



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa



Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Etres Vivants

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Science de la Nature et de la Vie (SNV)

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Ecologie

Thème:

Effets des plantations de Figuier de Barbarie
(*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill)
sur la restauration de quelques paramètres du milieu
édaphique (région de Tébessa)

Présenté par :

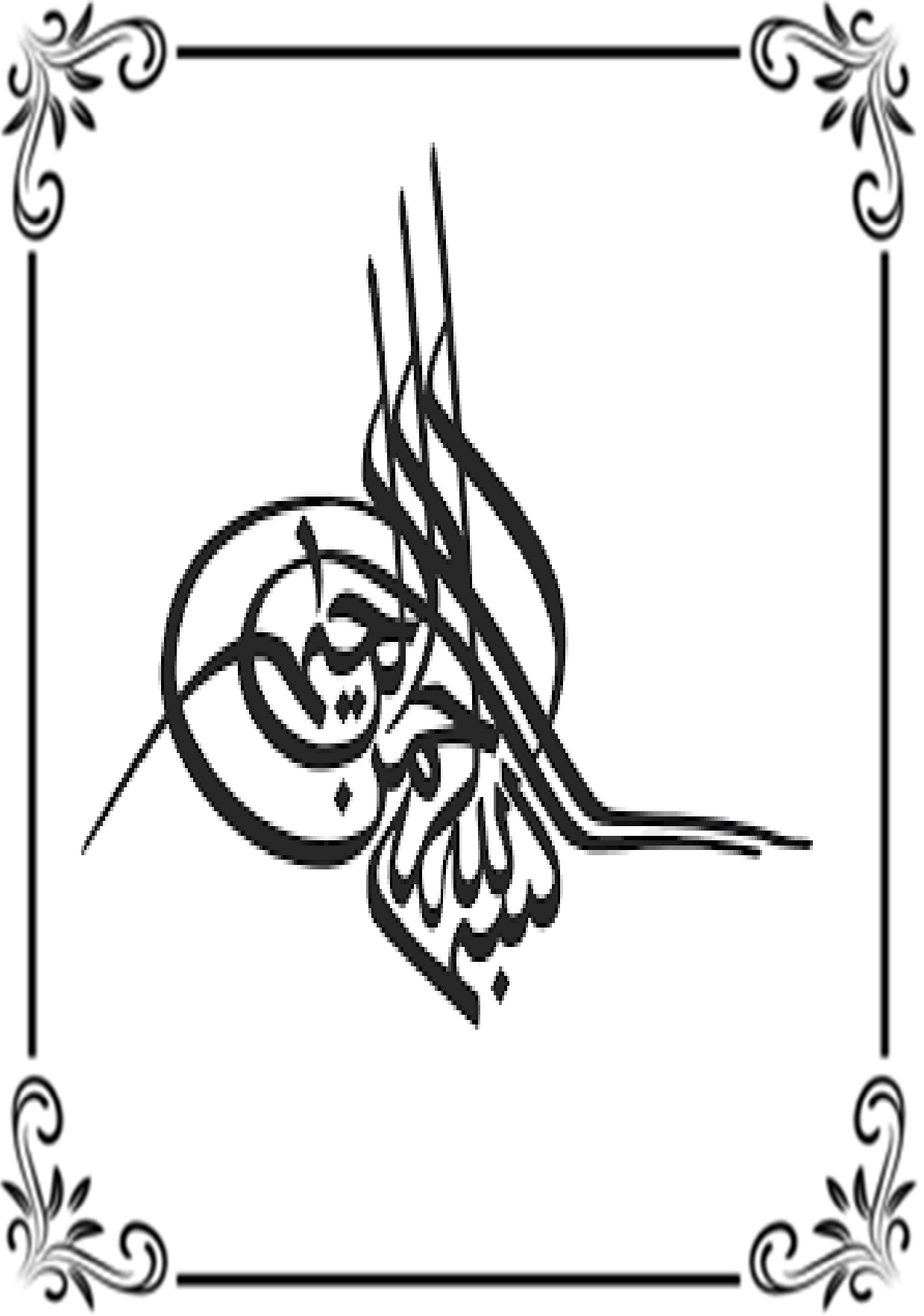
BOUTOUATA Houcine

Devant le jury

Dr. DJELLAB Sihem	MCA	Univ. Tébessa	Président
Dr. MACHEROUM Amale	MCB	Univ. Tébessa	Encadreur
Dr. BENARFA Noudjoud	MCB	Univ. Tébessa	Examineur

Date de soutenance : 05 Juin 2024

Note : / 20



REMERCIEMENTS

Je remercie avant tout Dieu Tout-Puissant qui m'a donné la volonté et la foi et qui m'a permis d'atteindre ce stade de mes études.

En premier lieu, je tiens à remercier Madame **MACHEROUM Amale**, Maitre de conférences à l'Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi (Tébessa), qui m'a encadré tout au long de ce mémoire. Je tiens également à la remercier pour sa disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'elle m'a apportés.

J'exprime ma gratitude à Madame **DJELLAB Sihem**, Maitre de conférences à l'Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi (Tébessa), pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger cette étude et de présider le jury.

Je suis très reconnaissant et j'exprime mes remerciements à Madame **BENARFA Noudjoud**, Maitre de conférences à l'Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi (Tébessa), d'avoir accepté d'examiner cette étude.

Houcine

DÉDICACE

À ma mère, dont l'amour et le soutien indéfectibles ont été ma plus grande source d'inspiration et de force. Ton dévouement et tes sacrifices m'ont permis de poursuivre mes rêves, et c'est grâce à toi que j'ai pu arriver jusque-là. Merci pour tout ce que tu fais et continues de faire pour moi.

À ma famille, pour votre amour constant et votre encouragement. Vos paroles réconfortantes et votre foi en moi m'ont donné la motivation nécessaire pour persévérer. Chaque moment partagé avec vous a été une source de joie et de réconfort.

À mes amis proches, pour votre soutien inestimable et vos encouragements tout au long de ce parcours. Vos conseils, votre patience et votre amitié sincère ont été essentiels à la réalisation de ce mémoire. Merci d'avoir toujours été là pour moi, dans les bons comme dans les mauvais moments.

Ce mémoire est autant le vôtre que le mien. Merci de tout cœur.

Houcine

TABLE DES MATIERES

Remerciement

Dédicace

Table des matières

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

INTRODUCTION.....	1
I- MATERIELS ET METHODES.....	4
1.1. Zone d'étude et sites d'échantillonnage	4
1.2. Echantillonnage et prélèvement du sol.....	5
1.3. Analyses physico-chimiques du sol.....	5
1.3.1. Granulométrie et texture du sol.....	5
1.3.2. Humidité du sol.....	6
1.3.3. PH (eau)	6
1.3.4 Conductivité électrique	7
1.3.5. Calcaire total (CT%).....	7
1.3.6. Calcaire actif (CA%).....	9
1.3.7. Matière organique (MO%).....	9
1.4 Analyses statistiques.....	9
II- RESULTATS.....	11
2.1. Classification granulométrique du sol	11
2.2. Effet des plantations sur les caractères physico-chimiques du sol	12
2.2.2. Humidité du sol.....	13
2.2.3. Conductivité électrique du sol	13
2.2.4. Calcaire total et actif du sol	14
2.2.5. Carbone et matière organique	15
2.2.6. Argile et limon et sable	16
2.3. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques du sol.....	18
III. DISCUSSION & CONCLUSION	19
Conclusion.....	21
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	22

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : A : la carte de Tébessa avec les stations d'échantillonnage	5
Figure 2 : Test du bocal d'eau (A) et triangle américain de la texture (B).....	7
Figure 3 : Les échantillons de sol dans une étuve à 105 °C.....	7
Figure 4 : PH-mètre.....	8
Figure 5 : Conductimètre.....	8
Figure 6 : Triangle de texture du sol (selon la classification USDA) des deux sites plantés de Figueur de Barbarie (<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.) et témoins.....	12
Figure 7 : Box-plots montrant l'effet de plantation sur le potentiel hydrogène « pH eau », en comparant « plantation (Pt) et hors plantation ou témoins (HPt).....	13
Figure 8 : Box-plots montrant l'effet de plantation sur l'humidité (%), en comparant « plantation (Pt) et hors plantation ou témoins (HPt) ».....	14
Figure 9 : Box-plots montrant l'effet de plantation sur la conductivité électrique du sol ($\mu\text{mhos/cm}$) en comparant « plantation (Pt) et hors plantation ou témoins (HPt) ».....	15
Figure 10 : Box-plots montrant l'effet de plantation sur le calcaire total et actif du sol (%) en comparant « plantation (Pt) et hors plantation ou témoins (HPt) »..	16
Figure 11 : Box-plots montrant l'effet de la plantation sur le carbone et la matière organique de sol (%) dans les sites aménagés (Pt) et les sites témoins (HPt).	17
Figure 12 : Box-plots montrant l'effet de la plantation sur les taux d'argile, du limon et du sable (%) dans les sites aménagés (Pt) et les sites témoins (HPt).	18
Figure 13 : Matrice de corrélation montrant les interrelations entre les paramètres du sol de la zone d'étude.	19

LISTE DES ABBREVIATIONS

Pt :	Plantation
HPt :	Hors plantation
a.a :	Lettres identiques / différence non significative
a.b :	Lettres différentes différence significative
CE :	Conductivité électrique
C :	Carbone
MO :	Matière organique
CT :	Calcaire total
CA :	Calcaire actif
Q2 :	Indice pluviométrique d'Emberger
CMT :	Centre météorologique de la station de Tébessa

Résumé

La désertification est considérée comme l'un des principaux problèmes auxquels sont confrontés les parcours steppiques algériens et de nombreux moyens et méthodes ont été mis en œuvre pour lutter contre ce phénomène.

