



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Larbi Tébessi –Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie des Etres vivants



MEMOIRE présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Domaine: science de la nature et de la vie

Filière: Sciences biologiques

Option: Biotechnologie des plantes médicinales

Thème:

Appréciation de quelques paramètres de fertilité
du sol de la station de Ain Zeroug (Tebessa)

Présenté par:

Salmi Asma

Zerfaoui Narimen

Devant le jury:

| | | | |
|------------------------|---------|---------|------------|
| Boudjabi Sonia | M.C. B | Tébessa | Président |
| Neffar Souad | M.C .A | Tébessa | Rapporteur |
| Ghdabnia Karima | M.A.C.C | Tébessa | Examineur |

Date de soutenance: 29/05/2016

Note :..... **Mention :**.....

Dédicace

Merci mon dieu de m'avoir donné la capacité d'écrire, de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout de mon rêve et de mon Bonheur.

Je dédie ce modeste mémoire:

A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon Bonheur et ma réussite, ma mère

A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre Durant toutes les années de mes études et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me soutenir et à me protéger

Que Dieu les garde et les protège

A ma chère grand mère maternelle JOJO à qui je souhaite une longue et heureuse vie

A ma grand mère paternelle MEKHSSAI A, puisse Dieu lui accorder le repos éternel

A mes adorable sœurs Sana, Rym, Leila ,Sou

A mon seul et unique frère Karim

A mon neveu, le bijou de la famille, Doudi

A mon fiancé Adelqui ma soutenue

A mes tantesDjamila ,Randa, Saliha

A mes oncles

A mon intime amie Narimen lui souhaitant succès et réussite

A tous ceux qui m'aiment

A tous ceux que j'aime

A tous ceux qui me sont chers

A tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Asma

Dédicace

Je dedie se travail :

À ma chère mère « Akila »

À mon père décédé, que Dieu bénisse son âme

À mon frère Ala eddine

À mon fiancé Ridha et sa famille

À ma sœur et mon intime amie Asma (Sissa)

À ma famille

À toutes mes amies

À tous ceux qui ne sont chers

Narimen

Remerciement

Gloire à « ALLAH » le tout puissant et le miséricordieux, qui a exaucé nos rêves et nous a donné force et patience d'accomplir ce modeste travail.

Nos remerciements les plus sincères accompagnés de notre profond respect vont à notre encadreuse Dr Neffar Souad pour nous avoir dirigées et encouragées tout au long de ce travail, nous le remercions pour sa disponibilité, son aide précieuse, son écoute ses conseils avisés et pour la confiance qu'il a bien voulu nous accorder et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Nous adressons nos vifs remerciements également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette recherche en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions. Au M^{me} Boudjebi Sonia, pour nous avoir fait l'honneur de présider ce jury, à Mme Ghedabnia Karima qui a eu la courtoisie d'accepter d'examiner ce travail.

Nous remercions aussi les responsables du laboratoire de biologie végétale.

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

Résumé

Cette étude a été entreprise afin de comparer quelques paramètres pédologiques entre une parcelle plantée par le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica* L.) et une autre non plantée, dans la station de Ain Zaroug, commune de Tébessa, zone semi aride de l'Est algérien. Pour ce faire, des échantillons de sol ont été prélevés dans les deux parcelles où chaque échantillon a fait l'objet de 10 points de prélèvements. Dans la parcelle plantée, des prélèvements sont effectués au pied de l'arbuste et d'autres au milieu des lignes plantées par le figuier de Barbarie. Les paramètres observés sont : le pH, la CE, le taux de matière organique, le taux d'azote, la teneur en phosphore assimilable, le rapport C/N et le MPN. En dépit des variations observées entre les deux parcelles, elles sont majoritairement non significatives statistiquement. Les parcelles se sont révélées alcalines, non salées, avec des taux de matière organique allant de moyenne à relativement élevées, des teneurs en phosphore assimilables entre faible et élevée et des rapports de C/N bas. Le figuier de Barbarie ne semble pas apporter une amélioration au sol dégradé.

Mots -clés. Désertification, Ain Zerroug, fertilité du sol, *Opuntia ficus-indica*, parcelle en friche.

Abstract

In arid and semi-arid lands, the prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) is an outstanding plant for soil conservation and restoration. To determine the role of this shrub on soil desertified areas of Ain Zerroug (Tebessa, Northeast Algeria), we compared some soil properties (pH, electrical conductivity, organic matter, total nitrogen, available phosphorus, C/N and Most Probable Number) between planted plot and unplanted plot (Control). In planted plot, soil samples were taken from 0-15cm under the shrub canopy and in the mid-row location between shrubs. The results showed that the variations between the two plots are mostly not statistically significant. Consequently, the prickly pear does not seem to improve the degraded soils.

Key words : Desertification, prickly pear, Ain Zerroug, Soil fertility, Restoration.

ملخص:

أجريت هذه الدراسة لمقارنة بعض معايير التربة بين قطعة مزروعة بالتين الشوكي و قطعة غير مزروعة بمحطة عين زروق، منطقة سهبية بولاية تبسة المتواجدة بالشرق الجزائري. و من هنا تم اخذ عشرة عينات تربة من كلا القطعتين إلا انه بالنسبة للقطعة المزروعة تم اخذ عينات بالقرب من شجرة التين الشوكي و عينات أخرى من المنطقة التي تتوسط صفوف زرعه. إن المعايير المدروسة هي كل من درجة الحموضة، الناقلية الكهربائية، نسبة المادة العضوية، نسبة الازوت، الفوسفور، و نسبة الكربون على الازوت بالإضافة إلى نسبة الابواغ المتواجدة في التربة. و على الرغم من الاختلافات بين قطعتي الأرض إلا أنه لا يعد فرق معنوي كبير. و قد تبين إن القطع الأرضية قاعدية (قلوية)، غير مالحة والمواد العضوية فيها من متوسطة الى عالية نسبيًا، بينما نسبة الفوسفور فهي بين المنخفضة و العالية و نسب منخفضة للكربون/الازوت. لا يبدو أن التين الشوكي أدى إلى تحسين التربة المتدهورة.

الكلمات المفتاحية: التصحر , عين زروق , خصوبة التربة , التين الشوكي , الأراضي البور.

Sommaire

| | |
|--|-------------|
| <i>Remerciement</i> | <i>i</i> |
| <i>Résumé</i> | <i>ii</i> |
| <i>Abstract</i> | <i>iii</i> |
| <i>ملخص</i> | <i>iv</i> |
| <i>Sommaire</i> | <i>v</i> |
| <i>Liste des figures et des tableaux</i> | <i>viii</i> |
| | |
| Introduction générale | 1 |

Chapitre I : Revue bibliographique

| | |
|--|----|
| 1. Définition de la fertilité du sol | 3 |
| 2. Types de fertilité du sol..... | 3 |
| 2.1. La fertilité physique..... | 3 |
| 2.1.1. La texture..... | 3 |
| 2.1.2. La structure..... | 4 |
| 2.1.3.La conductivité électrique..... | 5 |
| 2.2. La fertilité chimique..... | 5 |
| 2.2.1. La Capacité d'Echange Cationique..... | 5 |
| 2.2.2.Le pH. | 6 |
| 2.2.3.Le calcaire..... | 6 |
| 2.2.4.La matière organique..... | 7 |
| 2.2.4.1.Le carbone..... | 8 |
| 2.2.4.2.L'azote..... | 10 |
| 2.2.4.3.Le rapport C/N..... | 11 |
| 2.2.5.Le phosphore..... | 11 |
| 2.2.6.Le soufre..... | 12 |
| 2.2.7.Les oligoéléments..... | 12 |
| 2.3. La fertilité biologique..... | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.3.1.La faune du sol..... | 13 |
| 2.3.2. La biomasse microbienne..... | 13 |
| 2.3.3.Le potentiel mycorhizogène du sol (MPN ou PEM)..... | 14 |
| 2.3.4.Autres methodes..... | 14 |

Chapitre II : Matériel et méthodes

| | |
|---|----|
| 1.Présentation du cadre de l'étude..... | 16 |
| 1.1. Aperçu général sur la zone d'étude..... | 16 |
| 1.2 .Le site d'échantillonnage..... | 17 |
| 2.Modalités d'échantillonnage..... | 18 |
| 3.Analyses physico-chimiques..... | 18 |
| 4.Analyse microbiologique (Méthode du MPN)..... | 19 |
| 5.Analyse statistique..... | 19 |

Chapitre III: Résultats

| | |
|---|----|
| 1. Variation du pH dans les parcelles étudiées..... | 22 |
| 2. Variation de la conductivité électrique dans les parcelles étudiées..... | 22 |
| 3. Variation du taux de la matière organique dans les parcelles étudiées..... | 23 |
| 4. Variation du taux de l'azote total dans les parcelles étudiées..... | 24 |
| 5. Variation du rapport C/N dans les parcelles étudiées..... | 25 |
| 6. Variation de la teneur en phosphore assimilable dans les parcelles étudiées..... | 26 |

Chapitre VI: Discussion générale et conclusion

| | |
|--|----|
| Discussion générale et conclusion..... | 28 |
| Références bibliographiques..... | 32 |
| Annexes..... | 37 |

Liste des figures

| Figures | Titre | Page |
|------------------|---|-------------|
| Figure 01 | Localisation géographique de la zone et de la station d'étude | 16 |
| Figure 02 | Diagramme ombrothermique de la zone d'étude (1972-2015) | 17 |
| Figure 03 | (A) parcelle plantée par le figuier de Barbarie ; (B) parcelle sans figuier de Barbarie | 17 |
| Figure 04 | Les étapes de la methode du MPN | 20 |
| Figure 05 | Variation du pH dans les parcelles étudiées | 22 |
| Figure 06 | Variation de la CE dans les parcelles étudiées | 22 |
| Figure 07 | Variation de la MO dans les parcelles étudiées | 23 |
| Figure 08 | Variation du taux d'azote total dans les parcelles étudiées | 24 |
| Figure 09 | Variation du rapport C/N dans les parcelles étudiées | 25 |
| Figure 10 | Variation de la teneur en phosphore assimilable dans les parcelles étudiées | 26 |

Liste des tableaux :

| Tableaux | Titre | Page |
|-------------------|--|-------------|
| Tableau 01 | Classification du sol selon le taux de matière organique | 09 |
| Tableau 02 | Variation du C/N | 11 |
| Tableau 03 | Principaux organismes macroscopiques du sol | 13 |

Introduction générale

Introduction Générale

Selon l'UNCCD (Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification), le terme désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines » (Gentit *et al.*,2012).En effet, les origines de la désertification sont complexes, elles sont à la fois dues à des causes climatiques telles que la sécheresse et humaines, notamment par une mauvaise gestion des ressources naturelles ou par leur surexploitation (Gentit *et al.*,2012).

Quant à la lutte contre la désertification, elle comprend toutes les activités qui améliorent ces terres dégradées en vue d'un développement durable et qui visent à :prévenir et/ou atténuer la dégradation des terres, remettre en état les terres dégradées, lutter contre la pauvreté, améliorer l'instruction et les conditions de santé, développer l'éducation sur la gestion durable des ressources naturelles, et éviter les conflits qui tuent les hommes et détruisent l'environnement

Les Cactées sont originaires des régions sèches d'Amérique allant des États-Unis d'Amérique au Chili, et sont donc des plantes caractéristiques des milieux arides (Silvestri et Silver,1997). Si on prenait le cas du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L.), naturalisé en Afrique du Nord depuis le 16^{ème} siècle (Le Houerou,1995), il a fait l'objet au même titre que les *Atriplex* d'un programme de lutte contre la désertification en Algérie (Mulas et Mulas, 2004).

