



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة زيان عاشور-الجلفة

UNIVERSITÉ ZIANE ACHOUR -DJELFA-

كلية علوم الطبيعة والحياة

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

قسم العلوم البيولوجية

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES

MÉMOIRE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER 2 EN SCIENCES BIOLOGIQUES

OPTION : BIOTECHNOLOGIE VÉGÉTALE

Thème

Contribution à l'estimation du taux de mycorhizes de l'olivier en steppe. Cas de la région de Sguiâa, commune de Bouira Lahdab, wilaya de Djelfa.

Par

BARA CHROUK RANIA

Devant le jury composé de :

Présidente: Mme Belhadj Safia	Professeur	Université de Djelfa
Examinatrice: Mme Bencherif Karima	MCA	Université de Djelfa
Promotrice : Mme Ghazi Meriem	MAA	Université de Djelfa
Co-promotrice : Mme Bouabdelli Zahra	CRB	CRA Djelfa

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Mes remerciements sont d'abord destinés à "Dieu" de m'avoir donné le courage, la patience et la force de faire ce travail et de continuer pour voir le fruit de ma longue années d'études.

Je tiens à exprimer ma grande reconnaissance à ma directrice du projet de fin d'étude Madame Ghazi.Meriem, maître assistante à l'université de Ziane Achour à Djelfa qui a bien voulu diriger ce travail, je le remercie infiniment d'avoir été toujours disponible, compréhensive tout au long de ce travail.

Merci également à Madame Bouabdelli Zahra

Je voudrais également adresser ma profonde reconnaissance aux membres de jury pour avoir accepté de consacrer leur temps pour examiner ce modeste travail :

Madame Belhadj Safia

Madame Bencherif karima

Je remercie également Monsieur Lahrach Ibrahim Professeur à l'université de Ziane Achour à Djelfa, Monsieur Hassani Safieddine et toute l'équipe du Haut commissariat au Développement de la Steppe et enfin, l'équipe du laboratoire de l'université qui n'ont ménagé aucun effort pour me permettre la réalisation de mon travail sur le terrain et au laboratoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

Mes parents qui ont suivi avec attention et un grand intérêt. Nacira Kahoul et Bensadallah Bara.

Mes frères (Imad, Abdennour, Mohammed et Abdraouf) Mes sœurs (Ahlam et Djihane) pour leur motivation et leur soutien indéfectible.

Un énorme merci pour tous les étudiants de ma promotion et à tous mes amis(es) particulièrement Amira et Souad, Hadda et Sabrine.

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	
Introduction générale	1
Chapitre 1: Les mycorhizes	3
Introduction	3
1.1 Différentes associations mycorhiziennes	5
1.1.1 Association ectomycorhizienne	5
1.1.2 Association endomycorhizienne	5
1.1.3 Associations ectoendomycorhiziennes	7
1.1.4 Symbiose mycorhizienne arbusculaire (MA)	7
1.2 Bénéfices de la mycorhization	8
1.2.1 Sur le végétal	8
1.2.2 Sur le champignon	10
1.2.3 Amélioration de la qualité du sol	11
Chapitre 2 : L'olivier et ses symbiotes	12
Introduction	12
1. Répartition de la culture de l'olivier dans le monde	13
2. La culture de l'olivier en Algérie	14
3. Répartition de la culture de l'olivier en Algérie	15
4. La culture de l'olivier dans la wilaya de Djelfa	16
5. Les études sur les mycorhizes de l'olivier	17
6. Applications des mycorhizes à la culture de l'olivier	18
Chapitre 3 : Matériel et méthodes	20
1. Description et caractérisation de la zone d'étude	20
2. Synthèse climatique	21
3. Échantillonnage des racines et leur sol rhizosphérique	21
4. Analyses physico-chimiques des sols	22
4.1. Granulométrie	22
4.2. Humidité	23
4.3. Conductivité électrique (CE)	23
4.4. Mesure du pH	24
4.5. Dosage du calcaire total	25
4.6. Dosage du calcaire actif	27
4.7. Dosage de l'azote total	28
4.8. Matière organique	29
4.9. Phosphore	30

5. Observation de la colonisation racinaire mycorhizienne arbusculaire	31
6. Technique d'évaluation de l'infection endomycorhizienne	34
7. Analyses statistiques	35
Chapitre 4: Résultats et discussion	36
1. Synthèse climatique	36
1.1. Correction des données (1990-2020)	36
1.2. Températures	37
1.3. Précipitations	38
1.4. Climagramme d'Emberger	40
1.5. Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls	42
2. Analyses physico-chimiques des sols	43
2.1. Profil du sol	43
2.2. Granulométrie	43
2.3. Humidité	44
2.4. La conductivité électrique et pH	45
2.5. La matière organique	45
2.6. Le calcaire total et le calcaire actif	45
2.7. Azote total	45
2.8. Phosphore	45
2.9. Analyse statistique des résultats des analyses des sols	47
2.10. Discussion	47
3. Estimation du taux de colonisation racinaire par les CMA de <u>Olea europaea</u>	49
3.1. Observation microscopique des écrasements racinaires chez <u>Olea europaea</u>	49
3.2. Taux de mycorhization	50
3.3. Analyse statistique relative au taux de mycorhization	51
Analyse de la variance (ANOVA)	51
Test de corrélation de Pearson	51
3.4. Discussion	52
Conclusion générale	53
Références bibliographiques	
Annexes	
Annexe 1 : Mycorhize	
Annexe 2 : Pédologie	

Liste des figures

Figure 1: Symbiose mycorhizienne	04
Figure 2: Les principaux types de mycorhize représentés en coupe transversale de racine	06
Figure 3: Associations ectoendomycorhiziennes	07
Figure 4: Carte oléicole mondiale	13
Figure 5: Evolution des superficies (ha) d'olivier en Algérie de 1969 à 2020	14
Figure 6: Evolution de la production (t) d'olive en Algérie de 1961 à 2020	15
Figure 7: Carte oléicole d'Algérie	16
Figure 8: La culture de l'olivier dans la commune de Hassi Bahbah wilaya de Djelfa	17
Figure 9: Situation géographique de la zone d'étude (a) et de l'exploitation (b)	20
Figure 10: Échantillonnage des racines avec le sol rhizosphérique sous olivier	21
Figure 11: Appareil à Humidité de rayons X	23
Figure 12: Appareil de mesure de la conductivité	24
Figure 13: Le filtrat du (sol+l'eau distillée), pour mesurer la conductivité est filtré	24
Figure 14: La solution obtenue pour la mesure du pH	25
Figure 15: Calcimètre de Bernard	25
Figure 16: La filtration d'un mélange de 2.5 g de sol et l'eau distillée après 1h d'agitation	27
Figure 17: Les racines avant de les mettre en solution KOH	31
Figure 18: Mise des échantillons à l'étuve pendant une heure à 90 °C	31
Figure 19: Décoloration des racines après passage au KOH	32
Figure 20: Passage des racines à l'eau oxygénée	32
Figure 21: Les racines dans une solution colorante (encre bleue)	33
Figure 22: Les racines sont préparées après plusieurs rinçages et placées à l'acide acétique	33
Figure 23: Préparation des lames	33
Figure 24: Les 50 lames avec les 10 fragments par lame	34
Figure 25: Barème de classe de la colonisation endomycorhizienne	35
Figure 26: Les moyennes mensuelles des températures de la zone d'étude durant la période 1990-2020	38
Figure 27: Les précipitations mensuelles et annuelles de la zone d'étude durant la période (1990-2020)	39
Figure 28: Le climagramme d'Emberger pour la région de Sguiâa	41
Figure 29: Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls	42
Figure 30: Profil du sol de la zone d'étude	43

Figure 31: Triangle des textures minérales pour la région de Sguiâa	44
Figure 32: Moyenne Humidité parcelles 2 et 4	46
Figure 33: Moyenne Conductivité parcelles 2 et 4	46
Figure 34: Moyenne pH parcelles 2 et 4	46
Figure 35: Moyenne calcaire total parcelles 2 et 4	46
Figure 36: Moyenne calcaire actif parcelles 2 et 4	46
Figure 37 : Moyenne azote total parcelles 2 et 4	46
Figure 38 : Moyenne matière organique parcelles 2 et 4	47
Figure 39: Racines d'olivier infectées d'hyphes, vésicules, et arbuscules (a)- V : vésicule, (b)- HI : hyphe intercellulaire, (c)- CC : cylindre central, (d)- S : spore ; (e) - A : arbuscules, (f)- HIC: hyphe intracellulaire (Observation au microscope GX40).	50

Liste des tableaux

Tableau 01: Les moyennes mensuelles des Températures de la zone d'étude	37
Tableau 02: Les précipitations mensuelles et annuelles de la zone d'étude durant la période (1990-2020)	39
Tableau 03: Quotient pluviothermique d'Emberger calculé pour la région d'étude et l'étage bioclimatique	40
Tableau 04: Les données de diagramme Ombrothermique	42
Tableau 05: Analyses granulométrique des sols de la zone d'étude	44
Tableau 06: Résultats d'analyses physico-chimique des sols	45
Tableau 07: Paramètres de l'analyse statistique des sols	47
Tableau 08: Le taux de mycorhization des mycorhizes arbusculaire	50
Tableau 09: Paramètres de mycorhization chez <u>Olea europaea</u>	51
Tableau 10: Matrice de corrélation de Pearson ($p < 0,05$) pour l'ensemble des variables de mycorhization et des sols	52

Tableaux en annexe

Tableau 11: Statistique descriptive pour les mycorhizes	
Tableau 12 : Statistique descriptive des analyses des sols	
Tableau 13: Paramètres des sols de la zone d'étude	
Tableau 14: La granulométrie parcelles 2 et 4	
Tableau 15: Analyses granulométrique des sols de la zone d'étude	
Tableau 16: La mesure d'humidité	
Tableau 17: La mesure du pH	
Tableau 18: La conductivité électrique du sol (CE)	
Tableau 19: Les Données du dosage de calcaire total parcelles 2 et 4	
Tableau 20: Témoins du dosage du calcaire total	
Tableau 21: Les données de L'azote total	
Tableau 22: Les données du calcaire actif	
Tableau 23: Les données de la matière organique	

Liste des abréviations

a (%) : Abondance des arbuscules dans les parties mycorhizées des fragments de racines

A (%): Teneur arbusculaire de l'infection

ANOVA: Analyse de la Variance

AT: Azote total

CA : Calcaire actif

CaCO₃ (%) : Taux de carbonate de calcium

CaCO₃ : Calcaire total

CMA: Champignons mycorhiziens à arbuscules

CT : Calcaire total

F (%): Fréquence de l'infection mycorhizienne

FAA : Mélange éthanol-acide acétique-formol

FAO: Food Agriculture Organization.

FAOSTAT: Food and Agriculture Organization Statistics

H : Humidité

H₂O₂: Eau oxygénée

KOH : Hydroxyde de potassium

m (%) : Intensité de la colonisation mycorhizienne dans les fragments racinaires

M (%): Intensité de colonisation du cortex racinaire

M: Moyenne des températures maximales

m: Moyenne des températures minimales

mm: millimètre

MO (%): Taux de matière organique

MVA: mycorhizes vésico-arbusculaires

P: Précipitation

Pe: Poids de l'échantillon en g

PF: Poids final en g

pH: Potentiel hydrogène

PI: Poids initiale en g

PPM : Partie par million

PV: Poids du conteneur vide en g

µm: micromètre

Résumé

Dans le but d'étudier la relation symbiotique entre l'olivier et les champignons mycorhiziens, nous avons proposé d'évaluer l'infection mycorhizienne, au printemps, qui s'exprimait par quatre critères (fréquence d'infestation, densité de colonisation mycorhizienne, teneur en arbuscules et vésicules). L'examen microscopique des fragments de racines a révélé la présence de formes fongiques appartenant aux champignons endomycorhiziens. Le taux d'infection est très élevé de 88.5% dans la zone d'étude.

Mots clés : Olea europaea, steppe, Champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA), Djelfa.

Abstract

For the purpose of studying the symbiotic relationship between the olive tree and the mycorrhizal fungi, we proposed to evaluate the mycorrhizal infection, which was expressed by four criteria (frequency of infestation, density of mycorrhizal colonization, content of shrubs and vesicles) in the spring season. Microscopic examination of the root fragments revealed the presence of fungal forms belonging to the endomycorrhizae fungus. An estimate of a very high infection rate of 88.5% in the study station.

Key words : Olea europaea, Djelfa, CMA , Steppe.

ملخص

لغرض دراسة العلاقة التكافلية بين شجرة الزيتون والفطر المايكورايزا اقترحنا تقييم الإصابة بالميكورايزا التي عبرت عنها بأربع معايير (تواتر الإصابة ،كثافة الاستعمار الميكورايزا محتوى الشجيرات والحوصلات) في فصل الربيع و لدراسة شروط هذا التكافل قمنا بتحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية (درجة الحموضة والمواد العضوية والحجر الكلسي الكلي والرطوبة) للتربة في مواقع أخذ العينات المختلفة
كشفت الفحص المجهرى لشطايا الجذور وجود أشكال فطرية تنتمي للفطر الاندومي كريزي تقدير معدل إصابة مرتفع جدا 88.5 % في محطة الدراسة.

