenir des réactions de fixation, d'assimilation, d'ammonification et nitrification.

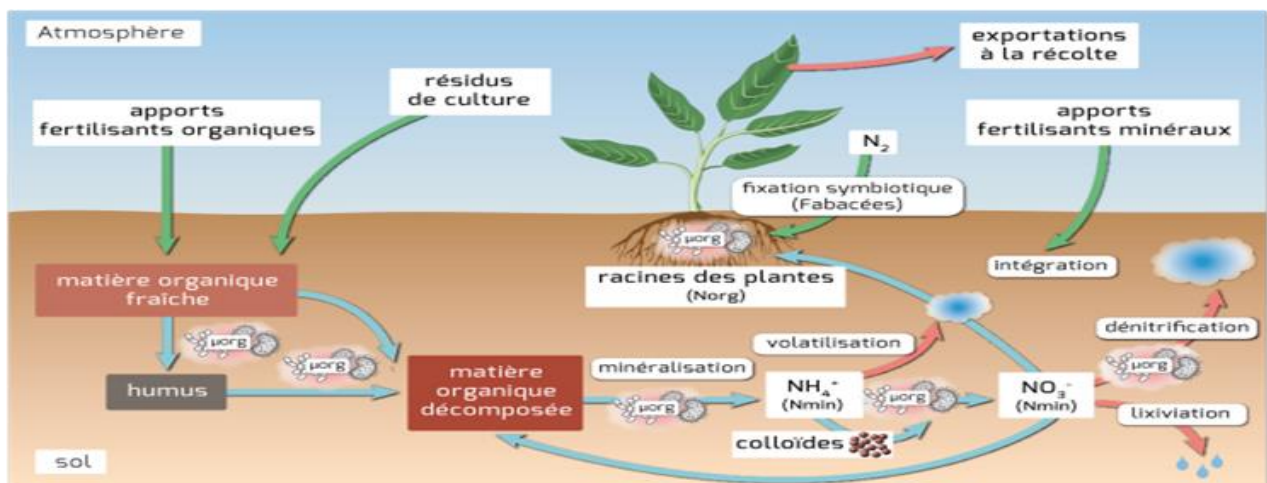


Figure 2 : Schéma complet du cycle de l'azote (Jehanno, Baradel, 2016).

Les plantes, ainsi que la plupart des organismes, ne peuvent pas utiliser directement les fortes concentrations de gaz nitrique (N_2) présents dans l'atmosphère. Ils reposent sur la disponibilité de nitrate (NO_3^-) ou d'ammonium (NH_4^+) dans les sols qui peuvent être absorbés par les racines de la plante et sont finalement incorporés dans la biomasse (Figure 3) (Loque and Wiren, 2004; O'Brien et al, 2016).

Pour la majorité des végétaux, l'azote est un élément fortement limitant car peu disponible. Son acquisition se fait principalement selon deux voies d'entrées : le sol à travers l'assimilation des formes minérales ou l'atmosphère à travers la fixation de l'azote moléculaire (Schimann, 2005).

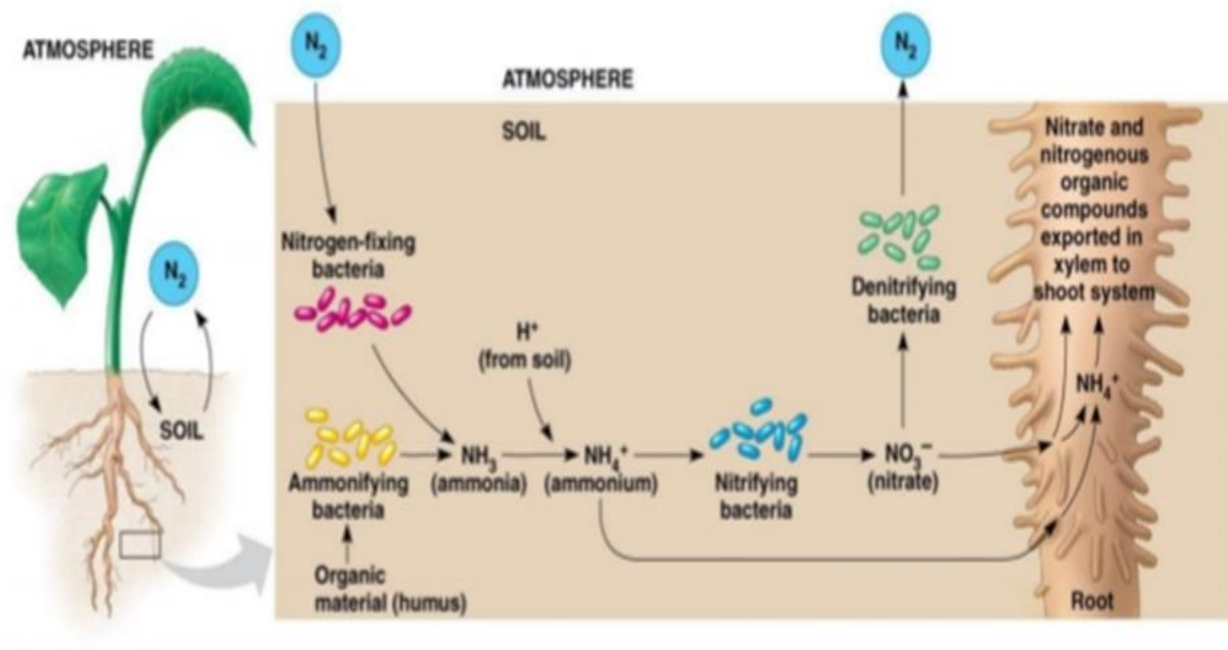


Figure 3 : vue macroscopique et microscopique des processus de cycle d'azote dans le sol conduisant à l'absorption d'azote; Figure adaptée de Pearson Education Inc.

3. 2 Fixation de l'azote :

Le diazote N_2 constitue 79% de l'atmosphère terrestre, mais ce réservoir majeur d'azote est peu réactif dans les conditions physiologiques (Paerl & Zehr 2000). Le passage entre l'atmosphère et la biomasse se fait exclusivement via la fixation biologique grâce aux cyanobactéries, aux bactéries impliquées dans la fixation symbiotique (*Rhizobium*, *Frankia*), aux bactéries impliquées dans la fixation associative (*Azospirillum*) et aux bactéries impliquées dans la fixation libre (*Azotobacter*, *Clostridium*). Elle représente 50% de la source d'azote des systèmes terrestres. (Schimann, 2005).

Tableau 1 : Exemples des différents types de microorganismes fixateurs de N₂ (Roger.PA et Gracia J-L, 2001).

<p>Microorganismes libres</p> <ul style="list-style-type: none">• Aérobie• Hétérotrophes <i>Azotobacter spp.</i>; <i>Klebsiella pneumoniae</i>; <i>Beijerinckia indica</i>; <i>Azospirillum lipoferum</i>• Phototrophes: Cyanobactéries• Hétérocystées <i>Nostoc</i>; <i>Anabaena</i>; <i>Calothrix</i>; <i>Tolypothrix</i>• Homocystées <i>Trichodesmium</i>; <i>Oscillatoria</i>• Unicellulaires <i>Gloeotheca</i>; <i>Gloeocapsa</i> • Anaérobies• Hétérotrophes <i>Clostridium pasteurianum</i>; <i>Desulfovibrio vulgaris</i>; <i>Desulfotomaculum spp.</i> ; <i>Methanobacterium spp.</i>• Phototrophes <i>Rhodospirillum rubrum</i>; <i>Rhodobacter capsulata</i>; <i>Chromatium vinosum</i> <p>Microorganismes symbiotiques</p> <ul style="list-style-type: none">• Légumineuses• à nodules racinaires <i>Rhizobium meliloti</i>; <i>Rhizobium leguminosarum</i> <i>Bradyrhizobium japonicum</i>; <i>Sinorhizobium fredii</i>• à nodules caulinaires <i>Azorhizobium caulinodans</i>• Symbioses actinorhiziennes <i>Frankia</i>• Symbioses à cyanobactéries• <i>Azolla Anabaena azollae</i>• <i>Cycas Anabaena cycadeae</i>• Lichens <i>Nostoc</i>• Mousses et hépatiques <i>Nostoc</i>

3.3 Assimilation :

L'azote est un élément présent dans la plupart des structures cellulaires, comme les acides nucléiques (ARN, ADN), les protéines, certaines coenzymes et plusieurs autres composantes des cellules. C'est pourquoi il est primordial pour les microorganismes d'assimiler l'azote de leur environnement, nécessaire à leur croissance et à leur survie. La plupart des bactéries incorpore l'azote sous forme d'ion ammonium (NH₄⁺). Étant déjà sous une forme réduite, il nécessite peu de dépense énergétique pour son assimilation. Certains microorganismes peuvent toutefois assimiler l'azote sous forme de nitrite ou de nitrate (Prescott et al. 1995 in Marouane, 2016).

L'ammonium est la forme préférentiellement assimilée par les microorganismes, alors que le nitrate est la forme « préférentiellement » assimilée principalement par la macroflore (**Zaghmouri, 2013**). Seulement 40% de cet azote est assimilé par les cultures, ce qui peut aboutir à l'accumulation de cet élément dans le sol (**Cavatte et al, 2012**).

3.4 Ammonification :

D'après (**Hayez, 1893**), l'oxydation graduelle dans le sol de l'azote des matières organiques en nitrates ou nitrification, s'accomplit en trois phases fondamentales :

- L'ammonification ou transformation de l'azote organique en ammoniacque NH_4^+ .
- La nitrosation ou transformation de l'ammoniacque en nitrique NO_2^- .
- La nitratisation ou transformation des nitrites en nitrates NO_3^- .

L'ammonification (on dit aussi ammonisation) représente l'ensemble des réactions de dégradation biologique de l'azote organique du sol aboutissant à la libération d'azote sous forme d'ammoniacque (NH_4^+). Il y a une ammonification lente, celle de la matière organique humifiée et une ammonification rapide, celle des résidus végétaux et animaux. Elle est essentiellement un phénomène biologique, régit par les enzymes de la microflore du sol (**Mourceayx, 1973**).

3.5 Nitrification :

C'est l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrites, puis en nitrates après transformation de l'azote organique en azote ammoniacal (ammonification) (**Féray, 2000**). NH_4^+ est d'abord oxydé en nitrite NO_2^- et le nitrite est oxydé en nitrate NO_3^- par certains microorganismes autotrophes ou hétérotrophes ; La nitrification se fait en deux processus, la nitrosation (nitritation) et la nitratisation, elle est plus exigeante en oxygène que l'ammonification (**Mourceaux, 1973**).

3.5.1 Nitrification autotrophe :

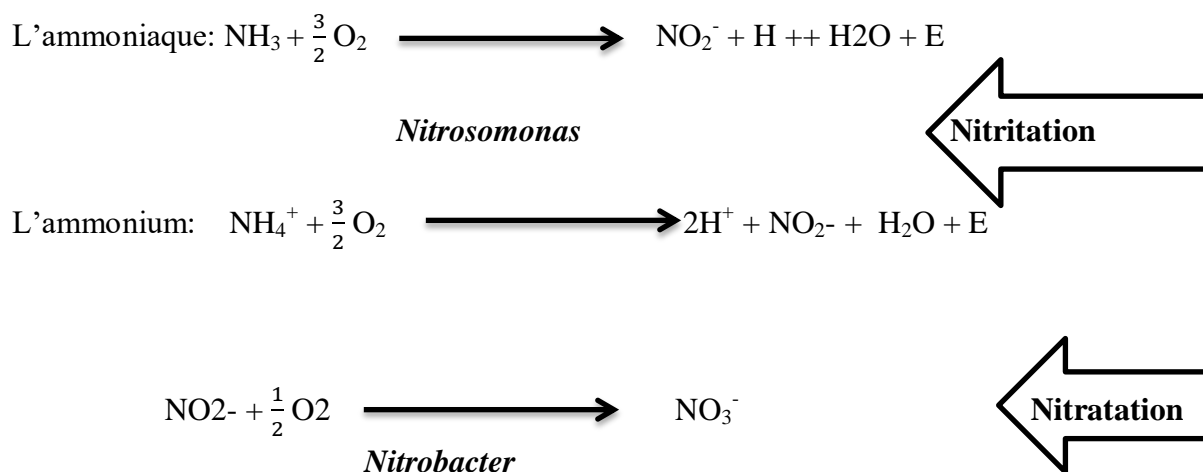
Les microorganismes responsables de la nitrification autotrophe appartiennent à deux groupes principaux de microbes chimiolethotrophes ; le premier groupe concernant les bactéries nitreuses qui a un rôle d'oxydation l'azote ammoniacal NH_4^+ en azote nitreux NO_2^- (nitritation) (**Dommergues et Mangeno, 1970**). Ce sont les bactéries nitritantes (ou nitrosantes, ou nitreuses), dont les noms de genres portent le préfixe "nitroso" (**Féray, 2000**). Le deuxième groupe correspond aux bactéries nitriques qui oxydent l'azote nitreux NO_2^- en azote nitrique NO_3^- (nitratisation). Ce sont les bactéries nitratantes (ou nitriques), dont les noms de genres portent le préfixe "nitro" (**Féray, 2000**).

3.5.2 Nitrification hétérotrophe :

Selon (**Dommergues et Mangeno, 1970**), la nitrification hétérotrophe pourrait faire intervenir deux enzymes (une catalase et l'autre peroxydase). C'est une production de nitrate à partir de formes réduites, organiques ou inorganiques, de l'azote. Il s'agirait d'une cooxydation, non couplée

à une production d'énergie, effectuée par divers groupes taxonomiques de bactéries, champignons, et même par quelques algues (Féray, 2000).

De façon générale, nitrification se déroule en deux étapes permettant l'oxydation de l'ammonium en nitrite et l'oxydation du nitrite en nitrate:



Il peut également s'agir d'une combinaison de ces deux voies (autotrophe et hétérotrophe). Aucun des nitrifiants hétérotrophes ne peut croître autotrophiquement. Par rapport à la nitrification lithoautotrophique, seules de faibles quantités de nitrite et de nitrate sont formées, mais la nitrification hétérotrophique peut être à prendre en compte si la nitrification autotrophe est inhibée par des conditions environnementales (Féray, 2000 in Marouane, 2016).

3. 6 Dénitrification :

Le processus de dénitrification est l'une des composantes majeures du cycle de l'azote, où l'azote circule dans l'atmosphère, le sol et l'eau sous diverses formes moléculaires. L'importance de cette circulation provient en grande partie de la dépendance d'organismes vivants à l'azote pour la structure et la formation de molécules protéiques et nucléiques. En effet, aucune vie terrestre ne peut exister sans cet élément majeur (Jonathan, 2017).

C'est une transformation biologique du nitrate NO_3^- en diazote N_2 à travers une succession de réductions au cours desquelles le nitrate initial est successivement réduit en nitrite NO_2^- pour aboutir à l'azote moléculaire N_2 (Canfield 2005). Et boucle le cycle (Schimann, 2005).

Tableau 2 : Description des étapes du cycle de l'azote (Aurelie, 2004).

Étapes	Réactions	$\Delta G'_0$ (kcal/mol de substrat)
Fixation de l'azote	$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$	+150 kcal/mol
Ammonification (ou minéralisation)	Activité uréase : $CO(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow 2NH_3 + CO_2$ Dégradation MO : $NH_2CH_2COOH + 1.5 O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O + NH_3$	+178 kcal/mol
Nitrification	Nitrosation : $NH_3 + 1.5O_2 \rightarrow HNO_2 + H_2O$ $(NH_3 + O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow NH_2OH + H_2O)$ $NH_2OH + 0.5O_2 \rightarrow HNO_2 + 2H^+ + 2e^-)$	- 66 kcal/mol
	Nitratation : $NO_2^- + 0.5O_2 \rightarrow NO_3^-$	- 17 kcal/mol
Dénitrification	$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$ ex: $C_6H_{12}O_6 + 12 NO_3^- \rightarrow 12 NO_2^- + 6CO_2 + 6H_2O$ $2NO_3^- + 12H^+ + 10e^- \rightarrow N_2 + 6H_2O$	-46 kcal/mol -134 kcal/mol

Tableau 3 : processus métaboliques dus aux microorganismes dans le sol (Prescott, 2002).

Processus métabolique	Définition
La fixation biologique de l'azote	Conversion bactérienne de l'azote moléculaire en ammoniac
L'immobilisation	L'absorption et l'assimilation de l'ammonium ou de nitrate par les microorganismes.
Ammonification	Catabolisme bactérien et fongique de la matière organique azotée dans le sol en ammonium
Nitrification	L'oxydation bactérienne de l'ammonium en nitrite puis des nitrites en nitrates
Dénitrification	Conversion bactérienne du nitrate en oxyde nitreux et en azote moléculaire.
Minéralisation	Catabolisme bactérien et fongique de la matière organique dans le sol en azote moléculaire à travers l'ammonification ou la nitrification.