C'est dans ce contexte que cette étude a été lancée cette année. Autrement dit, elle vise à évaluer les effets d'une plantation de figuier de Barbarie sur quelques paramètres de fertilité du sol, à savoir (le pH, la conductivité électrique, le taux de matière organique, le taux d'azote, la teneur en phosphore assimilable et le potentiel mycorhizogène du sol) et les comparer avec une parcelle en friche ,non plantée par ce végétal.

L'essai a eu lieu dans la station de Ain Zerroug, (Commune de Tébessa) où deux parcelles ont été choisies (Parcelle plantée et autre non plantée).

Ce manuscrit est composé d'une introduction générale, suivie du premier chapitre qui présente des généralités sur la fertilité du sol, puis le chapitre « Matériel et méthodes » où a été décrit le cadre de l'étude et la méthodologie. Les résultats obtenus sont rassemblés dans un chapitre suivi par une discussion générale et une conclusion. À la fin, sont cités les références bibliographiques avec l'annexe.

Chapitre I :
Revue bibliographique

Chapitre I :Revue bibliographique

1. Définition de la fertilité du sol

La fertilité d'un sol est l'aptitude à produire régulièrement de bonnes récoltes. Elle fait appel à la notion de rendement, mais aussi à celles de qualité et la résistance aux maladies. On la distingue de la fertilisation, qui est l'enrichissement du sol en éléments fertilisants assimilables (Chotard et *al.*, 2011). Selon Lhote (2012), c'est aussi, l'aptitude du sol à assurer de façon durable la croissance des plantes et l'obtention de récoltes. Cette aptitude se mesure à l'abondance des récoltes qu'il porte, lorsqu'on lui applique les techniques agricoles qui lui conviennent le mieux et à l'exigence de qualité et de persistance à long terme de cette aptitude à produire (Lozet et Mathieu, 1997).

La fertilité résulte de la combinaison de l'interaction de différentes composantes (Physique, chimique et biologique) qui déterminent l'approvisionnement des plantes en éléments nutritifs, les conditions de croissance et de fonctionnement des racines. Ce concept a été défini par Soltner (1986), comme étant la résultante de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, engendrées par les interactions entre les milieux humains, naturels et techniques.

2. Types de fertilité du sol

La fertilité englobe classiquement trois types de composantes interdépendantes (Merelle, 1998) :

2.1. La fertilité physique

La fertilité physique d'un sol correspond au potentiel de production lié à l'ensemble de ses propriétés physiques (Aération, cohésion, humidité, etc.). Elle dépend de sa topographie, de sa structure et de sa texture.

2.1.1. La texture

La texture est la composition granulométrique du sol. Les constituants minéraux se trouvent dans les sols sous forme de particules de taille très variée, allant de la fraction du micromètre à plusieurs centimètres. Les propriétés physiques des sols en dépendent beaucoup.

La composition granulométrique est définie d'après la proportion des particules minérales du sol inférieures à 2mm, classées après destruction des agrégats, par

Chapitre I :Revue bibliographique

catégories de grosseurs en fractions principales correspondant à une échelle internationale :

- argile : < 2 μm
- limon : 2-20 μm
- limon grossier : 50-200 μm
- sable fin : 200-2000 μm
- éléments grossiers : plus de 2 mm

Plusieurs classes texturales ont été définies, correspondant chacune à des proportions spécifiques des trois principales fractions granulométriques : argiles, limons et sables (Baize et Jabiol, 1998).

Il est important de signaler que la texture permet d'avoir une idée sur la stabilité structurale du terrain étudié. À titre d'exemple, la connaissance de la teneur en argile aide à interpréter les résultats des dosages d'éléments comme la potasse, le magnésium, le phosphore, etc. On considère que la teneur en argile est faible si elle est inférieure à 10%, plutôt faible entre 10 et 15%, moyenne ou élevée de 25 à 35% et très élevée au-dessus de 35 à 40%. On détermine de la même façon des teneurs faibles, moyennes ou élevées des autres particules (Sable et limon) (Pousset, 2002).

2.1.2. La structure

La structure est un arrangement spatial des particules minérales du sol et leur éventuelle liaison par des matières organiques, des hydroxydes de fer ou d'alumine ou des deux. L'assemblage de ces particules solides forme des unités structurales qui sont séparées par des surfaces de moindre résistance. Ces unités sont appelées agrégats élémentaires, peds, unités structurales ou éléments structuraux (Lozet et Mathieu, 2002 ; Baize et Jabiol, 2011). Les plus principales sont :

- la structure particulaire,
- la structure massive et,
- la structure fragmentaire

La fertilité physique détermine les conditions de germination des semences, de colonisation efficace des racines, d'aération et d'économie en eau et ce, à travers une structure meuble, perméable et aérée du sol, retenant l'eau et en évacuant les excès.

Chapitre I :Revue bibliographique

2.1.3. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice de sa teneur en sels solubles. Elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon, c'est-à-dire son degré de salinité. Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs de charges électriques augmentent.

La CE est exprimée en mmhos.cm^{-1} ou dS.m^{-1} , à une température de 25°C , ou en gramme de NaCl par litre en utilisant un diagramme qui établit la correspondance entre la CE et le NaCl. Il y a aussi la possibilité d'exprimer cette salinité en extrait sec, après évaporation, ramené en gramme par Kilo de terre (Mathieu et Pieltain, 2009).

2.2. La fertilité chimique

La fertilité chimique a trait à la nutrition minérale des végétaux, via les concepts de biodisponibilité des éléments, de carences, de toxicité et d'équilibre.

Deux propriétés peuvent être prises en compte : la Capacité d'Echange Cationique (CEC) et le pH.

2.2.1. La Capacité d'Echange Cationique

La CEC est une mesure du nombre de charges négatives existant dans le sol. Ces dernières vont fixer les cations, éléments nutritifs pour les végétaux (Potassium, magnésium, etc.). Elle donne donc d'une certaine façon la grandeur du « réservoir » de la terre étudiée.

Deux mesures pour cela : le pH qui, plus il est élevé et plus le remplissage est important et le taux de saturation de la CEC, exprimé en % dans les terrains très calcaires (Pousset, 2002).

La CEC est due aux substances colloïdales électronégatives telles que les minéraux argileux, la matière organique et la silice colloïdale (Baize, 2000 ; Lozet et Mathieu, 2002).

Chapitre I :Revue bibliographique

2.2.2. Le pH

Le pH est une notion à laquelle on attache beaucoup d'importance dans l'analyse des sols agricoles. Le potentiel hydrogène exprime la teneur en hydrogène libre d'une solution de sol soit dans l'eau (pH_{eau}), soit le chlorure de potassium (pH_{KCl}) (Pousset, 2002).

Sa mesure rend compte de la concentration en ions H_3O^+ à l'état dissocié dans le liquide surnageant. Ces ions sont en équilibre avec ceux présents à l'état non dissocié, fixé sur certains composants solides du sol tels que, les minéraux argileux, les matières organiques et certains composés dans lesquels, l'aluminium est associé à des molécules d'eau et à des OH^- .

Il s'exprime selon une échelle de 0 à 14. Les valeurs faibles indiquent une acidité alors que les valeurs supérieures à 7 correspondent à un caractère basique (Baize, 2000). Dans ce cas, le sol peut contenir du carbonate de calcium (Mathieu et Pieltain, 2009).

Quand le sol est acide, la biomasse microbienne est moins importante. Des auteurs ont constaté par exemple, que sous prairies pâturées composées de ray-grass anglais, une diminution du pH de 5.4 à 4.7, survenue suite à l'interruption pendant deux ans de toute fertilisation et de chaulage, a conduit à une baisse de 18 % de la biomasse microbienne (Bardgett et Leemans, 1995 in ITAB, 2002). En revanche, l'apport de la chaux en sol acide peut conduire à une augmentation de la biomasse microbienne. Le pH du sol influence également le type de populations microbiennes. Ainsi dans les sols acides, il y a prédominance de champignons (ITAB, 2002).

Le pH du sol, indicateur des conditions physicochimiques de la solution du sol, exerce un effet direct sur la biodisponibilité des nutriments, à travers des phénomènes de solubilisation et d'insolubilisation propres à chaque élément.

2.2.3. Le calcaire

Le calcaire est un carbonate de calcium. Il se présente sous la forme de particules plus ou moins grosses. Du point de vue purement granulométrique, ces particules sont analogues aux autres grains de sable mais du point de vue chimique, elles sont différentes. En effet, les plus fines et les plus poreuses d'entre elles peuvent libérer du calcium qui tend à neutraliser les acides et donc à rendre la terre plus basique (Pousset, 2002).

Le calcaire est source de calcium qui favorise la formation du complexe argilo-humique en agglutinant l'argile, permet le maintien et éventuellement le relèvement du pH du sol,

Chapitre I :Revue bibliographique

régularise l'assimilation d'autres éléments (Magnésium, potassium), favorise la migration des glucides vers les tissus de réserve des plantes et jouerait un rôle d'économiseur d'eau (Pousset, 2002).

2.2.4. La matière organique

Les débris végétaux de toute nature, feuilles, rameaux morts qui tombent sur le sol, constituent la source essentielle de la matière organique. Dès leur arrivée au sol, ils sont plus ou moins rapidement décomposés par l'activité biologique (Mathieu et Pieltain, 2009).

La matière organique est peu à peu transformée pour donner naissance, d'une part, à des éléments solubles ou gazeux comme l'ammoniac NH_3 , l'acide nitreux HNO_2 et le gaz carbonique CO_2 , et d'autre part des complexes humiques (l'humus) qui se décomposeront, se minéraliseront très lentement et très progressivement (Mathieu et Pieltain, 2009). Ainsi, la connaissance de sa teneur totale dans le sol renseigne sur sa potentialité fertilisante. Sa présence est importante dans la « fabrication » des agrégats, grâce, en particulier, à ses propriétés électrochimiques permettant la création de complexes argilo-humiques, rendant le sol plus stable (Baize et Jabiol, 2011).

Le terme matière organique du sol regroupe l'ensemble des constituants organiques morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, transformés ou non, présents dans le sol. Elles représentent en général 1 à 10% de la masse des sols (Chaussod, 1996). Les principales formes de matière organique sont :

- matière organique directement observable: sous forme de constituants individualisés, visibles à l'oeil nu, dont l'origine et la nature sont encore identifiables (Débris de feuilles, d'aiguilles, de brindilles), ou non identifiables (Boulettes fécales, débris en cours de décomposition...)
- matière organique non directement observable, mais dont la présence est décelée par des critères de couleur essentiellement, généralement sur l'ensemble de l'horizon, parfois en tâches.
- matière organique décelable sous forme de revêtement (Baize et Jabiol, 2011).

Pour la plupart des sols cultivés, les teneurs relatives en éléments chimiques sont variables. Cependant, les teneurs des quatre principaux éléments, le carbone, l'azote, le phosphore et le soufre sont moyennes. Les rapports sont de 140/10/1.3/1.3 (Stevenson, 1994). Le rapport entre la teneur en carbone et la teneur en azote est habituellement notée C/N (Calvet *et al.*, 2011). Il renseigne sur l'état qualitatif de la matière organique. Le statut

Chapitre I :Revue bibliographique

organique est généralement évalué par la mesure de la concentration totale en carbone organique (COT) et en azote (NT) dans les sols.