الكلمات المفتاحية :

Olea europaea, الجلفة, الميكورايزا, Steppe.

Introduction générale

L'olivier (*Olea europaea* L.), arbre ancestral profondément ancré dans les civilisations méditerranéennes et arabo-musulmanes, a toujours constitué, de par sa forte charge emblématique en termes de paix et de prospérité, un facteur d'atténuation des clivages culturels des peuples du Bassin méditerranéen. De nos jours, la place de l'oléiculture sur l'échiquier agricole méditerranéen ne cesse de se raffermir et le rayonnement de ses produits sur le marché mondial des denrées alimentaires ne fait que s'élargir (Saad, 2009).

Selon le FAO (2022), l'Algérie a enregistré en 2020 une superficie en olivier estimée à 877.656 hectares et une production d'olives d'environ 215.9016 tonnes.

L'olivier, parmi tant d'autres plantes herbacées et ligneuses, contracte naturellement des symbioses racinaires les plus répandues dans la nature, telles que les symbioses endomycorhiziennes à vésicules et arbuscules (Saad, 2009). De nombreuses recherches ont montré les avantages de la mycorhization et ses applications en arboriculture fruitière notamment pour la production de plantes en pépinière. L'olivier, comme la plupart des arbres fruitiers, est un partenaire symbiote potentiel des champignons endomycorhiziens (Porrás piedra et al. 2005).

L'utilisation des mycorhizes dans la production végétale dans son ensemble, est réputée améliorer l'assimilation des éléments minéraux en particulier le phosphore et favoriser la croissance de la plante-hôte (Plenchette, 2005). Ils permettent également aux plantes de mieux résister à différents stress environnementaux tels que la salinité, la sécheresse et certains microorganismes telluriques.

C'est la raison pour laquelle il nous a semblé opportun d'entreprendre une étude de la contribution à la caractérisation des mycorhizes d'olivier avec comme objectif: L'estimation du taux de mycorhization de l'olivier en steppe.

Cette étude permettra :

- d'effectuer une analyse physico-chimique du sol d'olivier et d'estimer le taux d'infection endomycorhizienne des oliviers.
- d'étudier l'adaptation de l'olivier dans les zones steppiques à travers l'évolution des champignons mycorhiziens.
- Dans notre pays, l'étude de la biodiversité des champignons mycorhiziens reste le parent pauvre de l'écologie microbienne. Plusieurs travaux ont été effectués telles que les études de Bouabdelli (2019) sur le genre *Pistacia*, Adjoud-Sadadou et Halli-Hargas (2000) sur *Eucalyptus* sp, Fraga-Beddiar et Abda (2002) sur *Quercus suber*, et Bencherif (2016) sur

Tamarix articulata, malgré le fait reconnu aux champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) dans l'augmentation de la résistance des arbres aux stress abiotiques.

C'est dans ce cadre que nous avons entrepris l'étude de ces champignons, et pour cela une série de questions est proposée:

-De quel type d'association s'agit-il ?

-Existe-t-il une bonne affinité, entre ces champignons et les racines de notre espèce, exprimée par l'estimation du taux de l'infection mycorhizienne ?

- Existe-t-il des différences significatives du taux de colonisation entre les parcelles de la station d'étude?

- Existe-t-il des corrélations significatives entre les paramètres de colonisation et les différents paramètres édaphiques?

Ce mémoire est scindé en 4 chapitres, après une introduction générale incluant les objectifs, sous-tendant la présente étude, il y a :

- Un premier chapitre consacré à la « Description de la symbiose mycorhizienne : définition de la symbiose, historique, découvertes, différentes symbioses, intérêts »

- Un chapitre II, relatif à la «Présentation de l'olivier» - Un chapitre III, qui décrit «le matériel et les méthodes » - Un Chapitre IV, qui reporte « les résultats et les discussions»

La conclusion de ce mémoire met en relief les relations existantes entre les différents paramètres étudiés, ceci afin de mieux connaître cette symbiose dans la steppe algérienne.

Chapitre 1: Les mycorhizes

Introduction

Le mot symbiose fut utilisé pour la première fois par l'allemand Frank (1877) pour qualifier la coexistence d'organismes différents. Les symbioses mutualistes, où les partenaires coexistent activement d'un point de vue physiologique, écologique et reproductif, furent pendant longtemps jugées peu importantes dans les processus écologiques. Il est actuellement admis que la symbiose mycorhizienne est une association obligatoire et à bénéfice réciproque entre une racine de plante et un champignon, les mycorhizes ont fait l'objet de descriptions et d'études de distribution de par le globe. La presque totalité des plantes vertes terrestres vivent en symbiose mycorhizienne. Seuls des membres de quelques familles en sont quelques fois dépourvus, par exemple, les crucifères et les chénopodiacées (Fortin et *al.* 2008). Les mycorhizes sont désormais considérées différemment des autres associations plantes-champignons parce qu'elles sont des associations intimes avec une interface spécialisée où les échanges des matières se produisent entre les cellules vivantes (Hamza, 2014). Une nouvelle définition plus large, de mycorhizes qui embrassent toute la diversité des mycorhizes tout en excluant toutes les autres associations plantes-champignons est publiée par Brundrett (2004) : « Une mycorhize est une association symbiotique entre un champignon et une racine d'une plante vivante, essentielle pour l'un ou les deux partenaires. Les mycorhizes sont principalement responsables du transfert d'éléments nutritifs. Elles se produisent dans un organe végétal spécialisé où le contact intime résulte du développement synchronisé des plantes-champignons ». Les mycorhizes constituent des partenaires essentiels dans la relation sol-plantes-microorganismes. En effet, certaines espèces végétales ne peuvent croître normalement sans leur symbiote fongique dont elles sont fortement dépendantes et avec qui elles ont co-évolué.

La symbiose mycorhizienne est donc une union intime entre les racines de la plupart des arbres, arbustes, plantes herbacées et des champignons microscopiques (Plenchette, 2005). Le terme symbiose implique que les deux partenaires tirent un bénéfice de cette association. Ainsi, la plante fournit généralement au champignon des hydrates de carbone photosynthétiques, alors que ce dernier fournit un apport en eau et en éléments minéraux par une augmentation de la surface d'absorption (Selosse. 2001).

Quatre principaux types de mycorhizes ont été décrites en fonction de leur structure et de leur fonction, à savoir les mycorhizes arbusculaires (MA), les ectomycorhizes (EM), les

mycorhizes d'orchidées et les mycorhizes éricoïdes . Il est bien connu que les différents types de mycorhizes possèdent des capacités différentes leur permettant d'accéder aux formes organiques et inorganiques des nutriments du sol (Saad, 2009). Les champignons mycorhiziens vivent généralement dans le cortex des racines des plantes, à la surface de la racine ou autour des cellules épidermiques de la racine . Ils développent également des hyphes à partir des racines dans le sol, où ils fournissent les nutriments limitant la croissance des plantes, en particulier les nitrates et les phosphates. Les ectomycorhizes et les éricoïdes s'associent principalement avec les plantes qui colonisent les sols organiques, en revanche, les mycorhizes arbusculaires sont caractéristiques des plantes qui poussent sur des sols minéraux, où les sources inorganiques d'azote et de phosphore sont répandues. Chez les Ectomycorhizes, le champignon ne pénètre pas à l'intérieur des cellules racinaires, mais il se développe entre les cellules formant une interface symbiotique appelée réseau de Hartig à l'extérieur des racines et constitue une sorte de manchon d'hyphes. Tandis que dans le cas des Endomycorhizes la symbiose est non visible à l'œil nu. Les champignons colonisent l'intérieur des cellules racinaires pour former des arbuscules et vésicules, ces deux structures jouent un rôle important dans les échanges de nutriments avec la plante (voir figure 01).

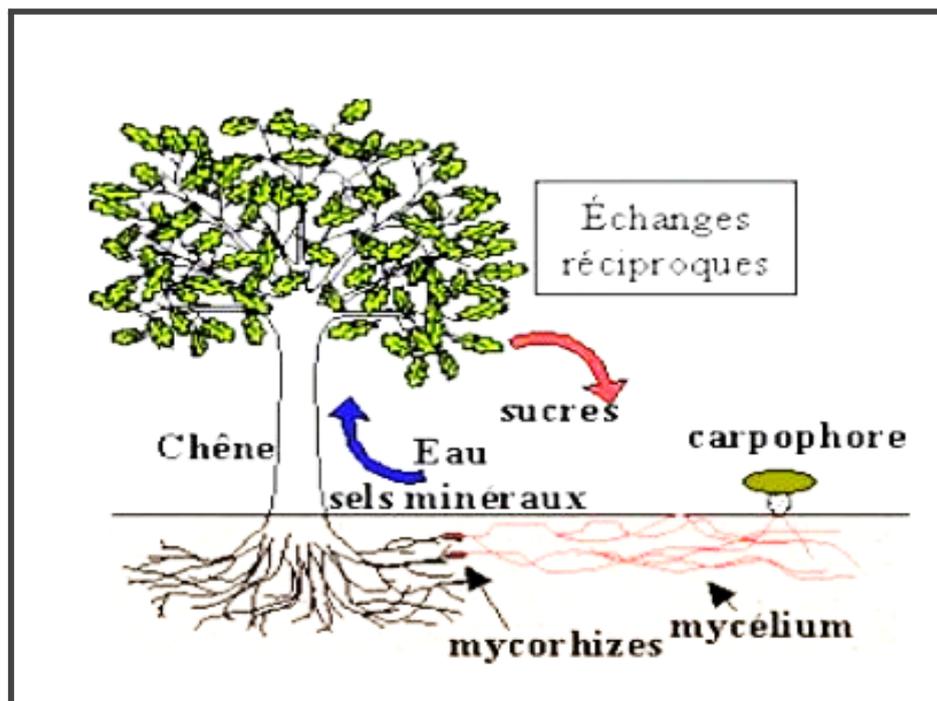


Figure 1 : Symbiose mycorhizienne (agronomie.info, non daté).

1.1 Différentes associations mycorhiziennes

Le terme mycorhize a été créé par Frank en 1885, Le Tacon (1985) considéra cinq types d'associations mycorhiziennes selon les caractéristiques morphologiques, sur la base de leurs caractéristiques morphologiques et sûr les partenaires fongiques et végétaux impliqués dans la symbiose. Il a décrit sept types : les endomycorhizes à arbuscules, les ectomycorhizes, les ectendomycorhizes, les mycorhizes arbutoïdes, monotropoïdes, éricoïdes et orchidoïdes (Bouazza, 2016). Ces Associations symbiotiques sont récemment classées en huit types de mycorhizes, (Garbaye, 2013). Les symbioses mycorhiziennes arbusculaires et ectomycorhiziennes sont les plus abondantes et les plus répandues.

1.1.1 Association ectomycorhizienne

Les ectomycorhizes se rencontrent surtout chez les arbres forestiers comme le pin, le sapin, le bouleau et principalement chez les résineux (arbres produisant de la résine) (Gagné, 2005). Il existe entre 5000 et 6000 espèces de champignons capables de former des ectomycorhizes appartenant aux Basidiomycètes et aux Ascomycètes, certains ont des carpophores comestibles (truffe, terfez, bolets) tandis que d'autres sont toxiques. Il existe trois éléments structuraux caractéristiques de l'ectomycorhize : Le manteau fongique consiste en l'enroulement du mycélium du champignon autour la racine de la plante dont l'épaisseur est variable selon l'espèce fongique. Les hyphes extra matriciels qui établissent un lien entre le manteau et la rhizosphère.

Le réseau de Hartig qui est formé par les filaments mycéliens partant du manteau et qui s'insèrent entre les cellules corticales sans les pénétrer ; l'épaisseur de ce réseau est variable, c'est le site d'échanges bidirectionnel entre les deux partenaires (Bouazza, 2016).

1.1.2 Association endomycorhizienne

L'endomycorhize fut la première symbiose mycorhizienne avec les plantes, dont les hyphes ont la particularité de pénétrer dans les cellules de la racine de la plante (Brundrett, 2004).

1.1.2.1 Les endomycorhizes à vésicules et à arbuscules

Elles représentent le type mycorhizien le plus ancestral et le plus répandu dans la flore actuelle (Bouazza, 2016). Ce type de mycorhize existe chez environ 90 % des plantes à graines associées avec des champignons appartenant aux zygomycètes de l'ordre des *Glomales*. Dans ces associations, le champignon envahit les cellules de l'ectoderme de la racine et y forme des renflements (vésicules) ronds ou ovoïdes, intra ou intercellulaires, des

pelotons intracellulaires, des hyphes intercellulaires siphonnés ou des arbuscules intracellulaires très ramifiés.

1.1.2.2 Les endomycorhizes des Orchidées

Ce type de mycorhize est peu connu, il se rencontre chez les orchidées qui sont des plantes très répandues contenant le plus grand nombre d'espèces. Les partenaires fongiques impliqués sont des Basidiomycètes, le plus souvent du genre *Rhizoctonia*.