3.7 Conclusion :

Dans le sol, les cycles biogéochimiques des éléments, particulièrement l'azote, sont sous la dépendance de l'activité du cortège microbien qui colonise les horizons pédologiques (**Bouchenafa et al, 2011**). Alors la population microbienne du sol constitue le maillon final de la chaîne trophique du sol dont laquelle transite l'azote des matières organiques avant de redevenir disponible pour les plantes (**Chantigny et Angers, 2005**).

Mais l'hétérogénéité chimique des matières organiques peut être mise en relation avec la grande diversité taxonomique des microbes (**Guigue, 2014**). Ce qui explique la spécialité fonctionnelle des microorganismes dans les processus biologiques du sol notamment la minéralisation d'azote et ses différentes étapes métaboliques par large gamme des communautés microbiens.

Chapitre II : la microflore du sol

II. La microflore du sol :

1. Introduction :

Le sol est un réservoir important de la biodiversité sur la terre et les microorganismes y représentent une grande partie de cette biodiversité ; En effet il existe plusieurs dizaines de milliers d'espèces de bactéries et plusieurs centaines d'espèces de champignons par gramme de sol (Furminieux et al, 2014).

2. Importance générale :

La biomasse microbienne se définit comme étant la fraction vivante de la matière organique du sol (Jenkinson et al. 1981). Les services rendu par la biodiversité microbienne du sol considéré par la régulation et l'entretien notamment la régulation des nutriments, fertilité, cycles biogéochimique tel que l'azote. Les microorganismes minéralisent la matière organique, ce processus s'accompagne d'une libération d'azote minéral valorisé par la plante en croissance, ces microbes contribuent au stockage de la matière organique (Lemanceau, 2020).

3. Bactérie :

3.1 Caractères généraux :

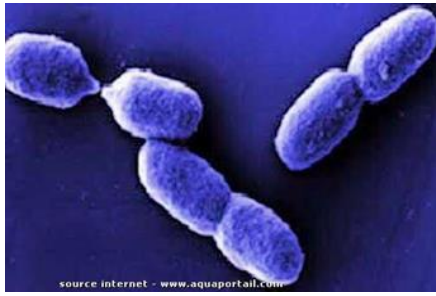
Les bactéries sont le groupe majeur des microorganismes du sol soit au plan quantitatif qu'au plan fonctionnel (Morel, 1989). Dans l'ordre des Pseudomonas et Eubactéries, on retrouve les principaux genres vivants dans le sol (Dommergues et Mangenot, 1970).

Elles prolifèrent dans les milieux les plus riches en N, et peu acides ; elles sont surtout abondantes autours des racines de certaines plantes (graminées, légumineuses), au sein de la rhizosphère. La plupart d'entre elles sont hétérotrophes et saprophytes (Duchaufour, 2001).

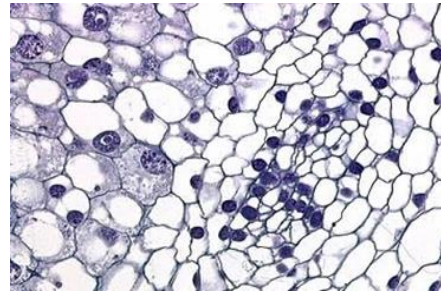
3.2 Importance dans le sol :

Les bactéries jouent un rôle fondamental dans les processus écosystémiques. Elles occupent des positions clés dans les processus et sont impliquées dans les transformations biogéochimiques des éléments majeurs nutritifs, notamment N, P et C (Whitman et al. 1998 in Zaghmouri,2013). Les bactéries font partie des décomposeurs les plus actifs, elles sont les premières à attaquer la matière organique à fin d'en absorber le carbone et l'azote (Bignon, 2019).

Les végétaux peuvent utiliser l'azote de l'air, les éléments minéraux dont elles ont besoin pour leur croissance grâce à ces microorganismes notamment les bactéries (Breuil, 2016). C'est le cas par exemple des bactéries de genre *rhizobium* qui transforme l'azote atmosphérique en ammonium en relation symbiotique avec les légumineuses (Aurelien, 2019).



A : *Azotobacter*



B : *Rhizobium*

Figure 4 : (A, B). Bactéries du sol (Dari, 2013).

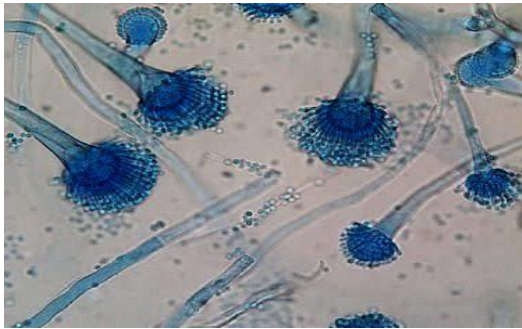
4. Champignons :

4.1 Caractères généraux :

Les champignons sont des organismes microscopiques qui forment de longs filaments dans le sol, sont appelés hyphes (Ritz, 2008). Les champignons sont des êtres vivants hétérotrophes. La plupart des champignons s'accordent avec un pH acide, Les champignons filamenteux ne peuvent synthétiser de matière organique à partir du CO₂. En effet, ils sont incapables d'assurer la photosynthèse. Une source de carbone organique est donc nécessaire à leur développement. Ils synthétisent leurs propres nutriments à partir de l'eau et des éléments nutritifs et minéraux qu'ils puisent dans leur environnement (Lecellier, 2013).

4.2 Importance dans le sol :

Les chiffres qui démontrent l'importance de la vie microbienne dans les sols sont astronomiques : jusqu'à 3,5 tonnes de microorganismes potentiellement retrouvées dans un hectare notamment cinq kilomètres de mycélium de champignons de sol (Roger, 2019). Les champignons jouent sans doute le rôle le plus important, ils ont notamment la faculté de décomposer la cellulose et la lignine dont les résidus pour élaborer l'humus ; près des racines, l'activité microbienne se multiplié par 1000 (Bignon, 2019).



A.



B.

Figure 5 : Champignons du sol, A : *Aspergillus*, B : *Penicillium sp.*, Figure adaptée de Environmental Microbiology Laboratory, Inc.

5. Actinomycètes :

5.1 Caractères généraux :

Les Actinomycètes sont intermédiaires entre les bactéries et les champignons, quoique plus proches des bactéries. (Par le noyau diffusant membrane nucléaire). Ils sont unicellulaires mais forment des ramifications mycéliennes (**Mourceaux, 1973**). Elles sont ramifiées et ressemblent au mycélium des champignons (diamètre 10 fois plus petit) (**Gallien, 2015**).

Ils sont plus sensibles à l'acidité que les moisissures préférant des pH de 6 à 7,5 (**Soltner, 2005**).

5.2 Importance dans le sol :

Le sol renferme une communauté d'êtres vivants, c'est lieu où se croisent, s'associent, se détruisent, cohabitent ou s'ignorent des milliards d'individus dont les actinomycètes (**Bignon, 2019**). Les actinomycètes sont intéressants parce qu'ils se signalent par leur grande résistance à la sécheresse. Ils sont connus aussi comme déhumifiants caractéristique des humus très évolués (**Mourceaux, 1973**). Ils seraient susceptibles de décomposer les composés aromatiques de la matière organique fraîche (lignine, certains tannins) (**Duchaufour, 2001**). *Frankia* est un actinomycète symbiotique qui forme des nodules fixateurs d'azote (nodules actinorhiziens) avec un certain nombre d'arbres qui ont un intérêt économique en particulier pour le reboisement de sols peu fertiles (Casuarinacées) (**Roger. et Gracia, 2001**).



A.

B.

C.

Figure 6 : Actinomycètes, espèces *Frankia* ; A : Figure adaptée de Las Pilitas Nursory 2012, B et C (Natacha, 2013).

6. Germes transformatrices d'azote :

6.1 Introduction :

Les microorganismes du sol dont les bactéries et les champignons sont des ingénieurs chimiques intervenant dans la décomposition de la matière organique, la plus part agissent sur le cycle des éléments nutritifs et ils sont bénéfiques à l'environnement (Savelli, 2020). Pour tous les écosystèmes terrestres, l'azote est un élément pivot pour la conservation de la fertilité et la productivité du sol ; cet élément est fortement dominé par sa forme organique (plus de 80% d'azote dans le sol est combiné avec les composés organiques plus moins biodégradables) et dont sa minéralisation est le produit d'un ensemble de réactions biochimiques assurées par divers groupes d'organismes telluriques. Dans le sol, la minéralisation de l'azote organique est dominée par la voie microbienne (ammonification et nitrification), les fortes teneurs en azote minéral sont souvent corrélées avec la présence d'une population microbienne active (Bourahla, 2017)

6.2 Germes ammonifiants :

La microflore responsable de l'ammonification est surtout bactérienne et fongique ; Le gros bacille *Bacillus mycoides*, en longues chainettes immobile non sporogène dont l'optimum de développement est à 30°C peut transformer près de 60% de l'azote protidique d'une solution peu concentrée (1.5 % par exemple) en ammoniacque ; c'est un germe banal avec *Bacillus cereus* (couleur de cire) spécialisé dans l'attaque des protéines ; tandis que *Pseudomonas fluorescens* agit surtout sur les acides aminés (Mourceaux, 1973).

Parmi les bactéries ammonifiantes les plus connues en citera les genres suivants :

Achromobocter

Bacillus

Croynobocterium

Clostridium

Flavobocter

Micrococcus

Protaminobacter

Proteus

Pseudomonas

Serratia

Les microorganismes ammonifiants sont beaucoup plus abondants dans la rhizosphère que d'autre partie du sol (**Dommergues et Mangenot, 1970**).

Les champignons ammonifiants semblent jouer un rôle relativement plus important dans les sols tropicaux acides, ou les podzols. *Laspergillus niger* décompose la leucine, l'asparagine, le glycolle. Il produit beaucoup d'acides citrique et oxalique qui neutralisent l'ammoniaque et sont responsables de la formation de complexes organo-minéraux. Sans oublier les actinomycètes qui sont signalés aussi comme ammonifiants. En générale, les densités des germes ammonifiants dans le sol sont élevées (**Mourceaux, 1973**). Ils peuvent former 20% de la microflore totale du sol (**Roger et Gracia, 2001**).

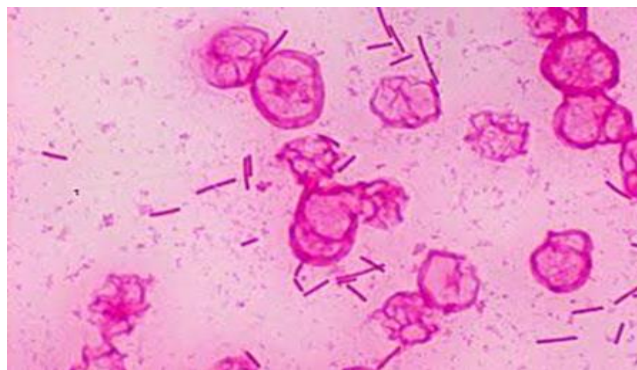


Figure 7: Bactérie ammonifiant du sol espèce : *Bacillus macerans* (**Versolovic et al, 2011**).

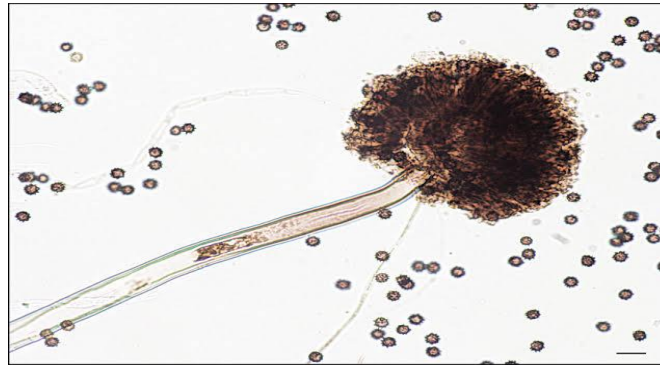


Figure 8 : Champignons ammonifiant du sol espèce : *Aspergillus niger* (d'hlewyn et Chevalie, 2019).

6.3 Germes nitrifiants :

Les microorganismes nitrifiants sont pour la plupart chimiolithoautotrophes. Ils utilisent l'énergie dérivée de la nitrification pour fixer le CO₂ et pour synthétiser leur biomasse. Chaque étape de la réaction de nitrification est réalisée par une communauté bactérienne différente (Zaghmouri, 2013).

Selon (Mourceaux, 1973), les germes autotrophes, on peut connaître les germes nitreux le plus courant, le genre *Nitrosomonas*. Une espèce commune est *N. europaea*, bacille court à cil unipolaire (2 x 1,2 u environ, mobile. C'est le germe le plus actif de la nitrosation. Il se présente souvent en zooglée (en groupement allant jusqu'à 50 u). On a aussi décrit d'autres genres : *Nitrosocystis*, en zooglées dans les sols de prairie et de forêt. *Nitrosogloea* dans les boues activées et les sols non cultivés. *Nitrospira*, forme peu active, *Nitrosococcus*. En ce qui concerne les bactéries nitriques, le germe ubiquiste des sols les plus divers est le *Nitrobacter*, il y a aussi le genre *Nitrocystis* dont le rôle paraît secondaire.

Chez les germes de la nitrification hétérotrophes il a été mis en évidence beaucoup d'espèces microbiennes qui sont susceptibles de convertir l'azote ammoniacal en azote nitreux tels que : *Cornebacterium*, *Nocardia*, et champignons (*Penicillium*, *Aspergillus*).



A : *Nitrosomonas* (germe nitreux)

B : *Nitrobacter* (germe nitrique)

Figure 9 : (A et B) Bactéries nitrifiantes, figure adaptée de Aquaportail.com, mise en jour 02/12/2019.

Tableau 4 : les caractéristiques des deux genres de bactéries nitrifiantes (Féray, 2000).

<i>Genre Nitrosomonas</i>	<i>Genre Nitrobacter</i>
<ul style="list-style-type: none">- forme de bâtonnet, voire ellipsoïdale, et parfois coquoïde.- multiplication par fission binaire.- membranes intracytoplasmiques, formées semble-t-il par des invaginations de la membrane cytoplasmique, disposées dans les régions périphériques du cytoplasme ; celles-ci renfermant également des inclusions de type carboxysomes et granules de polyphosphate.- certaines cellules mobiles grâce à un flagelle polaire.- contenu en G+C : 45 à 54 mol%- temps de génération : 8 h et plus.	<ul style="list-style-type: none">- forme caractéristique de poire ou raquette- 0.5 à 0.8 μm de largeur et 1 à 2 μm de longueur.- multiplication par bourgeonnement.- certaines cellules mobiles grâce à un unique flagelle subterminal ou latéral.- enveloppe cellulaire différente de celle trouvée chez les autres bactéries Gram- : la paroi externe est bipartite, avec une couche interne plus dense aux électrons que la couche externe- membranes intracytoplasmiques formant une calotte polaire composée de 4 à 6 couches de doubles membranes.- dans le cytoplasme, présence de glycogène, carboxysomes, polyhydroxybutyrates, polyphosphates.- contenu en G+C : 60 à 62 mol%.- temps de génération : 10 à 140 h et plus selon les conditions de culture.

7. Conclusion :

La microflore du sol notamment les communautés bactériennes sont composés de plusieurs groupes microbiens chacune spécialisés dans différents fonctions métaboliques tels que l'ammonification et la nitrification. L'abondance de ces groupes est contrôlée par le taux de matière organique, texture des sols et chimiquement par le pH du sol (**Dequiedt et al, 2011**).

La diversité microbienne est très importante dans la stabilité des communautés, en cas des changements dans conditions environnementales (**Girvan et al. 2005, in Guigue, 2014**). Tel que le taux de la salinité qui a une grande influence sur l'évolution de la microflore du sol traduit par la diminution de leur densité (**Maameri, 2007**). D'après (**Dommergues et Manganot, 1970**), la salure crée un milieu défavorable pour les microorganismes par la présence des ions toxiques, pH parfois très alcalin, la pression osmotique élevée dans la solution du sol, Tous ces impacts mènent à l'inhibition de l'activité de la microflore dont la minéralisation d'azote par différentes interactions entre les sels et les germes transformateurs d'azote.

*Chapitre III : L'interaction
microorganismes-sels*

III. L'interaction des microorganismes-sels :

1. Introduction :

Les microorganismes responsable de la minéralisation de l'azote sont très nombreux, généralement hétérotrophe (bactéries, champignons et actinomycètes). La matière organique sert à la fois source de carbone donc l'énergie essentielle pour la microflore à fin de transformer l'azote organique du sol, mais elle peut être retardée par des facteurs qui diminuent leurs activités métaboliques (**Andrianarisoa, 2009**) ; C'est le cas d'accumulation des sels dans le sol. La présence des quantités excessives des sels solubles à des effets négatifs sur les êtres vivants ; en effet la salinité provoque un déséquilibre ionique en générale s'accompagne avec toxicité du milieu, un stress osmotique et une déficience nutritionnelle (**Sadji,2017**). Ces contraintes provoquent aussi des perturbations multiples au niveau métabolique, moléculaire, biochimique et physiologique (**Munns, 2002, Yamaguchi et Blumurald, 2006 in Sadji, 2017**). L'impact physiologique se traduit par l'excès des ions Na⁺ et Cl⁻ qui menace la nutrition minérale des végétaux (**Al-Karaki, 2000**).