L'étude menée vise à quantifier et comparer d'une manière synchronique, l'effet des plantations de Figuier de Barbarie « *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. » sur le processus de récupération de certains paramètres physico-chimiques du sol, comparé avec des parcelles non plantées en tant que témoins, dans les parties est et sud-est de la région Tébessa (El kouif et Bir El Ater).

Des échantillons de sol ont été prélevés dans chaque parcelle pour mesurer les paramètres physico-chimiques suivants : Texture du sol, Humidité, pH, Conductivité électrique, Calcaire total, Calcaire actif, et Matière organique.

Les résultats ont montré un effet significatif après la plantation du figuier de Barbarie, nous avons observé une diminution notable de la salinité et de la teneur en calcaire actif, de 43% et 11% respectivement, tandis qu'une augmentation des niveaux d'humidité et de la matière organique de 36,3% et 24,2% respectivement. Par conséquent, les plantations fourragères sont l'une des techniques les plus réussies au niveau des parcours steppiques de la région de Tébessa, pour lutter contre la désertification et réhabiliter les milieux édaphiques dégradés.

Mots clés : Steppe, paramètres physicochimiques, sol, plantations, dégradation, Figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*).

Abstract

Desertification is considered one of the main problems facing the Algerian steppe rangelands and numerous means and methods have been implemented to combat this phenomenon.

The study carried out aims to quantify and compare in a synchronic manner, the effect of plantations of “*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.” on the process of recovery of certain physico-chemical parameters of the soil, compared to plots not planted as controls, in the eastern and southeastern parts of the Tébessa region (El kouif and Bir El Ater).

Soil samples were taken from each plot to measure the following physico-chemical parameters: Soil texture, Humidity, pH, Electrical conductivity, Total CaCO₃, Active CaCO₃ and Organic matter.

The results showed a significant effect after planting the prickly pear, we observed a notable decrease in salinity and active CaCO₃ content, by 43% and 11% respectively, while an increase in humidity levels and organic matter of 36.3% and 24.2% respectively.

Consequently, fodder plantations are one of the most successful techniques in the steppe rangelands of the Tébessa region, to combat desertification and rehabilitate degraded edaphic environments.

Key words: Steppe, physicochemical parameters, soil, plantations. Degradation, prickly pear (*Opuntia ficus-indica*).

ملخص

التصحّر من أبرز المشاكل التي تتعرض لها مراعي السهوب الجزائرية حيث تم القيام بالعديد من الوسائل و الأساليب من أجل مكافحة هذه الظاهرة.

تهدف الدراسة التي تم إجراؤها إلى القياس الكمي والمقارنة بطريقة متزامنة لتأثير مزارع التين الشوكي (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) على عملية استعادة بعض المعايير الفيزيائية والكيميائية للتربة، مقارنة مع قطع الأراضي الغير المزروعة أو القاحلة (شاهد) ؛ في المحطتين الشرقية والجنوبية الشرقية، لمنطقة تبسة (الكويف وبئر العاتر).

تم أخذ عينات من التربة من كل قطعة لقياس المعايير أو الخصائص الفيزيائية والكيميائية التالية : نسيج التربة أو قوامها، الرطوبة، الرقم الهيدروجيني (درجة الحموضة)، الناقلية الكهربائي أو درجة الملوحة، محتوى الكلس الكلي، محتوى الكلس النشط، نسبة المادة العضوية.

أظهرت النتائج تأثير فعالا بعد زراعة شجرة التين الشوكي، حيث : لاحظنا انخفاضا كبيرا في الملوحة و نسبة الكلس النشط : 43% و 11% على التوالي، بالتوازي حدث ارتفاع في مستويات الرطوبة و نسبة المادة العضوية : 36,3% و 24,2% على التوالي. و بالتالي فإن غراسة التين الشوكي واحدة من انجح التقنيات لمكافحة التصحر في منطقة تبسة و اعادة تأهيل البيئات المتدهورة .

الكلمات المفتاحية : السهوب، الخصائص الفيزيائية والكيميائية ، تربة، الغراسات، تدهور، التين الشوكي

(*Opuntia ficus-indica*).

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Actuellement, le monde entier est affecté par de nombreux changements globaux et environnementaux, tels que : la désertification, le changement climatique et la perte de biodiversité, notamment en Afrique du Nord (Mulas et Mulas, 2004).

La désertification touche des zones occupant 39,2% du globe, soit environ $51,6 \times 10^6$ km² de surfaces dégradées (Benslimane et al., 2009), les écosystèmes arides et semi-arides représentant plus de 25% de la Terre (Neffar et al., 2013). Ce phénomène a de graves conséquences sur la biodiversité et l'équilibre écologique. Ce qui menace la stabilité sociale et économique du monde entier.

Ces dernières années, les steppes algériennes ont souffert d'un déséquilibre caractérisé par une dégradation de l'environnement et de longues périodes de sécheresse, qui ont conduit à l'émergence d'écosystèmes fragiles. Dans la plupart de ces régions, l'équilibre des écosystèmes naturels a été fortement perturbé. Cette perturbation est due aux modifications des systèmes d'exploitation du milieu, liées à la transformation des conditions socio-économiques, à l'évolution des techniques de production modernes (Le Houérou, 2002) et l'apparition des agricultures non durables, surpâturage et les coupes abusives d'arbres (Macheroum et al., 2021).. Parmi les conséquences de ce phénomène catastrophique comprennent la salinisation, la diminution de la fertilité des sols, l'augmentation des éléments grossiers de la surface du sol et la baisse du rendement des ressources naturelles et de la biodiversité (Macheroum et Kadik, 2015). Egalement, les steppes arides et semi arides sont exposées à un risque élevé d'érosion éolienne et hydrique en raison de la gravité des événements climatiques et de la mauvaise protection des sols par le couvert végétal (Bensouiah, 2006). Pour lutter contre la désertification, il est nécessaire de mieux comprendre ce phénomène afin de mettre en place les actions d'aménagements les plus adaptés (Haddouche et al., 2006 a).

Depuis l'indépendance, la lutte contre la désertification a toujours fait partie des priorités de développement de l'Algérie et a été incluse dans l'agenda des pouvoirs publics algériens avec la mise en place de plusieurs programmes. Néanmoins, en ce qui concerne cette lutte, les résultats sont très différents (Nedjraoui et Bédrani, 2008). En utilisant en partie des recherches menées dans d'autres régions du Maghreb (plantations d'arbustes comme *Retama retam*, *Figuier de Barbarie* et *Atriplex*) (Mulas et Mulas, 2004 ; Amghar et al., 2012 ; Neffar et al., 2018).

INTRODUCTION

L'objectif de ce modeste travail est d'évaluer l'effet de la plantation de Figuier de Barbarie dans la région du Tébessa (El kouif et Bir el Ater) sur la restauration de quelques paramètres du milieu édaphique (pH_{eau} , humidité conductivité électrique, calcaire total, calcaire actif et taux de la matière organique et texture). Notre hypothèse est : les propriétés physico-chimiques (pH , CE, calcaire total, calcaire actif et matière organique) entre les parcelles de la plantation et les parcelles –témoins ne sont pas les mêmes.

Cette étude comprend les chapitres suivants : Le premier chapitre traite de la méthodologie utilisée dans sa mise en œuvre, le seconde parle des résultats obtenus, et le dernier inclut la discussion et la conclusion générale.

CHAPITRE I :

MATERIELS & METHODES

I- MATERIELS ET METHODES

La désertification est un phénomène dans lequel des terres fertiles et équilibrées se transforment en désert, et cela est dû à la disparition de la couverture végétale, à la surexploitation des terres agricoles, aux changements climatiques et aux changements globaux. Cela entraîne une diminution de la qualité et de la fertilité du sol, ce qui rend difficile la croissance et le développement des plantes. Au fil du temps, les sols dégradés perdent de leur fertilité et de leur capacité à maintenir leurs réserves en eau et leur structure, ce qui contribue à accélérer le mécanisme de désertification.

La lutte contre la désertification implique souvent des pratiques de restauration des sols, telles que : la plantation d'arbres comme le « Figuiers de Barbarie », mises en défens et la gestion rationnelle et durable des terres et des ressources naturelles.

L'étude menée vise à quantifier et comparer d'une manière synchronique, l'effet des plantations de Figuiers de Barbarie (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) sur le processus de récupération de certains paramètres physico-chimiques du sol, comparé avec des parcelles non plantées en tant que témoins, dans les parties est et sud-est de la région Tébessa (El kouif et Bir El Ater) (fig 1).

1.1. Zone d'étude et sites d'échantillonnage

La zone d'étude se situe sur les Hauts plateaux du sud-est Constantinois. Elle comprend deux communes de la région de Tébessa, à vocation sylvo-agro-pastorale.