Pour germer, la graine d'orchidée a besoin d'aide, ces graines contrairement à d'autres, sont quasiment dépourvues de réserves nutritives. Elles s'associent donc avec le mycélium. Les champignons vont former des pelotons intracellulaires correspondant à des hyphes vivants à l'intérieur des cellules dites hébergeantes et des amas de filaments à l'intérieur des cellules phagocytaires (lamy, 2019).

1.1.2.3 Les endomycorhizes des Ericacées

Cette association est formée par des Ascomycètes de la famille des Pézizales et quelques Basidiomycètes et les Ericacées (famille d'environ 1500 espèces).

Le champignon associé colonise le parenchyme cortical en développant des denses pelotons d'hyphes septées. Le contenu de la cellule-hôte est voué à la dégénérescence, puis les hyphes s'altèrent. Les cellules hébergeantes resteraient saines et fonctionnelles pendant 4 à 5 semaines et cette dégradation serait terminée en 7 semaines. C'est le comportement qui caractérise les endomycorhizes des orchidées (Aibeche, 2008).

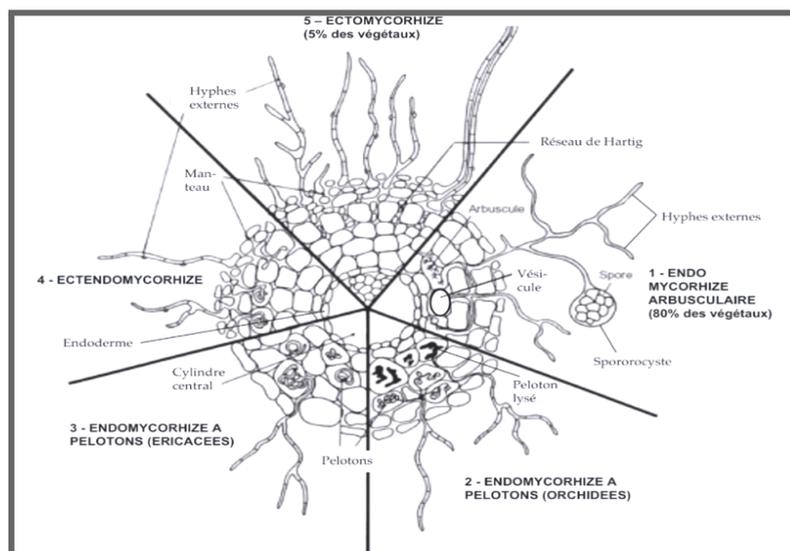


Figure 2 : les principaux types de mycorhize représentés en coupe transversale de racine (Le Tacon, 1985)

1.1.3 Associations ectoendomycorhiziennes

Ce sont des formes intermédiaires entre les endomycorhizes et les ectomycorhizes ; elles sont caractérisées par un manchon fongique et un réseau de Hartig, mais les hyphes pénètrent dans les cellules (Aibeche, 2008). On distingue les mycorhizes monotropoïdes des Monotropaceae dont les hyphes pénétrants sont courts, et les mycorhizes arbutoïdes des Arbutacées et Pyrolacées (selon la classification de Cronquist) dont les pénétrations intracellulaires sont en pelotons ou ramifiées.

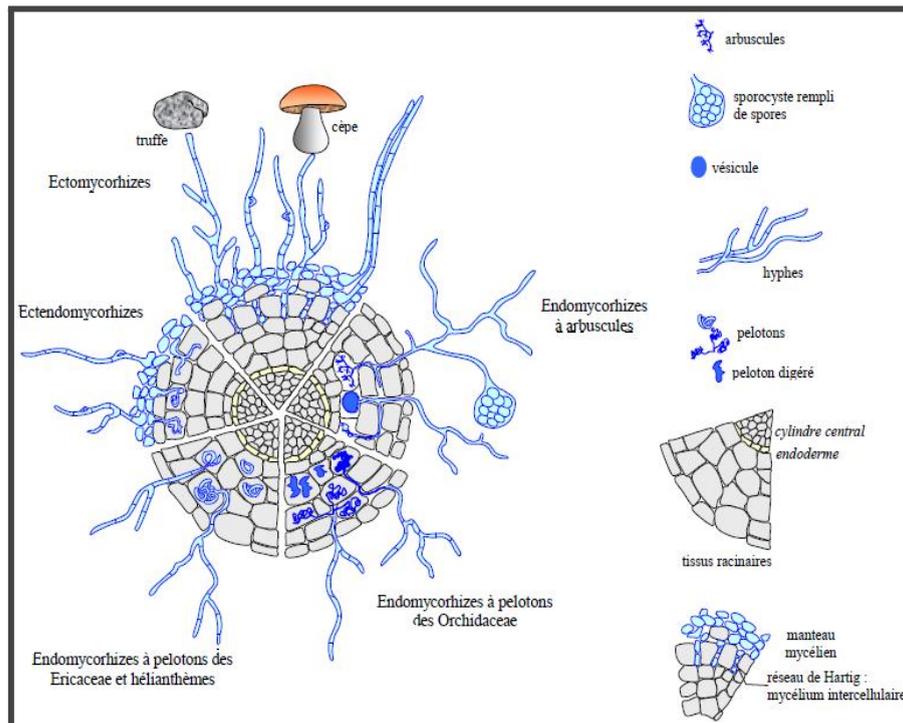


Figure 3: Associations ectoendomycorhiziennes (Boullard, 1990)

1.1.4 Symbiose mycorhizienne arbusculaire (MA)

La symbiose mycorhizienne arbusculaire (MA) est une association symbiotique entre deux eucaryotes ; les Gloméromycètes et la plupart des espèces végétales. Des controverses divisent encore aujourd'hui certains auteurs sur l'appellation universelle de cette association mycorhizienne. Pour certains auteurs (Bouazza, 2016) l'appellation mycorhize à arbuscules n'est pas très appropriée car il est difficile d'observer les arbuscules à l'intérieur des racines colonisées par ces champignons alors que 80 % des champignons forment des vésicules. C'est pourquoi ils retiennent l'appellation de mycorhizes à vésicules et arbuscules (MVA). Mais pour d'autres, les Gigasporineae ne forment pas de vésicules et presque tous les champignons de l'ordre des Glomales forment des arbuscules. Dans ce document, l'appellation mycorhizes à arbuscules (MA) sera retenue.

Enfin, nous nous intéressons plus particulièrement aux endomycorhizes à arbuscules qui constituent le type de mycorhizes le plus répandu et le plus ancien, qui auraient co-évolué avec les plantes terrestres depuis au moins 460 millions d'années et qui sont maintenant incapables de survivre sans plante hôte d'où le qualificatif de symbiotes obligatoires (Bouazza, 2016).

1.2 Bénéfices de la mycorhization

La plante fournit généralement au champignon des hydrates de carbone photosynthétiques (Sidhoum, 2011) alors que ce dernier fournit un apport en eau et en éléments minéraux par une augmentation de la surface d'absorption.

1.2.1 Sur le végétal

Les champignons mycorhiziens constituent un élément important sur la durabilité des écosystèmes agricoles et forestiers et y jouent un rôle majeur sur la diversité de la microflore, la microfaune, la végétation et par conséquent dans la conservation et la stabilité structurale des sols. La diversité taxonomique des champignons mycorhiziens et leurs rôles bio-fertilisant et bio-protecteur permet d'entretenir des liens étroits avec la communauté végétale, le champignon développe dans le sol, autour des mycorhizes, un réseau de filaments plus ou moins ramifiés, qui augmente considérablement la surface d'échanges de la racine avec le sol. La longueur des filaments extra matriciels est 1000 mètres par mètre de racines, et leur diamètre est de 2 à 5 fois plus petits que celui des racines et peut donc coloniser un volume de sol non exploré par la racine. De nombreux travaux démontrent les effets bénéfiques de la mycorhization sur le développement des végétaux comme une meilleure résistance aux stress biotiques et abiotiques, ainsi que l'efficacité des fertilisants s'en voit améliorée, la croissance végétale, l'usage de pesticides atténué et la résistance (Sidhoum, 2011).

1.2.1.1 Nutrition phosphatée

Le champignon mycorhizien est capable d'absorber plus efficacement certaines formes de phosphore et de les transporter vers la plante (Sidhoum, 2011). Plusieurs auteurs ont démontré sur des centaines de plantes cultivées, une amélioration de la nutrition en phosphore une fois colonisée par les mycorhizes.

1.2.1.2 Nutrition azotée

La nutrition azotée est aussi facilitée par la mycorhization, en particulier chez les ectomycorhizes. Par exemple, le pin noir d'Autriche n'est tolérant aux sols calcaires que grâce aux mycorhizes qui lui permettent d'assimiler l'azote nitrique, forme dominante de l'azote minéral dans ces sols (Hamza, 2014), et l'ammonium. La présence de mycorhizes permet une croissance optimale de la plante-hôte; elle est plus régulière et parfois meilleure que celle produite par les apports élevés d'engrais.

L'intervention des endomycorhizes à arbuscules dans la nutrition azotée de la plante hôte a été jusqu'ici peu étudiée. Des études isotopiques ont pourtant démontré qu'au moins pour certaines espèces, le champignon endomycorhizien est bien le site premier de l'assimilation de l'azote pour la plante.

1.2.1.3 Nutrition en oligo-éléments

Une nutrition minérale équilibrée dépend aussi de l'absorption d'oligoéléments. Les endomycorhizes VA peuvent quelquefois améliorer l'assimilation du S, Zn ou Cu qui, eux aussi, sont peu mobiles dans le sol. Les ectomycorhizes pourraient jouer un rôle dans l'absorption du S, Ca, Mg et K (Hibbett et al. 2000).

1.2.1.4 Interactions avec d'autres microorganismes

Plusieurs publications ont rapporté le rôle des interactions entre les microorganismes solubilisant le phosphore et les mycorhizes, comme les Rhizobium fixateurs symbiotique d'azote et les mycorhizes. Les microorganismes rhizosphériques sont capables de produire des substances phytohormones et des vitamines qui stimulent la croissance des mycorhizes et des plantes. En contre partie en s'établissant, les mycorhizes induisent la sécrétion d'exsudats racinaires qui peuvent affecter la croissance et l'activité des microorganismes telluriques (Hamza, 2014).

1.2.1.5 Protection contre les organismes pathogènes

De nombreux chercheurs ont soupçonné depuis longtemps le rôle protecteur des mycorhizes en regard des attaques possibles de germes pathogènes. Ainsi, de nombreuses études ont montré que parfois, la présence du champignon endomycorhizien tend à provoquer diverses réactions de défense chez la plante hôte en lui procurant par conséquent, une meilleure résistance envers les pathogènes racinaires du sol (Sidhoum, 2011). D'autres travaux ont signalé également que les endomycorhizes peuvent protéger les plantes des effets néfastes des

nématodes phytopathogènes par, un phénomène de compétition pour l'espace dans les racines, en améliorant la croissance de la plante, en réduisant les sécrétions racinaires responsables de l'attraction des nématodes et en retardant directement le développement des nématodes dans les tissus racinaires. D'autres études montrent également que le système racinaire des plantes mycorhizées contient moins de nématodes phytopathogènes que celui de plantes non mycorhizées.

1.2.1.6 Protection contre les polluants

Des études ont montré que certains mycorhizes résistent particulièrement bien aux teneurs élevées de métaux. Chez les plantes mycorhizées, certains métaux lourds, exemple l'aluminium, se fixent dans le mycélium. Ainsi, retenus par le manteau fongique, ils ne parviennent à la racine qu'une quantité réduite (Sidhoum, 2011). Plusieurs travaux de recherche ont démontré l'impact de l'infection mycorhizienne sur le processus de phyto-restauration de sols contaminés aux métaux lourds.

1.2.1.7 Production d'hormones

Les champignons mycorhiziens sont capables de sécréter des phytohormones auxines, gibbérélines, cytokinine, éthylène, qui favorisent la croissance des plantes. Ces substances induisent des modifications morphologiques du système racinaire de la plante hôte (Hamza, 2014). Chez les Pinaceae, les racines primaires colonisées montrent des ramifications dichotomiques caractéristiques. Leur importance est proportionnelle aux quantités d'auxines que le champignon libère dans les tissus racinaires.

1.2.1.8 Résistance aux stress hydriques

Les champignons endomycorhiziens entraînent une augmentation de la résistance de la plante au manque d'eau. En effet, le fin mycélium des champignons mycorhiziens (2-5 μm) peut aller puiser l'eau dans de petits interstices et agrégats du sol qui ne sont pas accessibles aux poils absorbants (10 - 20 μm de diamètre) (Nouaim et Chaussod, 1996).

1.2.2 Sur le champignon

Le champignon reçoit tout son carbone de la plante sous forme de glucose, produit de la photosynthèse. Les CMA sont des biotrophes obligatoires, ils ont besoin d'un partenaire végétal pour subvenir à leur nutrition et accomplir leur cycle de développement. Toutefois, la seule phase dans leur cycle de vie où le champignon ne dépend pas de la plante hôte est celle

de la germination des spores, car elles utilisent leurs réserves en carbone accumulées lors de leur développement. Durant cette phase de germination qui peut durer jusqu'à 3 à 4 semaines, les hyphes arrivent à proximité d'une racine et changent de morphologie par une ramification prononcée, stimulées par des exsudats racinaires. Le champignon colonise la racine et forme des hyphes dans les espaces intercellulaires du cortex racinaire. Le champignon colonise les cellules corticales de la racine sans toutefois pénétrer la membrane plasmique pour former l'organe d'échange de la symbiose; l'arbuscule. C'est par cette structure que se fait l'échange de carbone, de phosphore et des autres minéraux (Sidhoum, 2011).