La microflore du sol n'est sensible que lorsque la conductivité électrique de la pâte saturée à 25°C atteint 62 – 66 mS/cm (**Dommergues, 1962 in Dellal et Halitim, 1992**). Les sels forment une couche imperméable en surface empêchant toute activité biologique (**Halfaoui, 1988 in Tegggar,2015**).

Le stress salin influe sur le stock et le turnover de la biomasse microbienne ; la biomasse microbienne de ces sols présente à cet effet une faible résistance à la salure, dès que la concentration saline dépasse 60 mmole/l, la perturbation comportementale et un dysfonctionnement de celle-ci commencent à se manifester (**Bourahla , 2017**). La pression osmotique de la solution des sols qui touchée par les sels, s'élève d'où l'alimentation en eau difficile pour les plantes et les microorganismes (**Belkhodja et Bidai, 2004**). Mais l'influence de la salinité sur les microorganismes dépend largement des espèces anioniques et cationiques des sels apportés au sol (**Agarwal, Singh et Kanehiro, 1980**) ; d'autre terme, c'est le facies salin ou la nature chimique des sels, Quel que soit chlorures, sulfates ou carbonates, simples ou composés, se différencient par leurs degrés de solubilité (**Hachicha, 2007**).

2. Différents sels dans le sol et leurs interactions avec la microflore tellurique :

2.1 Les Chlorures :

Le chlorure est un sel principal et majeur responsable de la formation des sols salés. Il a une solubilité très élevée avec une forte toxicité pour les végétaux (**Hullin, 1983**). Parmi ces sels nous pouvons citer :

2.1.1 Les chlorures de sodium NaCl :

D'après (Bourahla, 1991), C'est un composant typique de sols sales très solubles (360g/l à 20° d'après LAX.E, 1978). Il influence Par exemple :

CaCl₂ se dissout a 7g/l lorsqu'il y a 131g/l de NaCl.

CaCl₂ se dissout a 2g/l dans les eaux douces.

C'est le sel le plus répandu, très soluble et hautement toxique (Hullin, 1983 *in* Boukhalifa, 2013). Il est généralement soluble prédominant dans les eaux d'irrigation (Daoud et Halitim, 1994).

Interaction :

Le chlorure de sodium (NaCl) constitue le principal agent responsable du stress salin chez les plantes (Rojas-Tapias et al, 2012). Toutefois, le NaCl est considéré comme le sel le plus important parce que les ions de Na⁺ et Cl⁻ sont toxiques en excès à fortes concentrations pour les êtres vivants (Kaewmanee et al, 2013 *in* Rechidi, 2018).

Ce type du sel affecte considérablement la croissance des microorganismes, les populations fongiques, bactériennes (actinomycètes) diminuent en présence de 5% de NaCl (Omar et al, 1994 *in* Ghezal et Miloudi, 2019). Par exemple, il provoque une réduction de la division et l'allongement cellulaire (Zouaoui et al, 2019). Selon (Dellal et Halitim, 1992), NaCl est plus nocif et inhibe les activités enzymatiques que les autres sels tels que CaCl₂.

L'accumulation des ions de ce sel dans les nodosités peut affecter leurs métabolismes et inhiber leur rôle fondamental qui est la fixation de N₂ (Codovilla et al, 1995, Serraj et al, 1998, Faghire Mustapha, 2012).

Dont les Rhizobiums (El-Sheikh et Wood, 1990), qui sont capables de capter l'azote de l'air pour l'oxyder et l'échanger avec la plante en forme minérale contre de la matière organique (Setia et Marschner, 2012 *in* Kouadria et al, 2020).

Tableau 5 : Principales caractéristiques du Chlorure de sodium d'après Kaufmann cité par (Lozach, 2001).

Nom minéralogique	Halite
Cristallisation	Cubique
Formule chimique	NaCl
Indice de réfraction	1.544
Masse moléculaire	58.45
Densité du monocristal	2.165
Densité du liquide à 801 °C	1.549
Dureté (indice MOHS)	2 à 2.5
Chaleur spécifique	0.22kcal/kg/°C
Solubilité dans l'eau froide (0 °C)	357 g/1000 g d'eau
Solubilité dans l'eau chaude (100 °C)	391 g/1000 g d'eau
Température d'ébullition de la saumure saturée (*)	108.8 °C
Température de fusion (*)	801 °C
Température d'ébullition du sel fondu (*)	1 449 °C
Chaleur latente de dissolution (à saturation) (*)	7.8 kcal/kg
Chaleur latente de fusion (*)	97 kcal/kg
Chaleur latente d'ébullition (*)	698 kcal/kg

(*) A la pression atmosphérique

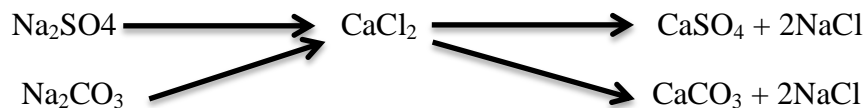
(Houda, 2011) est montré que la concentration en NaCl de 0,5M menaçant une diminution de la croissance de certains souches de Pseudomonas fluorescents avec inhibition de leurs activités. Une baisse significative de la population microbienne est causée par le sel de nature chlorurés NaCl (0,51M) (Diaw, 2018).

2.1.2 Chlorure de potassium KCl :

C'est un sel voisin du NaCl ; mais répand peu dans la nature (**Hullin, 1983 in Boukhalfa, 2013**). C'est un sel très peu rendu et ressemble au chlorure de sodium en général, tous les chlorures provoquent des liaisons, la plus connue est celles des brûlures, engendrant la tombées des feuilles et des fruits et ralentissement du développement des racines (**Ber-Nsteein et Ayers, 1951 in Bourahla, 1991**).

2.1.3 Chlorure de calcium CaCl₂ :

C'est un sel relativement rare dans les sols sales, cette pauvreté est due à sa réaction avec les Na₂SO₄ ou Na₂CO₃ pour former du CaSO₄ ou CaCO₃ (sels peu solubles) et s'accumule en profondeur ; c'est un sel hygroscopique soluble a 730g/l a 20°C (**Bourahla,1991**). Selon les réactions :



2.1.4 Chlorure de magnésium MgCl₂ :

C'est un sel relativement rare dans le sol, sauf dans les cas de forte salinité, sa solubilité est de l'ordre de 350 g/l qui fait de lui un sel de toxicité extrêmement élevée (**Hullin, 1983 in Boukhalfa, 2013**).

2.2 Les carbonates :

D'après (**FAO et UNESCO, 1967 in Boukhalfa, 2013**), les sels carbonatés sont très répandus dans les sols. Parmi ces sels nous avons :

2.2.1 Le carbonate de sodium NaCO₃ :

C'est un sel très toxique par sa solubilité et son pouvoir alcalinisant. D'après (**Bourahla, 1991**), il provient d'une réaction des substitutions sous l'action de l'eau chargée en carbonate de calcium qui traverse les roches riches en sodium :



Dans certain cas ou la pression du CO₂ est significative (sous l'action des microorganismes), on a une formation des bicarbonates du sodium (NaHCO₃)



Interaction:

Le carbonate de sodium est très soluble (218g/l à 20°C d'après **Lax, 1978**), ce qui provoque une augmentation du pH à la solution du sol. Le degré de pH du sol est un facteur principal et limitant pour les germes qui y sont généralement très sensibles comme les bactéries et les actinomycètes qui sont favorisés la neutralité dans leurs activités par contre les champignons qui résistent dans les milieux à pH baissent (**Boullard et al, 1962**). Par exemple les bactéries nitrifiantes, le pH optimum en culture :

Nitrosomonas : 8,5 à 8,8.

Nitrobacter : 8,3 à 9,3 (**Morel, 1989**).

L'effet spécifique du sodium provoque un antagonisme avec le potassium (**Molliards, 1921, Combes, 1929**) et sert à la neutralité des acides (**Javallier, 1958**) ce qui induit des taches sur la partie centrale de la feuille.

2.2.2 Le carbonate de magnésium MgCO₃ :

C'est un sel rencontré dans la majorité des sols salés, on trouve généralement Mg(CO₃H)₂ qui provient de l'action de l'eau chargée en gaz carbonique :



Il est très soluble, sel neutre, le magnésium généralement est d'autant plus nocif pour la plante quand le calcium est absent (**Bourahla, 1991**).

Interaction :

Donc la réaction du sol est influencée par la nature des sels accumulés, par ce que certains sels causent l'acidification du milieu contaminé comme les sulfates de calcium CaSO_4 , les chlorures de potassium KCl et les sulfates du magnésium MgSO_4 . Par contre, les bicarbonates de sodium NaHCO_3 , carbonates de calcium CaCO_3 et carbonates de sodium NaCO_3 , jouent un rôle alcalinisant (Ghezal et Miloudi, 2019).

Ces variations du pH qui entraînant dans le sol à cause de l'effet des facteurs abiotiques notamment la salinité, affectent de façon globale l'activité et la structure des microorganismes, les microbes, tel que les bactéries sont sensibles à la concentration en ions d'hydrogène qu'ils trouvent dans leurs milieu de vie, par exemple leurs grosses protéines, telles que les enzymes qui sont affectés par le pH, leur forme change (ils se dénaturent) (Ratzake et Gore, 2018).

Donc disparition de leur efficacité métaboliques, C'est le cas des bactéries ammonifiantes et nitrifiantes dans les processus de minéralisation d'azote.

2.3 Les sulfates :

Les sels sulfatés se trouvent en quantités variables dans les sols, la conséquence de ces sels sur agriculture et la mise en valeur varient beaucoup avec leur composition chimique (FAO-UNESCO, 1967, in Omeiri, 1994 in Boukhalfa, 2013). Parmi ces sels nous avons :

2.3.1 Les sulfates de sodium Na_2SO_4 :

C'est composant typique des sols salés, sa solubilité en général de l'ordre de 300 g/l, fait de lui un sel hautement toxique. Il se trouve abondant dans les zones arides et subarides (Servant, 1978).

Na_2SO_4 est un sel neutre, sa solubilité est en fonction de la température. Donc son effet sur le système sol-plante est en fonction de la saison au tour d'année.

Tableau 6 : le degré de la solubilité du Na_2SO_4 en fonction du Température (Bourahla, 1991).

Température °C	Solubilité g/l
0	4479
10	82,6
20	160,2
30	325.2

2.3.2 Les sulfates de magnésiums $MgSO_4$:

Sel typique des sols sales très soluble (348g/l à 20°C), on le trouve généralement dans les eaux souterraines (**Bourahla, 1991**). Ce qui le rend un sel toxique surtout pour la vie microbienne du sol. Mais l'augmentation des sels dans la solution du sol ne s'arrête pas uniquement à l'altération de la croissance et du rendement des plantes mais aussi à un déséquilibre dans la croissance des microorganismes (**Dikilitas et Karakas, 2012**).

2.3.3 Les sulfates de potassiums K_2SO_4 :

C'est un type du sel très rare, identique à celui de sulfate de sodium Na_2SO_4 (**Bourahla, 1991**).

2.3.4 Les Sulfates de Calcium $CaSO_4$:

Le gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) est la forme la plus répandue, de point de vue toxicité, il est peu dangereux du fait de sa faible solubilité, mais il peut freiner le développement du système racinaire dans le cas d'une forte accumulation dans le sol (**Hullin, 1983 in Boukhalfa, 2013**).

Interaction :

Selon (**Bourahla , 1991**). En général les sulfates sont moins toxiques que les chlorures pour certaines plantes (**Eaton, 1942**) ; ils ont un effet inhibiteur sur la croissance ; lorsque la teneur dans le sol en sulfates il peut limiter l'activité de l'ion calcium (**François, 1987**).

La membrane cytoplasmique des microorganismes est perméable à l'eau, mais rarement aux autres métabolites. Ainsi, un choc hyper ou hypo-osmotique provoque chez la cellule un influx ou un efflux d'eau aboutissant, respectivement, à une augmentation ou une diminution du volume cytoplasmique, ce qui peut provoquer une plasmolyse (**Ghoul, 1990**).

Mais il y a des microorganismes tolérants aux sels, trois groupes peuvent être définis en fonction de la concentration en sels nécessaire à une croissance optimale (**Larsen, 1986 in Aude Fourçans, 2004**).

Groupe 1 : microorganismes légèrement halophiles (optimum se situant entre 2 et 5 %),

Groupe 2 : microorganismes halophiles modérés (optimum se situant entre 5 et 20 %),

Groupe 3 : microorganismes halophiles extrêmes (optimum se situant entre 20 et 30 %).

3. L'effet des sels sur les microorganismes transformateurs d'azote :

La salinisation des terrains agricoles impose des défis énormes aux agricultures, exigeant une exploitation croissante des ressources naturelles à la recherche prometteuse (**Ashraf et al, 2012**).

De plus, il a été estimé que plus de 50% des terrains agricoles seront affectés par la salinité vers la fin de l'année 2050 (Jamil et al, 2011 ; Dikilitas and karakas 2012 ; Stankovic et al, 2015). En Algérie, près de 10 à 15% des terres irriguées sont affectés occupant 3,2 millions d'hectares de superficie totale (Selin, 2016).

Les sols salés constituent pour de nombreux micro-organismes un milieu défavorable (Gazoni et al, 1987). L'accumulation des sels à des niveaux nuisibles aux surfaces du sol surtout la zone de rhizosphère, souvent sous formes d'une mélange chimique de cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) et d'anions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^- , HCO_3^-) est définie comme un processus de salinisation (Ghassemi et al, 1995 in Rai.A, 2017). Cette contrainte écologique inhibe la nitrogénase qui provoque par la suite une diminution de la teneur en azote total (Faghire et al, 2011).

L'azote est soumis à différents processus de transformation parmi ces processus, la minéralisation dont (ammonification et nitrification) ; l'ammonification avec ces germes (ammonifiantes) sont adaptées, quelques soit les conditions écologiques qui réagissent un sol. Selon (Sindhu et al, 1967, Dellal et Halitim, 1992) la salinité affecte davantage la nitrification que l'ammonification. Mais d'après les observations des différents auteurs (Singh, 1969, Bent et Nakasha, 1971, Wester et Tucker, 1974) l'ammonification est un peu sensible lors des traitements du sol avec le CaCl_2 et NaCl à 5,1% (Clung et Frankerberger, 1985).

La nitrification notamment les germes nitrifiants sont plus sensibles à la salinité (Dellal et Halitim, 1992). Alors que (Singhu et Cornfield, 1967) montrent que l'application de NaCl de 0,5 à 1 % inhibe complètement la nitrification. L'accroissement de la salinité provoque une augmentation d'un autre processus secondaire qui est la volatilisation de l'azote ammoniacal (Clung, 1985).

Le nombre de germes nitrifiants et ammonifiants diminue dans le sol excessivement salé (22,3 mS/cm) s'accompagne une inhibition de certains processus microbiens tel que la nitrification (Dellal, 1984, Dellal, 1992). Dans l'ensemble, les germes nitreux sont moins nombreux que les germes nitriques et même les ammonifiants. L'inhibition serait 100% dans les sols très salés et la valeur-seuil de cette contrainte étudiée est de 15,7 mS/cm au-delà de laquelle on remarque une grande chute de la biomasse microbienne (Dellal, 1992).

3. Conclusion :

L'étude et l'observation des microorganismes dans un milieu traité et contrôlé par des degrés des sels étudiés (dans notre travail le degré est reste constante pour tous les traitements des différents natures des sels) constituent l'approche la plus pertinente pour évaluer l'impact biologique des sels sur la densité microbienne du sol notamment les germes nitreux, nitriques et ammonifiants mais très peu des travaux ont été réalisés sur l'effet de la nature des sels (facies salin) sur la densité de la microflore du sol.

*Deuxième partie : Etude
expérimentale*

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

IV. Matériels et méthodes :

1. L'Objectif :

L'objectif de cette recherche est l'identification des microflores azotées sous différentes concentrations de sels.

La démarche adoptée dans ce travail s'articule autour des points suivants:

- Prélèvement des échantillons de sol.
- Caractérisation des échantillons (Témoin), et mesure des différents paramètres étudiés.
- Traitement avec des différentes concentrations des sels.
- L'analyse microbiologique.

2. Localisation d'essai :

Notre sol est prélevé avec l'échantillonnage aléatoire dans la région de Sebain-Wilaya de Tiaret, dans la période de printemps (05 Mars 2020).

Cet essai est réalisé dans laboratoire de département du NTAA de la faculté SNV de Tiaret avec des conditions semi contrôlées.

3. Préparation des échantillons :

L'échantillon du sol est divisé en 50 échantillons après il faut tamisés à 2mm et pour leur conservation à d'autres expérimentations ; on stockés dans des sacs en plastique 4°C et pour raison que les déterminations biologique s'appliquent obligatoirement à des échantillons « frais ».