Les données météorologiques à long terme (1972-2019) de la station météorologique de Tébessa ont indiqué un climat méditerranéen semi-aride, où le mois le plus humide était septembre (40.93 mm) et le plus sec était juillet (14.95 mm). Les précipitations saisonnières avaient un maximum au printemps (112.96 mm) et un minimum en été (43.21 mm) ; le maximum pluviométrique annuelle a été enregistré en 1990 (636.1 mm) et le minimum a été observé en 1993 (199 mm). Les précipitations annuelles sont très variables (372 mm/an en moyenne), avec un coefficient de variation de 27.6%, caractéristique du climat aride mais légèrement inférieur à celui des zones arides d'Afrique du Nord (Le Houérou, 1992), La fréquence du Sirocco (vent chaud et sec soufflant du désert du Sahara vers le nord) était de 6,2 jours/an, et il soufflait surtout en été avec une vitesse maximale allant de 6 à 10 m/s.

La première station (El Kouif) se localise à 29,1 km au Nord-est de la wilaya de Tébessa, avec des coordonnées géographiques (35° 29' 54" Nord, 8° 19' 19", altitude : 1 089 m *a.s.l.*), elle

MATERIELS & METHODES

couvre une surface de 25 700 hectares (257,00 km²). La commune est située dans l'étage bioclimatique Semi-aride frais. Elle présente une topographie modérée (3 – 12 %), d'une superficie de 79,50 %, sur un substratum géologique formé du marno-calcaires (63,24%).

La deuxième station (Bir El Ater) est située à 73 km au sud-est de Tébessa (34° 44' 55" Nord, 8° 3' 29" Est à 897 m *a.s.l.*), avec une superficie de 152 200 hectares (1 522,00 km²). La commune est située dans l'étage bioclimatique aride frais. Elle présente une topographie plane sur une superficie de 58,77 %, suivi par 31,50 % de surface de la classe modérée (3 – 12,5 %), sur un substratum géologique formé du Marne (48%) et des Alluvions, sable et croûte calcaire (34.11%).

La zone d'étude est caractérisée par l'apparition de phénomènes d'érosion. Pour cela, elle doit être protégée (HCDS-BNEDER, 2007) (fig. 1).

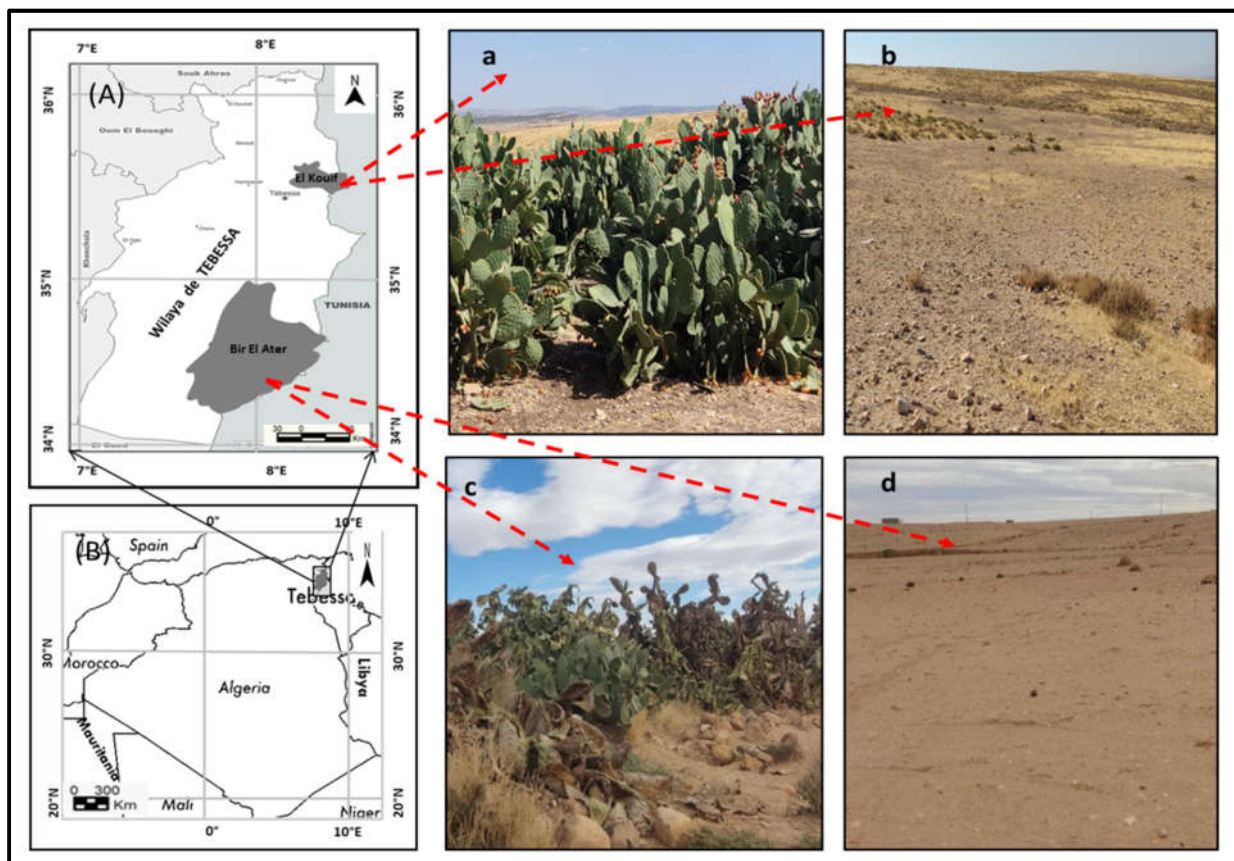


Figure 1 : A : la carte de Tébessa avec les stations d'échantillonnage, B : la carte de l'Algérie. a : photo d'une plantation du Figuier de Barbarie à El Kouif, b : photo du Témoin à El Kouif, c : photo d'une plantation du Figuier de Barbarie à Bir El Ater, photo du Témoin à Bir El Ater (photos : Boutouata, 2024).

Deux sites (Pt et HPt ou témion) dans chaque station échantillonnée (4 stations à El Kouif et 2 stations à Bir ElAter); sont retenus pour mener nos analyses, localisés à l'est et sud-est de la région de Tébessa ; semblable des points de vue climatiques, édaphiques et floristiques (Gamoun, 2013) (fig 1, Photo a, b, c et d).

1.2. Echantillonnage et prélèvement du sol

En raison de l'hétérogénéité du milieu étudié et du manque de continuité des formations végétales ; L'échantillonnage subjectif (Gounot, 1969), reste le plus adapté à notre étude, car il s'agit d'un ensemble de sites sélectionnés pour l'échantillonnage, en fonction de l'homogénéité floristique et environnementale. L'inventaire de la végétation a été réalisé au début du printemps (février-avril 2024), période propice à la croissance de la végétation. Nous avons réalisé 12 inventaires phytoécologiques dans la zone d'étude.

Cette étude portera sur la comparaison des propriétés physico-chimiques du sol des parcelles plantées (Pt), avec celles non plantées ou hors plantation (H Pt ou témion). Des échantillons de sol ont été prélevés sur des profils pédologique à une profondeur de 30 cm. Trente-six (36) échantillons de sol ont été séchés à l'air ambiant pendant 10 à 15 jours, puis tamisés avec un tamis de 2 mm et analysés au Laboratoire des êtres vivants, Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie, université Echahid Cheikh Larbi Tebessi.

1.3. Analyses physico-chimiques du sol

1.3.1. Granulométrie et texture du sol

Pour déterminer la texture du sol, nous avons utilisé le test du bocal d'eau (fig A.2) ; Estimer la texture du sol selon la méthode (Bruand et Chenu, 1994). La texture est définie sur le triangle américain (Duchraufour, 1997) (fig B.2).

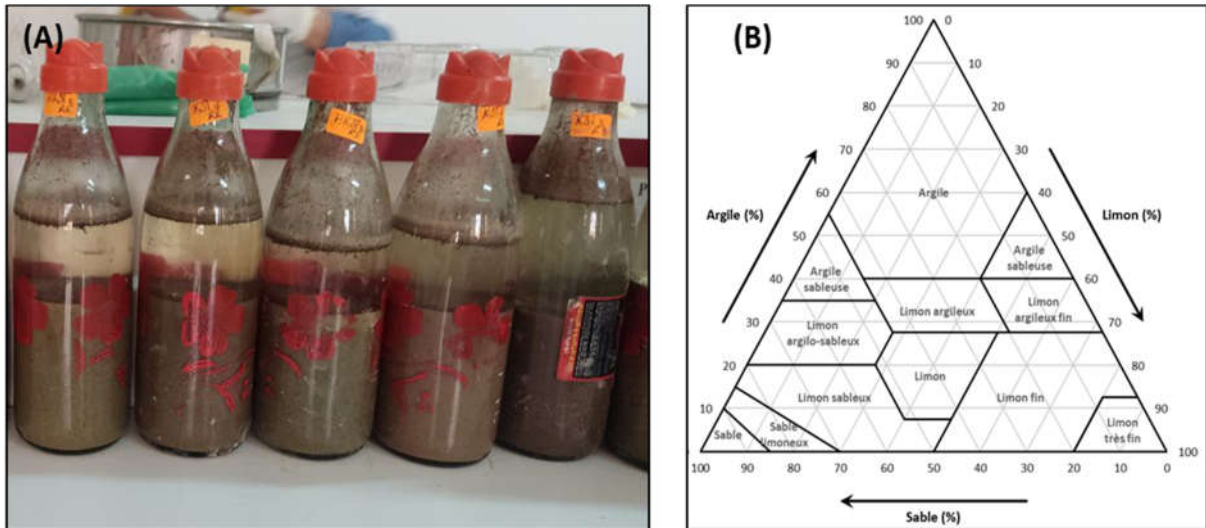


Figure 2 : Test du bocal d'eau (A) et triangle américain de la texture (B)

(Photo : Boutouata, 2024).