1.2.3 Amélioration de la qualité du sol

Les champignons mycorhiziens arbusculaires sont aussi des composantes essentielles pour le fonctionnement des écosystèmes naturels. Ils participent dans l'amélioration et le maintien des agrégats de sols dans les zones érodées par l'acquisition de meilleures propriétés physiques, chimiques et biologiques. Caravaca et *al.* (2002) ont montré que l'inoculation mycorhizienne a été très efficace dans l'amélioration de la qualité du sol et de la performance des jeunes plantules d'Olea europaea. Caravaca et *al.* (2002) ont également prouvé l'effet de l'inoculation par des CMA (Glomus intraradices Schenck et Smith, Glomus deserticola Trappe, Bloss et Menge et Glomus mosseae Nicol. et Gerd.) sur la stabilisation des agrégats du sol rhizosphérique de Olea europaea. Selon, les CMA produisent de la glomaline, une glycoprotéine qui agit par ses propriétés hydrophobes pour stabiliser les agrégats. Le mécanisme impliqué dans la stabilisation des agrégats est basé sur la fixation des particules du sol par les hyphes et les racines et sur l'exsudation des polysaccharides. La formation d'agrégats stables dans le sol peut être aussi attribuée au mycélium extra racinaire des champignons produit par les racines mycorhizées et qui constitue un réseau tridimensionnel qui relie la plante au sol environnant

Chapitre 2 : L'olivier et ses symbiotes

Introduction

L'origine de la culture d'olivier se perd dans la nuit des temps ; son extension coïncide et se confond avec celle des civilisations qui se sont succédées dans le Bassin méditerranéen, Selon Loussert et Brousse (1977), cet arbre a une origine très ancienne ; son apparition et sa culture remonterait à la préhistoire. Parmi les vestiges les plus anciens, des fossiles de feuilles d'olivier ont été trouvés dans les gisements phosphéniques de Montardino en Italie, dans les strates du Paléolithique supérieur, dans l'escargotière capsienne de la région de Tébessa en Afrique du Nord. Des fragments d'oléastres et de noyaux ont également été trouvés dans des sites du Néolithique et de l'âge de Bronze, en Espagne.

Par ailleurs, dès le Villafranchien, Olea europea L., apparaît dans de nombreux sites sahariens. En effet, des analyses de charbon et de pollen conservés dans certains gisements ibéromaurusiens en Tunisie, ou capsien en Algérie, attestent que l'oléastre existait en Afrique du Nord dès le XII^e millénaire et certainement bien avant . La voie de l'expansion des oliviers au cours du temps ne peut être déterminée avec certitude. Cependant, plusieurs hypothèses sont admises mais la plus fréquemment retenue est celle de De Candolle (1883), qui situe le berceau de l'olivier cultivé sous une forme primaire en Syrie et en Asie Mineure (Iran), il y a six millénaires. De là, de nombreuses civilisations méditerranéennes se relaient à travers l'histoire pour propager la culture de cet arbre d'Est en Ouest, dans tout le Bassin circum-méditerranéen. Au VI^e siècle, sa culture s'est étendue à tout le Bassin méditerranéen par les grecs d'abord, puis par les romains qui l'ont utilisé comme arme pacifique dans leurs conquêtes pour l'établissement des villes en fixant les habitants des steppes. En Afrique du Nord, la culture de l'olivier existait déjà avant l'arrivée des romains, car les berbères savaient greffer les oléastres. Cependant, les romains ont permis l'extension des champs aux régions plus arides, considérées jusqu'alors comme peu propices à cette culture. C'est le cas de la région de Sufetula, l'actuelle Sbeitla en Tunisie. De plus, une foule de mosaïques trouvées en Tunisie et en Algérie témoigne de l'importance de l'olivier dans la civilisation romaine. La colonisation française a contribué à l'extension de l'oléiculture en Afrique du Nord, telles que l'olivier de Sfax en Tunisie, de Sig en Algérie et des oliveraies entre Meknès et Fès, au Maroc. C'est à partir du XVI^e siècle que s'ouvre une nouvelle ère qui va conduire l'olivier à son extension maximale, sous l'influence de la demande croissante d'une société occidentale de plus en plus industrialisée. Avec la découverte du nouveau monde, les émigrants de la

péninsule ibérique ont introduit l'olivier dans leurs anciennes colonies des Amériques comme l'Argentine, le Mexique, le Pérou ensuite le Chili et la Californie. Et ce n'est qu'au XIX^e siècle, lors de l'apogée de la démographie et de la colonisation européenne que l'oléiculture a vu un essor rapide en s'implantant dans des régions éloignées de son lieu d'origine comme l'Afrique du Sud, l'Australie, le Japon ou la Chine (Abdessemed, 2016).

1. Répartition de la culture de l'olivier dans le monde

Bien que l'olivier soit présent sur les quatre continents, environ 98% de la production mondiale de l'huile d'olive provient du bassin méditerranéen. L'olivier est considéré comme une espèce caractéristique de la région méditerranéenne. On le rencontre surtout entre le 25^e et le 45^e degré de latitude, dans l'hémisphère nord aussi bien qu'au sud. Les implantations des oliveraies en Europe méditerranéenne sont limitées au nord au 45^e degré de latitude, limite imposée par les froids hivernaux et les fréquentes gelées printanières. Sur la rive sud de la Méditerranée en Afrique du nord, l'olivier n'est pratiquement plus cultivé au-delà du 25^e degré de latitude, limite imposée par les rigueurs du climat pré-saharien vers le sud. L'oléiculture joue un rôle prépondérant dans cette région tant sur le plan agro-économique, que social et environnemental. D'après la FAO (2022), la surface oléicole mondiale est estimée à 127.63184 ha pour une production d'environ 236.40307 tonnes d'olives.

Les quatre premiers pays producteurs (Espagne, Italie, Grèce et Turquie) représentent 80% de la production mondiale d'olives et les dix premiers, sont tous situés dans la zone méditerranéenne.



Figure 4 : Carte oléicole mondiale (Abbas, 2019)

2. La culture de l'olivier en Algérie

En 2000, la culture de l'olivier en Algérie occupait une superficie totale de 168080 hectares soit 33% des 500000 hectares de superficie arboricole nationale et 2% des terres agricoles cultivables. En 2010-2011, les prévisions de superficies oléicole portent sur 325000 à 350000 ha. La participation du secteur oléicole à la production agricole finale du pays était en moyenne de 21% en 1999-2005. La surface oléicole était répartie dans trois régions, comme suit: 54% au Centre, 28% à l'Est où la variété chemlal domine dans ces deux régions et 17% à l'Ouest. La plupart des oliveraies (80%) étaient situées dans des zones de montagne, sur des terrains accidentés et marginaux, peu fertiles et caractérisés par une pluviométrie moyenne comprise entre 400 et 900 mm/an. Le reste des oliveraies (20%) étaient situées dans les plaines occidentales du pays à savoir Mascara, Sig et Relizane) où la pluviométrie moyenne annuelle est de 300-400 mm. L'analyse des données statistiques de la superficie oléicole (1990/99) montre que la surface implantée a enregistré une baisse continue entre 1990 et 1995. La restructuration du secteur agricole en 1997 a permis d'augmenter de nouveau les surfaces oléicoles. Cette tendance s'est confirmée avec la relance du Plan National de Développement Agricole 2000 et grâce à un financement du secteur par le Fond National de Régularisation et Développement Agricole (FNRDA) (Abbas, 2019).

La figure 5 montre l'évolution constante des superficies d'oliviers en Algérie pendant la période de 1962 à 2020 (FAO, 2022). On constate de plus, qu'à partir de l'an 2000, cette progression est exponentielle.

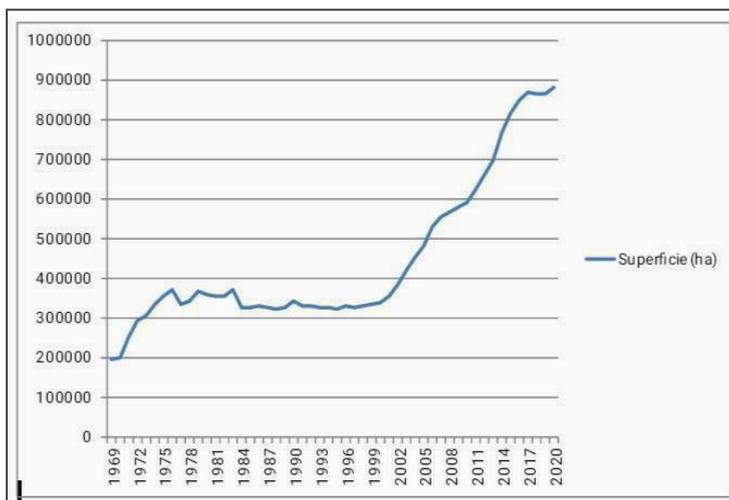


Figure 5 : Evolution des superficies (ha) d'olivier en Algérie de 1969 à 2020 (FAO, 2022)

A travers la figure 6, on note une évolution continue de la production oléicole en Algérie durant la période de 1961 à 2020, malgré le fait qu'elle soit en dents de scie probablement à cause de l'alternance de la production.

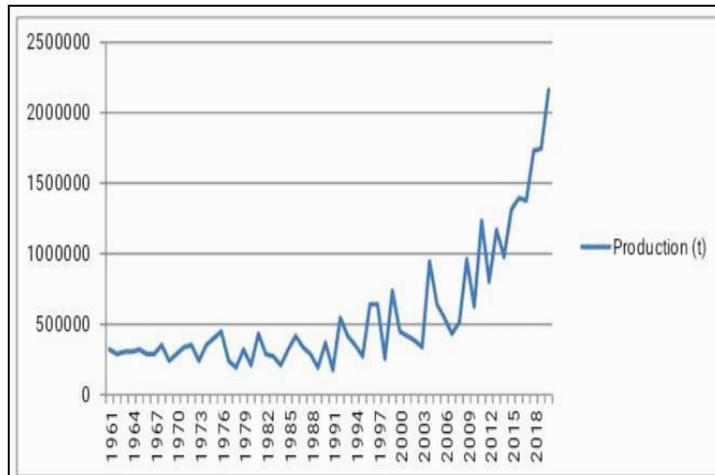


Figure 6 : Evolution de la production (t) d'olive en Algérie de 1961 à 2020 (FAO, 2022)

3. Répartition de la culture de l'olivier en Algérie

L'olivier était principalement cultivé sur les zones côtières du pays à une distance de 8 à 100 km de la mer où il trouve les conditions favorables pour son développement. Il occupait, en 2009, une superficie de 310 000 hectares (Abbas, 2019), qui se répartie sur tout le territoire. Les principaux et les plus anciens vergers oléicoles se trouvent dans les régions montagnardes et les collines recouvrant une surface de 195 000 hectares, ainsi que dans les plaines occidentales du pays (Mascara, Sig, Relizane) et dans les vallées comme la Soummam. Cette superficie a nettement augmenté grâce à la mise en place d'un programme national pour le développement de l'oléiculture intensive dans les zones steppiques, présahariennes et sahariennes (Djelfa, M'sila, Biskra, Ghardaïa...). La carte ci-dessous (figure 7) montre la nouvelle distribution oléicole, en nette expansion des superficies vers les zones steppiques, présahariennes et même sahariennes.