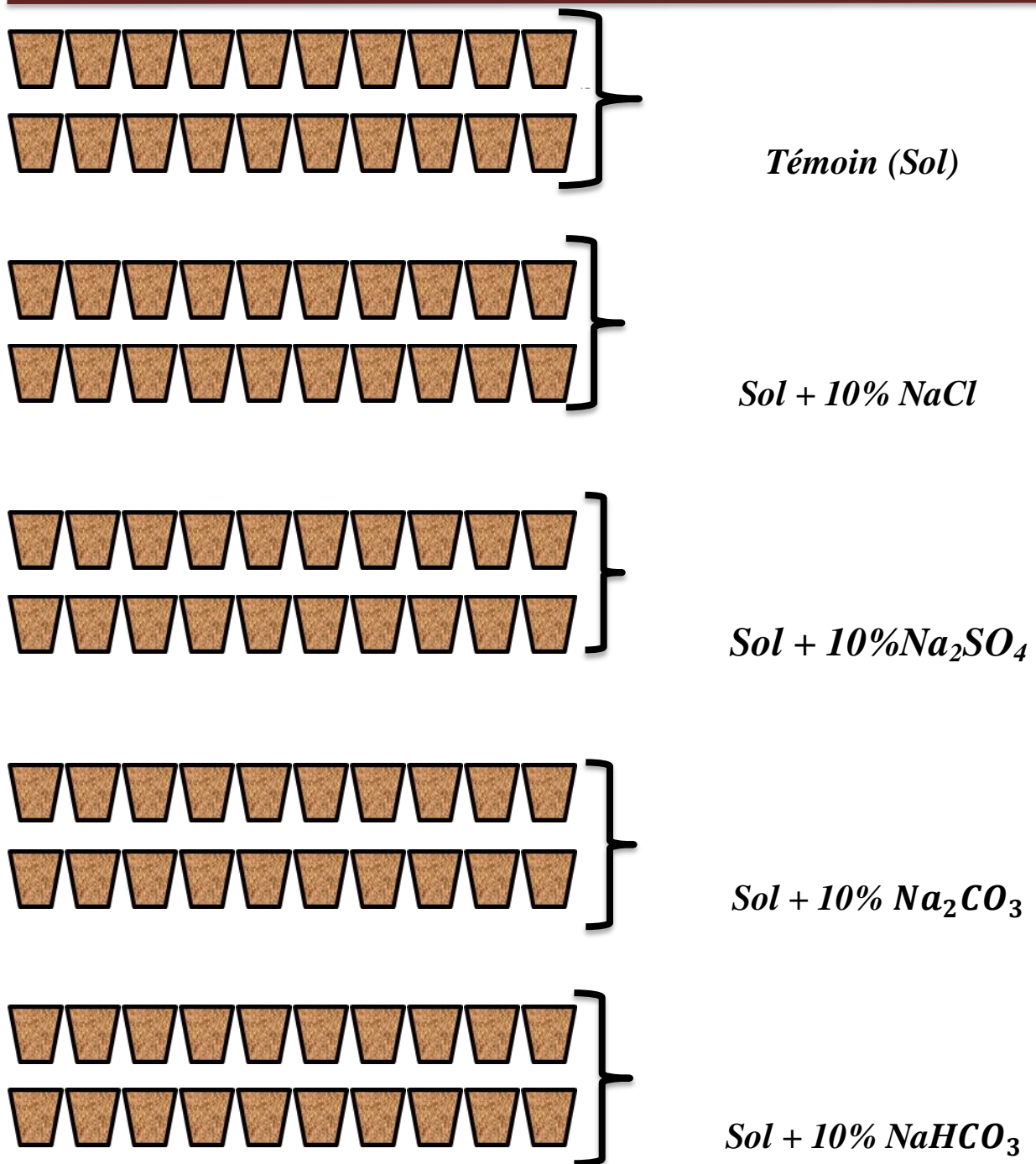
Le séchage des échantillons tue une partie de la microflore et rend impossible la détermination de la biomasse microbienne (**Itab, 2002**).

4. Détermination du taux d'humidité :

Après l'opération de tamisage, nous avons déterminé le taux d'humidité de témoin, ceci est renseignement plus important pour l'état hydrique du sol. Ainsi est un facteur très important pour déterminer le niveau de différents groupes de microorganismes (**Itab, 2002**).

5. Le protocole expérimental :

Cet essai est conduit dans des pots en plastique. Ces pots sont remplis d'un mélange de sol et des concentrations égaux 10% (début de stress salin) des différents sels étudiés : NaCl, Na₂SO₄, NaCO₃, NaHCO₃.



Ces pots ont mis dans l'étuve pour l'incubation pendant 21 jours.

Figure 10 : Dispositif expérimentale.



Figure 11 : étuve à 28°C pour l'incubation.

6. Méthodes d'analyses :

Afin de caractériser notre sol dans l'étude suivante, nous avons choisi les méthodes d'analyses les plus simples et les plus adéquates.

6.1 Analyses physico-chimiques :

6.1.1 Analyses physiques :

6.1.1.1 Granulométrie :

L'analyse granulométrique est réalisée par méthode internationale de « **ROBINSON Khon** », Elle permet de déterminer la texture du sol inférieur à (2mm) ; en séparant les fractions granulométriques. Il s'agit des argiles (0 à 2 μ m), des limons (2 à 50 μ m) a été effectué par pipette de ROBINSON et des sables (50 à 200 μ m) récupérés par tamisage (**Soltner, 2005**).

D'abord :

Détruire la matière organique par l'utilisation de l'eau oxygène.

Disperser l'argile : enrobant les particules et qui soudent les agrégats, par hexametaphosphate de sodium suite avec agitation mécanique.

Faire des prélèvements au cours de la sédimentation à une profondeur et instants précis pour l'isolement les fractions non tamisables : argile, limon fins et grossier

C'est la première étape de toute travaille expérimentale dans laboratoire alors que la composition granulométrie est exprimée en pour-cent (%).

6.1.1.2 L'humidité :

Est un facteur très important qui est réalisé après l'échantillonnage directement pour calculer la teneur en eau dans le sol. Elle est toujours contrôlée lors d'incubation.

Elle est mesurée par rapport à la quantité de terre sèche dans le sol, il est exprimée en pourcent (ITA, 1975).

Pour calculer ; la pesée l'échantillon avant et après mettre à l'étuve (105°C) durant 24h,

L'humidité du sol est égale à :

$$H\% = \frac{P1-P2}{P1} \times 100$$

Avec :

P1 : La prise d'essai de l'échantillon.

P2 : L'échantillon après séchage.

L'utilisation de capsule en verre à couvercles rodés permet d'éviter une réhumectation au cours du transport de l'étuve à la balance. Elle est aussi appelée «Humidité résiduelle » : quantité d'eau restante (Baize, 2000).

6.1.2 Analyses physico-chimiques :

6.1.2.1 Le pH eau :

L'acidité d'un sol est déterminée par méthode électromagnétique : sa teneur en ions H⁺. L'électrode d'un pH-mètre est prolongée dans la solution (rapport sol-eau 1/5) pour la lecture des valeurs de pH (Rouiller et al, 1994).

6.1.2.2 Le pH kCl :

Exprimer l'acidité d'échange ou acidité potentielle. C'est un indicateur de l'expression des niveaux de saturation dans le complexe adsorbant, ainsi que la nature chimique des ions fixés (Delcour, 1981).

6.1.2.3 C.E (Conductivité Electrique) :

Elle est considérée comme indicateur de salinité du sol ; plus un sol est conductible. Pour la détermination de la conductivité électrique de chaque échantillon est faite par la méthode de l'extrait de pâte saturée pour plus précision. La conductivité électrique représente les sels dissous totaux (Hoom et Alphen, 1998). Elle est mesurée par un conductimètre (Hardie et Doyle, 2012). Il y a deux unités de mesures différentes sont communément utilisés pour exprimer ce paramètre : le millimho/cm (mmho/cm) et le deci Siemens/ cm (dS/cm). Ce sont des termes de mesure identiques comme : 1mmho/cm = 0.1 S/m = 1dS/cm (Harter, Motis, 2016).

6.1.3 Analyses chimiques :

6.1.3.1 Azote total :

Selon (Said et Nasser, 2016) la méthode de **KJELDAHL**, on transforme l'azote des composés organiques en azote ammoniacale par l'acide sulfurique concentré, à l'ébullition, qui agit comme oxydant et détruit les matières organiques. Pour aider à cette transformation, on utilise le sulfate de cuivre et le sulfate de potassium comme catalyseurs, qui rendent l'action de l'acide sulfurique plus efficace en augmentant la température d'ébullition. La minéralisation se poursuit pendant une heure et jusqu'à ce que le liquide soit limpide. Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de gaz carbonique et d'eau. L'azote transformé en ammoniaque est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammonium. L'ammoniaque (NH_4^+) formée est rendue alcalin par un ajout de soude (NaOH) à 35%, puis il est distillé et recueilli dans une solution d'acide borique dilué à 1%. On le titre avec une solution d'acide sulfurique 0,1M.

On calcul ensuite l'azote total en % par la formule :

Azote totale % :

$$(0,5 * A * 100) / P$$

Avec

0,5 : masse d'azote correspondant à 1ml d'acide sulfurique (H_2SO_4).

A : volume en ml d'acide sulfurique versé dans la titration.

P : poids de l'échantillon de sol en mg.

Une fois dosés le carbone et l'azote on peut calculer le rapport C/N qui est un paramètre sur l'intensité de l'activité biologique dans le sol (Soltner, 2005).

6.1.3.2 Calcaire total :

Il est déterminé par la méthode volumétrique à l'aide du calcimètre de **BERNARD**, le principe est la mesure du volume de CO_2 dégagé par l'action de l'acide chlorhydrique (HCl) en excès sur un point connu d'échantillon, le dosage est fondé sur la réaction suivante :



Le CO_2 dégagé est comparé à celui obtenu par un poids connu de carbonate de calcium pur.

6.1.3.3 Calcaire actif :

Le calcaire actif est une partie de calcaire totale qui se trouve dans le sol à dimension très fines. On a exploitée la propriété de calcaire à se combiner aux oxalates pour précipiter sous forme d'oxalate de calcium par la réaction suivante :



L'oxalate précipité est déterminé par l'infiltration et l'oxalate en excès est dose par manganimétrie.

6.1.3.4 Le rapport C/N :

Le rapport C/N du sol est considéré comme l'un des facteurs les plus importants dont il contrôle la minéralisation de la matière organique et le processus de immobilisation. Si les ont un rapport C/N élevée, la tendance est à l'immobilisation de l'azote.

D'après plusieurs auteurs, la valeur limite de ce rapport est approximativement de 20, mais on peut avoir des signes d'immobilisation dès que l'on atteint un rapport C/N de l'ordre de 13 ou 14 (Cisse, 1982).

6.1.3.5 Carbone organique et matière organique :

La teneur en carbone est déterminée par la méthode de « ANNE » qui se base sur un titrage par le sel de Mohr. Ce dernier oxyde les bichromates de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) qui sont dans la solution $\text{H}_2\text{C}_5\text{MnO}_4$, dosés en excès. Les bichromates vont fixer avec les molécules de carbone, ce qui reste de bichromates va être oxydés par le sel de Mohr :

$$\text{C}\% = (\text{Y}-\text{X}) / \text{P} \times 0.615$$

Avec :

Y : la quantité du sel de Mohr qui a oxydé tous les bichromates dans l'essai témoin.

X : la quantité du sel de Mohr qui a oxydé tous les bichromates dans l'échantillon du sol.

P : la prise d'essai (1g)

Donc :

$$\text{MO}\% = (\text{C} \times 1.72)$$

La matière organique des sols est le double du carbone organique dans le sol non cultivé et que dans un sol cultivé, elle égale à 1.73 fois la teneur en carbone organique (Duchaufour, 2001).

6.2 Analyses microbiologiques :

Ils sont réalisés après l'incubation des pots dans l'étuve pendant 21 jours.

6.2.1 Technique de dénombrement des microflore telluriques :

L'estimation de la masse microbienne est indispensable pour étudier et évaluer l'activité des germes dans le sol et ainsi contrôlé certains éléments relié à leurs cycle de vie tels que l'azote et

carbone. La microflore du sol est caractérisée par le nombre des groupes séparés de la population microbienne du sol. Alors l'analyse de l'état des différents microorganismes dans le sol est très importante. La quantité des microorganismes du sol peut être déterminé par des méthodes différentes tels que : l'ensemencement sur milieux nutritifs (Josephson *et al*, 2000 in Dassonvilleet Renault, 2005), soit par comptage direct par le microscope.

La mesure des densités microbiennes par la technique des suspensions-dilutions de sol est un bon indicateur général car elle est facile à réaliser, économique et avec des fiables résultats obtenus.

6.2.2 Préparation des suspensions dilutions :

La préparation des suspensions-dilutions consiste à utiliser 9 tubes stérilisés, numérotés de 1 à 9, contenant chacun (9ml) d'eau distillée, physiologique ; peser 1g du sol de l'échantillon (témoin) et après les échantillons du sol traités avec des différents sels étudiés, le verser dans le tube 1, agiter vigoureusement pour obtenue la suspension dilution 10^{-1} puis une série de dilution décimale (10^{-1} à 10^{-9}) effectuée.

Les suspensions dilutions doivent être utilisées aussitôt après leur préparation.

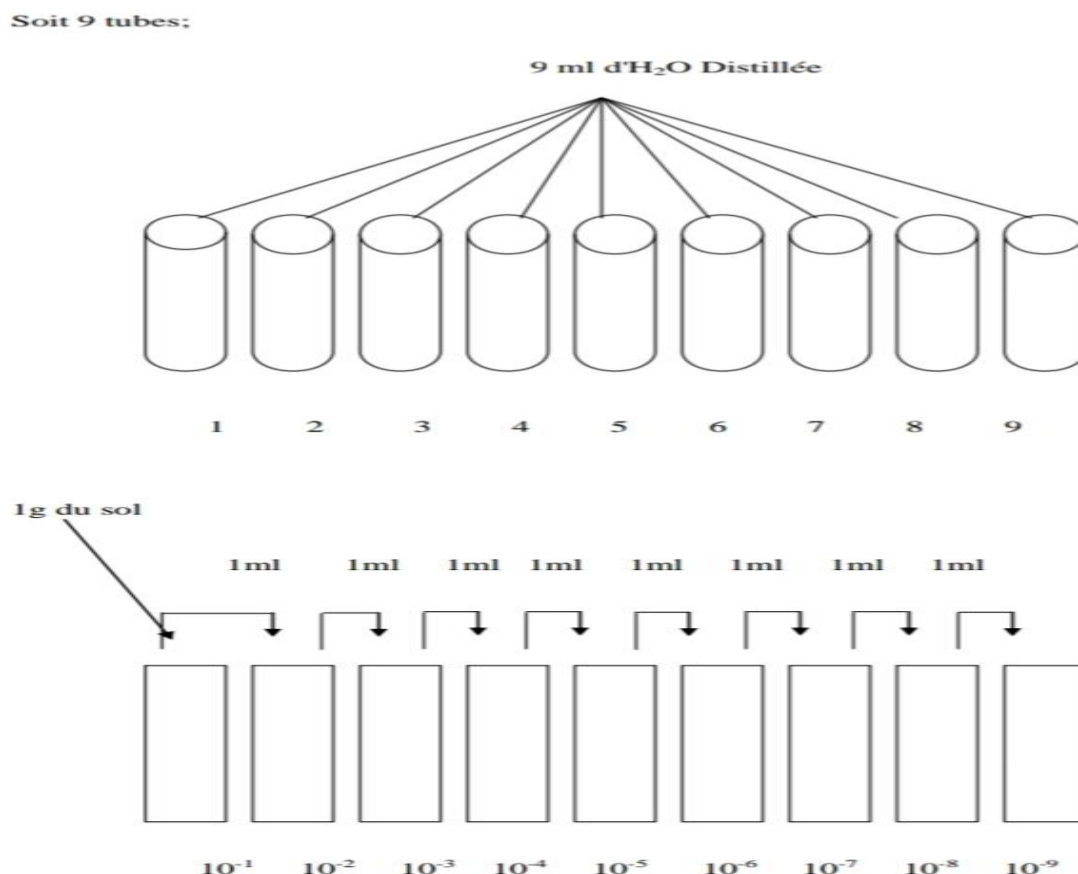


Figure 12 : Préparation des suspensions dilutions.

Les analyses :

Notre travail est basé sur les analyses microbiologiques des trois groupes des germes (ammonifiants, nitreux et nitriques) sous des traitements des différents sels (NaCl, Na₂SO₄, Na₂CO₃ et NaHCO₃).

6.2.3 Evaluation des bactéries transformatrices d'azote :

6.2.3.1 Dénombrement indirect :

Ces mesures s'appuient sur des cultures en milieu liquide ou en milieu solide après ensemencement avec des suspensions-dilutions de sol. Dans le cas des cultures en milieu liquide, on recherche la dilution limite donnant lieu à une culture (appréciée par l'apparition d'un trouble) ; l'utilisation des tables de **Mac Grady (1918)**, basées sur une application de la loi de **POISSON**, donne le « nombre le plus probable » de germes présents dans l'échantillon de départ (**Pochon et Tardieux, 1962**).