1.3.2. Humidité du sol

La méthode consiste à sécher 10g de sol dans une étuve à 105°C jusqu'à obtenir un poids constant (fig 3). La différence de poids avant et après séchage correspond à la quantité d'humidité du sol (Mathieu et Pieltain, 2003).



Figure 3: Les échantillons de sol dans une étuve à 105 °C (Photo : Mellal, 2023).

1.3.3. PH (eau)

Le pH a été mesuré dans une suspension sol/solution (eau distillée) avec un rapport de 1/5 et on mesure le pH à l'aide d'un pH-mètre (Mathieu et Pieltain, 2003) (fig. 4).

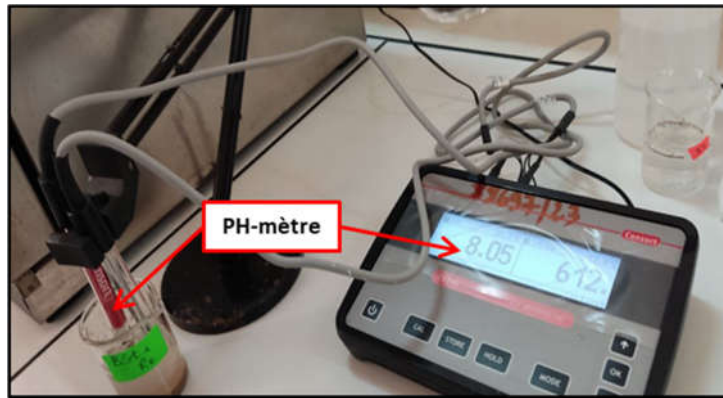


Figure 4 : PH-mètre (Photo : Boutouata, 2024).

1.3.4 Conductivité électrique

La salinité ($\mu\text{mhos/cm}$) a été mesurée dans l'extrait de sol (rapport de sol / eau = 1/5) préparé par agitation pendant 15 min et on mesure la CE avec un conductimètre (Mathieu et Pieltain, 2003) (fig 5).

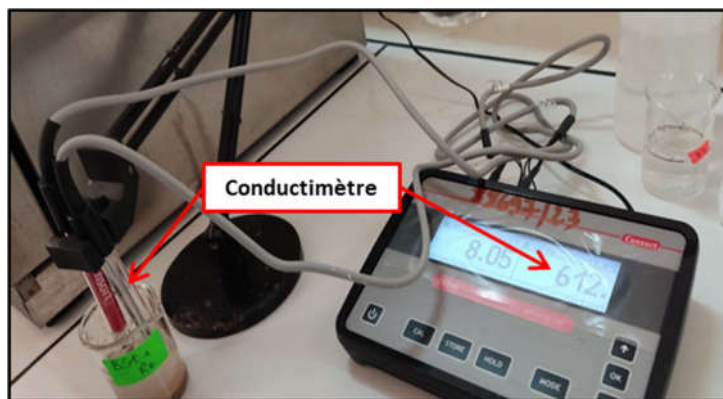


Figure 5 : Conductimètre (Photo : Boutouata, 2024).

1.3.5 Calcaire total (CT%)

Le CaCO_3 total est du calcaire présent dans le sol sous toutes ses formes et tailles. Sa quantité dans le sol peut être déterminée après dissolution avec un acide à concentration moyenne. Le carbone du CaCO_3 dans le sol a été attaqué par l'acide chlorhydrique, et ce dosage était basé sur la réaction acido-basique avec de l'acide chlorhydrique dilué au 1/3. Le volume de CO_2 rejeté a été utilisé pour déterminer la quantité de CaCO_3 (Baize, 2018).

La procédure a été réalisée en ajoutant 2 g de terre fine, dans un bécher contenant 10 mL d'HCl dilué au 1/3 du poids connu (P1).

Après agitation, la solution est à nouveau pesée pour obtenir le poids (P2). Le poids de CaCO₃ total a ensuite été déduit de la formule :

$$\text{CaCO}_3 (\%) = (P1 - P2) \times 2,274 \times 100 / \text{poids de sol} \quad (\text{Boudjabi et Chenchouni, 2022}).$$

1.3.6. Calcaire actif (CA%)

Le calcaire actif a été dosé par la méthode de Drouineau-Galet il est combiné aux oxalates (Mathieu et Pieltain, 2003). Un échantillon de 1 g de sol a été agité pendant une durée de deux heures, dans 100 mL d'une solution d'oxalate 0,2 N. Vingt ml du filtrat ont été prélevés dans un bécher contenant 100 ml d'eau distillée et 5 ml d'acide sulfurique concentré ; la solution a été chauffée à 60 °C. Après refroidissement, un titrage a été réalisé avec une solution de permanganate de potassium (0,2 N) sur le contenu du bécher jusqu'à obtention d'une couleur rose persistante, puis un volume de titrage (v1) pour l'échantillon de sol a été déterminé. Dans les mêmes conditions, l'opération a été répétée avec le témoin sans terre pour obtenir le volume (v2) (Mathieu et Pieltain, 2003 ; Boudjabi et Chenchouni, 2022). En conséquence, la teneur en CaCO₃ actif a été calculée selon la formule :

$$\text{CaCO}_3 \text{ actif } (\%) = (v2 - v1) \times 0,005$$

1.3.7. Matière organique (MO%)

Le carbone organique du sol (COS) a été déterminé selon la méthode Walkley-Black (Baize, 2018). Chaque échantillon de sol a été oxydé par du bichromate de potassium dans un milieu contenant de l'acide sulfurique. Le reste de bichromate non réduit par SOC a ensuite été titré avec une solution de sels de Mohr (sulfate ferreux). Le titrage a été effectué en présence de diphénylamine utilisée comme indicateur coloré qui vire au vert foncé lorsque l'excès de bichromate est complètement réduit. Un témoin sans terre fine a été réalisé dans les mêmes conditions. La teneur en SOC a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{SOC } (\%) = 0,615 \times (v1 - v2)$$

Où v1 est le volume du témoin et v2 le volume de l'échantillon de sol (Boudjabi et Chenchouni, 2022).

$$(\text{Matière organique SOM} = \text{taux du carbone} \times 1,724) \quad (\text{Duchraufour, 1997}).$$

1.4 Analyses statistiques

Le logiciel PAST (version. 4.03) (Hammer, 2020) a été utilisé pour comparer les différences entre les paramètres physico-chimiques du sol, dans les deux sites (Pt et HPt).

Les données du terrain ont été traitées à l'aide de l'analyse ANOVA (analyse des variances) est le test de comparaison multiple pour vérifier si les paramètres physico-chimiques du sol, correspondant aux différentes modalités d'un facteur sont significativement différents ou non.

Un test de Tukey (HSD : honestly significant difference) a été utilisé pour comparer les moyennes des modalités. Il est possible de déterminer au risque de 5%, s'il y a une différence significative entre les moyennes ; les statistiques descriptives sont présentées sous forme de boîtes à moustaches (box-plots) pour les deux sites (Pt et HPt).

De plus, les interrelations entre les paramètres de sol pour chaque site ont été étudiées à l'aide de tests de corrélation de Pearson. Les corrélations ont été tracées sous forme de matrice de corrélation à l'aide du package « corrplot ».

CHAPITRE II : RESULTATS

II- RESULTATS

Pour déterminer l'effet des plantations de Figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), sur les paramètres physico-chimiques du sol, dans la partie Est la région de Tébessa (Est algérien). Nous avons effectué des analyses comparatives entre les paramètres édaphiques des deux parcelles « plantation (Pt) et hors plantation ou témoins (HPt) ».

2.1. Classification granulométrique du sol

La texture du sol dans les deux sites plantés (sable : 46,65% ; limon : 39,07% ; Argile : 14,24%) et témoins (sable : 49,32% ; limon : 32,85% ; Argile : 17,85%) est de type moyen (limoneux) (fig 6).