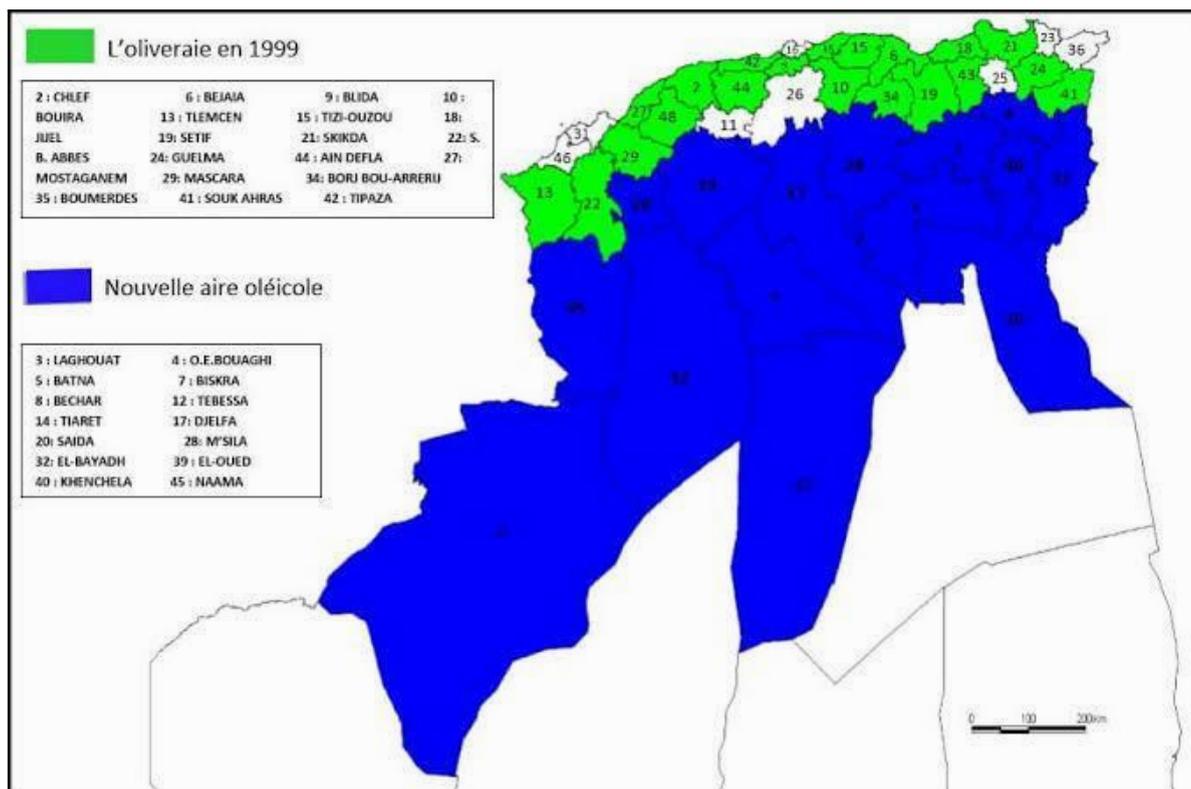


Figure 7: Carte oléicole d'Algérie (Institut Technique des Arbres Fruitiers, 2008)

4. La culture de l'olivier dans la wilaya de Djelfa

Selon des spécialistes du domaine, la culture de l'olivier s'est bien adaptée au climat de la région, en acquérant des spécificités qui lui sont devenues propres, comme la faiblesse de la teneur en acidité caractérisant l'huile d'olive locale. La superficie oléicole, à Djelfa, n'était de pas plus de 150 ha en 2000, avant d'être portée à plus de 11 797 ha en 2016, selon les données fournies par la direction des services agricoles de la wilaya. Selon le responsable du secteur agricole à Djelfa, la filière oléicole a enregistré un développement ascendant dans cette région réputée pour son climat semi-aride, d'où l'élaboration d'un programme en vue de porter le verger oléicole local à 30 000 ha, au titre du programme national visant à étendre la superficie agricole irriguée à un million d'hectares en 2020.

La filière oléicole à Djelfa a marqué un véritable tournant à partir de la campagne 2000-2001. En effet, le plan de développement agricole de la wilaya a permis, grâce à l'irrigation, une extension du verger oléicole, et ce, grâce à la culture intensive d'oliviers (400 oliviers/ha), soutenue par une irrigation rationnelle. Ce succès de la filière oléicole a engendré la création de quatre huileries privées, qui se chargent du traitement de la production d'olives de la wilaya et des régions environnantes.

La surface oléicole productive dans la wilaya est estimée à 9014 ha, concentrée essentiellement dans les régions de Hassi Bahbah, El Birine, Aïn El-Bel, Charef, El Kadid et Aïn Ouessara. Une production de plus de 27 900 hectolitres d'huile d'olive (2,7 millions de litres) était attendue dans la wilaya de Djelfa, au titre de la campagne oléicole 2016, selon la direction des services agricoles, qui estime ce volume suffisamment important pour approvisionner le marché local avec une huile à la qualité avérée (El-Watan, 2016).



Figure 8 : La culture de l'olivier dans la commune de Hassi Bahbah wilaya de Djelfa, (Original, 2022)

5. Les études sur les mycorhizes de l'olivier

Au cours de ces dernières années, une multitude de travaux ont clairement démontré l'intérêt scientifique et pratique des symbioses mycorhiziennes pour l'ensemble des végétaux du monde entier, que ce soit dans les écosystèmes naturels ou ceux aménagés par l'homme.

Pourtant, en dépit de ces preuves répétées et irréfutables, un grand nombre de praticiens en horticulture, en agriculture, en foresterie et en environnement comprennent encore mal l'importance concrète de ce phénomène. Les pratiques durables dans ces domaines d'application ont pourtant tout à gagner d'une utilisation judicieuse des symbioses mycorhiziennes (Saad, 2009).

Les champignons symbiotiques ne font pas seulement le régal des gastronomes ; cèpes, lactaires, truffes, terfez (Saad, 2009), et autres russules font aussi le bonheur des arbres (Deveau et *al.*, 2008). Ils jouent un rôle majeur dans la nutrition des arbres et ont de ce fait été l'objet de recherches approfondies au cours des deux dernières décennies. Les mécanismes des échanges nutritionnels entre le champignon et son hôte végétal ont été mis à profit de la

sylviculture et l'arboriculture grâce au développement de la mycorhization contrôlée de semis d'arbres en pépinière. Cette technique consiste à inoculer des souches sélectionnées de champignons mycorhiziens et permet d'augmenter la croissance des arbres en pépinière comme en plantation (Saad, 2009).

6. Applications des mycorhizes à la culture de l'olivier

De nos jours, le produit oléicole entre de plus en plus dans notre alimentation ; la plus grande consommation de ce produit s'observe dans les régions méditerranéennes, surtout dans les agglomérations urbaines autour desquelles cette culture est bien développée. Comme toute production agricole, l'intensification de cette culture pose un certain nombre de problèmes techniques parmi lesquels ceux de la protection phytosanitaire et la demande incessante de plants d'oliviers certifiés. C'est pourquoi depuis quelques décennies, la recherche agronomique se penche davantage sur la recherche de techniques modernes qui visent à améliorer la production de cette culture. Parmi ces techniques, la mycorhization.

Malgré l'importance de la mycorhization et de ses nombreuses applications en agriculture, l'étude de ses caractéristiques n'a commencé que très récemment chez l'olivier. Les travaux consacrés à l'application de champignons MA à des cultures méditerranéennes typiques, ce qui est le cas de l'olivier, sont encore très limités. Les travaux ont montré que l'aptitude rhizogène des différentes variétés d'olivier multipliées par bouturage dépend de plusieurs facteurs intrinsèques et/ou extrinsèques (Saad, 2009).

D'autres essais réalisés à ce sujet, ont montré que tous les jeunes plants d'oliviers inoculés avec des mycorhizes vésico-arbusculaires (MVA) ont vu la formation des colonies caractéristiques sur leurs racines et la croissance des plants inoculés s'est avérée très supérieure et leur tronc plus vigoureux que les plants non infectés, ce qui permet néanmoins d'espérer de nombreux progrès dans le domaine de multiplication intensive et à court terme des boutures herbacées en pépinière. Par ailleurs, des études réalisées par Porras Piedra et al. (2005) ont confirmé ces mêmes effets positifs exercés sur la croissance de boutures semi ligneuses de la variété cornicabra d'olivier mycorhizée par trois espèces de *Glomus*.

Les travaux d'Azcón-Aguilar et Barea (1996) cité par Saad, 2009. Ont montré une augmentation de la croissance et de la santé générale des plants d'olivier colonisés par les champignons endomycorhiziens et par conséquent une vigueur accrue leur permettant ainsi de mieux tolérer les stress environnementaux dont ceux causés par diverses maladies. Par ailleurs, des travaux ont démontré que les plants d'oliviers mycorhizés cultivés dans un substrat contenant des niveaux supérieurs de NaCl, montrent un développement supérieur des

branches et des feuilles par rapport aux plants privés de mycorhizes. D'autres recherches ont montré que les mycorhizes augmentent la fertilité et la stabilité du sol, ce qui favorise la croissance de Olea europaea subsp. sylvestris dans les régions semi-arides de la méditerranée. Malgré l'intérêt de la mycorhization des oliviers, peu de travaux ont été réalisés dans ce domaine en Algérie. Parmi ces recherches, qui ont signalé une présence importante des endomycorhizes Glomus spp. Sur les racines de la variété Rougette d'olivier, cultivée dans le nord-est algérien. Ces mêmes auteurs ont également montré que des vitro-plants inoculés par le champignon mycorhizogène Glomus mosseae présentent un système racinaire plus développé chez le plant mycorhizé par rapport au témoin. Cette modification permet au plant de mieux utiliser les ressources naturelles du sol tout en renforçant sa capacité à résister notamment au stress hydrique. Des recherches se sont orientées vers la mycorhization des microboutures d'olivier ouvrant ainsi d'intéressantes possibilités d'aide à la technologie mycorhizienne pour la promotion et la replantation de la culture de l'olivier. L'impact de l'inoculation des microboutures d'olivier sur l'amélioration de la survie des plantes et leur acclimatation en serre a été évalué. Par ailleurs, il a été clairement démontré que la mycorhization a un effet bénéfique sur la croissance des plantes d'olivier issues *in vitro* (Saad, 2009).

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

1. Description et caractérisation de la zone d'étude

La zone de Sguiâa est située dans la commune de Bouira Lahdab, la wilaya de Djelfa (figure 9-a). Elle est limitée:

- Au nord, par la commune d'Ain oussera,
- Au sud, par la commune de Hassi Bahbah,
- A l'Est, par les communes de Had Sahary et de Hassi El Euch,
- Et à l'Ouest, par la commune de Guernini.

Dans une exploitation agricole située précisément à Gayaza, nous avons retenu 2 parcelles (P2 et P4) sur 5 (figure 9-b). Nous avons sélectionné cinq arbres disposés en quinconce, pour chaque parcelle et leur avons donné des codes pour les repérer.

Pour la parcelle 2 (P2), nous avons choisi :

- 2 arbres aux deux extrémités de la 3^e ligne (L3) qu'on a numérotés P2L3A2, et P2L3A15.
- 1 arbre sur la ligne centrale (ligne 15) noté P2L15A8
- et 2 autres arbres aux deux extrémités de la 31^e ligne (L31) qu'on a numérotés P2L31A2 et P2L31A15.

On a fait la même chose pour la parcelle P4:

- 2 arbres aux deux extrémités de la 2^e ligne qu'on a numérotés P4L2A2, P2L2A21.
- 1 arbre sur la ligne centrale (ligne 6) noté P4L6A11
- et 2 autres arbres aux deux extrémités de la 11^e ligne qu'on a numérotés P4L11A2, P4L11A21.

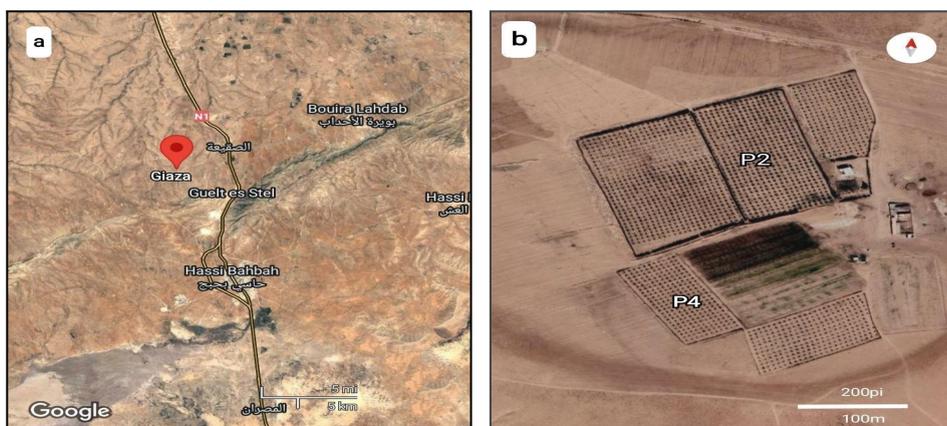


Figure 9: Situation géographique de la zone d'étude (a) et de l'exploitation (b), (Google Earth, 2022)

Giaza est un lieu-dit situé en zone steppique non loin de Sguiâa au sud d'Alger, sur la route nationale N°01. L'exploitation occupe une superficie de 50 hectares dont 20 hectares sont plantés en oliviers.

- Son altitude atteint 911 m au-dessus de la mer.

La zone a pour longitude 3.0238266 et latitude 35.2115684.

2. Synthèse climatique

Dans le but de réaliser le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls ainsi que le climagramme d'Emberger, de la station d'étude (Sguiâa), nous nous sommes rendus à la station de météorologie de Djelfa où on nous a fourni les données climatiques de 1990 à 2020 pour Djelfa ainsi que la méthode de calcul pour corriger les données de précipitation et de température pour la station de Sguiâa.

3. Échantillonnage des racines et leur sol rhizosphérique

L'échantillonnage des racines et du sol rhizosphérique a été réalisé sur 2 parcelles. (P2, 2009 et P4, 2012).

Les échantillons de racines d'olivier ont été récoltés au printemps durant le mois de mars (23/03/2022). Cinq arbres par parcelle en quinconce ont été retenus. Et pour chaque arbre, quatre échantillons de sols avec les racines sont prélevés au quatre points cardinaux, à une profondeur de 20 cm, afin de constituer un échantillon composite représentatif du sol environnant du système racinaire de l'arbre. Ces échantillons de 200 g chacun, renfermant les racines fines de notre espèce avec le sol rhizosphérique ont été placés dans des sacs en plastique étiquetés, puis transportés au laboratoire, (voir figure 10).