Ces méthodes posent par hypothèse que chaque colonie ou chaque culture à la dilution limitée ne provient que d'un seul germe, et elles ne comptent que les germes capables de donner une colonie ou une culture sur les milieux utilisés. De même, on peut dans une certaine mesure prendre en compte des micro-organismes ayant des exigences trophiques différentes par l'utilisation de milieux plus ou moins riches (**Hattori, 1976**) ou plus ou moins spécifiques (**Fournier, 1980**).

6.2.3.2 La mise en évidence du dénombrement par la méthode du nombre le plus probable :

***Principe de la méthode du nombre le plus probable:**

Cette méthode est une estimation statistique du nombre de micro-organismes supposés distribués dans l'eau de manière parfaitement aléatoire. La croissance se traduit par l'apparition d'un trouble du milieu et, éventuellement, une modification visible (virage d'un indicateur de pH coloré) (**Pochon et Tardieux, 1962**).

L'estimation de la densité bactérienne est obtenue par application du principe de vraisemblance, à partir de réponses positives observées pour une ou plusieurs dilutions successives de la suspension bactérienne originelle dans des milieux de cultures liquides. Il s'agit d'une méthode quantique et non pas énumératif.

L'utilisation de cette méthode avec un tube par dilution entraîne une forte incertitude que des méthodes statistiques tentent de pallier par des essais multiples (2 ou 3 tubes par dilution) (**Grady, 1918, Magniez, 2014**).

6.2.3.3 Les germes ammonifiants :

6.2.3.3.1 Principe :

Ensemencement avec des suspensions-dilution du sol d'un milieu standard salin additionné d'asparagine comme seule source de carbone et d'azote, recherche d'appariation d'ammoniac par le réactif de Nessler. Ensemencement de 0.1 ml par tube en utilisant 3 tubes par dilution de 10^{-1} à 10^{-9} ; incubation à 28°C pendant 21 jours.

6.2.3.3.2 Lecture :

Se fait après 21 jours par l'ajout de quelques gouttes de réactif de Nessler Coloration : en présence de l'ammoniac, le réactif Nessler donne une coloration orange. On compte le nombre de tubes positifs par dilution et on recherche le nombre caractéristique et le nombre probable à la dilution et au gramme de terre à l'aide de la table de Mac-Grady.

6.2.3.4 Les germes nitreux et nitriques :

6.2.3.4.1 Principe :

La méthode des suspensions dilutions avec l'ensemencement sur un milieu liquide (Annexe) (Oulbachir, 2010).

Nous recherchons l'activité des ferments nitriques ; l'azote est fourni sous forme de nitrite de sodium et on dit après incubation la dilution limite contenant de nitrate. Ensemencement de 0.1 ml par tube en utilisant 3 tubes par dilution de 10^{-1} à 10^{-9} ; incubation à 28°C pendant 21 jours.

6.2.3.4.2 Lecture :

Elle se fait après 21 jours à l'aide de poudre de zinc et quelques gouttes de NaOH, on chauffe en mettant en même temps papier tourne sol sur le tube. Le résultat positif lorsque le papier tourne sol vire en bleu ; On compte le nombre de tubes positifs par dilution et on recherche le nombre caractéristique et le nombre probable à la dilution et au gramme de terre à l'aide de la table de Mac-Grady.

L'analyse microbiologique de ces germes est accordée à chacune des séries des pots quelques soit le témoin ou les autres échantillons qui étaient traités par différents sels à fin de voir l'influence du faciès salin sur la densité microbienne du sol.

Chapitre V : Résultats et discussion

V. Résultats et discussion :

1. Résultat d'analyse du sol avant le traitement :

1.1 Les caractéristiques physico-chimiques :

Tableau 7 : Valeur des paramètres physico-chimiques du sol avant le traitement.

Granulométrie	Argile	27
	Limon (%)	48
	Sable (%)	25
Caractéristiques Physico-chimiques	pH	7,8
	Conductivité électrique mS/cm	0,25 = 253 μ S
	Calcaire totale (%)	13,8
	Calcaire actif (%)	2,67
	C.org (%)	0,93
	MO (%)	1,59
	N (%)	0,11
	C/N	8,45

D'après le tableau 7, l'examen des caractéristiques physico-chimiques avant le traitement montre que notre sol est caractérisés par :

Une texture argileuse selon le diagramme textural américain; d'après l'analyse granulométrique on constate que limon est la fraction la plus dominante, en deuxième lieu vient l'argile, tandis-que le taux de sable est faible par rapport les autres fractions.

Le pH est inférieur à 8. Il est de l'ordre de 7,8. D'après les classes de pH de l'extrait (**Soltner, 1989**). Notre sol est alcalin.

Par ailleurs, la conductivité électrique est de l'ordre de 0,25 mS/cm, donc notre échantillon est non salé d'après l'analyse effectuée à l'extrait de pâte saturée (Aubert, 1978).

Les teneurs en calcaire sont de l'ordre de : 13,8% ce résultat montre que notre sol est modérément calcaire (Baize, 1998) ; au l'occurrence la valeur de 2,67% est enregistrée pour le calcaire actif.

En ce qui concerne les caractéristiques chimiques, le taux de carbone est faible (0,93%) parce que est inférieur à 1%. D'après (I.T.A. 1975) notre sol est pauvre en matière organique.

L'azote dans notre examen expérimental est de l'ordre de 0,11%. Selon (Henin, 1969), c'est un sol très pauvre. Ceci est dû à la réduction de l'apport de matière organique. Tous les chercheurs qui se sont penchés sur les activités biologiques des sols des régions arides ont signalé leur faiblesse en matière organique et plus particulièrement leur taux très bas d'azote organique (Sasson, 1967 in Dari, 2013).

Et enfin concernant le rapport C/N est égale 8,45, ce taux est inférieur à 10% ce qui traduit la bonne activité biologique et aussi à la minéralisation des quantités réduites d'azote (Henin, 1969).

1.2 Résultats des analyses microbiologiques :

Tableau 8: Dénombrement des microorganismes dans le sol étudié ; Ammonifiants, nitreux et nitriques avant le traitement.

Germes	Nombres (germes/gramme du sol)
<i>Ammonifiants</i>	0,4. 10⁶
<i>Nitreux</i>	0,26. 10⁶
<i>Nitriques</i>	0,38. 10⁶

À partir des résultats représentés dans le tableau 8, on remarque que le nombre de germes ammonifiants est plus élevé (0,4. 10⁶) que les germes nitriques (0,38. 10⁶) et puis les nitreux qui sont faibles de l'ordre (0,26. 10⁶).

2. Résultat d'analyse du sol après traitements :

Les échantillons du sol qui nous avons vu dans le dispositif expérimental sont traités aux différents sels :

Traitement 1 : 10% de *NaCl*.

Traitement 2 : 10% de *Na₂SO₄*.

Traitement 3 : 10% de *Na₂CO₃*.

Traitement 4 : 10% de $NaHCO_3$.

2.1 Caractérisation physico-chimiques du sol après les traitements :

Tableau 9 : Valeur des paramètres physico-chimiques après le traitement.

Paramètre Traitement	Conductivité électrique (mmhos/cm)	pH	Calcaire Total %	Calcaire Actif %	Carbone organique %	MO %
T1 (NaCl)	3.5	7.9	13.7	2.5	0.48	0.82
T2 (Na_2SO_4)	4.1	8	13.1	2.42	0.39	0.67
T3 (Na_2CO_3)	2.7	8.7	14.9	3.01	0.6	1.03
T4 ($NaHCO_3$)	2.9	8.4	13.2	2.48	0.58	0.99

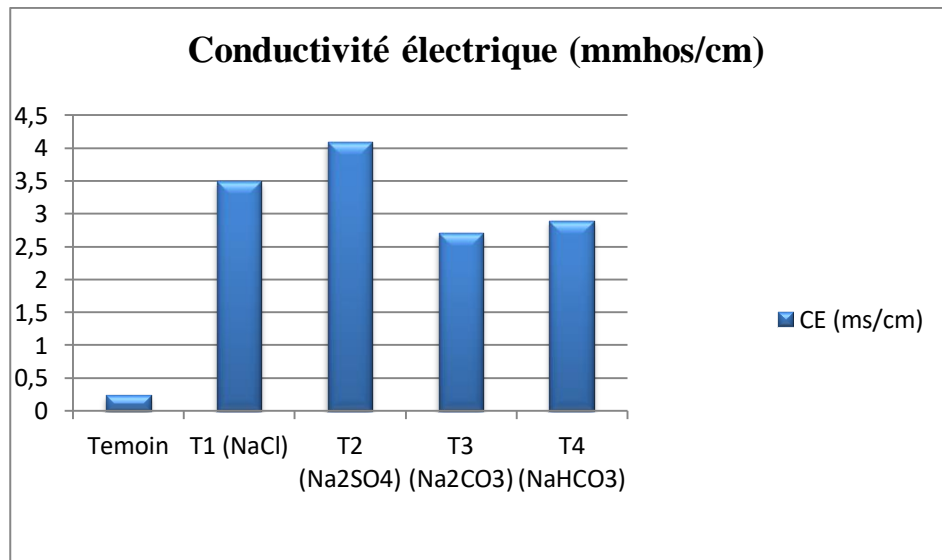


Figure 13 : Histogramme de la Variation de la conductivité électrique en fonction des différents sels

D'après les résultats précédents (Figure 13) on observe que la valeur de la conductivité électrique est élevée après chaque traitement des sels utilisés, mais dans le traitement T2, nous marquons une valeur maximal (4,1 mmhos/cm) et après T1 (3,5 mmhos/cm), T4 (2,9 mmhos/cm) et T3 (2,7 mmhos/cm). L'élévation de la conductivité électrique dans les échantillons traités est due certainement aux sels ajoutés, et la différence entre les valeurs remarquées est probablement aux leurs nature (**Guessoum, 2001 in Laimeche, 2019**). La teneur d'une solution du sol en sels solubles est déterminée par sa (CE), celle-ci est d'autant plus élevée que la concentration ionique de

l'électrolyte l'est aussi. La conductivité électrique est directement proportionnelle à la quantité des solides (les sels) soluble dans la solution du sol ; ainsi plus la quantité des sels sera important, plus la conductivité sera élevée (Montoroi, 2005 in Ben Hadj, 2016).

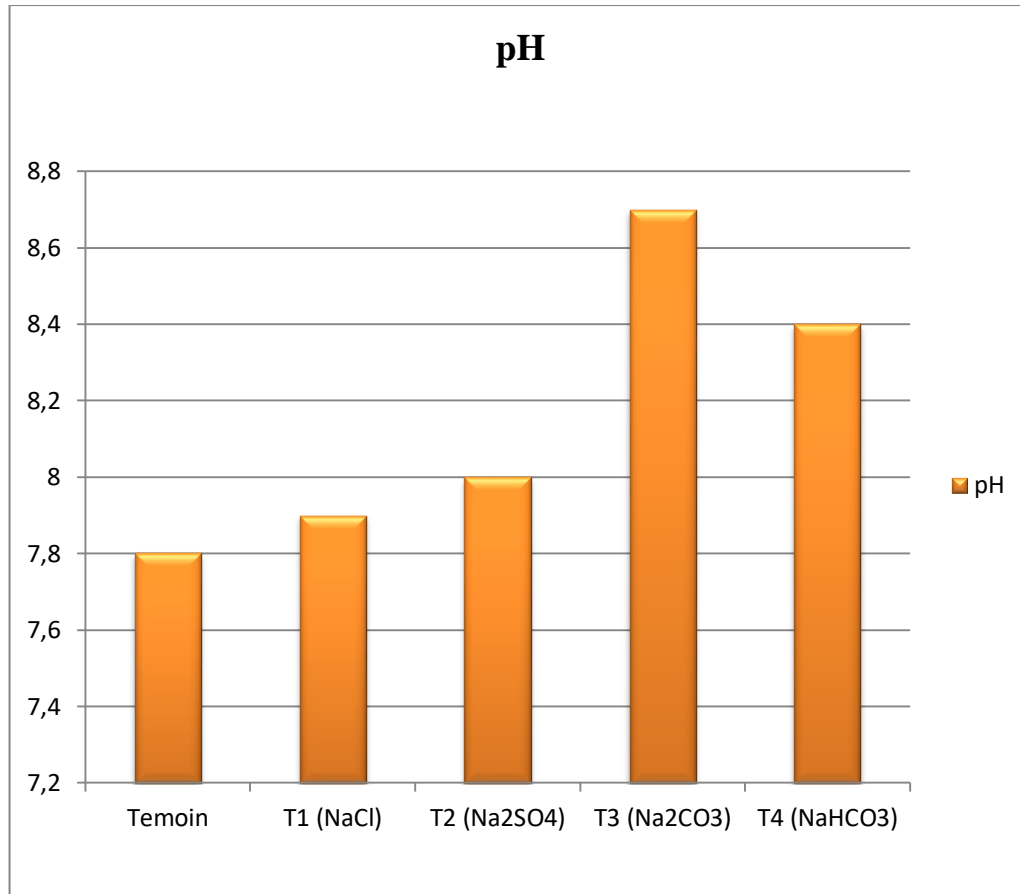


Figure 13 : Histogramme de variation des pH en fonction des différents sels.

Concernant le pH du sol, dans la (figure 14) on remarque que le traitement T3 a une grande valeur (pH= 8,7) avec le traitement T4 (pH= 8,4) par rapport au témoin (7,8) et aux autres traitements qui on observe une légère augmentation de T1 (7,9) et autre augmentation notable T2 (8). Alors que l'accumulation des carbonates (CO_3) et bicarbonates (HCO_3) de sodium (Na_2^+) dans le sol augmente leur pH avec leur impact de salinité (Garg et al, 1993 in Ghezal et Miloudia, 2019). Le processus d'alcalinisation se traduit par une augmentation du pH du sol suite à l'accumulation des bases faibles c'est-à-dire un excès de carbonates ; NaCO_3 et NaHCO_3 qui sont des sels alcalins confèrent au sol un pH fortement élevé (Ben Hadj, 2016).

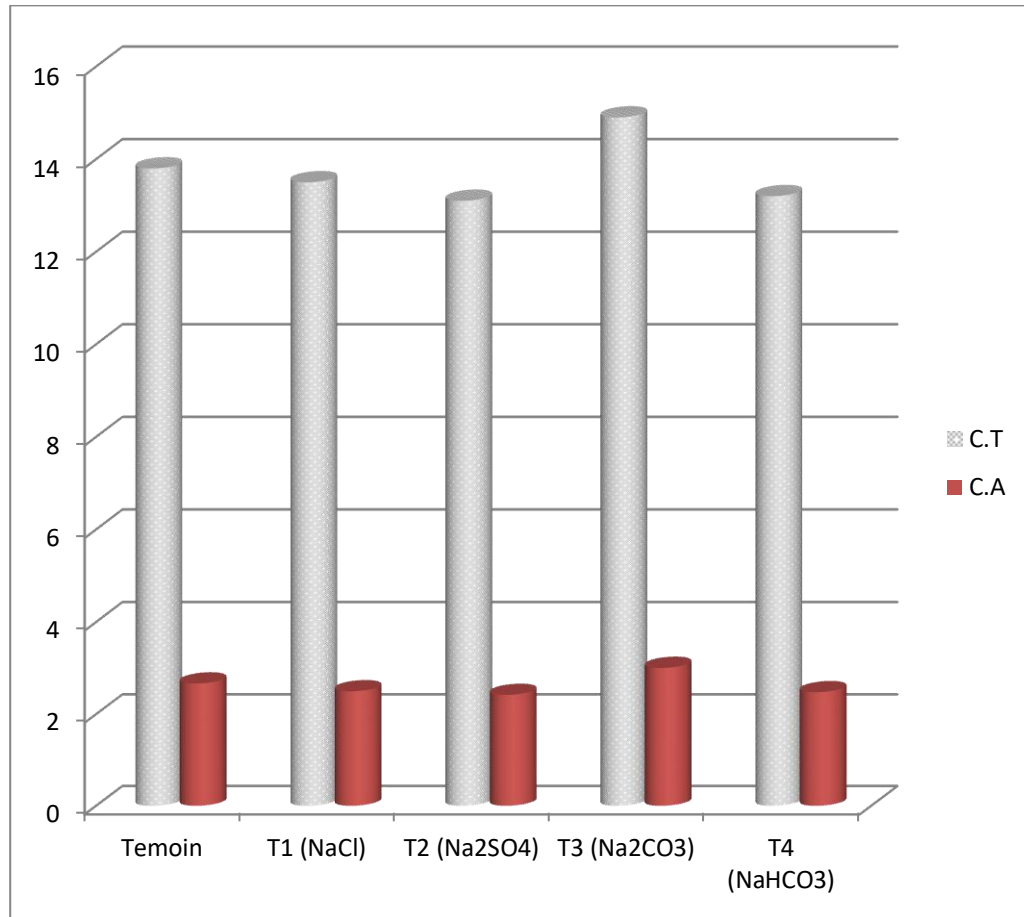


Figure 14 : Histogramme de variation du calcaire total (C.T) et actif (C.A) en fonction des différents sels.