2.2.4.1. Le carbone

La quantité totale de carbone de la matière organique des sols n'est pas connue avec précision en raison des incertitudes dues à l'hétérogénéité des sols. La quantité de carbone organique est très variable selon le type de sol mais elle dépend aussi d'autres facteurs : le temps, le climat, la roche parentale et la topographie (Calvet, 2003).

L'analyse de cet élément est généralement conduite par voie humide à froid, ou plutôt sous réaction exothermique naturelle, selon la méthode de Walkley et Black, ou à chaud, selon la méthode de Anne ou encore Springer-Klee. Le choix tient à la recherche de précision soit encore aux moyens disponibles (Mathieu et Pieltain, 2009)

Bien que ces méthodes de dosage par oxydoréduction aient l'avantage de nécessiter un équipement relativement simple, et de présenter actuellement de très nombreuses séries de résultats de référence, leur inconvénient majeur réside dans le fait qu'elles admettent sans que ce soit exact, une valeur constante pour le degré d'oxydation du carbone dans la matière organique. Le passage de la teneur en carbone à la teneur en matière organique totale s'effectue généralement en multipliant la teneur en carbone par le coefficient 1.72 (Mathieu et Pieltain, 2009).

La teneur en matière organique du sol est extrêmement variable selon la teneur et la quantité de la couverture végétale du sol, la profondeur du sol, le type de sol, le climat, le mode d'utilisation du sol, etc.

Tableau 1. Classification du sol selon le taux de matière organique (Soltner, 1981 in Gouasmi, 2012)

| Taux de la matière organique (%) | Appréciation |
|----------------------------------|--------------------|
| <1 | Extrêmement faible |
| 1-1.5 | Très faible |
| 1.5-2.5 | Faible |
| 2.5-3.5 | Moyenne |
| 3.5-4.5 | Moyennement élevée |
| 4.5-5 | Elevée |
| >5 | Très élevée |

Les méthodes de dosage du carbone les plus connues sont celles de :

Chapitre I :Revue bibliographique

-Méthode Walkley et Black modifiée : la détermination du carbone organique est basée sur l'oxydation de ce dernier par le bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acide sulfurique (source de chaleur) (Mathieu et Pieltain, 2009)

-Matière organique par la méthode Walkley et Black : l'extraction du carbone est effectuée au bichromate de potassium en milieu sulfurique à froid. Le dosage du carbone extrait est réalisé par colorimétrie (couleur verte des ions Cr trivalents) à 590-600 nm (Alouti *et al.*, 2008).

-Méthode de Anne (Titrimétrie) dont le principe est le même que celui exposé dans la méthode Walkley et Black. Le carbone organique est oxydé par le bichromate de potassium. La quantité de bichromate non consommé en retour est dosée par le sulfate ferreux (Sel de Mohr) (Mathieu et Pieltain, 2009).

La méthode Anne combine l'oxydation de la matière organique d'un échantillon de sol par un excès de dichromate de potassium en milieu sulfurique à ébullition et la titration en retour de l'excès de dichromate de potassium en présence d'un indicateur (Bonneau et Souchier, 1995).

-Méthode de Anne modifiée (Spectrophotométrie) ayant le même principe que la précédente, à savoir que le carbone organique est oxydé par le bichromate de potassium en excès, en milieu sulfurique à 135°C. Le chrome +VI(Cr^{6+}) est réduit par le carbone organique en chrome +III(Cr^{3+}). On admet alors que la quantité d'ions chromiques (Cr^{3+}) formés est proportionnelle à la quantité de carbone organique contenu dans la prise d'essai. Les ions chromiques (Cr^{3+}) sont dosés par spectrophotométrie (Mathieu et Pieltain, 2009).

-Méthode du Carmhographe : la matière organique d'un échantillon de terre est oxydée sous courant d'oxygène successivement dans un four porté à 1000°C (Four 1) et dans un four de postcombustion où la transformation en CO_2 devient complète (Catalyseur= CuO) (Mathieu et Pieltain, 2009). Si la combustion est trop rapide dans le four 1, il y a production de CO qui sera oxydé dans le four de postcombustion.

Cette méthode présente une très grande reproductibilité et est très précise pour de très faibles quantités de carbone de l'ordre du mg. Elle ne peut pas être utilisée pour les sols calcaires (Mathieu et Pieltain, 2009)

2.2.4.2. L'azote

La plus grande partie de l'azote du sol est sous forme organique (90%). Le reste est environ 10%, correspondant à de l'ammonium fixé sur les minéraux argileux. La teneur moyenne de la couche de surface des sols cultivés est de l'ordre de 0.06 à 0.3 %. L'azote organique est un compartiment clé du cycle biogéochimique de l'azote et joue un rôle très important dans la

Chapitre I :Revue bibliographique

nutrition azotée des plantes et dans les processus de pollution des eaux (Calvet, 2003). Il se trouve dans toutes les fractions de la matière organique du sol, dans des composés très divers, libres ou liées aux minéraux et aux substances humiques (Calvet, 2003).

L'azote total d'un sol constitue « la réserve » globale d'azote contenue dans l'humus, réserve dont la rapidité de mobilisation (par minéralisation) est très variable suivant le type d'humus (Mull, mor, moder). Selon Mathieu et Pieltain (2009), la teneur en azote total est un bon indice de fertilité, à condition d'être interprétée en fonction du rapport C/N.

La méthode la plus couramment employée est celle de Kjeldhal avec distillation, dont le principe est que la matière organique azotée de l'échantillon est minéralisée par l'acide sulfurique concentré à chaud (Action oxydante de H₂SO₄). Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de dioxyde de carbone et l'eau. L'azote transformé en ammoniac est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammoniaque.

2.2.4.3. Le rapport C/N

Le rapport C/N (Carbone total sur azote total du sol) renseigne sur le degré d'évolution de la matière organique du sol sous l'influence des micro-organismes (Schvartz *et al.*, 2005). Boyer (1982, in Hamouni *et al.*, 2004) propose la classification suivante qui varie selon la texture du sol:

Tableau 02. Variation du C/N (Boyer, 1982 in Hamouni *et al.*, 2004)

| Rapport C/N | Etat du sol |
|--------------------|--|
| <9 | Minéralisation trop rapide de la MO. Une fourniture excédentaire de l'azote aux plantes |
| 9-12 | Minéralisation normale de la MO due à une bonne activité microbienne |
| 12-25 | Processus d'accumulation de la MO qui l'emporte sur la minéralisation. Vie microbienne ralentie, risques d'apparition de carence |
| >25 | Arret de la minéralisation |

Chapitre I :Revue bibliographique

2.2.5. Le phosphore

Il intervient dans plusieurs phénomènes de la vie végétale (Multiplication des cellules, fructification, respiration ...) et se trouve dans diverses combinaisons organiques. Il favorise le développement des racines et donc indirectement, la résistance des plantes à la sécheresse (Pousset, 2002). Trois méthodes analytiques sont utilisées:

a- La méthode Joret-Hébert : l'extraction est réalisée à l'oxalate d'ammonium. La technique serait intéressante essentiellement pour les terres dont le pH est supérieur à 6.8 (Pousset, 2002).

b-La méthode Dyer : cette méthode utilise comme solution d'extraction, l'acide citrique à 2% à pH=2. Elle est reconnue satisfaisante pour les sols neutres ou acides. Elle est aussi utilisée dans le cas des sols déjà enrichis par les engrais phosphatés (Mathieu et Pieltain, 2009).

c-La méthode Olsen : l'extraction est faite avec de l'hydrogénocarbonate de sodium dans une solution dont le pH est égal à 8.5. C'est une méthode assez pratiquée et intéressante qui s'applique à la plupart des sols. La terre et l'extractif sont agités pendant une demi-heure puis sont laissés au repos pendant vingt quatre heures pour le dosage (Pousset, 2002).

2.2.6. Le soufre

La teneur des sols en soufre organique varie approximativement comme celle en carbone organique. La plus grande partie du soufre se trouve dans le sol sous forme organique car la forme inorganique SO_4^{2-} ne reste pas dans le sol (Calvet, 2003). Le soufre des matières organiques peut évoluer vers les sulfates ou les sulfures selon les conditions du milieu et l'activité microbienne qui leur est liée.

2.2.7. Oligoéléments

Les oligoéléments sont aussi appelés élément-traces, micro-éléments ou éléments mineurs ou micro-élément nutritifs puisqu'ils ont à la fois le rôle nutritif indispensable et la présence en très petite quantité (Mathieu et Pieltain, 2009).

Parmi les éléments traces, on peut distinguer trois catégories principales:

*celle des éléments indispensables à la vie ou oligoéléments, comme le Cu, Zn, Fe, Mn, B, Mo.

*celle des éléments indifférents, pour lesquels aucun rôle n'a été reconnu dans les processus vitaux.

Chapitre I :Revue bibliographique

*celle des éléments indésirables, dont la présence à partir d'une certaine concentration s'avère préjudiciable pour les êtres vivants comme le Pb, Cd, Hg, et autres (Mathieu et Pieltain, 2009).

2.3. La fertilité biologique

La fertilité biologique est liée à l'activité biologique dont dépendent les transferts des nutriments du sol à la plante ainsi que la minéralisation des matières organiques apportées. Elle concerne les facteurs biologiques, à savoir, les microorganismes, la faune du sol et le couvert végétal. Leurs caractéristiques ont une influence sur les biotransformations. Ils n'agissent pas indépendamment des autres facteurs liés au milieu et de ceux liés aux substrats (Calvet *et al.*, 2011).

2.3.1. La faune du sol

La faune exerce plusieurs actions à l'égard de la dynamique des matières organiques et donc du carbone et de l'azote. Les organismes vivants du sol sont des bactéries, des champignons, des algues, les parties souterraines des plantes ainsi que des animaux très variés, des protozoaires aux mammifères. Ils participent tous d'une manière ou d'une autre à la formation et à l'évolution du sol (Calvet *et al.*, 2011).

Tableau 02. Principaux organismes macroscopiques du sol (Chaussod, 1996)

| Types d'organismes | Nombre par m ² ou par gramme de sol |
|------------------------------|--|
| Semences de mauvaises herbes | 10 ³ à 10 ⁴ |
| Lombriciens | 10 ¹ à 10 ³ |
| Mollusques | 10 ² à 10 ³ |
| Enchytreides | 10 ² à 10 ⁵ |
| Arthropodes > 1 mm | 10 ² à 10 ³ |
| Arthropodes < 1 mm | 10 ³ à 10 ⁴ |
| Nématodes | 10 ⁶ à 10 ⁸ |
| Protozoaires | 10 ³ à 10 ⁵ |
| Algues | 10 ² à 10 ⁴ |
| Bactéries | 10 ⁸ à 10 ⁹ |
| Champignons | 10 ⁴ à 10 ⁶ |

2.3.2. La biomasse microbienne

Elle est considérable et s'exprime à la fois par la diversité des populations et par la diversité fonctionnelle. La capacité du sol à retrouver un état semblable à son état initial après des stress (Par exemple : variations d'acidité, de température ou présence de substances toxiques) et que l'on appelle la résilience est probablement liée à cette diversité (Calvet *et al.*, 2011).