Figure 10: Échantillonnage des racines avec le sol rhizosphérique sous olivier (Original, 2022).

4. Analyses physico-chimiques des sols

Chaque type de sol est soumis à des analyses physico-chimiques (granulométrie, pH, matière organique, azote total, phosphore, calcaire total et calcaire actif).

Les méthodes utilisées sont les méthodes standards de pédologie exposées par Aubert (1978) dans son manuel d'analyse des sols. Les échantillons de sol sont séchés à l'air libre, tamisés à 2 mm et conservés dans des sachets. Les analyses sont réalisées sur la terre fine.

Les paramètres pH et la conductivité électrique CE sont mesurés et ont fait l'objet de 3 répétitions.

4.1. Granulométrie

La granulométrie est déterminée par tamisage humide (AFNOR, 1990). Elle a pour but de quantifier pondéralement les particules minérales élémentaires, regroupées par classes, et de définir la texture ou composition granulométrique des sols.

En fait les blocs (> 20 cm), les cailloux (20 à 2 cm), les graviers (2 cm à 2 mm) sont exclus de l'analyse granulométrique qui ne prend en compte que la fraction inférieure à 2 mm appelée terre fine.

Les particules sont assemblées en agrégats, les traitements préalables adaptés à la nature des produits agrégeant (calcaire, matière organique) désolidarisent les particules. Selon la classification d'Atterberg adoptée par l'association internationale de la science du sol (Aubert, 1978), les classes granulométriques de la terre fine sont compris entre 2mm et 200µm:

- Les sables grossiers entre 2 mm et 200µm.
- Les sables fins entre 200 µm et 50µm.
- Les limons grossiers entre 50 µm et 20µm.
- Les limons fins entre 20 µm et 2µm.
- Les argiles < 2µm.

Sur un échantillon de terre séché à l'air, et tamisé à 2mm, on assure une destruction des ciments (Organique par H₂O₂). Les constituants du même échantillon subissent une dispersion dans une solution alcaline, puis le prélèvement s'effectue en déduisant la hauteur de prélèvement par la pipette de Robinson; en appliquant la loi de Stokes) (Sans oublier de vérifier la température du liquide car elle influe largement).

Les pédologues regroupent les textures (% d'argile, de limon et de sable) en classes de textures pour faciliter la description des sols (Bouabdelli, 2019).

Formule du calcul: (voir tableau 14 en annexe)

A: Argile (%) = $(P2-Pr) * 500$

LF: Limon fine (%) = $(P1-P2) * 500$

S : Sable (%) = $P3*5$

LG : Limon grossier (%) = $100- (Argile (%) + Limon fin (%) + Sable (%))$

SF : Sable fin

SG : Sable grossier

P1 : Argile + limon fine + hexamita

P2 : Argile + hexamita

P3: Sable + hexamita

Pr: poids hexamita phosphate de sodium 0.016g

4.2. Humidité

1g de sol séché à l'air; est tamisé à 2mm et placé à l'intérieur de l'appareil à humidité à rayons X pendant 5 à 10 minutes pour chaque échantillon de sol.



Figure 11: Appareil à Humidité à rayons X (Original, 2022)

4.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité permet de mesurer la concentration en ions de la phase liquide d'un substrat en utilisant la propriété d'une solution aqueuse de conduire l'électricité proportionnellement à sa concentration en ions, d'où l'appellation "conductivité", ou de résister au passage du courant de façon inversement proportionnelle à la concentration en ions, d'où l'appellation "résistivité". Les engrais apportés à un terreau se solubilisent, puis s'ionisent, augmentant donc la conductivité du substrat et diminuant sa résistivité. L'unité de mesure de la

conductivité est le mS/cm (milliSiemens par centimètre). L'unité de mesure de la résistivité est l'Ohm.cm ou Ω .cm (Ohm centimètre). La conductivité d'une solution à une température donnée est fonction :

- de sa concentration en ions
- de la nature des ions présents : chaque ion a une conductivité spécifique de l'ordre de 0,8 μ S/cm pour 1 gramme d'ions par litre. La conductivité est donc une mesure indirecte de la salinité du substrat.



Figure 12 : Appareil de mesure de la conductivité (Original, 2022)

4.4. Mesure du pH

Le pH d'une suspension du sol dans l'eau est déterminé. a 20 g de terre fine (séchée à l'air) y sont ajoutés 5 ml d'eau distillée (pour mesurer le pH eau). Le contenu est agité pendant quelques minutes, puis laisser reposer 2 heures. Le pH est ensuite mesuré à l'aide d'un pH-mètre après une brève agitation (voir figure 13).



Figure 13 : Le filtrat du (sol+l'eau distillée), pour mesurer la conductivité est filtré (Original, 2022)



Figure 14 : la solution obtenue pour la mesure pH (Original, 2022)

4.5. Dosage du calcaire total

Le dosage du calcaire total se fait à l'aide du calcimètre de Bernard (voir figure 15) .



Figure 15 : Calcimètre de Bernard (Original, 2022)

Principe :

Le dosage du calcaire total est fondé sur la réaction suivante :



Réactifs :

- HCl à 1/2
- CaCO₃ pur et sec
- 1g de sol

Mode opératoire :

Étalonnage de l'appareil :

Introduire 0.300g de CaCO₃ pur et sec au fond de l'erlenmeyer et mouillé par quelques gouttes de l'eau distillée

- Mettre 5 ml d'HCl dans le petit tube à essai et l'introduire avec précaution dans l'erlenmeyer
- Boucher convenablement l'erlenmeyer
- Ajuster la position de l'ampoule mobile jusqu'à ce que le niveau du liquide coloré s'ajuste avec celui de l'ampoule mobile
- Agiter calmement l'erlenmeyer pour favoriser la réaction, le CO₂ se dégage et comprime le niveau du liquide de la colonne.
- Abaisser l'ampoule mobile pour suivre la dénivellation dans la colonne
- La réaction terminée (fin du bouillonnement).
- Ajuster les niveaux et noter le volume en ml de CO₂ dégagé.

Dosage :

On opère de la même façon mais en remplaçant le CaCO₃ pur par 1g de terre soit "v" volume de Co₂ dégagé.

Calculs :

$$\underline{\% \text{ CaCO}_3 = (v \cdot P / V \cdot p) 100}$$

v= volume de CO₂ dégagé par l'échantillon du sol

V= volume de CO₂ dégagé par le CaCO₃

P= poids de CaCO₃ pur en "g"

p= poids de la prise de terre en "g"

V_{0t}-V_{1t}

Exemple: pour le P2L3A2 :

0.245g Témoin → 65.5 ml CO₂ dégagé

X → 60 ml (V_{0t}-V_{1t})

$$\underline{\mathbf{X=0.224 g}}$$

0.0224g → 1 g Échantillon

Y → 100%

Y= 22.4% pourcentage du calcaire total.

4.6. Dosage du calcaire actif

Principe :

On utilise la propriété Ca^{++} à se combiner aux C_2O_4 par précipitation sous forme CaC_2O_4 , l'oxalate en excédant est dosé par le pourcentage KMnO_4 en milieu acide.

Réactifs :

- Oxalate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2 \text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ à 0.2 N (14.21g/l)
- Acide sulfurique concentrée H_2SO_4
- Permanganate de potassium (KMnO_4) à 0.2N (6.32g/l) titré à l'acide oxalique à 0.2N

Mode opératoire :

Extraction :

Agiter pendant 2h, 2.5 g de terre tamisée à 2mm avec 250 ml $(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{C}_2\text{O}_4$ à 0.2N
Filtrer sur filtre à pores assez fins pour ne pas laisser passer le précipité. Éliminer les premières fractions du filtrat.

Dosage de la solution $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ Témoin :

Prendre à la pipette, 20ml de cette solution et le verser dans une fiole conique

- Ajouter 20 ml d'eau distillée, 20 ml H_2SO_4 concentré
- _ Chauffer sur platine chauffante sans dépasser 60-70 °C
- Titrer à chaud avec KMnO_4 (0.2N) (dans une burette), le KMnO_4 se décolore (la coloration doit tenir 40 à 50 secondes).
- Noter le volume

Dosage de la solution échantillon :

Prélever 20 ml du filtrat et les verser dans une fiole immédiatement au KMnO_4

- Noter le volume n ml de KMnO_4 .

Calculs :

Pour 1000g de sol :

$$\underline{\text{CaCO}_3\% \text{ actif} = 50(\text{N}-\text{n})}$$

Pour 100g de sol : $\text{CaCO}_3\% \text{ actif} = 5(\text{N}-\text{n})$



Figure 16 : La filtration d'un mélange de 2.5 g de sol et l'eau distillée après 1h d'agitation (Original, 2022)

Les concentrations :

-KMnO₄ (0,2 N)

Pour la fusion de permanganate de potassium (1 ml de l'eau distillée + 6,492g KMnO₄)

Pour le titrage nous avons besoin de :

- 20 ml Acide oxalique (0.1N)

- 20 ml Acide sulfurique

- 20 ml de l'eau distillée

60 ml (solution) + 10 ml permanganate de potassium.

Témoin : 20 ml (T) + 20 ml d'acide sulfurique.

4.7. Dosage de l'azote total**Principe :**

A l'ébullition l'acide sulfurique concentré minéralise quantitativement l'azote d'un composé organique, en ammonium. La solution sulfurique est rendue alors fortement alcaline et l'ammoniac en est chassé par distillation, recueilli dans un solution d'acide borique, puis en retour par une solution d'acide sulfurique de titre connu.

Réactifs :

-Acide sulfurique concentré

- Catalyseur de réaction : Cu SO₄ (1 g), K₂SO₄ (10g), et Se (0.1g).

- Acide sulfurique

- Indicateur de Tashiro : (1 volume de rouge de méthyle à 0,2% et 1 volume de méthylène à 0,1 %, Alcool à 95°)

Conserver les indicateurs dans des flacons différents

- Lessive de soude à 40%

- Acide borique à 4%

Minéralisation :

Dans un matras de 250 ml mettre

-10 g de terre fine (tamisée à 0,2mm)

- Ajouter 01 g de K₂SO₄, 1 g de CuSO₄ 5H₂O, 0.1 g Se

- 25 ml H₂SO₄ concentré (Acide sulfurique)

- Attaquer sous hotte à petit feu au début puis plus fortement jusqu'à l'ébullition

-Favoriser la décoloration après décoloration continuer l'ébullition à une heure

-Retirer le matras et laisser refroidir.

Entraînement de la vapeur :

Dans un Erlenmeyer de 250 ml

25 ml de la solution d'acide borique (4%)

3 à 4 gouttes d'indicateur de Tashiro

-Plonger le bec de la tulipe de refroidissement dans le matra ajouter 90 ml, de lessive de soude à ajouter au dernier moment (le dégagement de NH₃ commencé à froid)

Distillation environ 150 ml, la fin de distillation de l'ammoniac.

Dosage :

- Retirer l'erenmeyer

- Rincer intérieurement à l'eau déminéralisée

- Ajouter deux gouttes d'indicateur de Tashiro

- Titrer par l'acide sulfurique (N/25) jusqu'à un couleur rose pâle persistant au moins 15 secondes.

- Soit "T" ml le volume d'acide versé

T= nombre de ml de L'acide sulfurique (Échantillon)

B= nombre de ml de l'acide sulfurique (blanc)

N= normalité de l'acide

S= poids de l'échantillon

$$\text{Formule : } \%N = (T-B) \times N \times 1.4/S$$

Essai à blanc :

Une analyse complète sera effectuée en utilisant tous les réactifs, mais sans la matière à analyser pour déterminer le volume d'acide titre centralisé par les traces d'azote éventuellement présentes dans ces réactifs.

4.8. Matière organique

Principe :

Il est assez facile de déterminer la teneur d'une matière organique. Cette mesure, largement utilisée, a été mise au point depuis longtemps.

10 g de sol séchée à l'étuve quelques heures

Formule de la matière organique :

$$\text{MO (\%)} = (PI - PF) \times 10$$

PI= PV+Pe

Pe : poids de l'échantillon en g

PI : poids initial en g

PV : poids du conteneur vide en g

PF : poids final en g

4.9. Phosphore

Méthode générale d'extraction du phosphore assimilable :

Le phosphore (P) est l'un des principaux marqueurs nécessaires à la croissance des cultures. Il est souvent limité dans les petites exploitations agricoles où l'érosion appauvrit les sols en matière organique et en nutriments, ou lorsque les exportations agricoles sont supérieures aux intrants nécessaires pour approvisionner les sols en nutriments. Il est important de connaître la quantité de P disponible pour les plantes sous sa forme assimilable, car celle-ci peut limiter la productivité des cultures, entraînant de faibles rendements. Le P disponible est sensible au pH, de sorte que le pH du sol doit également être surveillé afin de ne pas limiter le P.

Procédure:

-Pesez 2,5 g de sol tamisé (2 mm)

Pour la solution d'extraction nous fondons 84 g de NaHCO_3 à l'eau distillée puis nous ajoutons 9 ml NaOH à 5N pour avoir un $\text{pH}=8.5$, ajuster avec de l'eau déminéralisée jusqu'à 1 l.