Selon la (figure 15), la teneur en calcaire de notre témoin est de 13,8% pour calcaire totale et 2,67 pour le calcaire actif. Alors qu'on observe une augmentation notable de C.T après le T3 de 14,9% même chose pour l'autre actif d'élévation de 3,01%. Ces augmentations dus aux carbonates de sodium. Alors que les autres traitements on remarque une légère diminution des taux de C.T entre (13,1% à 13,7%) et (2,42% à 2,67%) pour le calcaire actif. Le taux de calcaire après le traitement reste dans la classe : modérément calcaire (**Baize, 1998**).

Le taux du calcaire dans les sols influence indirectement sur la conductivité électrique et le pH d'une manière direct (**Laimeche, 2019**).

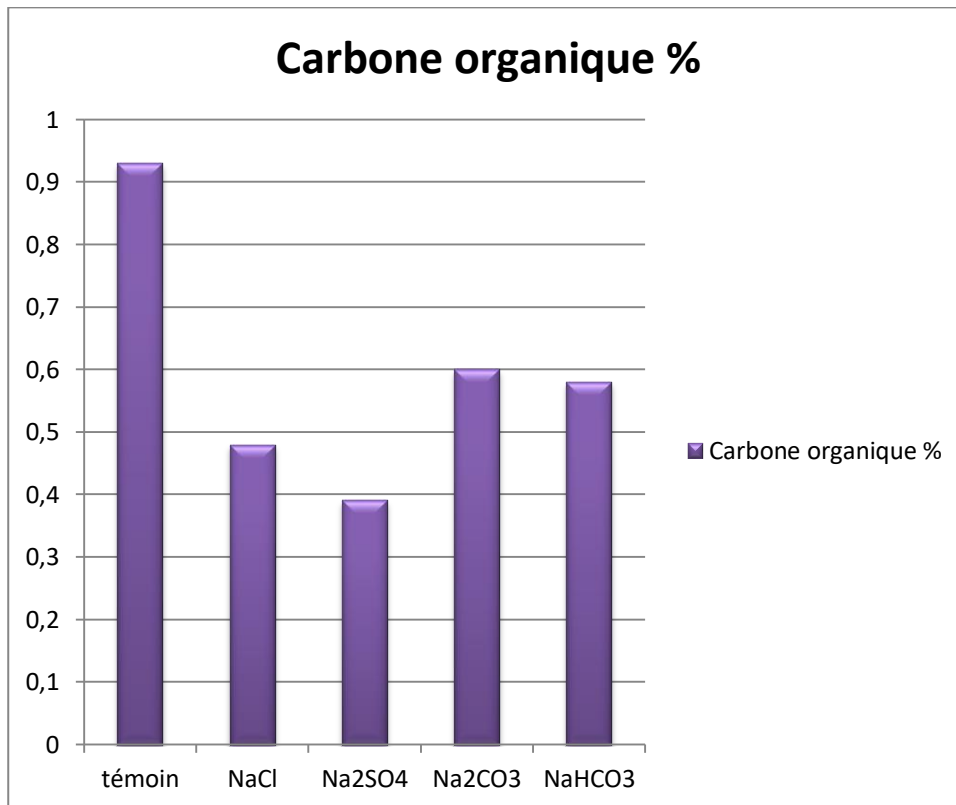


Figure 15 : Histogramme de variation du Carbone organique % en fonction des différents sels.

Nous constatons d'après la (Figure 16), que le taux de Carbone organique après les traitements diminue par rapport la teneur de sol témoin 0,93%. Cette diminution variée selon le type des sels ajoutés. Donc on remarque que la teneur de C.O% est moins faible dans les traitements 3 et 4 respectivement (0,6 et 0,58%), Que les autres traitements des sels NaCl et Na₂SO₄, qu'ont aussi une influence sur la diminution de la Carbone organique à des valeurs variés entre (0,39 et 0,48%).

Le Carbone organique est liée le taux de matière organique par la relation suivante : (M.O% = C.O% × 1,72), donc la diminution de taux de M.O est liée à l'abondance des microorganismes, d'après (Michel, 1997) ; la matière organique est une source d'énergie pour les populations microbiennes.

2.2 La caractérisation microbiologique du sol après les traitements :

Afin d'évaluer la densité des germes microbiens responsables de la transformation de l'azote organique (*Ammonifiants, nitreux et nitriques*), nous avons procédé à la méthode indirect (Pochon et Tradieux 1962) dont le principe s'appuyait sur des cultures en milieu liquide après ensemencement avec des suspensions dilutions de sol ; différents suspensions et milieux du cultures étaient préparés pour favoriser le développement des germes étudiés (Oulbachir et al, 2018) ; les incubations étaient menées dans des conditions de température (28°C) pendant 21 jours.

L'échantillon témoin du sol a fait l'objet d'une caractérisation physico-chimique et microbiologique, considérée comme base de référence pour notre étude.

Pour faciliter notre travail dans les résultats et l'interprétation, nous avons fait la moyenne des nombres de bactéries pour les dix échantillons de chaque germe.

2.3 Germes ammonifiants :

Tableau 10: Dénombrement des Ammonifiants (germes /gramme de sol) dans le sol après le traitement des différents sels.

Traitement Echantillon	NaCl	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃
1	0.41. 10 ⁶	0.35. 10 ⁶	0.28. 10 ⁶	0.20. 10 ⁶
2	0.38. 10 ⁶	0.31. 10 ⁶	0.26. 10 ⁶	0.18. 10 ⁶
3	0.42. 10 ⁶	0.30. 10 ⁶	0.22. 10 ⁶	0.22. 10 ⁶
4	0.33. 10 ⁶	0.36. 10 ⁶	0.31. 10 ⁶	0.15. 10 ⁶
5	0.36. 10 ⁶	-	0.33. 10 ⁶	0.28. 10 ⁶
6	0.48. 10 ⁶	0.26. 10 ⁶	0.25. 10 ⁶	0.17. 10 ⁶
7	0.91. 10 ⁶	0.35. 10 ⁶	0.29. 10 ⁶	0.20. 10 ⁶
8	0.45. 10 ⁶	0.38. 10 ⁶	0.32. 10 ⁶	0.17. 10 ⁶
9	-	-	0.38. 10 ⁶	0.28. 10 ⁶
10	-	-	0.27. 10 ⁶	0.31. 10 ⁶

Tableau 11 : Nombre des bactéries ammonifiantes après le traitement des différents sels en fonction du témoin.

Traitement	Témoin (sans traitement)	NaCl	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃
Moyenne de nombre des bactéries (gramme de sol × 10 ⁶)	0,4	0,37	0,23	0,29	0,21

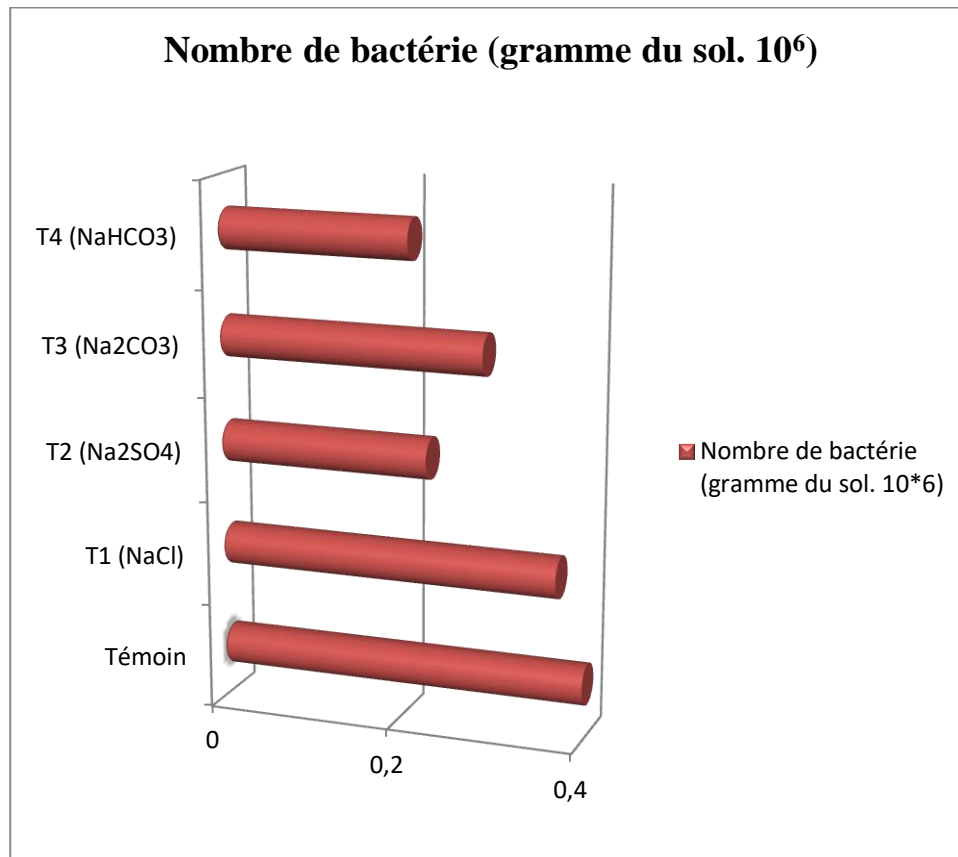


Figure 16 : Histogramme de la variation de nombre des bactéries ammonifiantes (germes /gramme de sol) en fonction des différents sels traités.

2.3.1 Discussion :

Concernant les résultats obtenus de dénombrement des bactéries transformatrices d'azote par la méthode NPP mentionnées dans la (figure 17) , on remarque que le nombre des bactéries ammonifiantes après les traitements, diminuent légèrement, ($0,37 \cdot 10^6$ germes /gramme du sol) pour le premier traitement, ($0,29 \cdot 10^6$ germes /gramme du sol) dans T3 et une diminution notable ($0,23 \cdot 10^6$ et $0,21 \cdot 10^6$ germes /gramme du sol) pour T2 et T4 respectivement. Ces nombres peuvent probablement expliquer par l'interaction de ces germes vis-à-vis les sels.

La présence des sels n'a pas un effet important sur la densité des ammonifiants, ceci est valable surtout pour les traitements 1 et 3 par rapport aux autres traitements.

D'après les résultats du tableau 11, on constate que les sels de nature bicarbonatée (NaHCO₃) et Na₂SO₄ de nature sulfaté sont plus nocifs que les deux autres sels : Na₂CO₃ et NaCl qui sont légèrement nuisibles pour les ammonifiants.

La densité des germes ammonifiants est toujours existante malgré la présence des sels car le caractère de résistance à la salure est variable selon les espèces microbiennes ainsi qu'à l'intérieur de la même espèce (Dommergues et Mangenot, 1970).

2.4 Germes nitreux (Nitrosomonas) :

Tableau 12 : Dénombrement des germes nitreux (germes /gramme de sol) dans le sol après le traitement des différents sels.

Traitement Echantillon	NaCl	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃
1	0.12. 10 ⁶	0.1. 10 ⁶	0.1. 10 ⁶	-
2	0.1. 10 ⁶	0.15. 10 ⁶	-	-
3	0.17. 10 ⁶	0.11. 10 ⁶	-	-
4	0.15. 10 ⁶	0.1. 10 ⁶	-	0.12. 10 ⁶
5	0.1. 10 ⁶	0.12. 10 ⁶	-	-
6	0.12. 10 ⁶	0.12. 10 ⁶	-	-
7	0.14. 10 ⁶	0.1. 10 ⁶	-	-
8	0.1. 10 ⁶	0.12. 10 ⁶	-	-
9	0.12. 10 ⁶	-	-	-
10	0.1. 10 ⁶	-	-	-

Tableau 13 : Nombre des bactéries nitreux (germes /gramme de sol) après le traitement des différents sels en fonction du témoin.

Traitement	Témoin (sans traitement)	NaCl	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃
Moyenne de nombre des bactéries (gramme de sol × 10 ⁶)	0,26	0,12	0,09	0,01	0,012

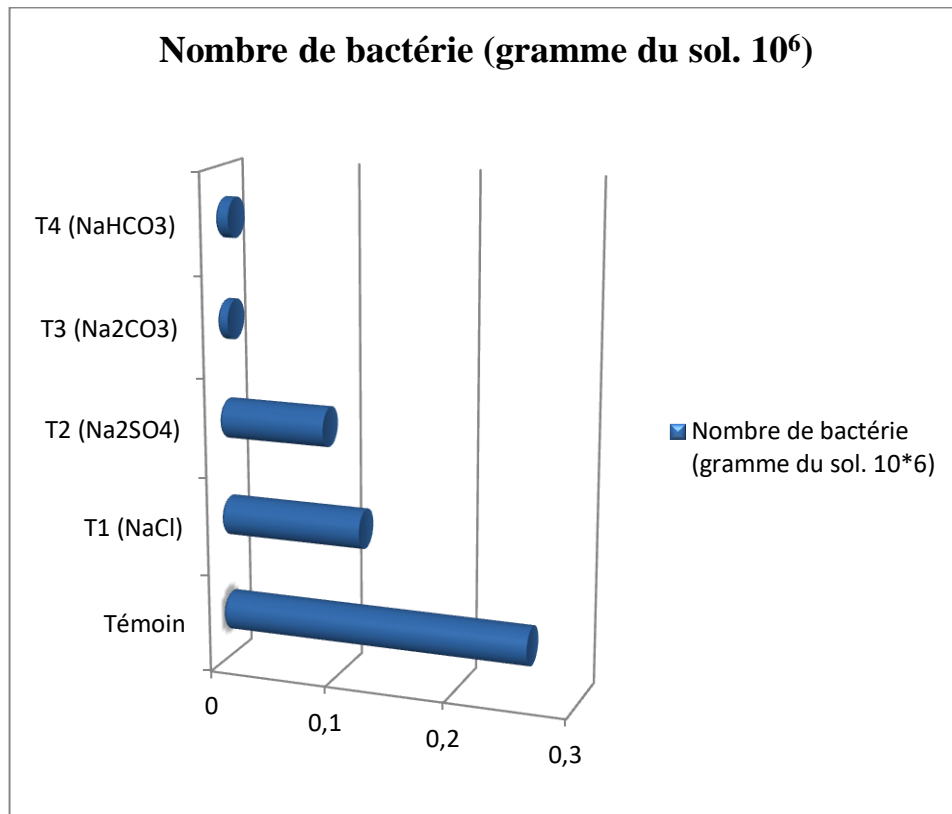


Figure 17 : Histogramme de la variation de nombre des bactéries nitreux (germes /gramme de sol) en fonction des différents sels traités.

2.4.1 Discussion :

Les bactéries nitrifiantes ont un rôle de minéralisation de l'azote organique en donnant les nitrites puis les nitrates. Concernant nos résultats ; Selon (la figure18) on remarque que le nombre des germes nitreux diminue par rapport au témoin ($0,26 \cdot 10^6$ germes /gramme de sol), cette diminution est plus remarquée dans le traitement des sels carbonatés et bicarbonatés de ($0,01 \cdot 10^6$ et $0,012 \cdot 10^6$ germes /gramme de sol) respectivement. Alors que le taux des bactéries nitreux pour les sels chlorurés et sulfatés est faible.

Les germes responsables de la nitrification sont beaucoup moins abondants que les germes ammonifiants, car le processus de nitrification est le sort des genres *nitrosomonas*, alors que l'ammonification est le fait d'une gamme très importante et diversifiée des microorganismes (Herbert, 1979).

L'effet des sels est très observé au fur et à mesure que la conductivité électrique augmente on assiste à une décroissance de l'activité microbienne ; l'élévation de la charge saline globale inhibe la nitrification (Westerman et Tucker, 1974).

2.5 Germes nitriques :

Tableau 14 : Dénombrement des germes nitriques (germes /gramme de sol) dans le sol après le traitement des différents sels.

Traitement Echantillon	NaCl	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃
1	0.1. 10 ⁶	0.08. 10 ⁶	0.08. 10 ⁶	-
2	0.09. 10 ⁶	0.09. 10 ⁶	-	-
3	0.12. 10 ⁶	0.1. 10 ⁶	-	-
4	0.1. 10 ⁶	0.08. 10 ⁶	-	0.1. 10 ⁶
5	0.1. 10 ⁶	0.1. 10 ⁶	-	-
6	0.12. 10 ⁶	0.1. 10 ⁶	-	-
7	0.08. 10 ⁶	0.08. 10 ⁶	-	-
8	0.09. 10 ⁶	0.1. 10 ⁶	-	-
9	0.1. 10 ⁶	-	-	-
10	0.08. 10 ⁶	-	-	-

Tableau 15: Nombre des bactéries nitriques (germes /gramme de sol) après le traitement des différents sels en fonction du témoin.