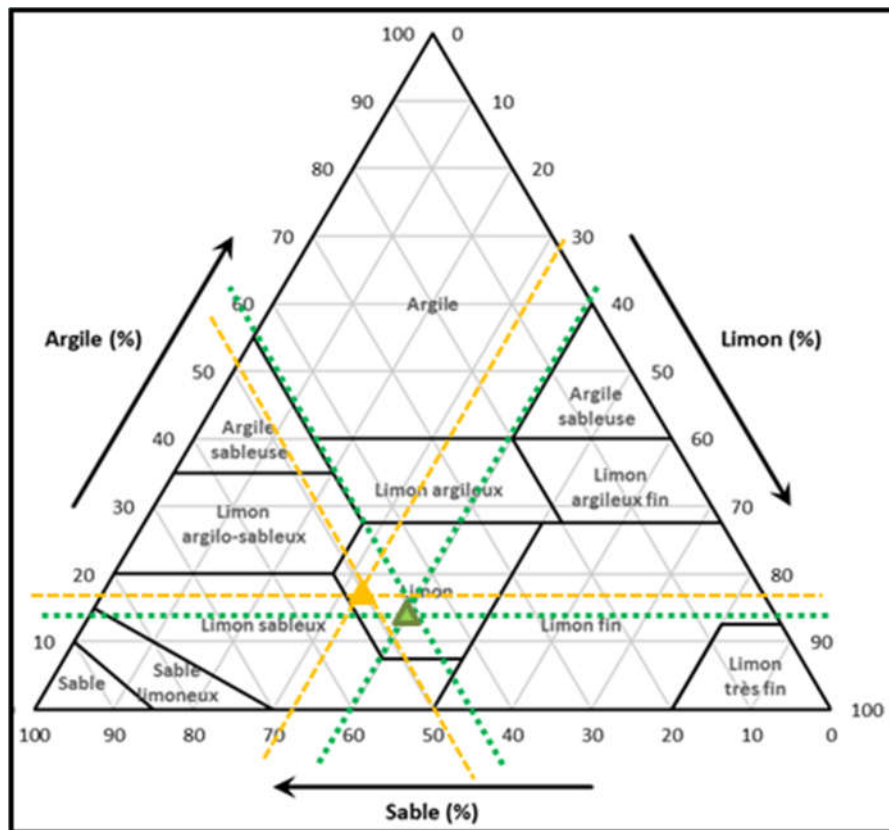


Figure 6 : Triangle de texture du sol (selon la classification USDA) des deux sites plantés de Figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) et témoins. Chaque triangle représente la somme des moyennes des taux d'argile, limon et sable des échantillons de sol (triangle vert : Pt, triangle orange : HPt).

2.2. Effet des plantations sur les caractères physico-chimiques du sol

Les analyses statistiques des relevés pédologiques permettent de comparer les moyennes de différents paramètres, tels que : pH (eau) « potentiel hydrogène », humidité, conductivité électrique (salinité), calcaire total et actif, carbone, matière organique et texture du sol (argile, limon et sable).

2.2.1. Potentiel hydrogène « pH_{eau} »

L'analyse de variance (ANOVA) montre qu'il n'y a pas une différence significative entre les valeurs moyennes du potentiel hydrogène « pH eau » ($F_{30,52}=0,91$; $P=0,35$), dans les deux sites « plantation (Pt) et hors plantation ou témoins (HPt) » (fig 7).

Le potentiel hydrogène (pH de l'eau) est identique dans les deux sites : planté ($7,98 \pm 0,19$) comparés avec celui non plantés ou témoins ($7,9 \pm 0,27$) ; Il souligne que le sol des sites étudiés, dans lequel se trouve de Figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est alcalin.

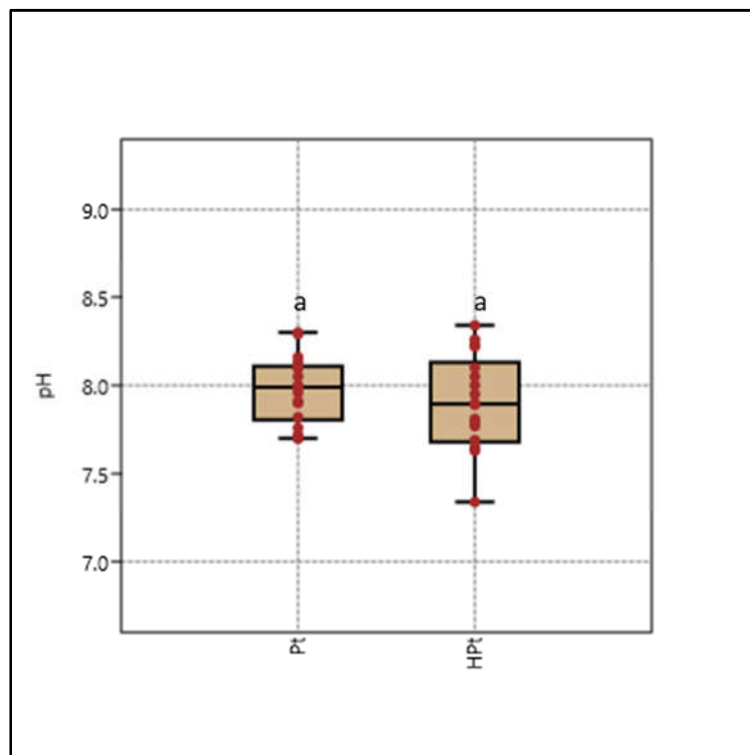


Figure 7 : Box-plots montrant l'effet de plantation sur le potentiel hydrogène « pH eau », en comparant « plantation (Pt) et hors plantation ou témoins (HPt) ». Des lettres non différentes (a, a) indiquent des valeurs moyennes qui ne diffèrent pas de manière significative (Tukey HSD post-hoc test).

2.2.2. Humidité du sol

Le test de comparaison multiple de Tukey (HSD post-hoc test) et l'analyse de la variance ANOVA montrent des différences significatives pour l'humidité ($F_{19,98} = 5,95$; $P < 0,05$), dans les deux sites (Pt et HPt) (fig.8).

L'humidité du sol augmente significativement, si l'on passe des sites témoins ($5,15 \pm 1,45$ %) aux sites aménagés ($8,09 \pm 4,89$ %).

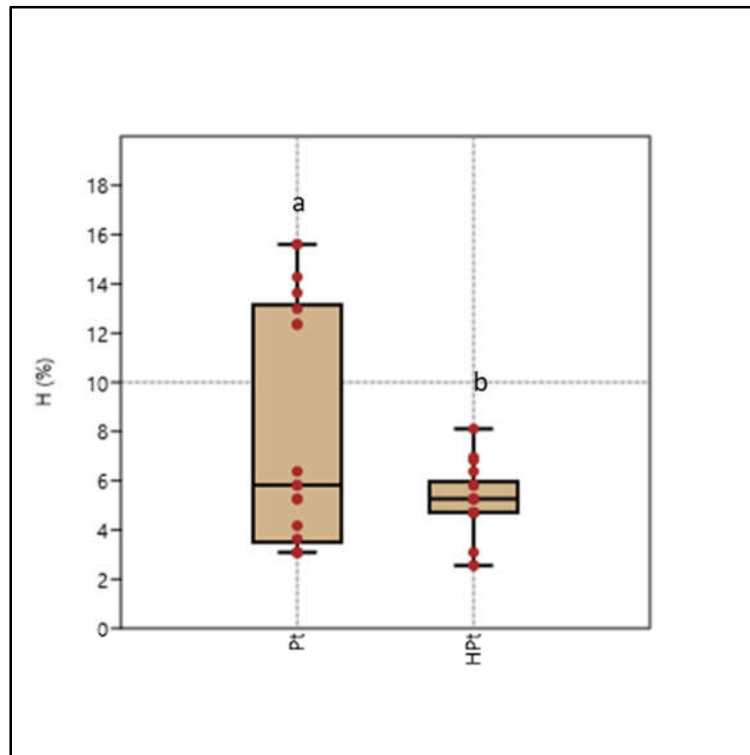


Figure 8 : Box-plots montrant l'effet de plantation sur l'humidité (%), en comparant « plantation (Pt) et hors plantation ou témoins (HPt) ». Des lettres différentes (a, b) indiquent des valeurs moyennes significativement différentes (Tukey HSD post-hoc test).

2.2.3. Conductivité électrique du sol

Une différence significative est déterminée par l'analyse des variances (ANOVA), entre les valeurs moyennes de la conductivité électrique (CE) ($F_{33, 98} = 48,67$; $P < 0,001$) des deux sites (Pt, HPt).

La conductivité électrique montre que les sols de la zone d'étude sont -généralement- salins. Où les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans HPt ($1659,28 \pm 301,66$ $\mu\text{mhos/cm}$) par rapport à Pt ($948,67 \pm 309,42$ $\mu\text{mhos/cm}$) (fig.9).

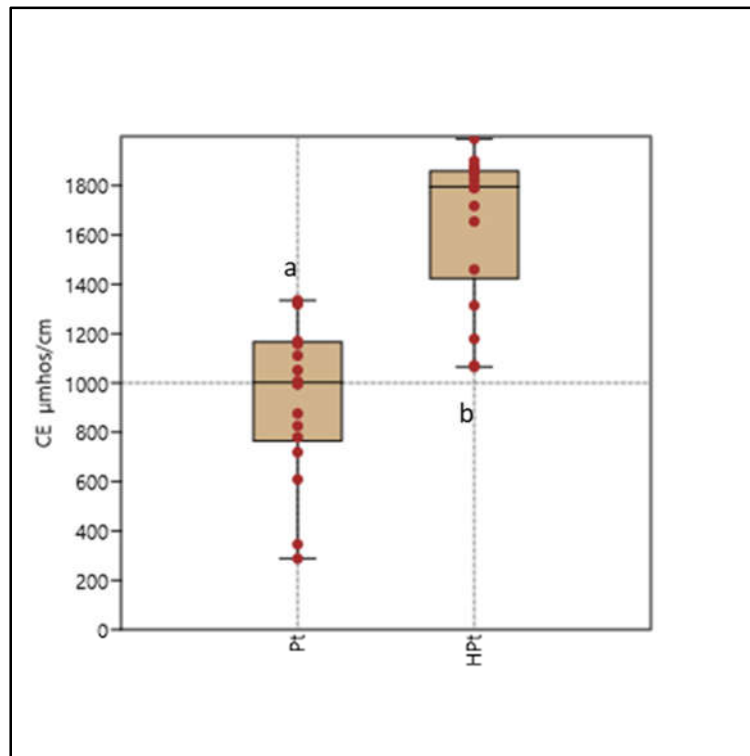


Figure 9 : Box-plots montrant l'effet de plantation sur la conductivité électrique du sol ($\mu\text{mhos/cm}$) en comparant « plantation (Pt) et hors plantation ou témoins (HPt) ». Des lettres différentes (a, b) indiquent des valeurs moyennes significativement différentes (Tukey HSD post-hoc test).