Dans un erlenmeyer de 250 ml nous mettons des quantités spécifiques de charbon actif 4g pour chaque échantillon de sol et on ajuste avec l'eau distillée et les mettons à l'agitateur pendant 30 min, puis on filtre la solution pour obtenir la solution d'extraction.

Pour : **1 g → 20 ml** **donc 2.5g → 50 ml**

50 ml pour chaque échantillon

Préparation de la gamme d'étalonnage: pour chaque solution ppm

1 ppm: nous ajoutons 5 ml (100 ppm) + L'eau distillée + 5 ml molybdate d'ammonium + 0.25 ml SnCl_2

2 ppm: nous ajoutons 10 ml (100 ppm) + L'eau distillée + 5 ml molybdate d'ammonium + 0.25 ml SnCl_2

3 ppm: nous ajoutons 15 ml (100 ppm) + L'eau distillée + 5 ml molybdate d'ammonium + 0.25 ml SnCl_2

4 ppm: on ajoute 20 ml (100 ppm) + L'eau distillée + 5 ml molybdate d'ammonium + 0.25ml SnCl_2

5 ppm: on ajoute 25 ml (100 ppm) + L'eau distillée + 5 ml molybdate d'ammonium + 0.25ml SnCl_2

5. Observation de la colonisation racinaire mycorhizienne arbusculaire

C'est la technique de Phillips et Hayman (1970) qui a été utilisée et qui permet de mettre en évidence au microscope photonique l'infection mycorhizogène. Cette technique est modifiée au niveau de l'éclaircissement pour les racines très pigmentées et fibreuses ou coriaces.

Protocole expérimental

1- Les racines prélevées sont délicatement lavées dans un bêcher sur un agitateur avec un barreau magnétique pour enlever les particules de sol adhérentes.

Les racines peuvent être colorées avec de l'encre bleue de stylo à plume, le jour même ou gardées dans le fixateur. FAA Mélange éthanol-acide acétique-formol (Phillips et Hayman, 1970), pendant une période assez longue.

2- Les racines à colorier pour les CMA sont choisies parmi les plus fines et les moins fibreuses (voir figure 17). Elles sont longuement et soigneusement rincées à l'eau du robinet pour enlever les traces du fixateur, elles sont ensuite découpées en petits fragments d'environ 1 cm de longueur.

3- Les racines sont mises dans une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) à 10% et placées à l'étuve à 90 °C pendant environ 1 heure. Pour des racines moins fines à très pigmentées, laisser plus longtemps (voir figure 17).

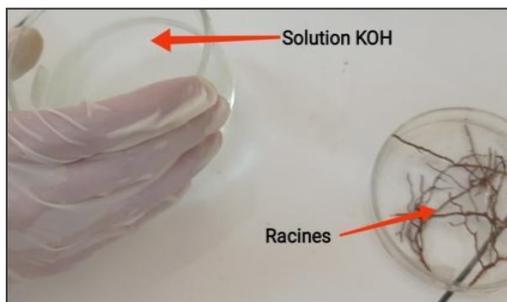


Figure 17 : Les racines avant de les mettre en solution KOH (Original, 2022)



Figure 18: Mise des échantillons à l'étuve pendant une heure à 90 °C (Original, 2022)

3- Remplacer la solution de KOH aussitôt qu'elle devient foncée, le KOH a pour but de vider la cellule de son cytoplasme, (voir figure 19).

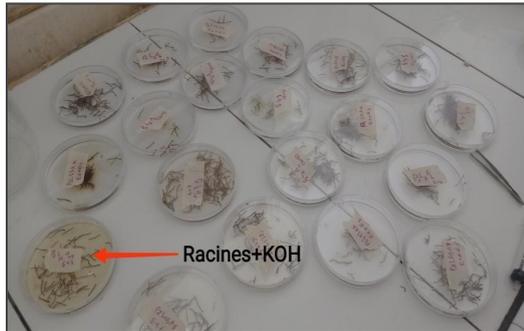


Figure 19: Décoloration des racines après passage au KOH (Original, 2022)

4- Rincer plusieurs fois les racines, si elles sont encore pigmentées, on élimine le reste des pigments qui nuisent à l'observation, en les transférant dans une solution d' H_2O_2 à 10%. Elles sont placées dans cette solution dans l'étuve à 90 °C pendant 10 à 20 minutes jusqu'à blanchissement total des racines (voir figure 20).



Figure 20: Passage des racines à l'eau oxygénée (Original, 2022)

5- Les racines sont ensuite rincées plusieurs fois à l'eau et neutralisées dans un bain d'acide lactique à 10% pendant 3 à 4 minutes.

6- Les racines sont transférées dans la solution colorante et dans l'étuve à 90 °C, le temps de coloration varie avec le type de racine. Généralement il est de quelques minutes à 1 heure, mais si les racines sont coriaces le temps sera plus long 1h30 min à 2h au maximum. Cependant dans ce cas il faut surveiller la température de la solution et de l'étuve pour qu'elle ne dépasse pas 90 °C au cours du temps de coloration (voir figure 21).



Figure 21: Les racines dans une solution colorante (encre bleue) (Original, 2022)

7- Après avoir retiré les racines de la solution colorante elles sont rincées à l'eau courante pour enlever l'excès de colorant. On les place dans une boîte de Pétri contenant de glycérol (glycérine). Elles peuvent être immédiatement observées à la loupe binoculaire mais pour les monter entre lames et lamelles, il est préférable d'attendre quelques heures (voir figure 22).



Figure 22: Les racines sont préparées après plusieurs rinçages et placées à l'acide acétique (Original, 2022)

8- Les racines colorées sont montées parallèlement les unes aux autres dans du glycérol à raison de 10 à 20 segments par lame. La lamelle est soigneusement mise et avec la base d'un crayon on presse uniformément et graduellement en exerçant une légère pression (voir figure 23).



Figure 23: Préparation des lames (Original, 2022)

6. Technique d'évaluation de l'infection endomycorhizienne

Après la coloration, 50 fragments d'environ 1 cm prélevés au hasard, sont montés entre lame et lamelle, à raison de 10 fragments par lame, dans une goutte de lactate glycérol puis examinés au microscope photonique.

Cette technique permet de calculer 4 paramètres d'infection mycorhizienne arbusculaire. Le calcul de ces 4 paramètres d'infection est réalisé en utilisant les formules de calcul définies par Trouvelot et *al.* (1986).



Figure 24: Les 50 lames avec les 10 fragments par lame (Original, 2022)

7. Estimation de la colonisation racinaire

Une fois colorées, les racines sont découpées en 10 fragments, placées parallèlement sur une lame et observées au microscope photonique aux grossissements 100 puis 400.

L'estimation de la mycorhization du système racinaire a été réalisée selon la méthode de Trouvelot et *al.* (1986). Le taux de colonisation endomycorhizien est estimé selon une grille d'évaluation remplie selon 2 échelles :

- Une 1^{ère} échelle permettant d'évaluer l'intensité de colonisation du cortex racinaire et comportant 5 classes notées de 0 à 5. Chaque classe traduit le degré d'intensité de colonisation du cortex racinaire de chaque fragment observé ;
- La 2^e échelle permet l'évaluation de la présence des arbuscules et des vésicules. Elle est composée de 4 classes allant d'A0 à A3 indiquant leur fréquence (figure 25).

Les paramètres de l'infection estimés sont :

- La fréquence de l'infection mycorhizienne F (%) : Elle exprime le pourcentage du nombre de fragments racinaires endomycorhizes, ce qui reflète l'importance de l'infection du système racinaire.
- L'intensité de colonisation du cortex racinaire M (%) : Elle traduit la proportion du cortex colonisé estimé par rapport au système racinaire entier.

- La teneur arbusculaire de l'infection A (%) par rapport au système racinaire entier. C'est la proportion du système racinaire renfermant des arbuscules.

- La teneur vésiculaire de l'infection V (%) par rapport au système racinaire entier. C'est la proportion du système racinaire renfermant des vésicules

Ces paramètres sont calculés en introduisant les résultats de chaque grille dans un programme informatique **Mycocalc** mis au point par Trouvelot et *al.*, (1986), disponible sur le site:

www.dijon.inra.fr

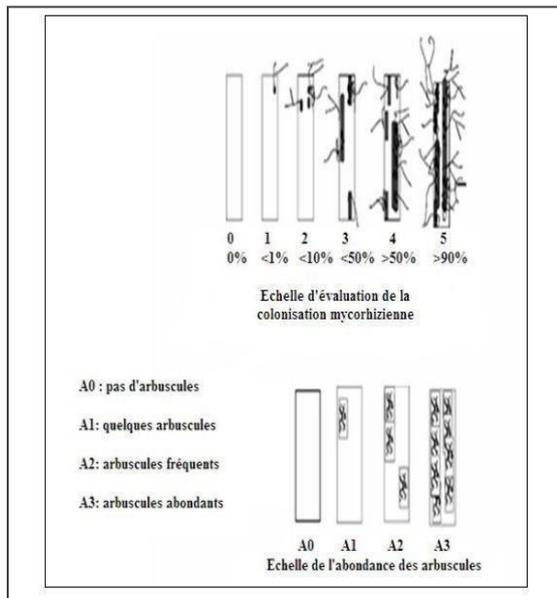


Figure 25: Barème de classe de la colonisation endomycorhizienne (Trouvelot et al. 1986)

7. Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques utilisées pour ce travail ont été réalisées à l'aide du logiciel STATISTICA version 6.1.

Chapitre 4: Résultats et discussion

1. Synthèse climatique

1.1. Correction des données (1990-2020)

L'altitude de la station de Djelfa : 1180 m

L'altitude de la station d'étude : 911 m

La différence de l'altitude : 269 m

Correction des précipitations

Selon, la station météo de Djelfa, à chaque 100 m d'altitude les précipitations augmentent de 20 mm.

100 → 20 mm

269 → X ⇒ X= 53,8 mm

Précipitations moyennes de Djelfa : 334,1 mm

Précipitations moyennes de la zone d'étude :

$334.1 - 53.8 = 280.3$ mm

Calcul du coefficient de correction :

$280.3 / 334.1 = 0.838$

Donc : chaque mois x=0.8

Correction des températures

Toujours, selon la station météo de Djelfa, pour chaque 100 m d'altitude, les températures diminuent pour la moyenne des températures maximales (M) de 0.7 °C et pour la moyenne des températures minimale (m) de 0.4 °C.

Pour M:

100m → 0.7 °C

269 m → Y

$Y = 269 \times 0.7 / 100 \Rightarrow Y = 1.883$ °C

Pour m:

100m → 0.4 °C

269 m → -Z

$Z = 269 \times 0.4 / 100 \Rightarrow Z = 1.076$ °C

Pour identifier le climat de notre zone d'étude, on a extrapolé les données climatiques de la station météorologique de la ville de Djelfa qui se situe à une altitude de 1180 m.

Notre étude climatique est basée sur des données qui s'étendent sur 30 ans (de 1990 à 2020).

1.2. Températures

La température est l'élément du climat le plus important. Elle a une action majeure sur le fonctionnement des êtres vivants et sur le taux de multiplication. Elle conditionne de ce fait les différentes activités de la totalité des espèces et des communautés dans la biosphère (Boukhtache, 2008) (voir figure 26).

Les moyennes mensuelles des T en °C de la zone d'étude durant la période (1990-2020)

Tableau 01 : Les moyennes mensuelles des Températures de la zone d'étude

Mois	M (°C)	m (°C)	T moy (°C)
Janvier	11,518	1,396	6,457
Février	13,518	2,796	8,157
Mars	16,618	4,396	10,507
Avril	19,718	6,996	13,357
Mai	24,718	11,196	17,957
Juin	30,918	15,996	23,457
Juillet	34,518	19,396	26,957
Août	34,018	18,596	26,307
Septembre	28,418	14,796	21,607
Octobre	22,118	10,296	16,207
Novembre	16,718	5,696	11,207
Décembre	12,018	2,796	7,407

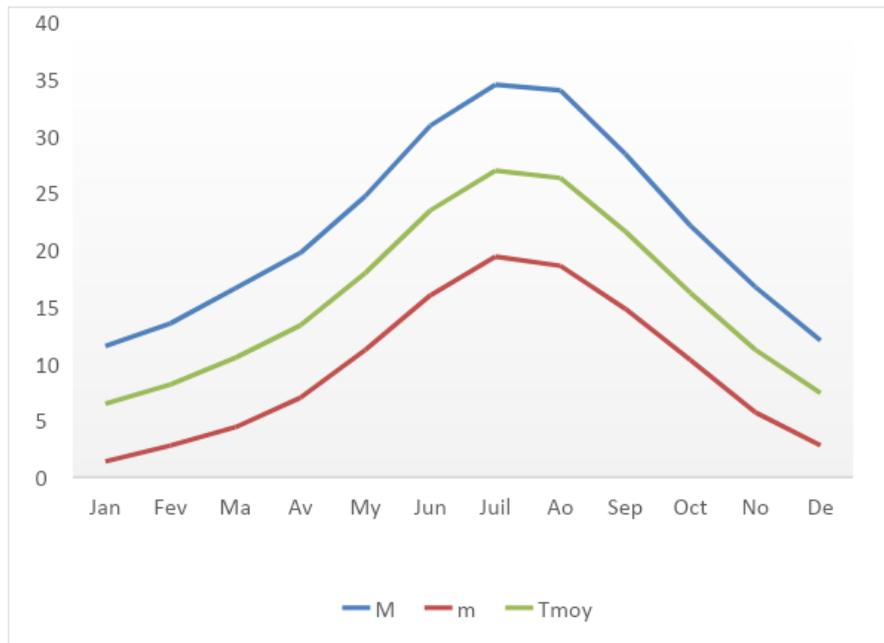


Figure 26: Les moyennes mensuelles des températures de la zone d'étude durant la période 1990-2020.