Leur rôle dans les biotransformations des matières organiques est primordial par les multiples enzymes qu'ils synthétisent. Les microorganismes représentent une biomasse de 1 à 4% du carbone organique du sol, cette proportion étant souvent plus grande pour les sols sous prairies que pour les sols cultivés (Sparling, 1998 in ITAB, 2002). Ce sont des bactéries, des actinomycètes, des champignons et des algues. Deux caractéristiques ont une importance à cet égard : la biomasse et la biodiversité microbienne (Calvet *et al.*, 2011).

La diversité nutritionnelle des microorganismes est un autre aspect intéressant de la relation entre la biodiversité et les biotransformations des matières organiques. Les populations microbiennes présentent une grande capacité enzymatique à l'égard des substrats, ce qui se traduit par une succession de microorganismes au cours de la dégradation des résidus végétaux et donc de l'intervention successive de plusieurs enzymes, protéinases, hydrolases (Nobili *et al.*, 2001).

La matière organique vivante (MOV) correspond à l'ensemble des microorganismes de sol (Bactéries, champignons...). Elle est évaluée par la méthode fumigation-extraction (Chaussod *et al.*, 1988).

Cette méthode consiste à tuer les organismes vivants du sol à l'aide de vapeurs de chloroforme, puis à mesurer la quantité de carbone (d'origine vivante) qui est générée par ce traitement. Elle est basée sur la comparaison entre le carbone organique extractible d'un échantillon fumigéné et celui d'un échantillon témoin du même sol non fumigéné. Le supplément de carbone rendu extractible par la fumigation est directement proportionnel à la biomasse microbienne présente.

2.3.3. Le potentiel mycorhizogène du sol (MPN ou PEM)

Elle consiste à estimer la richesse en champignons endomycorhiziens du sol c'est-à-dire le nombre de propagules de champignons par kg de sol, capables d'engendrer une mycorhization des racines. Le PEM permet de mettre en évidence un état biologique de la parcelle et peut servir d'indicateur biologique pour gérer la parcelle. Un PEM élevé est le reflet d'un bon état biologique du sol. Le PEM est jugé acceptable autour de 1500, et trop faible en dessous de 500 (Chantelot, 2003).

2.3.4. Autres méthodes

D'autres méthodes analytiques, comme la respirométrie, les mesures enzymatiques ou de l'ATP, donnent des indications intéressantes sur le comportement des microorganismes et de la matière organique du sol (Schvartz *et al.*, 2005).

Chapitre II :
Matériel et méthodes

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Présentation du cadre de l'étude

1.1. Aperçu général sur la zone d'étude

La station de Ain Zeroug, lieu de notre étude se trouve dans la commune de Tébessa. Cette wilaya qui occupe une superficie de 13.878 km², est située au nord-est du pays, à 40 km de la frontière algéro-tunisienne. Elle est limitée au nord par la wilaya de Souk-Ahras, à l'ouest par la wilaya d'Oum El Bouaghi et la wilaya de Khenchela, au sud par la wilaya d'El Oued et à l'est par la Tunisie (Fig. 2).



Figure 01. Localisation géographique de la zone et de la station d'étude (*).

D'après l'analyse climatique faite par Zerrougui et Zemmali (2015) sur une période de 43 ans (1972-2015), la région de Tébessa possède un climat typiquement semi-aride de type continental (Hiver froid et été chaud) avec des températures moyennes annuelles de 15.82°C avec un maximum au mois de juillet avec 27.27°C et un minimum au mois de janvier avec 6,47°C. Les précipitations moyennes annuelles sont estimées à 345 mm, avec un maximum de 43.33 mm pour le mois de septembre et un minimum pour le mois de juillet avec une moyenne de 14.36 mm.

Le diagramme ombrothermique (Fig.2) sépare une période pluvieuse où la courbe des pluies passe au-dessus de celle des températures qui s'étale du mois de novembre au mois d'avril (Environ 6 mois), et une période sèche qui se situe entre les mois de mai et septembre.

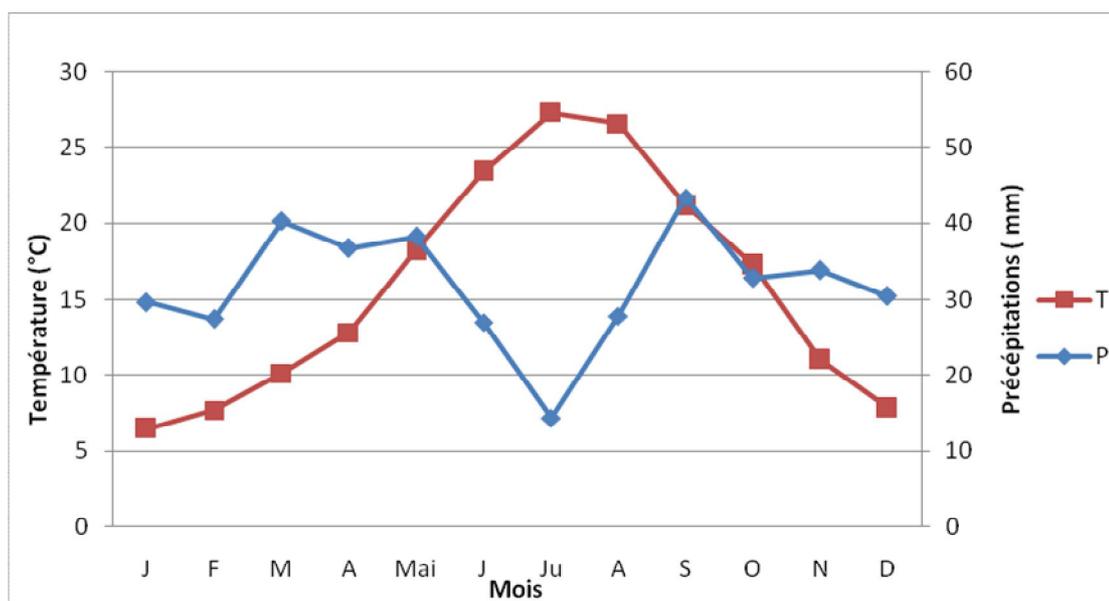


Figure 02. Diagramme ombrothermique de la zone d'étude (1972-2015).

1.2 . Le site d'échantillonnage

Le site de Ain Zeroug se trouve à 10 km à l'ouest de Tébessa sur la route nationale n°10. Deux parcelles ont fait l'objet de prélèvement du sol (Fig. 3):

*La première parcelle (**A**): il s'agit d'une plantation de figuier de Barbarie d'une superficie d'un hectare. Elle se trouve à une altitude 838 m, d'une latitude de 35°44'.8'' et une longitude de 8° 00'13''.

*La deuxième parcelle (**B**) : il s'agit d'une parcelle en friche (Abandonnée). Elle constitue la parcelle-témoin, d'une superficie d'un hectare. Elle se situe à une altitude de 828 m, d'une latitude de 35°44' 9'' et une longitude de 8° 00'28''.



Figure 03. (A) parcelle plantée par le figuier de Barbarie ; (B) parcelle sans figuier de Barbarie (cliché Salmi et Zerfaoui, avril 2016).

2. Modalités d'échantillonnage

Dans chaque parcelle et à l'aide d'un piochon, sur une profondeur de 10 à 15 cm, 10 points de prélèvements ont été effectués aléatoirement. Dans la parcelle plantée par le figuier de Barbarie, deux types de prélèvements ont été réalisés, aussi bien au pied de l'arbuste qu'au milieu de l'espace entre les lignes plantées par le figuier (Fig. 03). Les sous-échantillons prélevés sont mélangés pour constituer un échantillon-composite.

Chapitre II : Matériel et méthodes

Pour la parcelle non plantée, les échantillons sont pris de la même manière que la précédente. Après un séchage à l'air ambiant de 10 jours, un tamisage au moyen d'un tamis de 2 mm est opéré sur les échantillons de sols afin qu'ils subissent les analyses pédologiques prévues.

3. Analyses physico-chimiques

Les analyses sont réalisées sur la terre fine de chaque parcelle. Chaque paramètre a fait l'objet de trois à cinq répétitions :

- le pH et la conductivité électrique (CE) sur une suspension sol-eau (1/5)
- le carbone organique est dosé par la méthode de Anne (Bonneau & Souchier, 1994) par oxydation du carbone avec le bichromate de potassium en excès ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acide et dosage de la quantité de bichromate non consommée en retour par le sel de Mohr. Le pourcentage de la matière organique est estimé en multipliant le taux de carbone par 1.72 (Mathieu & Pieltain, 2003)
- l'azote total a été déterminé par la méthode de Keldjahl décrite par Bonneau et Souchier (1994). Elle consiste à une minéralisation de la matière organique azotée par l'acide sulfurique concentré à chaud. L'azote transformé en ammoniac est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammonium,
- le phosphore assimilable est déterminé par la méthode d'Olsen (Mathieu & Pieltain, 2003) suite à une extraction avec une solution de bicarbonate de sodium à 0.5 M.

Le détail de chaque méthode est décrit en annexe 1

4. Analyse microbiologique (Méthode du MPN)

Il s'agit d'un test biologique basé sur une relation de type dose (quantité de sol non stérilisé)-réponse (statut mycorhizien des plants test) (Fig.05).

Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode du nombre le plus probable (MPN : Most Probable Number) décrite par Alexander (1965). L'estimation de ce paramètre est obtenue après dilution des propagules du sol et leur piégeage par une plante hôte-test à forte dépendance endomycorizienne, une herbacée, le poireau (*Allium porum* L.) (Annexe 1).

5. Analyse statistique

La variation des différents paramètres dans les parcelles a été testée par une analyse de la variance (ANOVA) au niveau $\alpha = 0.05$ afin de voir l'effet des facteurs étudiés (Type de plantation : plantée ou non plantée et type de prélèvement : au pied de l'arbuste et au milieu de l'espacement interligne). Les ANOVAs significatives ont été suivies par une comparaison multiple des moyennes à l'aide du test de Tukey.