2.2.4. Calcaire total et actif du sol

Les analyses de variance (ANOVA) montrent des différences non significatives entre les valeurs moyennes du calcaire total ($F_{25,08}=2,99$; $P=0,09>0,05$) et les valeurs moyennes du calcaire actif, ($F_{33,02}=1,44$; $P=0,24>0,05$), dans les deux sites (Pt, HPt) (fig.10).

La variation du taux de calcaire total d'un site un autre soit en Pt ($21,22 \pm 8,03$ %), soit en HPt ($17,56 \pm 4,04$ %), signifie que les sols analysés sont moyennement calcaires.

La teneur en calcaire actif est légèrement plus élevée dans les sites HPt ($6,19 \pm 1,49$ %), que les sites Pt ($5,54 \pm 1,78$ %), sont considérés comme riches en calcaire actif.

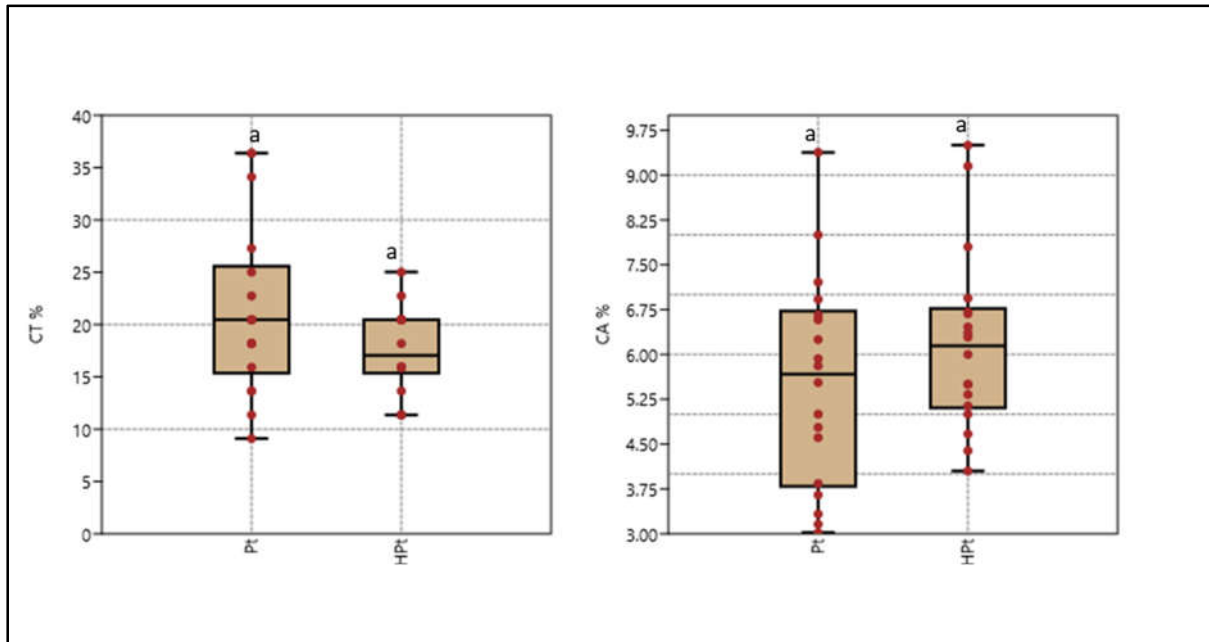


Figure 10 : Box-plots montrant l'effet de plantation sur le calcaire total et actif du sol (%) en comparant « plantation (Pt) et hors plantation ou témoins (HPt) ». Des lettres identiques (a, a) indiquent des valeurs moyennes, qui ne diffèrent pas manière significative (Tukey HSD post-hoc test).

2.2.5. Carbone et matière organique

Les résultats de l'effet de la plantation sur la fertilité du sol montrent des différences significatives au seuil de 5%, pour le carbone ($F_{17, 61}=4,46$; $P < 0,05$) et la matière organique ($F_{17, 6}=4,44$; $P < 0,05$) dans les deux sites (Pt, HPt) (fig.11).

Le taux de carbone est faible sur les sites Pt ($1,71 \pm 0,88$ %) et HPt ($1,30 \pm 0,47$ %) ; où, il donne automatiquement une faible teneur en matière organique et une faible fertilité des sols, que ce soit en sites plantés ($2,94 \pm 1,52$ %) ou en sites témoins ($2,23 \pm 0,80$ %). La fertilité du sol augmente significativement avec la plantation de Figuier de Barbarie.

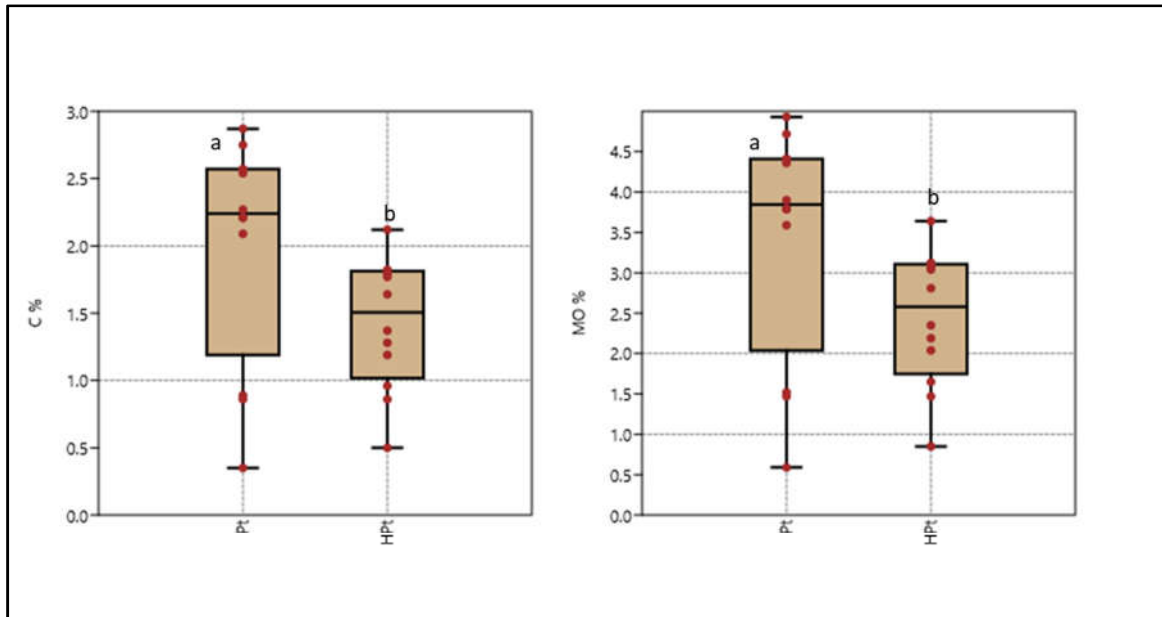


Figure 11 : Box-plots montrant l'effet de la plantation sur le carbone et la matière organique de sol (%) dans les sites aménagés (Pt) et les sites témoins (HPt). Des lettres différentes (a, b) indiquent des valeurs moyennes significativement différentes (Tukey HSD post-hoc test).

2.2.6. Argile et limon et sable

L'ANOVA (analyse de variance) montre des différences non significatives entre les valeurs moyennes des argiles ($F_{17,29}=0,80$; $P=0,383$), du limon ($F_{22,92}=1,07$; $P=0,311$) et du sable ($F_{31,64}=0,02$; $P=0,88$) dans les deux sites (Pt, HPt) (fig 12).

Les taux du sable et d'argile diminuent respectivement, avec l'aménagement, de $49,32 \pm 19,27\%$; $17,85 \pm 12,40\%$ (HPt) à $46,65 \pm 25,27\%$; $14,24 \pm 6,92\%$ (Pt). Contrairement à ce qui précède, il y a une augmentation du taux de limon avec l'aménagement, de $32,85 \pm 9,94\%$ (HPt) à $39,07 \pm 23,45\%$ (Pt).