Traitement	Témoin (sans traitement)	NaCl	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃
Moyenne de nombre des bactéries (gramme de sol × 10 ⁶)	0,38	0,09	0,07	0,008	0,01

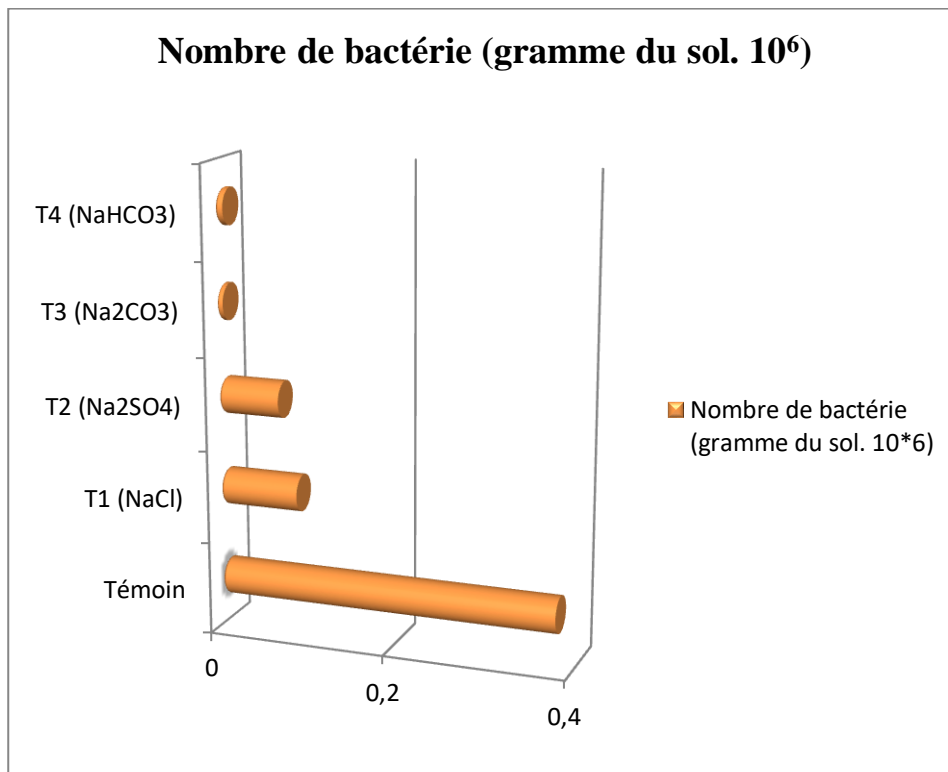


Figure 18 : Histogramme de la variation de nombre des bactéries nitriques (germes /gramme de sol) en fonction des différents sels traités.

2.5.1 Discussion :

Les résultats du tableau 15 et figure 18, montre que les germes nitriques sont plus touchée par l'effet des sels présents dans l'essai ; on remarque les sels : Na₂CO₃ et NaHCO₃ sont plus nocifs sur le taux des germes nitriques les valeurs respectives sont (0,008. 10⁶ et 0,01. 10⁶ germes / gramme du sol.) par rapport au témoin (0,38. 10⁶germes /gramme de sol). NaCl et Na₂SO₄ ont aussi une influence sur la diminution de la densité microbienne les valeurs de germes varie entre 0,07. 10⁶ et 0,09. 10⁶ germes par gramme du sol.

Comme les germes nitreux, les sels carbonatés et bicarbonatés sont les plus nocifs pour les bactéries nitriques.

Donc la densité des germes nitriques semble être beaucoup plus influence par la présence des sels. Parce que la salinisation provoque des effets néfastes à tous les processus biologiques spécialement la nitrification est plus touché (Dellal, 1992).

Dans nos résultats on peut tirer que les différents sels étudiés (Chlorure, Sulfate, Carbonate et bicarbonates du sodium) ont des effets sur la densité des germes nitrifiants et ammonifiants en général, mais les germes nitrifiants sont plus touchés par ces sels que les ammonifiants, car la salinisation a un effet plus important sur la nitrification (Singuu et Cornfield ,1967).

La présence d'une quantité considérable de sels solubles qui engendrent une augmentation de la pression osmotique, le pH parfois très basique, une structure dégradée et asphyxiante (**Daoud, 1988, Dellal, 1984**). Qui nuisent l'activité microbienne dans le sol.

Conclusion Générale

Conclusion :

Le présent travail consiste à l'identification et dénombrement de la microflore du sol notamment les bactéries transformatrices d'azote (Ammonifiants, nitreux et nitriques) en présence des différents types des sels (NaCl , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 et NaHCO_3) à des doses constantes de 10%.

Au terme de cette étude expérimentale, il est parait nécessaire de dégager les principaux résultats :

Les analyses physico-chimiques du sol après les traitements montrent que :

- La conductivité électrique est plus élevée dans les traitements des sels (Na_2SO_4 et NaCl).
- Le pH très alcalins pour les traitements des sels carbonate et bicarbonate du sodium.
- Le taux de calcaire total et actif ne montre pas variation importante ni une influence marquée par les sels sauf dans le traitement 3 qu'on remarque une légère augmentation.
- Le carbone organique % est moins sensible aux sels carbonatés et bicarbonatés.

Les résultats du dénombrement des germes transformatrices l'azote après les traitements montre que :

- Les germes ammonifiants sont plus abondants que les germes nitrifiants (Nitreux et Nitriques), quel que soit avant ou après les traitements ceci peut être expliqué par la diversité des microorganismes responsables de l'ammonification.
- Les germes nitriques sont plus touchés que les germes nitreux.
- Les bactéries ammonifiants sont moins sensibles à l'accumulation des sels.
- Les sels de nature (carbonatés et bicarbonatés) sont les plus nuisibles que (les chlorures et sulfates) de sodium ; qui ont des effets globale sur les communautés azotées.

Les processus de la minéralisation d'azote dans le sol est lié à l'abondance de ces microbes spéciaux ; qu'ils ont besoin des conditions favorables à leur l'activité.

L'effet de la salure diffère selon la nature des sels entraînés (facies salin) ; dans le cas de notre expérimentation, on enregistre que les sels NaCO_3 et NaHCO_3 de nature carbonaté et bicarbonates provoquent le processus d'alcalinisation qui favorise un milieu défavorable pour la microflore du sol.

A la lumière de cette étude, nous pouvons dire que les résultats obtenus durant ce travail peuvent être considérés comme une contribution à la collection des recherches de l'effet de la salinité sur la vie microbienne du sol ; mais avec une vision un peu peut nouvelle qui touche un aspect très important qui est lié à l'impact de la nature des sels, par contre les études précédentes ce sont penchées en général sur les retombes de la charge saline globale sur la densité microbienne.

Enfin, d'une manière générale, cette expérimentation ouvre la voie pour d'autres perspectives intéressantes dans ce vaste domaine, comme l'étude de l'effet de la variabilité des sels ce qui va nous rapprocher au maximum de la réalité du terrain.

Références bibliographiques :

- **Agarwal.AS ; Singh.BR ; Kanehiro.Y, 1980.** Cultivation and soil biomass. Soil Bioch : 12 : 29-33.
 - **Alain Gallien, 2015.** Microflore du sol : bactéries, Champignons, actinomycètes, cyanobactéries et algues. Banque de schéma_SVT_Académie de Dijon 11/09/2015.
 - **Al-Karaki.G.N, 2000.** Growth, water use efficiency and sodium, potassium acquisition by tomato cultivaris, grown under salt stress. Journal of plant nutrition, vol 23, n01 : 1-8.
 - **Andrianarisoa Hasaina Sitraka, 2009.** Minéralisation de l'azote et nitrification dans les écosystèmes forestiers : effet du type de sol et l'essence forestière. Thèse doctorat, Géosciences. **11, 18, 21, 25 P.**
 - **Antonisen et al, 1976. In Pambrun Vaitea, 2005.** Analyse et modélisation de la nitrification partielle et de la précipitation concomitante du phosphore. Dans un réacteur à l'alimentation séquencée. Thèse doctorat, Génie des procédés et de l'environnement. INSA de Toulouse. **17, 19 P.**
 - **Aubert Georges et Boulaine Jean, 1980.** Que sais-je ? La pédologie. Presses universitaires de France N°27139. Collection Encyclopédique, fondé par Paul Angoulvent.
 - **Aude Fourçans, 2004.** Dynamique des communautés bactériennes de tapis microbiens soumis aux stress environnementaux. Thèse doctorat, Microbiologie. Université de Paul et des pays de L'ADOUR, **21 P.**
 - **Aurelie Cébron., 2004.** Nitrification, bactéries nitrifiantes et émission de N2O la seine en aval Paris. Thèse de doctorat Spécialité : Écologie Microbienne – Sciences de l'Eau. Université Paris VI. **72, 73,74 P.**
 - **Auréli Lecellier, 2013.** Caractérisation et identification des champignons filamenteux par spectroscopie vibrationnelle. Thèse doctorat, Biologie-Biophysique. France. **15 P.**
 - **Aurélien Roger, 2019.** Timac Agro : <https://www.agriheb.do-ch/dossier/> favoriser les microorganismes, micro-effets, 26/07/2019.
-

Références bibliographiques

- **Ayez.F, 1893.** Bulletins de l'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique – Soixante- Troisième année- 3eme série, T-25. **770 P.**
 - **Badache Abdelhakim, 2005.** Etude expérimentale de l'influence des sels solubles sur le complément d'Atriplexe Halimus I .Thèse Magistère, Pédosphère. **11, 22 P.**
 - **Bassompierre Cindy., 2007.** Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents Papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles. Domain stic. inge. Institut National Poly- technique de Grenoble - INPG, 2007. Français. <tel-00130907>. **43 ,44 P.**
 - **Ben Hadj Tahar Imane, 2016.** Caractérisation physico-chimique des sols salés de la plaine de la Mine (Relizane). Mémoire de fin d'étude Master en Agronomie, spécialité de Gestion durable de l'environnement. Université de Mostaganem. Algérie, **16, 18, 19, 24 P.**
 - **Berrada.H ; Fikri Ben Brahim.K, 2014.** Taxonomy of the Rhizobia : Current perspectives- British Microbiology Research Journal 4(6) : 616-639.
 - **Bob Harter, Tin Motis, 2016.** Comprendre les sols affectés par le sel. ECHO, Note Technique 84.
 - **Bouchenafa.N., Oulbachir.K, Hassani.A et Kouadria.M, 2011.** Détermination de la microflore du sol du sous bassin versant d'oued Mina (région de Tiaret). Revue d'Ecologie et Environnement. 7(12):9-24.
 - **Boukhalfa Ikrem, 2013.** L'effet de la gestion de l'irrigation sur la salinisation du sol (cas de la palmeraie d'Oued Righ). **14 P.**
 - **Boullard. B, Moreau. J, 1962.** Sol, microflore et végétation. Edition ; Masson; paris, **289 P.**
 - **Bourahla.L, 2017.** Etude du comportement de la biomasse microbienne des sols steppiques d'Algérie. Thèse doctorat, Sciences de la vie. Université de Mascara – Algérie. **64, 73, 81 P.**
 - **Bourahla.L., 1991.** Variation saisonnière de la salinité dans la région de Relizane (effet de la pluviométrie sur la lixiviation des sols). Mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état en Agronomie, Pédologie (Science du sol). Institut Agro-Vétérinaire Tiaret. Algérie, **10, 11, 12 P.**
 - **Canfield.DE 2005.** The Nitrogen cycle. In: Elsevier (ed) Advances in marine biology, Book 48.
-

- **Cavatte, P. C., Martins, S. C. V., Morais, L. E., Silva, P. E. M. and Damatta, F. M. 2012.** The Physiology of Abiotic Stresses. In: Fritsche-Neto, R. and Borém, A. (eds.), Plant Breeding for Abiotic Stress Tolerance. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany. 21- 51.
 - **Cécile Revellin 2012.** Les symbioses fixatrices d'azote UMR Agroécologie, Inra/Université de Bourgogne 17, rue Sully - BP 86510, 21065 Dijon Cedex. **32 P.**
 - **Chelkia Hayat et Gueriani Amina, 2019.** Facteurs abiotique et sensibilité/résistance bactérienne aux antibiotiques : impact du pH et de la salinité. Mémoire de fin d'étude Master Microbiologie Appliquée. Université de Bouira Algérie. **45 P.**
 - **Cherif Hafsa, 2014.** Amélioration de la croissance du blé dur en milieu salin par incubation avec Bacillus sp et Pantoea agglomerans isolées de sols arides. Thèse doctorat, Microbiologie. Université de Sétif 1, **4 P.**
 - **Cisse.Z, 1982.** Influence de la température et de l'humidité sur la minéralisation d'azote dans un sol alluvial irrigué en zone semi-aride (HONDA). Thèse d'ing. INA. **80 P.**
 - **Claude Murat-Furminieux, Marc Buee, Juliette Lengellé, François Le Tacon, Emmanuelle Morin, et al, 2014.** La flore fongique des truffières. Le Trufficulteur, 2014, 88 (3), pp.14-15. hal-01269191.
 - **Clement.M et Lozet.J, 2011.** Dictionnaire encyclopédique de Science du sol.
 - **Dahane FI Touri, 2011.** Diversités phénotypique et moléculaire des micro-symbiotes du Sulla du nord (Hedysarum Coronarium L.) et sélection de souches rhizobiale efficaces. Institut National Agronomique de Tunisie ; Doctorat en Science Agronomique.
 - **Daoud.Y et Halitim.A, 1994.** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse, 3(5) : 151_160.
 - **Dari Razika., 2013.** Dénombrement de la biomasse microbienne des sols arides exemple d'un sol salé sous deux types de cultures. Mémoire de fin d'étude sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbah- Ouargla. Algérie, **11, 19,20 P.**
 - **Dassonville.F et Renault.P, 2005.** Interaction entre microbiologie anaérobie et géochimie du sol. Description des dynamiques microbiennes.
-

Références bibliographiques

- **Dellal.A et Halitim.A, 1992.** Activités microbiologiques en conditions salines cas de quelques sols salés de la région de Relizane (Algérie). Cah. Agri. Voll, N°5, éd. John Libbey Euro texte. Paris.
 - **Dellal.A, 1984.** Réaction du riz à la salure en relation avec la dynamique des équilibres ionique, Nitrification et dégagement de CO₂ en sol salé.
 - **Dembo Diaw ; Mame Arma Fall-Ndiaye ; Oubeidallah Youssoufa Ali ; Idy Carras Sare et Tahir Abdoulaye Diop, 2018.** Effet de la salinité sur la densité des isolats de *Pseudomonas* sp fluorescents de rhizosphère de plante de la tomate, d'aubergine et d'oignons au Sénégal. Int. J. Biol. Chem. Sci 12(4) : 1914-1919.
 - **Dommergues.Y et Mangenot.F, 1970.** Ecologie microbienne du sol et masson. 796 P.
 - **Dommergues.Y, 1962.** Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropical sèche. Thèse doctorat, Paris.
 - **Dommergues.Y, 1977.** La biologie des sols. Ed. Que sais-je ?, Presse Universitaire France.
 - **Duchaufour.Ph, 2001.** Introduction à la science du sol. 6ème édition de l'abrégé de pédologie. Dunod. Ed. Masson. Paris. **314 P.**
 - **Duchaufour.Ph, 1983.** Pédogénèse et classification. 2eme édition, Masson, Paris, New York, Barcelone, Milan, Mexico, São Paulo. Sous correction de Duchaufour.Ph et Souchier.B.
 - **El-Sheikh.EAE and Wood.M, 1990.** Effect of salinity on growth, nodulation and nitrogen fixation of *Chichpea* (*Cicer arietinum* L.). Jour. Experi. Bot. 41 : 1263-1269.
 - **Eméline Bignon, 2019.** Le sol regorge d'un étanont réservoir biologique.
<https://www.reussir.fr>.
 - **Emmanuelle Savelli (OEB) ;Dniel CLuzeau ;Muriel Guernios, 2020.** La plus grande partie de la faune du sol en BRETAGNE est invisible à l'œil nu, 28/01/2020. Biodiversité du sol en BRETAGNE.
 - **Erwan Lozach, 2001.** Le sel et les microorganismes. Thèse doctorat. Ecole National Vétérinaire de maison Alfort. Faculté de Médecine CETEIL. **6 P.**
-