Chapitre II : Matériel et méthodes

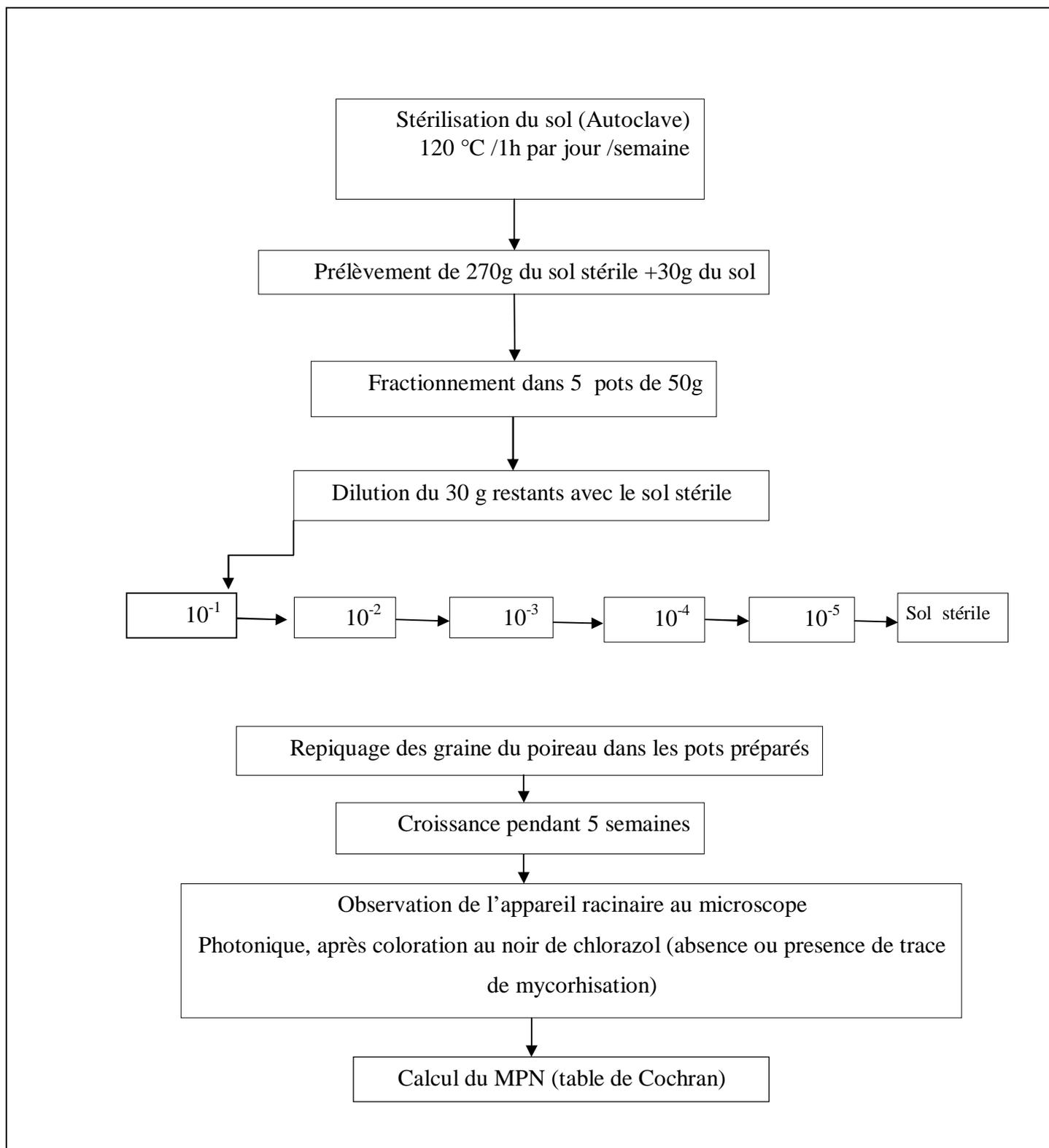


Figure 04. Les étapes de la méthode du MPN.

Chapitre III : Résultats

1. Variation du pH dans les parcelles étudiées

La variation de la valeur du pH dans les parcelles étudiées est présentée par la figure 05.

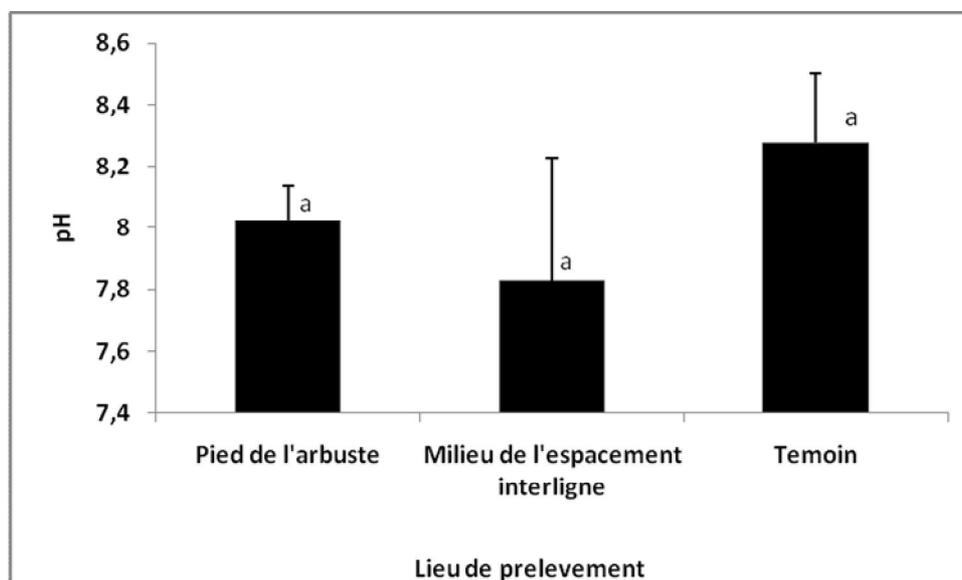


Figure 05. Variation du pH dans les parcelles étudiées (Les valeurs mentionnées sur la figure sont des moyennes de cinq répétitions (\pm Erreurs standard). Les valeurs suivies de la même ne sont pas statistiquement significatives au niveau $P=0.05$).

Le pH de la parcelle témoin a enregistré une valeur moyenne de 8.27. Il diminue dans la parcelle plantée par le figuier de Barbarie avec une valeur moyenne de 8.02 au pied de l'arbuste et 7.82 au milieu de l'espace interligne. L'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative sur la variation du pH suivant le type de plantation ($F_{(1,12)} = 2.12$; $P = 0.170$) ou le lieu de prélèvement ($F_{(1,12)} = 1.313$; $P = 0.27$) (Annexe 2).

2. Variation de la conductivité électrique dans les parcelles étudiées

La figure 06 montre la variation de la conductivité électrique dans les parcelles étudiées. Ce paramètre a atteint une valeur moyenne de $263.8\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la parcelle témoin. Cette valeur diminue dans la parcelle plantée par le figuier de Barbarie avec des valeurs moyennes de $133.48\mu\text{S}/\text{cm}$ et $140\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivement au pied de l'arbuste et au milieu de l'espace interligne.

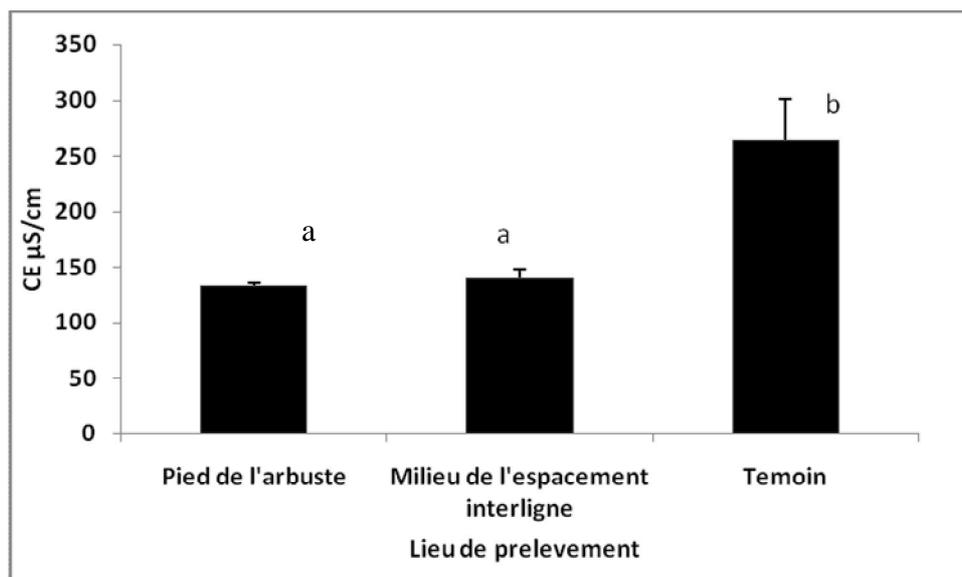


Figure 06. Variation de la CE dans les parcelles étudiées (Les valeurs mentionnées sur la figure sont des moyennes de cinq répétitions (\pm Erreurs standard), Les différentes lettres (a,b) indiquent une différence statistiquement significative ($P < 0.05$).

L'analyse de la variance a révélé une différence significative sur la variation de la CE suivant le type de plantation ($F_{(1,12)} = 89.70$; $P < 0.001$) et aucune différence significative pour le facteur, le lieu de prélèvement ($F_{(1,12)} = 0.24$; $P = 0.62$) (Annexe 2).

3. Variation du taux de la matière organique dans les parcelles étudiées

La figure 07 montre la variation du taux de matière organique dans les parcelles étudiées. La parcelle plantée a enregistré la même valeur de matière organique au niveau des 2 points de prélèvement, avec une valeur de 3.74% au pied de l'arbuste et 3.73% au milieu de l'espace interligne. En parallèle, la parcelle témoin a indiqué une valeur moyenne de 2,74%. L'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative sur la variation de la matière organique suivant le type de plantation ($F_{(1,6)} = 0.81$; $P = 0.40$) ou le lieu de prélèvement ($F_{(1,6)} = 0.00015$; $P = 0.99$) (Annexe 2).

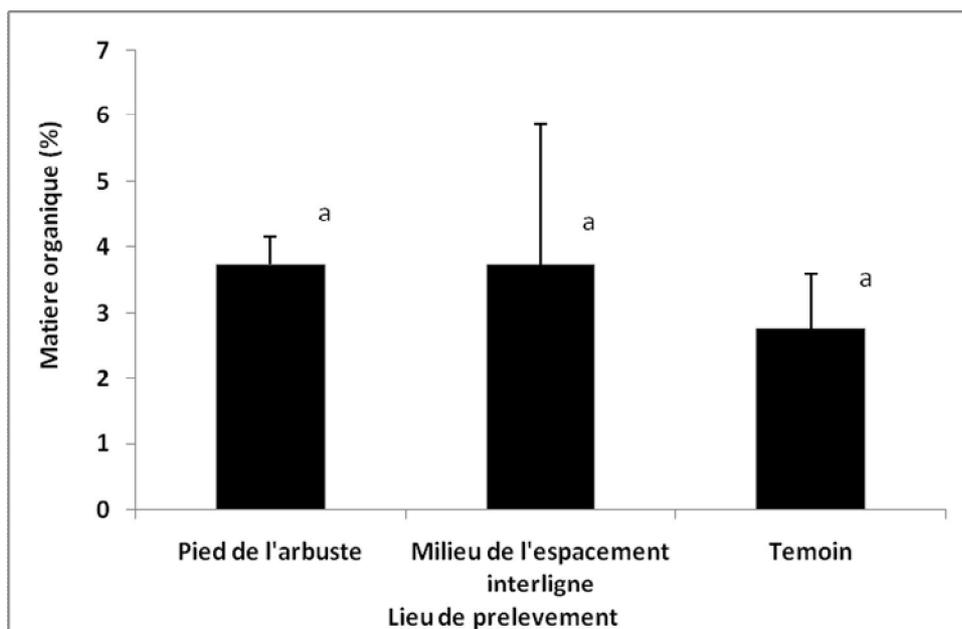


Figure 07. Variation de la MO dans les parcelles étudiées (Les valeurs mentionnées sur la figure sont des moyennes de trois répétitions (\pm Erreurs standard). Les valeurs suivies de la même ne sont pas statistiquement significatives au niveau $P=0.05$).

4. Variation du taux de l'azote total dans les parcelles étudiées

Les résultats relatifs à ce paramètre sont indiqués sur la figure 08. Le taux d'azote a atteint 0.26% dans la parcelle témoin. Il baisse légèrement jusqu'à 0.23% dans la parcelle plantée au pied de l'arbuste pour augmenter à 0.30% au milieu de l'espace interligne.

L'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative sur la variation du taux d'azote suivant le type de plantation ($F_{(1,6)} = 0.43$; $P=0.53$) ou le lieu de prélèvement ($F_{(1,6)}=2.13$; $P=0.19$) (Annexe 2).