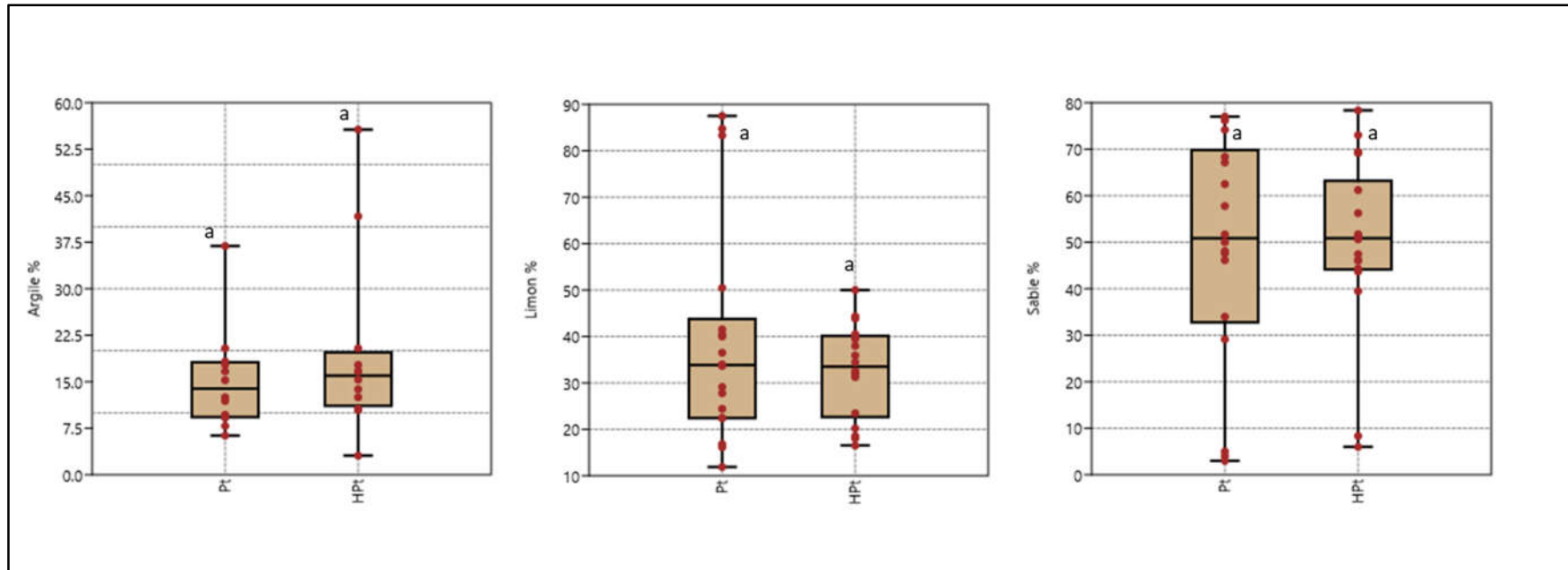


Figure 12 : Box-plots montrant l'effet de la plantation sur les taux d'argile, du limon et du sable (%) dans les sites aménagés (Pt) et les sites témoins (HPt). Des lettres identiques (a, a) indiquent des valeurs moyennes, qui ne diffèrent pas manière significative (Tukey HSD post -hoc test).

2.3. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques du sol

Les paramètres pédologiques de la zone d'étude sont très peu corrélés entre eux. Les corrélations négatives significatives trouvées dans les stations étudiées comprenaient les éléments suivants : Sable-limon ($r = -0,89$; $p < 0,01$), sable-argile ($r = -0,61$; $p < 0,01$), sable-CA ($r = -0,37$; $p < 0,01$), limon-CT ($r = -0,48$; $p < 0,01$), limon-CE ($r = -0,42$; $p < 0,01$), CE-H ($r = -0,35$; $p < 0,05$), PH-CA ($r = -0,56$; $p < 0,01$) . Tandis que, les paramètres du sol qui ont montré de fortes corrélations positives dans la zone d'étude sont: PH-CT ($r = 0,47$; $p = 0,015$), limon-CA ($r = 0,44$; $p < 0,01$), sable-CT ($r = 0,47$; $p < 0,01$) (fig.13).

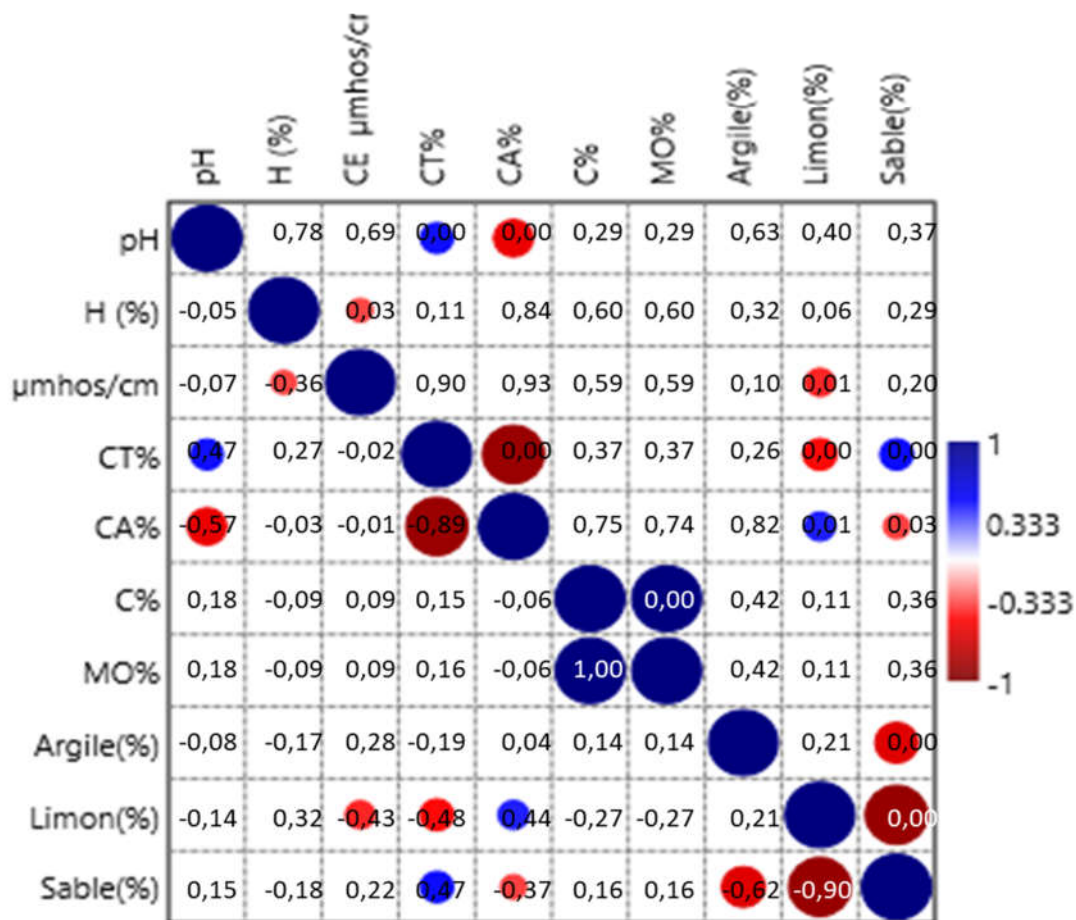


Figure 13 : Matrice de corrélation montrant les interrelations entre les paramètres du sol de la zone d'étude. Les tests de corrélation de Pearson sont indiqués par les valeurs du coefficient de corrélation de la Pearson sont indiqués par les valeurs du coefficient de corrélation (en dessous de la diagonale) et la valeur P (au-dessus de la diagonale). L'ombrage et l'intensité des couleurs dans les diagrammes circulaires et les carrés visualisent également les valeurs du coefficient de Pearson.

CHAPITRE III :
DISCUSSION & CONCLUSION

CHAPITRE III : DISCUSSION & CONCLUSION

III. DISCUSSION & CONCLUSION

Les résultats de cette étude permettent de retenir que les plantations de figues de Barbarie n'a pas provoqué une grande variation statistique significative sur les paramètres physicochimiques du sol dans les deux sites (planté ou non planté). Les valeurs de ces résultats peuvent s'expliquer comme suit :

Toutes les parcelles échantillonnées ont montré un pH alcalin, répertorié dans la gamme basique [7,5 et 8,5] selon le référentiel pédologique de Baize (2018). Le pH du sol est fortement affecté par la nature de la roche mère (Neffar et al., 2013 ; Baskan, 2016). En effet, les sols étudiés sont classés comme modérément calcaire (Baize, 2018), en raison de l'origine calcaire de la région steppique et de la fraction active comprise entre « 3 % et 9 % », ce qui explique très probablement cette alcalinité (Chenchouni, 2009). Donc, nos résultats concordent avec les données de Neffar et al., 2013.

La classification granulométrique selon le triangle textural américain montre : i) une différence non significative ; Ce qui concordent avec les résultats d'Amghar et al., 2016 et ii) une composition moyenne avec une texture limoneuse pour l'ensemble des sites échantillonnés. Le limon est le produit ultime de l'érosion hydrique des glacis steppiques et la croûte calcaire, située à une profondeur de 30 à 50 cm, est la principale caractéristique de ce type de glacis (Ruellan 1971 ; Aidoud et al., 2011).

Un pH du sol élevé ou alcalin indique souvent la présence de la salinité (Legros, 2009). La conductivité électrique a montré que les sols de la zone d'étude sont en général salins ; Où, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans HPt ($1659,28 \pm 301,66 \mu\text{mhos/cm}$) par rapport au Pt ($948,67 \pm 309,42 \mu\text{mhos/cm}$) ; Par conséquent, nos résultats ont montré qu'il y a une diminution significative de la salinité avec la plantation d'*Opuntia ficus indica*. La prédominance de l'argile dans certains échantillons de sol (HPt) rende le sol imperméable et stagnant les eaux chargées en cations qui augmentent aussi la salinité (Lachaussée, 1950 ; Chenchouni, 2009), qui s'accumulent après évaporation de l'eau, par mouvements ascendants et remontées capillaires vers la surface, notamment avec la dégradation du couvert végétal et les longues périodes de la sécheresse (Rengasamy, 2006). Ceci indique que la CE est un synonyme de dégradation structurale du milieu édaphique (Douaoui et al., 2001).