Références bibliographiques

- **Faghire Mustapha, 2012.** Rôle des microorganismes symbiotiques (cas de Rhizobia) dans l'amélioration de la production agricole de *Phaseolus Vulgaris* sous stress salin. Thèse doctorat, Agrophysiologie et Microbiologie des symbioses. Univ. GADI Ayad MARRAKECH_MAROC.
 - **Féray Christine., 2000.** Nitrification en sédiment d'eau douce : incidence de rejets de station d'épuration sur la dynamique de communautés nitrifiantes. Thèse doctorat spécialité : écologie microbienne. L'université Claude-bernard - LYON I. **24, 25, 26,27, 39,40 P.**
 - **Florent Breuil, 2016.** Comment optimiser la microflore du sol ? Médiaterre : Conception& réalisation : CIRIDD 2002_2020.
 - **Galloway, J.N, 2003.** The global nitrogen cycle. In, Treatise on Geochemistry. Elsevier, pp. 557–583.
 - **Garg B.K. ; Vyas S.P. ; Kathju V.S. ; Lahiri A.N. ; Mali P.C., 1993.** Salinity-fertility interaction on growth, mineral composition and nitrogen metabolism of Indian mustard. J. Plant Nut 16 (9) : 1637-1650.
 - **Ghezal.N et Miloudi.A, 2019.** Analyse comparative du comportement de deux espèces du genre *Artemisia* (*Artemisia hebra alba*. Asso et *Artemisia campestris*. L) vis-à-vis à la contrainte saline. Mémoire de fin d'étude Master, Production végétale. Université de M'sila Algérie. **35 P.**
 - **Hamdoud Nacera, 2012.** Effet du stress salin sur la croissance et la physiologie de Féverole (*Cicia faba L.*).Thèse Magistère, Pédologie. **12, 16, 21 P.**
 - **Hayatsu.M., Tago.K., and Saito.M, 2008.** Various players in the nitrogen cycle: Diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. Soil Science and Plant Nutrition 54: 33– 45.
 - **Hénin.S, 1977.** Cours de physique du sol ;Tom I et II – Orstom, Edi test.
 - **Houda.RE, 2011.** Isolement de *Pseudomonas* fluorescents d'un sol salé. Effet d'osmoprotecteurs naturels. Thèse Magistère. Université de Sétif Algérie. **121 P.**
 - **Huber Gérald. Schaub Christiane, 2011.** Guide des fertilisants azotés utilisables en bio .Agricultures & territoires ; Chambre d'agriculture BAS-RHIN. **4 P.**
 - **Innova-Agri, 2017.** Microfaune «Vie du sol : les maxi-pouvoirs des microorganismes ».Mercredi 6 Septembre 2017. La France agricole.
-

Références bibliographiques

- **Isirimah, N. O, Keeney, D. R. 1973.** Nitrogen transformation in aerobic and waterlogged organic soils. *Soil Sci.* 115: 123-129.
 - **ITA, 1975.** Laboratoire du sol : Méthodes d'analyse physiques et chimiques du sol. Institut Technologique Agricole. Mostaganem. **78 P.**
 - **ITAB, 2002.** Activité biologique et fertilité du sol. **27 P.**
 - **James Verslovic et al., 2011.** Manuel of clinical Microbiologie 10th Edition.
 - **Jean Michel Gobat ; Michel Arognio ; Willy Matthey, 1998, 2003, 2010.** Le sol vivant : Bases de pédologie ; Biologie des sols. 3eme édition augmentée. **37 P.**
 - **Jenkinson D.S. and J.N. Lad, 1981.** Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: *Soil Biochemistry.* (eds.): E.A. Paul and J.N. Ladd, Vol. 5, Marcel Dekker, New York, 415-471.
 - **Jonathan Cloutier, 2017.** Relation entre les deux souches bactériennes principales d'un boifilm dénitrifiant. Mémoire présenté pour l'obtention du grade Maître des sciences (M. Sc.) en microbiologie appliquée. **4 P.**
 - **Julier Guigue, 2014.** Influence des facteurs biotiques et abiotiques sur la dynamique de la matière organique du sol à partir de la caractérisation biogéochimique des matières organiques solubles. Thèse doctorat, Sciences du sol. Université de BOURGOGNE. **9, 11 P.**
 - **Karl Ritz, 2008.** International Day for Biological Diversity CBP-9, Bonn, 22/05/2008. European Commission, The soil is Alive).
 - **Kouadria.M. ; Sehari.M ; Hassani.A ; Koulal.A ; Zouablia.S, 2020.** Effet du stress salin sur le système foliaire d'une légumineuse vivrière (*Phaseolus vulgaris L.*) cultivé dans un sol de bentonite. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* (2020) 8(1) : 37 – 41.
 - **Laimeche Oussama, 2019.** Contribution à l'étude des variations spatio-temporelles de la densité microbienne des sols (région de Sabain). Mémoire de fin d'étude Master en Agronomie, spécialité des sciences du sol. Université de Tiaret. Algérie, **42, 43 P.**
 - **Les Pilitas Nursory (2012)** Californie Native are all we grow.
-

Références bibliographiques

- **Lively.Y et Shalhevt.J, 1990.** Ranking the tolérance of citrus root stock by juice analysis. Sc. Tlorc. Tech. 45 : 89-98.
 - **Magniez, 2014.** Méthode de dénombrement des microorganismes en milieu liquide (Méthode dite du nombre le plus probable). <https://www.technobio.fr> 2014 ; Article publiée dans #biotechnologie.
 - **Marie-Alin d'hlewyn et Pierre Chevalier, 2019.** Santé environnementale et toxicologie, fiche sur les moisures. Quebec 2001-2020.
 - **Mariele.B.R ; Cobos.S.E ; Norman.H.C, 2007.** Biosaline agriculture for forage and livestock production. Agri. Ecosys. Environ. 119 : 234-248.
 - **Morel, 1989.** Les sols cultivés. Tech et Doc .Lavoisier, paris, **272 P.**
 - **Mourceaux.C, 1973.** Cours de Microbiologie du sol. DRSTOM_S.S.C. **15, 41, 54, 56, 57, 58 P.**
 - **Moussaouli.G, 1978.** Méthode d'analyse des sols. Edition CRDP. Marseille. **191 P.**
 - **Muc Clung.G ; Frankerberger WT.Jr, 1987.** Nitrogen minéralization rates in saline vs salt_ amended soils, Plant soil : 104 : 13-21.
 - **Muc Clung.G ; Frankerberger.WT.Jr, 1985.** Soil nitrogen transformation as affected by salinity. Soil Science : 139 : 405,11.
 - **Natacha Leroux, 2013.** NEP Nitrogen Fixing plane, les rôles des bactéries Frankia et Rhizobium dans la fixation d'azote.
 - **Notron.J.M, 2000.** Nitrogen mineralization, immobilisation turnover. In : Sirmmer ME (ED), Hand book of soil science.CRC PRESS, Boca Raton, NewYork, Washington.D.C. **C148 – C180 P.**
 - **O'Brien, J.A., Vega, A., Bouguyon, E., Krouk, G., Gojon, A., Coruzzi, G., and Gutiérrez, R.A, 2016.** Nitrate Transport, Sensing, and Responses in Plants. Molecular Plant 9: 837–856.
 - **OulbachiIr.K. ; Bouchenaafa.N. ; Kouadria.M, 2018.** Les variations au champ de la biomasse microbienne d'un sol cultivé (cas de la région de Tiaret). Revue Ecologie et Environnement (15) : 2018 – ISSN : 1112-5888.
-

Références bibliographiques

- **Oulbachir.K., 2010.** Ecologie microbienne des sols sous différents compartiments granulométriques et différents étages bioclimatiques. Thèse doctorat, Ecopédologie, **51, 52, 53, 55 P.**
 - **OUSTANI.K, 2006,** Contribution à l'étude de l'influence des amendements organique sur les propriétés microbiologiques des sols sableux non salé et salé dans les régions sahariennes (cas de Ouargla) .Thèse Magister .Université .Ouargla **187 P .**
 - **Philippe Lemanceau ,2020.** La biodiversité des sols: un fantastique patrimoine à préserver et valoriser par les services écosystémiques. Les services écosystémiques dans les espaces agricoles. Paroles de chercheur(e)s, **156 P.**
 - **Pierre Paul Dion, 2019.** Minéralisation et prélèvement direct de l'azote organique dans les cultures légumières biologiques en serre. Thèse doctorat, Biologie végétale. Université LAVAL, **6 P.**
 - **Pisson Cyril., 2000.** Impact de l'épandage agricole des boues résiduaire urbaines céréalières en particulier sur l'aspect des éléments trace métalliques. Mémoire de fin d'étude de l'école nationale de la santé publique. ENSP, France. **4 P.**
 - **Pochan J., Tradieux P., 1962.** Technique d'analyse en microbiologie du sol, Coll. Tech. De base, Paris ed de la Tourelle. **111 P.**
 - **Prescott.LM, 2002.** Microbiology, sthedition the Me Graw-Hill companies. NewYork, USA. **675 P.**
 - **Ratzke.C et Gore.J, 2018.** Modifying and reacting to the environmental pH condrive bactériel interactions Plo. S. Biol. 16(3) :e2004. **248 P.**
 - **Rechidi Fadila, 2018.** Effet combiné de la salinité et métaux lourds (Cuivre et zinc) sur la germination de la fevore (Vicia faba L.). Mémoire de fin d'étude Master, Biodiversité et environnement. **2, 3 P.**
 - **Roger PA ; Garcia J-L, 2001.** Introduction à la microbiologie du sol, polycopie de cours. Université de Provence ; Université de la Méditerranée _ Ecole sup. d'Ing. De Luminy. **191 P.**
 - **Sadji Hamida, 2017.** Effets de la salinité et du phosphore sur la physiologie du Pois Chiche (*Cicer arietinum*). Thèse doctorat, Biologie et physiologie végétale. **2, 6, 7 P.**
-

Références bibliographiques

- **Said Hami ; Naser Mohamed Naser, 2016.** Etude de la salinité des sols de périmètre agricole pour la culture de palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*). République de Djibouti. Journal : Science et Environnemental 30(2016) : 53-67.
 - **Schimann. H, 2005.** Impacts de perturbations liées à l'orpaillage sur l'évolution des communautés et fonctionnalités microbiennes d'un sol. Thèse Doct. ENGREF. **103 P.**
 - **Servant.J.M, 1978.** La salinité de sol et des eaux caractérisation et problèmes d'irrigation/drainage. Bull.B.R. G.M, sect.III.N°2. **123, 142 P.**
 - **Shrivastava.P et Kumar.R, 2015.** Soil salinity.A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria us one of the toals for its alleviation ; Saudi J. Biol. Sci. 22 : 123-131.
 - **Sindhu MA; Cornfield AH, 1967.** Comparative effects of varying levels of chlorides and sulfates of soduim, potassium, calcium and magnésium on ammonification during incubation of soil, Plant Soil 1967: 27: 468-72.
 - **Smil.V, 2002.** Biofi xation and nitrogen in the biosphere and in global food production. In : Nitrogen fi xation: global perspectives. T.M. Brogan et al. Ed. CAB International, New York, 7-9.
 - **Soltner. D, 2005.** Les bases de la production végétale. Le sol et son amélioration. Tome I, 24emè édition; collection Sciences et techniques agricoles.
 - **Sophie Genermont, Pierre Gellier, 2016.** A place de l'agriculture au sein des grands cycles biogéochimiques : azote, particules, ozone...L'azote, si cher à nos campagnes nitrogen, so dear but so expensive to our countryside : umr ecosys, INRA, AgroParisTech, université Paris-Saclay, 78850, Thiverval-Grignon, France. POLLUTION atmosphérique - Septembre. **117 P.**
 - **Teggar Naima, 2015.** Etude de l'effet du stress salin sur la nodulation et sur quelques paramètres biotechniques et morphologiques de la lentille (*Lens Culinaris L.*). Mémoire de fin d'étude Magister, Ecophysiologie végétale **12, 17, 59 P.**
 - **Vilain Michel, 1997.** Agriculture d'Aujourd'hui. La production végétale 1 ; Les composantes de la production. Collection dirrigé par Paul Moati ; 2eme édition. Paris. **144, 150 P.**
 - **Zaghmouri Imane, 2013.** Impact des fluctuations de la salinité sur le cycle de l'azote dans les sédiments de l'étang de Berre. Thèse doctorat, Océanographie. Tunisie. **30, 33, 34, 74 P.**
-

Références bibliographiques

- **Zouaoui Ahmed ; Zatimi Ines et Snoussi Sid Ahmed, 2019.** Evaluation de l'effet de deux sels nocifs (NaCl et Na₂SO₄) sur quelques paramètres morpho-physiologiques de l'AUBERGINE : SOLANUM MELAN GENAL. Cultivée en hors sol. Université de Blida Algérie. Revue Agrobiologia 9(1) : 1405-1414.

Annexe :

I. Milieux de culture :

1. Milieu de culture pour les Nitrifiants :

- Solution saline standard **50ml**
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ **0.5ml**
- CaCO_3 **01g**
- Eau distillé **950ml**

2. Milieu de culture pour les Ammonifiants :

- Solution salin standard **50ml**
- Asparagine **0.2g**
- Eau distillé **950ml**

❖ *Remarque :*

Pour la solution saline standard (S.S.S) est composé de :

- NaHPO_4 **05g**
 - MgSO_4 **2.5g**
 - NaCl **2.5g**
 - $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ **0.05g**
 - MnSO_4 **0.06g**
 - Eau distillé **1000ml**
-

II. Calcul du nombre de germes par gramme de sol :

✚ Table de Mac Crady :

3 tubes par dilution					
Nombre caractéristique	Nombre De cellule	Nombre caractéristique	Nombre De cellule	Nombre caractéristique	Nombre De cellule
_000	0.0	201	1.4	302	6.5
001	0.3	202	2.0	310	4.5
010	0.3	210	1.5	311	7.5
011	0.6	211	2.0	312	11.5
020	0.6	212	3.0	313	16.0
100	0.4	220	2.0	320	9.5
101	0.7	221	3.0	321	15.0
102	1.1	222	3.5	322	20.0
110	0.7	223	4.0	323	30.0
111	1.1	230	3.0	330	25.0
120	1.1	231	3.5	331	45.0
121	1.5	232	4.0	332	110.0
130	1.6	300	2.5	333	140.0
200	0.9	301	4.0		

III. Les tableaux :

Tableau 1 : Répartition des particules minérales selon leur ordre de grandeur (D'après les normes internationales) :

Particules minérales	en micromètre (μm)	en millimètre (mm)
Argile	< 2	< 2
Limon fin	2 à 20	0.002 à 0.02
Limon grossier	20 à 50	0.02 à 0.05
Sable fin	50 à 200	0.05 à 0.2
Sable grossier	200 à 2000	0.2 à 2

Tableau 2 : Echelle de répartition de la matière organique dans le sol (D'après I.T.A. 1975) :

MO %	Nom de classe
≤ 1	Sol très pauvre
$1 < \text{M.O} \leq 2$	Sol pauvre
$2 < \text{M.O} \leq 4$	Sol moyennement riche
$\text{M.O} > 4$	Sol riche

Tableau 3 : Le pH, représente l'acidité du sol, il est mesuré selon l'extrait 1/5, le pH de l'extrait (SOLTNER, 1989).

pH	5 à 5.5	5.5 à 5.9	6 à 6.5	6.6 à 7.2	7.3 à 8	>8
Classe	Très acide	Acide	Légèrement acide	Neutre	Alcalin	Très alcaline

Tableau 4 : Calcaire total (BAIZE, 1998).

CaCO₃ %	Classe de sols
≤1	Non calcaire
CaCO₃ ≤ 5	Peu calcaire
5 < CaCO₃ ≤ 25	Modérément calcaire
25 < CaCO₃ ≤ 50	Fortement calcaire
50 < CaCO₃ ≤ 80	Très fortement calcaire
> 80	Excessivement calcaire

Tableau 5 : Classe de la salinité en fonction de la conductivité électrique (CE) à l'extrait de pate saturée (AUBERT, 1978).

Classes	Conductivité électrique En (ms/cm) à 25°C	Désignation
01	≤0.6	Sol non salé
02	0.6 < CE ≤ 1.2	Sol peu salé
03	1.2 < CE ≤ 2.4	Sol salé
04	2.4 < CE ≤ 6	Sol très salé
05	>6	Sol extrêmement salé

Tableau 6 : Azote total (HENIN, 1969).

N total %	Désignation du sol
≤ 0.5	Sol très pauvre
$0.5 < N \text{ total} \leq 1.0$	Sol pauvre
$1.0 < N \text{ total} \leq 1.5$	Sol moyen
> 1.5	Sol bien pourvue

Tableau 7 : Le rapport C/N (HENIN, 1969).

C/N	Minéralisation de la MO
C/N < 8	Minéralisation trop rapide perte d'éléments fertilisants.
C/N voisin de 10	Bonne minéralisation
C/N > 15	Minéralisation lente, accumulation de Matière Organique

Abstract:

This work deals with the effect of the type of salts on the biomass microbial transforming nitrogen in the soil. This study aims at the evaluation and enumeration of the nitrogenous microflora with the presence of different types of salts (NaCl, Na₂SO₄, Na₂CO₃ and NaHCO₃) of constant degree 10%, in several samples (50); 10 for each type and 10 remains as a control without treatment.

These samples are taken to plastic pots and placed in the incubator for incubation for 21 days. Before this period, we perform physicochemical. And for microbiological analyzes using reagents appropriate for each kind of bacteria.

The results show that the degree of effect of salinity varies according to their types (saline facies). We have the carbonate and sodium bicarbonate salts (alkaline salts) are more harmful than the other salts, which strongly affect these microbes. In general, nitrifying germs are more sensitive to salt than ammonifying agents.

Key words : Nitrogen, biomass microbial, saline facies, salinity, Ammonia, Nitrifying.