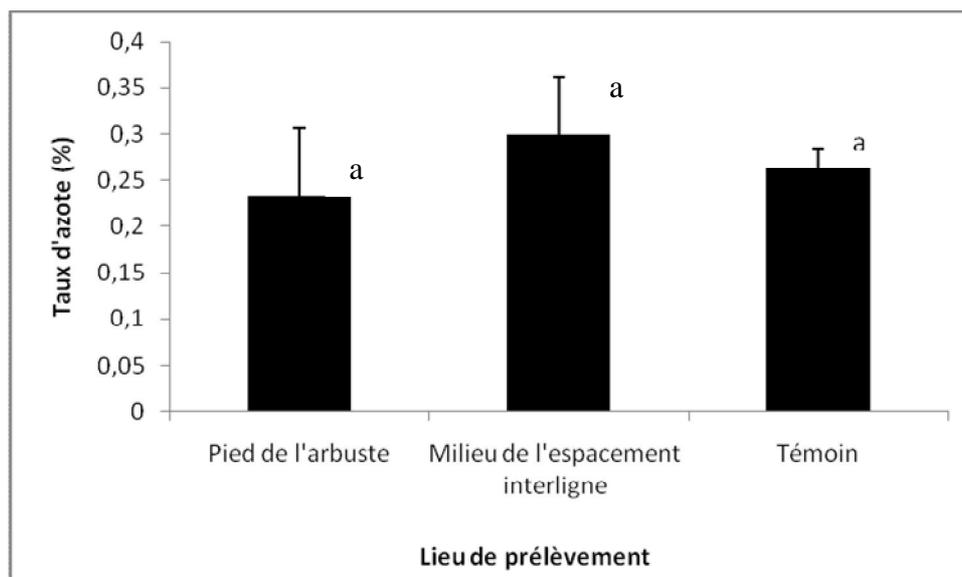


Figure 08. Variation du taux d'azote total dans les parcelles étudiées (Les valeurs mentionnées sur la figure sont des moyennes de trois répétitions (\pm Erreurs standard). Les valeurs suivies de la même ne sont pas statistiquement significatives au niveau $P=0.05$).

5. Variation du rapport C/N dans les parcelles étudiées

Les valeurs du C/N (Fig. 09) sont de 6 dans la parcelle témoin, 9 dans la parcelle plantée au pied de l'arbuste et 7 au milieu de l'espace interligne.

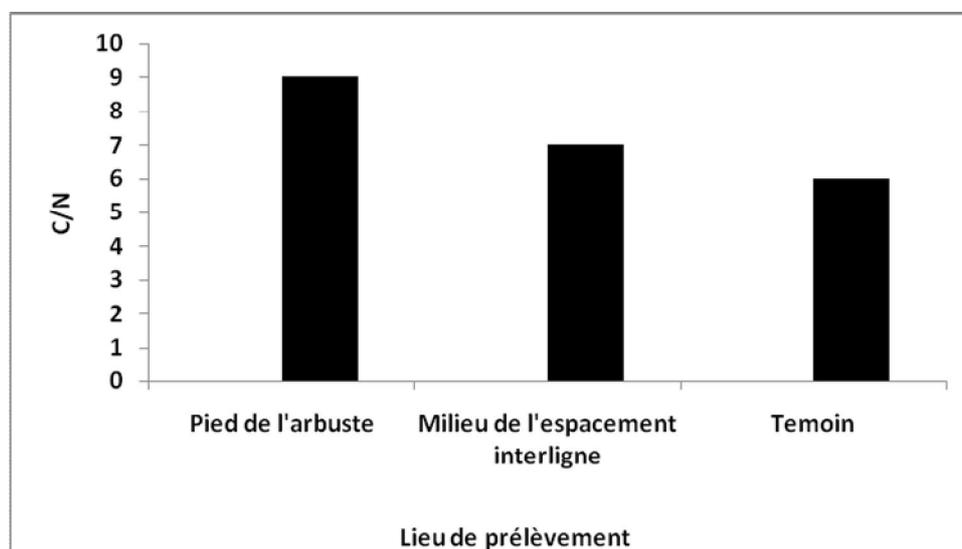


Figure 09. Variation du rapport C/N dans les parcelles étudiées.

6. Variation de la teneur en phosphore assimilable dans les parcelles étudiées

La variation de la teneur en phosphore assimilable dans les différentes parcelles est signalée par la figure 10.

Chapitre III : Résultats

Dans la parcelle plantée, au pied de l'arbuste, la teneur en phosphore assimilable est de 26.61ppm. Elle diminue au milieu de l'espacement interligne, pour afficher une valeur de 9.37ppm. La parcelle témoin a enregistré à son tour une valeur de 11.58ppm.

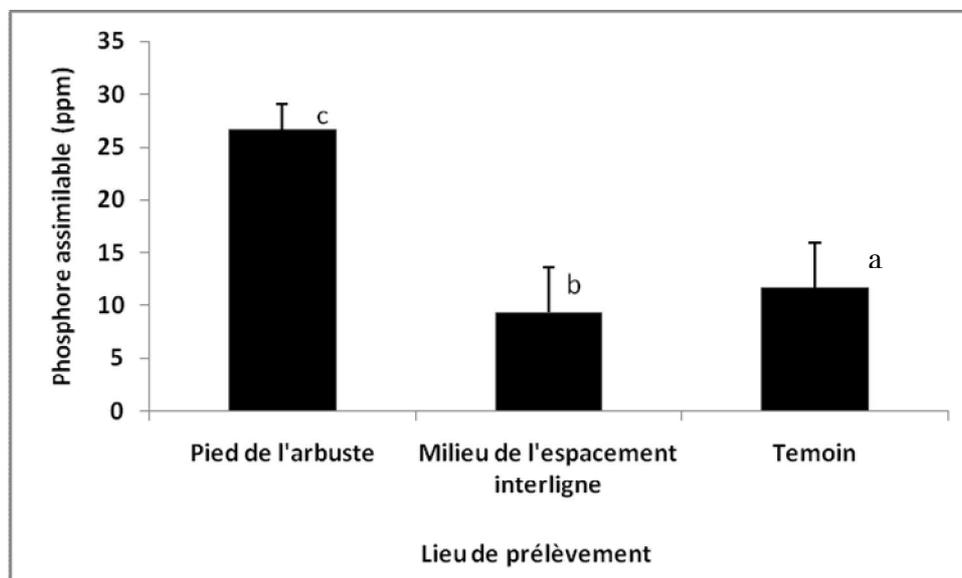


Figure 10. Variation de la teneur en phosphore assimilable dans les parcelles étudiées (Les valeurs mentionnées sur la figure sont des moyennes de trois répétitions (\pm Erreurs standard), Les différentes lettres (a,b) indiquent une différence statistiquement significative ($P < 0.05$).

L'analyse de la variance a révélé des effets significatifs sur la variation de la teneur en phosphore suivant le facteur type de plantation ($F_{(1,6)} = 23.65$, $P < 0.01$). Il y a aussi une différence significative selon le lieu de prélèvement ($F_{(1,6)} = 31.11$; $P < 0.01$).

Chapitre iv :
Discussion Générale et Conclusion

Chapitre iv : Discussion Générale et Conclusion

L'objectif de ce travail était de comparer entre une parcelle plantée par le figuier de Barbarie, espèce utilisée dans la lutte contre la désertification (Mulas et Mulas, 2004) et une parcelle non plantée, sans être dénudée. Cette comparaison a été faite sur la base de quelques paramètres pédologiques en ayant pour hypothèse que le figuier de Barbarie pourrait améliorer qualitativement le sol. Parmi ces paramètres : le pH, la CE, le taux de matière organique, le taux d'azote total, la teneur en phosphore assimilable et le potentiel mycorhizogène du sol.

En dépit des variations observées, la présence du figuier de Barbarie ne semble avoir un effet statistiquement significatif sur tous les paramètres sus-cités, comparé à la parcelle-témoin.

***Le pH :** En dépit des variations observées dans les différents points de prélèvement, le pH reste alcalin selon le référentiel pédologique de Baize et Jabiol (1995), traduisant un sol saturé ou calcaire (Vorobyova *et al.*, 1991 in Madani, 2008). Ce paramètre est principalement affecté par la roche mère (Rezaei & Gilkes, 2005). En effet, les analyses du sol effectuées sur la même parcelle par Laaboudi (2014) ont révélé un sol modérément calcaire du fait de l'origine calcaire de la région (Halitim, 1988). Cette alcalinité revient aussi au faible lessivage, étant donné les faibles précipitations des régions semi arides (Wezel *et al.* 2000).

*** La CE:** les valeurs obtenues ont révélé un sol non salé (Mathieu et Pielain, 2003) au niveau des 2 parcelles. Ce qui va dans le sens inverse où il a été signalé que la désertification et l'érosion éolienne contribuent à l'accumulation des sels à la surface du sol (Li *et al.*, 2006).

***MO (%) :** cette variable influence une large bande de propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et est le plus important et sensible indicateur de la qualité du sol, de la santé des parcours et leur durabilité (Rezaei & Gilkes, 2005). Elle est un facteur de stockage des nutriments surtout dans les sols pauvres (Zhou *et al.*, 2008), cas des sols de la région méditerranéenne (Aranda & Oyonarte, 2005).

Généralement, les sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire réduisant la profondeur de sol utile, la faible teneur en matière organique et en éléments biogènes et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (Nedjraoui, 1995 ; Nedjimi et Guit, 2012).

Chapitre iv : Discussion Générale et Conclusion

Les résultats relatifs à ce paramètre fluctuent entre 3.7% dans la parcelle plantée par le figuier de Barbarie et 2.7% dans la parcelle-témoin, correspondant respectivement à des teneurs moyennement élevées à moyenne (Soltner, 1981 in Gouasmi, 2012). Étant statistiquement non significatif entre les 2 parcelles, ces teneurs non attribuées à la présence du figuier de façon directe, peuvent l'être de façon indirecte, soit à la dégradation des raquettes avec le taux de recouvrement observée dans les 2 parcelles, surtout entre les rangées plantées par le figuier de Barbarie ou la texture du sol argilo-limoneuse (Laaboudi, 2014). D'après, Zhou *et al.* (2008), le taux de matière organique peut être positivement corrélé à la présence d'argile et de silt. Brady et Buckmann (1960) avancent qu'un sol sableux contient moins de matière organique et d'azote qu'un sol à texture fine. La même observation a été faite au Maroc par Mandouri (2000) où il a été signalé que le figuier de Barbarie dans les plantations de 60 ans améliore considérablement la fertilité organique du sol en augmentant le taux de la matière organique à 4,8% comparé aux témoins avec 0.1% de MO. Dans notre cas, la parcelle témoin n'est pas dénudée, mais à faciès d'*Atriplex*, lui-même ayant joué le rôle de plante –nourrice ayant favorisé l'apparition d'îlot de végétation à sa proximité.

***L'azote (%) :** Le sol étudié pour les trois lieux de prélèvement présentent une teneur allant de 0.23% et 0.30% dans la parcelle à figuier de Barbarie et 0.26% dans la parcelle témoin. Ces légères variations ne sont pas significatives statistiquement. Donc au même titre que le taux de MO. D'après Decoopman *et al.* (2013), la quantité d'azote total contenue dans un sol est liée au carbone. Ces taux d'azote non attribués à la présence du figuier de Barbarie pourrait être aux excréments du cheptel qui broutent librement dans les parcelles d'étude.