CHAPITRE III : DISCUSSION & CONCLUSION

L'humidité du sol est significativement augmentée avec la plantation du figuier (Pt) et le cortège floristique qui pousse en dessous ; Ces résultats s'expliquent également par la remontée biologique avec la restauration du couvert végétal (Macheroum et al., 2021), favorisant la fixation du sol contre l'érosion et elle empêche également l'évaporation de l'humidité du sol (Aidoud et al., 1999).

Selon Duchaufour (1977), le sol est riche en matière organique lorsque son pourcentage dépasse 2%, et selon les estimations de Pouget (1980) et Djebaili (1984) ce pourcentage est considéré comme une caractéristique des sols steppiques, s'il ne dépasse pas 3%. A cet effet, les sols étudiés sont considérés comme pauvres en matière organique (Kadi-Hanifi, 1998). Globalement, nos analyses montrent qu'il existe une différence significative de teneur en matière organique et en carbone entre les deux sites (Pt et HPt), mais qu'elle augmente au fur et à mesure avec la réhabilitation « plantation ».

CHAPITRE III : DISCUSSION & CONCLUSION

Conclusion

Au terme de ce modeste travail sur l'effet de plantation du figuier sur la restauration de certains paramètres physico-chimiques des sols dans la partie Est de la région de Tébessa (Est algérien), qui s'intègre dans le cadre de la lutte contre la désertification des écosystèmes arides et semi-arides ; Ainsi, la réhabilitation a été efficace après la plantation du figuier, et nous avons constaté une diminution significative de la salinité et du calcaire actif de 43% et 11% respectivement, et en parallèle il y a eu une augmentation des niveaux d'humidité et de matière organique de 36,3% et 24,2%, respectivement. Par conséquent, les plantations fourragères, comme la plantation du figuier reste l'une des meilleurs actions d'aménagement les plus adaptées au milieu steppique algérien, comme la mise en repos ; Parce que ces techniques sont moins coûteuses et plus efficaces pour réhabiliter les milieux dégradés contre la désertification et l'érosion, du point de vue de la fertilité des sols. Toutes ces actions d'aménagement sont fondamentales pour la durabilité écosystémique, car à notre sens aucune solution technique ne peut être réussie, si elle n'est pas adaptée à la logique des agro-éleveurs de la région.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Aidoud, A., Slimani, H., Aidoud-Lounis, F., and Touffet, J. (1999). Changements édaphiques le long d'un gradient d'intensité de pâturage dans une steppe d'Algérie. *Ecol. Mediterr.* 25 (2), 163–171. doi:10.3406/ecmed.1999.1881.
2. Aidoud, A., Slimani, H., & Rozé, F. (2011). La surveillance à long terme des écosystèmes arides méditerranéens: quels enseignements pour la restauration? Cas d'une steppe d'Alfa (*Stipa tenacissima* L.) en Algérie. *Ecologia mediterranea*, 37(2), 17-32.
3. Amghar, F., Forey, E., Margerie, P., Langlois, E., Brouri, L., & Kadi-Hanifi, H. (2012). Grazing enclosure and plantation: a synchronic study of two restoration techniques improving plant community and soil properties in arid degraded steppes (Algeria). *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, 67(3): 257-269.
4. Amghar, F., Langlois, E., Forey, E., & Margerie, P. (2016). La mise en défens et la plantation fourragère: deux modes de restauration pour améliorer la végétation, la fertilité et l'état de la surface du sol dans les parcours arides algériens. *BASE*.
5. Baize, D. (2018). Guide des analyses en pédologie. *Guide des analyses en pédologie*, 1-328.
6. Benslimane, M., Hamimed, A., Zerey, W. E., Khaldi, A., & Mederbal, K. (2009). Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 8(3). <https://doi.org/10.4000/vertigo.6782>.
7. Bensouiah R. (2006). Vue d'ensemble de la steppe algérienne. Doc en ligne: (<http://desertification.voila.net/steppealgerienne.htm>).
8. Boudjabi, S., & Chenchouni, H. (2022). Soil fertility indicators and soil stoichiometry in semi-arid steppe rangelands. *Catena*, 210, 105910.
9. Bneder, D. (2007). Schéma directeur des espaces naturels et aires protégées en Algérie.
10. Bruand, A., & Chenu, C. (1994). Constitution physique du sol. *Techniques agricoles*, 1130, 12.
11. Chenchouni, H. (2009). Place des argiles dans la caractérisation éco-pédologique du Chott de Djendli (Batna, Algérie) et mise en évidence de la relation salinité-répartition des halophytes. In *Proceedings of the 3rd Maghrebin Symposium on Clays 'SMA* (Vol. 3, pp. 23-25).
12. Djebaili, S. (1978). Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des Hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien. Th. Doct. Etat, Montpellier, Univ. Sci. Tech. Languedoc.
13. Douaoui, A., Benbouall, E. H., & Gaouar, A. (2001). Les facteurs intrinsèques de dégradation de la structure de surface des sols du bas Cheliff.
14. Duchaufour, P. (1977). Pedology. Vol. I. Pedogenesis and Classification. *Pedology. Vol. I. Pedogenesis and Classification*.
15. Gamoun, M. (2013). Vegetation change in variable rangeland environments: the relative contribution of drought and soil type in arid rangelands. *Ekológia (Bratislava)*, 32(1), 148-157.
16. Gounot, M. (1969). Méthodes d'étude quantitative de la végétation. (*No Title*).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

17. Haddouche, I. (2009). La télédétection et la dynamique des paysages en milieu aride
Thèse doctorat, Univ. Tlemcen, 259 p.
18. Hammer, Ø. (2020). PAST PAleontological STatistics ver. 4.03—Reference Manual
Natural History Museum. University of Oslo. <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past>.
19. Kadi-Hanifi, H. (1998). L'alfa en Algérie: syntaxonomie, relations milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir. *PhD, Université des Sciences et de la Technologie H. Boumediene, Bab Ezzouar, Algeria (in French)*.
20. Lachaussée, E. (1950). Les sols sous la dominance de l'eau et la forêt. *Revue forestière française*, (5), 246-273.
21. Legros, J. P. (2009). La salinisation des terres dans le monde. In *Proc. Academie des Sciences et Lettres de Montpellier Conf. n*(Vol. 4069, pp. 257-269).
22. Le Houérou, H. N. (1992). Relations entre la variabilité des précipitations et celle des productions primaire et secondaire en zone aride. *L'aridité, une contrainte au développement*, 197-220.
23. -Le Houérou H. N.(2002). Man-made deserts: Desertization processes and threats. *Arid Land Res. Manag.*, 16: 1-36.
24. Macheroum, A., Kadik, L., Neffar, S., & Chenchouni, H. (2021). Environmental drivers of taxonomic and phylogenetic diversity patterns of plant communities in semi-arid steppe rangelands of North Africa. *Ecological Indicators*, 132, 108279
25. Macheroum, A., & Kadik, L. (2015). Étude de l'état actuel de la végétation du Nord de la wilaya de Tébessa sur le plan phytoécologie et pastoral. Edilivre, Paris, France.
26. Macheroum, A., Chenchouni, H. (2022). Short-term land degradation driven by livestock grazing does not affect soil properties in semiarid steppe rangelands. *Frontiers in Environmental Science*, 1430.
27. Mathieu, C., Pieltain, F., & Jeanroy, E. (2003). *Analyse chimique des sols: Méthodes choisies*. Tec & doc.
28. 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 112p.
29. Nedjimi B.(2012) a. Rangeland improvement and management options in the arid steppes of Algeria. In: Germano, M. Denise (Ed.) *Steppe ecosystems: Dynamics, land use and conservation*. Nova Science Publishers, Inc. New York:157-170.
30. Nedjraoui, D. et Bédrani S.(2008). La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *La revue électronique en sciences de l'environnement. Vertigo*. 8 : 1-15.
31. Neffar, S. (2012). Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est. Cas de Souk-ahras et Tébessa (Doctoral dissertation, Annaba).
32. Neffar, S., Chenchouni, H., Beddiar, A., and Redjel, N. (2013). Rehabilitation of degraded rangeland in drylands by prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) plantations: Effect on soil and spontaneous vegetation. *Ecol. Balk*. 5 (2), 63–83.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

33. Neffar, S., Fraga-Beddiar, A., Redjel, N., & Boukheloua, J. (2011). Effets de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) sur les propriétés du sol et la végétation à Tébessa (zone semi-aride de l'est algérien). *ecologia mediterranea*, 37(1), 5-15.
34. Neffar, S., Menasria, T., & Chenchouni, H. (2018). Diversity and functional traits of spontaneous plant species in Algerian rangelands rehabilitated with prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) plantations. *Turkish Journal of Botany*, 42(4), 448-461.
35. Pouget, M. (1980). Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises (Vol. 116). Paris,, France: Orstom.
36. Rengasamy P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany* 57: 1017–1023. DOI:10.1093/jxb/erj108.
37. Ruellan, A. (1971). *Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes : Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la basse Moulouya (Maroc oriental)*. Orstom.
38. Slimani, H. (1998). Effet de pâturage sur la végétation et le sol et désertification cas de la steppe à alfa (*Stipa tenacissima* L) de Rogassa des Hautes Plaines Occidentales Algériennes. Magister dissertation, USTHB, Algiers.
39. Slimani, H., Aidoud, A., Roze, F. (2010). 30 Years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification. *Journal of Arid Environments*, 74(6), 685–691.