***Le phosphore assimilable :** il s'agit évidemment de la quantité de phosphore en solution pouvant être absorbée par les racines des plantes (Bioassimilable). D'après Olsen (1954), les valeurs observées sont élevées au pied de l'arbuste (26 ppm) et faible au milieu de l'espacement interligne (9ppm) et dans la parcelle témoin (11ppm) avec une différence statistiquement significative.

Il est bien connu que dans les sols basiques (Rabefiraisana, 2015), le phosphore assimilable se complexe avec le calcaire, donc non prélevable, d'où les faibles valeurs observées. D'après Khresat *et al.* (1998), les réactions alcalines du sol réduisent la disponibilité de cet élément.

Cependant, celle au pied de l'arbuste est anormalement élevée pour un sol steppique dégradé. Une erreur de manipulation est à considérer.

Chapitre iv : Discussion Générale et Conclusion

* **Le ratio C/N** : est un indicateur de l'activité biologique du sol (Decoopman *et al.*, 2013).

Les 3 valeurs enregistrées ne dépassent pas la valeur de 9, révélant une minéralisation trop rapide de la MO et donc une fourniture excédentaire de l'azote aux plantes (Boyer, 1982).

Ceci semble concorder avec l'ambiance climatique de la région soumise à de fortes températures. D'après Benabadji *et al.* (1996), ce ratio est une caractéristique qui dépend de la nature des débris organiques et de la maturation de l'humus.

***Le MPN**: cette expérience de 2 mois a connu un échec observé au niveau de la non germination des graines. Il se peut que ce soit aussi à un excès de stérilisation ou à la non viabilité des graines.

Au terme de ce chapitre, malgré les variations des différents paramètres entre la parcelle plantée par le figuier de Barbarie et la parcelle-témoin, l'hypothèse stipulée au départ sur l'effet positif de ce végétal, choisi pour l'amélioration des sols steppiques dégradés a été infirmée.

Il est vrai que des teneurs bien élevées sont observées pour le taux de MO et du phosphore, mais elles ne peuvent être un bon appui pour déclarer l'effet positif des plantations de figuier de Barbarie, à cause du faible nombre de répétitions dans les analyses qui était de 3, surtout qu'il est bien connu que les sols de la steppe algérienne sont squelettiques, fragiles et pauvres en matière organique. La présence des carbonates qui les caractérisent réduit la disponibilité du phosphore et les micronutriments. Le phosphore et l'azote constituent les facteurs limitants critiques dans ces sols engendrant une perte de la fertilité et de la productivité dans ces écosystèmes.

Il en est de même pour le MPN dont l'échec de l'expérience nous a empêché de comparer le nombre de propagules mycorhizogène dans les sols avec ou sans figuier de Barbarie. Sans oublier le mauvais choix de la parcelle témoin qui au lieu d'être complètement dénudé était à faciès d'*Atriplex*. La comparaison s'avère bien difficile.

La présente étude ne nous a pas permis de répondre à la question posée au départ : les plantations pourraient-elles être d'un apport positif pour les parcours dégradés ?.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Alouti,T.;Ben Hasine,H.; Gallali,T.; Bouzid,T.; El amir, S. & Ben Hassen,R. 2008.** Evaluation quantitative et rôles de la matière organique dans les sols cultivés en zones subhumides et semi-arides méditerranéennes de la Tunisie. *Agrosolutions*,19 :4-17.
- Aranda,V. & Oyonarte, C. 2005.** Effect of vegetation with different evolution degree on soil organic matter in a semi-arid environment (Cabo de Gata-Nijar Natural Park, SE Spain). *Journal of Arid Environments*, 62 : 631-647.
- Baize, D. & Jabiol, B. 1995.** Guide pour la description des sols : techniques et pratiques. INRA. Paris, 375 p.
- Benabadji , N. ; Bouazza, M.; Metge, G. & Loisel, R. 1996.** Description et aspect des sols en région semi-aride et aride au Sud de Sebdou (Oranie-Algérie). *Bull. Inst. Sci*, 20 : 77-86.
- Bonneau , M. & Souchier, B., 1994.** Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris, 665 p.
- Brady, N. & Buckman, H. 1960.** Les sols : Nature et propriétés. Précis d'édaphologie Intercontinental éditions, INC, New York, 499.
- Calvet, R.2003.**Le sol :propriétés et fonction . France Agricole,455p :170-173.
- Calvet,R. ; Chenu,C. & Houot,S. 2011.**Les matières organiques des sols. Roles agronomiques et environnementaux . Editions France agricole, 347p
- Chaussod,R. ; Houot,S. ; Guiraud, G.& Hétier, J.M. 1988.** Size and turnover of the microbial biomass in agricultural soils: Laboratory and field experiments. In Nitrogen efficiency in agricultural soils, D.S.Jenkinson and Smithy-Elsevier Applied Sciences.
- Chaussod,R. 1996.** La qualité biologique des sols : Evaluation et implications. INRA, 278 P.
- Chantelot, E. 2003.** L'activité biologique des sols. Méthodes d'évaluation. Institut Technique d'Agriculture Biologique. www.itab.asso.fr.
- Chotard,A.; Guet,G. & Riman,K. 2011.**Mémento d'agriculture biologique: Guide pratique à usage professionnel.3^{ème} edition France Agricole.
- Dabin, B .1963.**Appreciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux, les formes du phosphore dans les sols de Cote d'Ivoire. cahiers ORSTOM. Ser.Pedol, 27.42.
- Decoopman,B.; Hanocq,D. & Heddadj, D.2013.** Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le sol : dossier pour le pôle agronomie-productions végétales des chambres d'agriculture de Bretagne. TERRA .33 p

Références bibliographiques

- Davet , P .1996.**Vie microbienne du sol et production végétale. INRA, p161-162.
- Floate, M.J.S. & Enrigh P.D. 1991.** Effects of lime and 5 years sulphur phosphors applications on soil pH, sulphur , and phosphorus status of tussock grassland soils on Est at agro - uplands. New Zealand journal of agriculture. Research, 99: 453-465.
- Gentit,M. ; Faure, S . & Burger, P. 2012.**Lutte contre la désertification : comment le plaidoyer renforce l'action. CARI,59 p
- Gouasmi, K. 2012.**Caractérisation physico-chimique et palynologique des sédiments des sites archéologiques du nord-est algérien, cas: d'Hippone, Madors et Khemissa. Mémoire de Magister (Ecole doctorale).Université De Badji Mokhtar –Annaba, 75 p.
- Halitim, A. 1988.** Sols des régions arides. Office des Publications Universitaires, Alger, 384p.
- Hamouni,M.; Touaf,L. & Chekired, Z. 2004.** Analyse du sol, intérêt agronomique. Institut National de l'irrigation et du drainage (INSID), Alger, 27 p.
- ITAB, 2002.**Activités biologiques et fertilité des sols : Intérêts et limites des méthodes analytiques disponibles. Document à l'usage des agents de développement . Première édition. Institut Technique de l'Agriculture Biologique.www.itab.asso.fr
- Khresat, S.A. ;Rawajfih, Z. & Mohammad, M. 1998.** Land degradation in north-western Jordan: causes and processes. Journal of Arid Environment, 39:623-629.
- Laaboudi, H. 2014.** Diversité floristique dans les plantations d'olivier, de figuier de Barbarie et la pinède naturelle de Bekkaria dans la région de Tébessa (Zone semi-aride de l'Est Algérien. Mémoire de Master en Biologie. Université de Tébessa.
- Li, Y.Y. & Shao, M.A. 2006.** Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China. Journal of Arid Environments, 64p:77-96.
- Lozet,J. & Mathieu,C.2002.**Dictionnaire de la science du sol. Tec &Doc.Paris,575p :442-460.

Références bibliographiques

- Madani, Dj.2008** .Relation entre le couvert végétal et les conditions edaphiques en zone a déficit hydrique . Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques. Département de Biologie. Université de Batna ,118p.
- Mandouri, T. 2000**. Hydromasse et biomasse des *Opuntia*. Cactus: (*Opuntia* à fruits comestibles).Actes de la journée nationale sur la culture du cactus. El Kelaa des Sraghna. Maroc.
- Mathieu, C. & Pieltain,F. 2003**. Analyse chimique de sol : méthodes choisies. Tec & Doc, Paris,388 p.
- Mathieu,C. & Pieltain,F.2009**.Analyses chimiques des sols : méthodes choisies. Tec Doc,Paris, 387p.
- Mérelle, F. 1998**. L'analyse de terre aujourd'hui. GEMAS, Nantes, France, 184 p.
- Mulas, M. & Mulas, G. 2004**. Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Short and Medium-Term Priority Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR, 112 p.
- Nedjimi ,B.& Guit ,B.2012**. Les steppes algériennes: causes de déséquilibre. Laboratoire d'Exploration et de Valorisation des Écosystèmes Steppiques. Algerian journal of arid environment, 2, 61p.
- Nedjraoui, D.1995**. Evaluation des ressources pastorales en zone steppique et definition des indicateurs de degradation (Dégradation de la steppe). Unité de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres U.R.B.T BP 295 Alger. In Daoudi,A. ; Benterki,N. et Salima Terranti,S. 2010. La lutte contre la désertification des parcours steppiques : L'approche du développement agropastoral intégré. ISDA 2010, Montpellier, France. Cirad-Inra- SupAgro, 11 p.
- Odasso,M. & Rota, A. 1992** . Effetti del trattamento fertilizzane ed ammendante su di un pascolo alpino. Informatore Agrarion, 48 p : 35- 38.

Références bibliographiques

- Pousset , J.2002.** Engrais verts et Fertilité des sols . 2^e edition. Agridécisions, 303p
- Rabefiraisana, H.J.2015.** Analyse des paramètres physico-chimiques des sols de kianjasoa, d'ambohitsaina et d'ambatobe. Rapport de stage (G/DHD).
- Rezaei, S. & Gilkes, R. 2005.** The effect of landscape attributes and plant community on soil chemical properties in rangelands.Geoderma, 125: 167-176.
- Schvartz,C.; Muller,J.&Decroux,J. 2005** .Guide de la fertilisation raisonnée. France Agricole,p 66-68.
- Silver ,G .& Silver,A.1997.**Apprendre à lutter contre la desertification. document du Kit pédagogique sur la desertification.UNCCD,97p.
- Soltner,D. 1986.**Les bases de la production végétale. Tome 1. Le sol 14^{ème} édition. Collection sciences et techniques agricoles, 464 p.
- Stevenson, F. J. 1994.** Humus chemistry. Genesis, composition, réactions. 2^{ème} édition. John Wiley & Sons, 496 p.
- Wezel, A.; Rajot, J.L. & Herbrig, C. 2000.** Influence of shrubs on soil characteristics and their functions in Sahelian agroecosystems in semi arid Niger. Journal of Arid Environments, 44: 383- 398.
- Zemali,K. & Zerougui,S .2015.** Traits fonctionnels des espèces végétales dans les milieu steppiques (Planté et abandonné) dans la région de Tébessa (Station de Ain Zaroug). Mémoire de Master en Biologie.Université de Tébessa.
- Zhou, R.L.; Li, Y.Q.; Zhao, H. L. & Drake, S. 2008.** Desertification effects on C and N content of sandy soils under grassland in Horqin , northern China. Geoderma, 145: 370-375.

Annexes

Annexe 01 : Méthodes d'analyses du sol

1. pH

La mesure du pH de la solution du sol est effectuée sur l'extrait au 1/5 avec un pHmètre de type pH720/WTW/Inolab.

Référentiel pédologique (Baize & Jabiol, 1995)

| pH | Classe |
|---------|------------------|
| <3.3 | Hyperacide |
| 3.5-4.2 | Très acide |
| 4.2-5 | Acide |
| 5 -6.5 | Faiblement acide |
| 6.5-7.5 | Neutre |
| 7.5-8.7 | Basique |
| >8.7 | Très basique |

2. Conductivité

La mesure de teneur en sels dans le sol est effectuée sur l'extrait au 1/5 avec un conductimètre de type wtw/LF 330.

Classification selon (Mathieux & Pieltain, 2003)

| Conductivité (mmhos/cm) | 0.6 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|----------|-----------------|------|-----------|------------------|
| CE(1/5) | Non salé | Légerement salé | Salé | Très salé | Extremement salé |

3. Dosage du carbone (Anne, 1945 in Bonneau & Souchier, 1996)

a- Principe :

On oxyde le carbone organique d'un échantillon avec le bichromate de potassium en excès (en milieu acide). L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sels de Mohr (le sulfate ferreux). Ce titrage se fait en présence d'un indicateur coloré, la diphénylamine qui vire au vert foncé lorsque l'excès de bichromate est réduit.

b- Mode opératoire :

- Introduire 0,25 g de sol tamisé dans une erlen ,y ajouter 10 ml de bichromate de potassium (8%) et 15 ml d'acide sulfurique.
- Porter à ébullition pendant 5'. Laisser refroidir
- Transvaser dans un ballon et ajouter à 100 ml les eaux de rinçage de l'erlen.
- Prélever 20 ml et diluer à 100 ml avec l'eau distillée.
- Ajouter 1 g de NaF et 3 à 4 gouttes de diphenylamine.
- Titrer le sol avec le sel de Mohr à 0.1 N. la solution de couleur brun-noirâtre virera au vert (X ml de sel de Mohr).
- Témoin (Y) : suivre les mêmes étapes sans le sol

$$\text{Carbone (\%)} = (Y-X) \times 0.615 \times (100/20) \times (100 /p) \times 1/1000$$

Y= quantité de sels de Mohr ajouté

P= poids du sol(g)

Matière organique (%) = % de Cx 1.72

Classification (Soltner, 1981in Gouasmi, 2012)

| Taux e matière organique(%) | Terre |
|------------------------------------|--------------|
| <1 | Très pauvre |
| 1-2 | Pauvre |
| 2-4 | Moyenne |
| >4 | Riche |

1.4- Dosage de l'azote (Kheldjal in Bonneau & Souchier, 1996)**a-Principe :**

On réalise l'oxydation d'un échantillon de terre par l'acide sulfurique porté à ébullition. L'acide sulfurique décompose la matière organique et transforme l'azote organique en sulfate d'ammonium ; l'hydrogène en eau et le carbone en CO₂. On déplace ensuite l'ammoniac par addition de soude. Le mélange sulfate d'ammonium soude est distillé. L'ammoniac est recueilli dans un excès d'acide titré.

b- Mode opératoire :

- Introduire 2 g de terre dans un matras de 750ml
- Ajouter 10 ml H₂SO₄ concentré,

- Ajouter 1 g de SO_4K_2 et 1 g de CuSO_4
- Faire une attaque sous hôte, d'abord doucement, puis faire bouillir.
- Poursuivre l'attaque pendant 1 heure après une décoloration légèrement verdâtre,
- Refroidir, ajouter ensuite avec précaution de l'eau distillée dans le matras, laisser refroidir à nouveau et filtrer.
- Recueillir le filtrat dans une fiole jaugée de 100 ml et ajouter les eaux de rinçage.
- Introduire 10 ml (1/10) dans le microkeldjahl , ajouter 10ml de NaOH (40%) jusqu'à la formation d'un précipité de $\text{Cu}(\text{OH})_2$.
- Distiller par entrainement à la vapeur et doser à l'aide de l'acide sulfurique (N/10) en présence du rouge de méthyl.
- Faire un témoin dans les mêmes conditions

$$\%N = 14N (V' - V) / \text{prise d'essai} \times 100$$

5. Dosage du phosphore assimilable :

L'extraction est réalisée dans une solution de bicarbonate de sodium (0.5N). Le dosage est basé sur la formation et la réduction d'un complexe formé par l'acide phosphorique et l'acide molybdique.

a. Mode opératoire

- Introduire 5g de terre fine dans un flacon de 250ml
- Ajouter 100ml de bichromate de Na (NaHCO_3 à 0,5M)
- Agiter pendant 30minutes, filtrer et recueillir la solution
- Prendre 5ml du filtrat, y ajouter 5ml de la solution du Molybdate d'ammonium et agiter, puis ajouter 22 ml de l'eau distillée.
- Ajouter 1goutte de la solution d'étain (SnCl_2)
- Passer au spectrophotomètre à 660nm.

Classification (Olsen,1954)

| Teneur(ppm) | classe |
|-------------|---------------|
| <10 | Terre pauvre |
| 10- 20 | Terre moyenne |
| >20 | Riche |

Annexe 2. Analyse statistique

1- Analyse de la variance relative au pH

| Source de variation | SC | DDL | MC | F | P |
|---------------------|--------|-----|--------|-------|----------|
| Type de plantation | 0,1588 | 1 | 0,1588 | 2,127 | 0,170413 |
| Lieu de prélèvement | 0,0980 | 1 | 0,0980 | 1,313 | 0,274192 |
| Erreur | 0,8958 | 12 | 0,0746 | | |

2- Analyse de la variance relative à la CE

| Source de variation | SC | DDL | MC | F | P |
|---------------------|---------|-----|---------|---------|----------|
| Type de plantation | 42458,3 | 1 | 42458,3 | 89,7031 | 0,000001 |
| Lieu de prélèvement | 117,6 | 1 | 117,6 | 0,2486 | 0,627103 |
| Erreur | 5679,8 | 12 | 473,3 | | |

3- Analyse de la variance relative à la matière organique

| Source de variation | SC | DDL | MC | F | P |
|---------------------|----------|-----|---------|---------|----------|
| Type de plantation | 1,49002 | 1 | 1,49002 | 0,81595 | 0,401177 |
| Lieu de prélèvement | 0,00027 | 1 | 0,00027 | 0,00015 | 0,990750 |
| Erreur | 10,95673 | 6 | 1,82612 | | |

4- Analyse de la variance relative à l'azote

| Source de variation | SC | DDL | MC | F | P |
|---------------------|----------|-----|----------|--------|----------|
| Type de plantation | 0,001350 | 1 | 0,001350 | 0,4324 | 0,535218 |
| Lieu de prélèvement | 0,006667 | 1 | 0,006667 | 2,1352 | 0,194256 |
| Erreur | 0,018733 | 6 | 0,003122 | | |

5- Analyse de la variance relative au phosphore

| Source de variation | SC | DDL | MC | F | P |
|---------------------|----------|-----|----------|----------|----------|
| Type de plantation | 339,0017 | 1 | 339,0017 | 23,65370 | 0,002813 |
| Lieu de prélèvement | 445,9988 | 1 | 445,9988 | 31,11938 | 0,001409 |
| Erreur | 85,9912 | 6 | 14,3319 | | |

6- Table de Cochran :

Table 100-1 Table du nombre le plus probable (MPN) avec 5 tubes par dilution (Cochran, 1950)

| P1 | P2 | Most probable number for indicated values of P3 | | | | | |
|----|----|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0 | 0 | - | 0.019 | 0.036 | 0.054 | 0.072 | 0.090 |
| 0 | 1 | 0.019 | 0.036 | 0.054 | 0.073 | 0.091 | 0.11 |
| 0 | 2 | 0.037 | 0.055 | 0.074 | 0.092 | 0.11 | 0.10 |
| 0 | 3 | 0.056 | 0.074 | 0.093 | 0.11 | 0.13 | 0.15 |
| 0 | 4 | 0.075 | 0.094 | 0.11 | 0.13 | 0.15 | 0.17 |
| 0 | 5 | 0.094 | 0.11 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.19 |
| 1 | 0 | 0.020 | 0.040 | 0.060 | 0.080 | 0.10 | 0.12 |
| 1 | 1 | 0.040 | 0.061 | 0.081 | 0.10 | 0.12 | 0.14 |
| 1 | 2 | 0.061 | 0.082 | 0.10 | 0.12 | 0.15 | 0.17 |
| 1 | 3 | 0.083 | 0.10 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.19 |
| 1 | 4 | 0.11 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.19 | 0.22 |
| 1 | 5 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.19 | 0.22 | 0.24 |
| 2 | 0 | 0.043 | 0.068 | 0.091 | 0.12 | 0.14 | 0.16 |
| 2 | 1 | 0.068 | 0.092 | 0.12 | 0.14 | 0.17 | 0.19 |
| 2 | 2 | 0.093 | 0.12 | 0.14 | 0.17 | 0.19 | 0.22 |
| 2 | 3 | 0.12 | 0.14 | 0.17 | 0.20 | 0.22 | 0.25 |
| 2 | 4 | 0.15 | 0.17 | 0.20 | 0.23 | 0.25 | 0.29 |
| 2 | 5 | 0.17 | 0.20 | 0.23 | 0.26 | 0.29 | 0.32 |
| 3 | 0 | 0.078 | 0.11 | 0.13 | 0.16 | 0.20 | 0.23 |
| 3 | 1 | 0.11 | 0.14 | 0.17 | 0.20 | 0.23 | 0.27 |
| 3 | 2 | 0.14 | 0.17 | 0.20 | 0.24 | 0.27 | 0.31 |
| 3 | 3 | 0.17 | 0.21 | 0.24 | 0.28 | 0.31 | 0.35 |
| 3 | 4 | 0.21 | 0.24 | 0.28 | 0.32 | 0.36 | 0.40 |
| 3 | 5 | 0.25 | 0.29 | 0.32 | 0.37 | 0.41 | 0.45 |
| 4 | 0 | 0.13 | 0.17 | 0.21 | 0.25 | 0.30 | 0.36 |
| 4 | 1 | 0.17 | 0.21 | 0.26 | 0.31 | 0.36 | 0.42 |
| 4 | 2 | 0.22 | 0.26 | 0.32 | 0.38 | 0.44 | 0.50 |
| 4 | 3 | 0.27 | 0.33 | 0.39 | 0.45 | 0.52 | 0.59 |
| 4 | 4 | 0.34 | 0.40 | 0.47 | 0.54 | 0.62 | 0.69 |
| 4 | 5 | 0.41 | 0.48 | 0.56 | 0.64 | 0.72 | 0.81 |
| 5 | 0 | 0.23 | 0.31 | 0.43 | 0.58 | 0.76 | 0.95 |
| 5 | 1 | 0.33 | 0.46 | 0.64 | 0.84 | 1.1 | 1.3 |
| 5 | 2 | 0.48 | 0.70 | 0.95 | 1.2 | 1.5 | 1.8 |
| 5 | 3 | 0.79 | 1.1 | 1.4 | 1.8 | 2.1 | 2.5 |
| 5 | 4 | 1.3 | 1.7 | 2.2 | 2.8 | 3.5 | 4.3 |
| 5 | 5 | 2.4 | 3.5 | 5.4 | 9.2 | 1.6 | - |