Le diagramme montre que pour la région de Sguiâa, le mois de Juillet est chaud avec un moyenne de 29.975 °C. Et le mois de Janvier est le plus froid avec un moyenne de 6.475 °C.

1.3. Précipitations

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale dans l'alternance des saisons. Dans les pays méditerranéens, la distribution des pluies est très inégale avec en particulier, une forte déficience en période estivale (Boukhtache, 2008)., (voir figure 27).

Tableau 02 : Les précipitations mensuelles et annuelles de la zone d'étude durant la période (1990-2020).

Mois	P1 (mm)	P2 (mm)
Janvier	36,3	29,04
Février	29,1	23,28
Mars	31,4	25,12
Avril	31,1	24,8
Mai	34,4	24,52
Jun	18,6	14,88
Juillet	8,7	6,96
Août	21,9	17,52
Septembre	33,6	26,88
Octobre	28,9	23,12
Novembre	28,4	22,72
Décembre	31,7	24,36

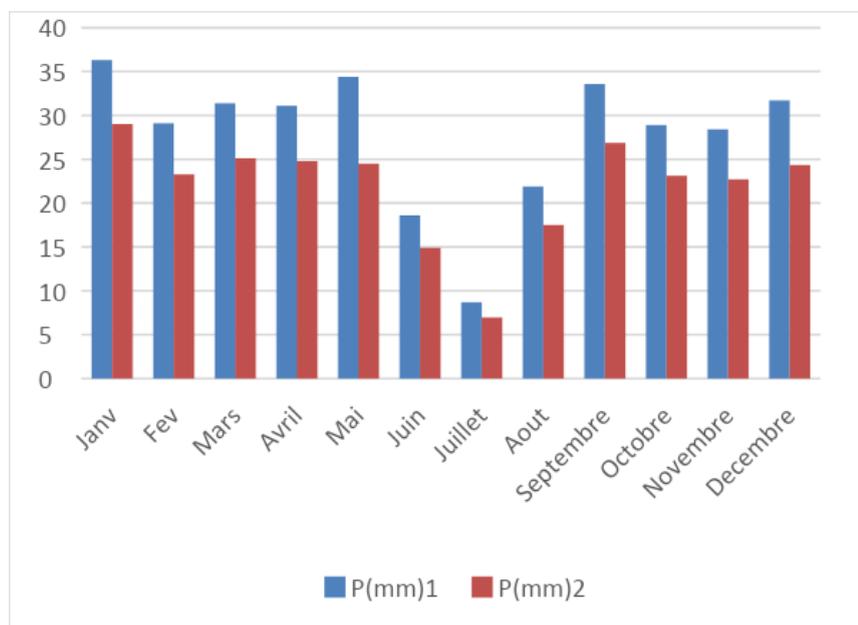


Figure 27 : Les précipitations mensuelles et annuelles de la zone d'étude durant la période (1990-2020).

Nous remarquons que le total des précipitations annuelles est de 267.36 mm.

Le mois le plus pluvieux est le mois de Janvier avec une moyenne de 29.04 mm.

1.4. Climagramme d'Emberger

Le système d'Emberger permet la classification des différents climats méditerranéens (Boukhtache, 2008) . C'est un quotient qui est fonction de la température moyenne maximale (M) du mois le plus chaude (Juillet/Août), de la moyenne minimale (m) du mois le plus froid (Janvier/Décembre) en degrés celsius et de la pluviosité moyenne annuelle (P) en mm, Ce quotient t d'autant plus élevée que le climat de la région est humide , (voir figure 28).

Il est calculé par la formule suivante :

$$Q_3 = 3.43 * (P/M-m)$$

P : Moyenne des précipitations annuelles des années prises en considération exprimées en mm

M : Température maximale du mois le plus chaud exprimé en degré celsius

m : Température minimale du mois le plus froid exprimé en degrés celsius.

$$Q = 3.43 * (267.28 / 34.483 - 1.376)$$

$$Q = 27.69$$

Le tableau ci-dessous indique la valeur de Q calculée pour la région d'étude et l'étage bioclimatique auxquels ils appartiennent.

Tableau 03 : Quotient pluviothermique d'Emberger calculé pour la région d'étude et l'étage bioclimatique (Original, 2022).

P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q₃	Etage bioclimatique
276,28	34,483	1,376	27,69	Aride à hiver Frais

Ces valeurs montrent que la région de Sguiâa est classée dans l'étage bioclimatique aride à hiver frais pendant la période (1990-2020).

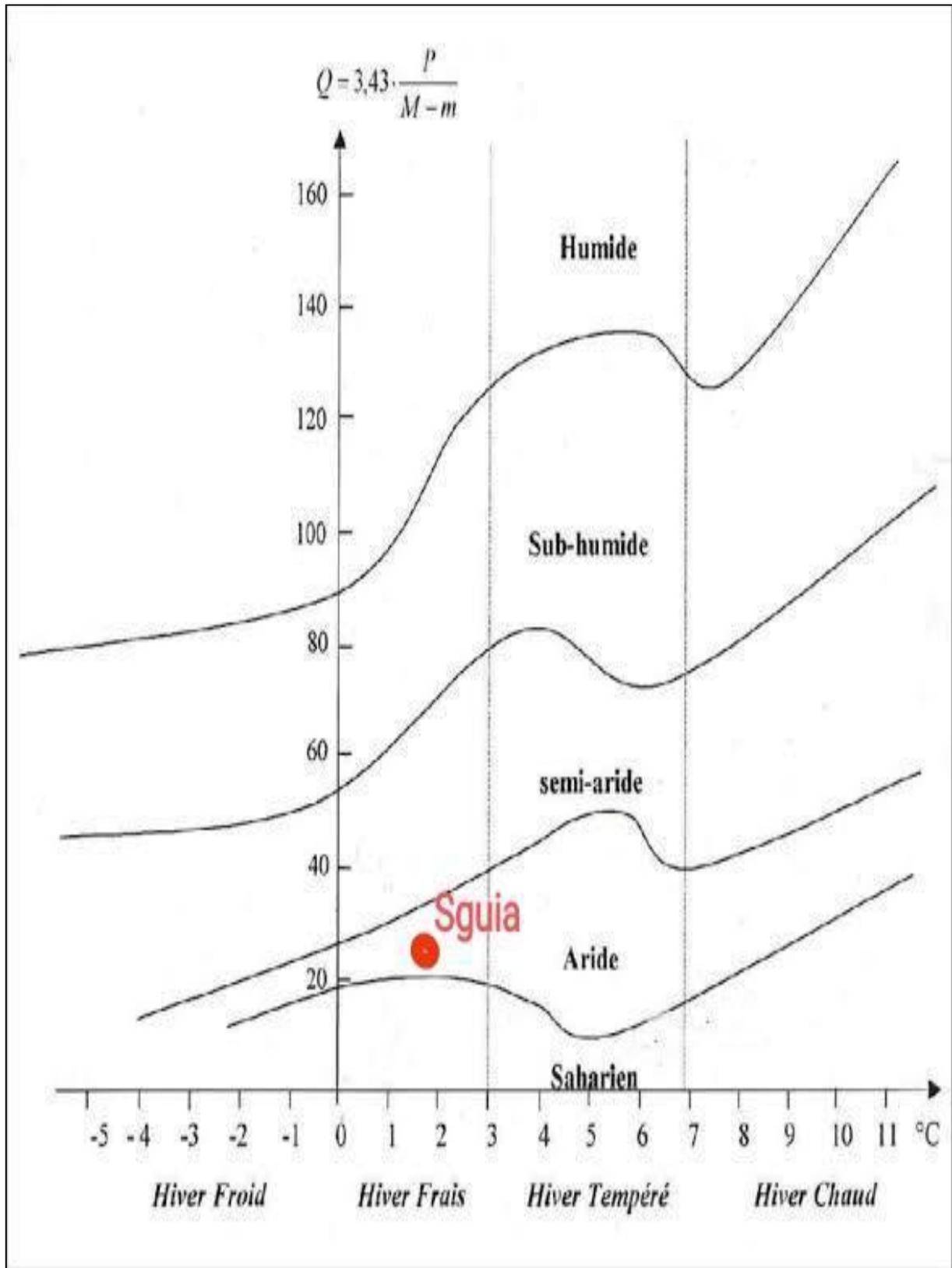


Figure 28: Le climagramme d'Emberger pour la région de Sguia

1.5. Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen permet de définir les conditions climatiques d'une région par l'importance de la saison sèche. définissent un mois sec comme étant celui où les précipitations, exprimées en millimètres, sont inférieures ou égales au double de la température moyenne en degré celsius (Bouktache, 2008). La construction du diagramme ombrothermique se fait en portant sur l'axe des abscisses les mois de l'année en considération, en ordonnées les précipitations à gauche, et les températures à droite. La figure 30 représente le diagramme ombrothermique obtenu pour la région de Sguiâa, (voir figure 29).

Tableau 04 : les données de diagramme ombrothermique (Originale, 2022).

Mois	P (mm)	T (°C)
Janvier	29,04	6,4295
Février	23,28	8,1295
Mars	25,12	10,4795
Avril	24,88	13,3295
Mai	27,52	17,9295
Juin	14,88	23,4295
Juillet	6,96	26,9295
Août	17,52	26,2795
Septembre	26,88	21,5795
Octobre	23,12	16,1795
Novembre	22,72	11,1795
Décembre	25,36	7,3795

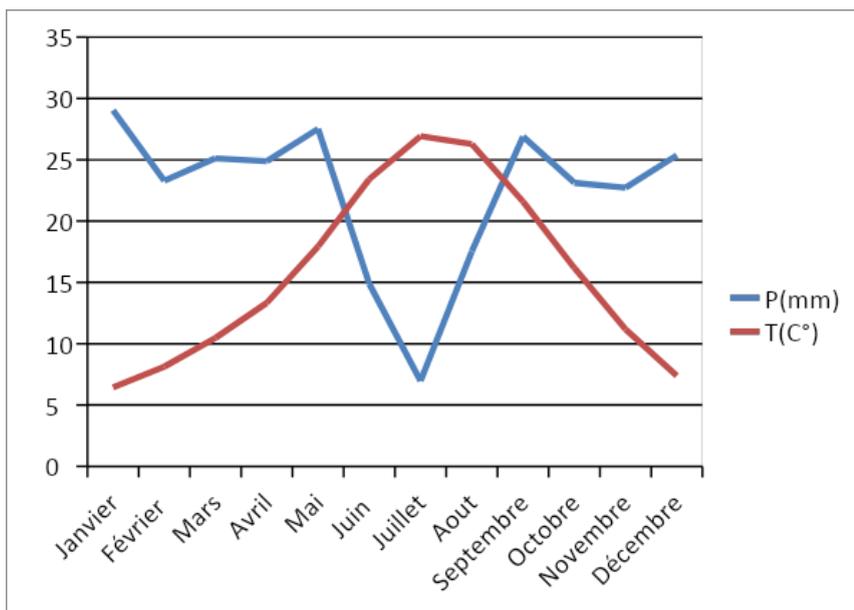


Figure 29 : Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

D'après ce diagramme la période sécheresse s'étale pour la région de Sguiâa sur 5 mois de la fin du mois mai jusqu'au mois de septembre, tandis que la période humide s'étale de la fin du mois septembre jusqu'en avril.

2. Analyses physico-chimiques des sols

2.1. Profil du sol

Dans le but de connaître le profil du sol de la zone d'étude, nous avons effectué une sortie de terrain avec un pédologue (Monsieur Lahrach Ibrahim). Et nous sommes familiarisés avec les types de couches qui caractérisent la zone, où cette dernière est caractérisée par deux types de couches A et C (A: horizon organo-minéral - C: horizon d'altération à structures lithologiques): le sol de la zone d'étude est isohumique.

Et d'après la classification française, les sols isohumiques en régime aride sont des *Siérozem*. (voir figure 30).



Figure 30: Profil du sol de la zone d'étude (Original, 2022)

2.2. Granulométrie

L'analyse granulométrique est effectuée sur des deux arbres du milieu de chaque parcelles P2L15A2 et P4L6A11, l'analyse granulométrique des sols des deux parcelles a révélé une dominance de la fraction limoneuse et sableuse pour les deux parcelles 2 et 4, la texture du sol dans ce cas, de type limono-sableuse (voir tableau 05 et figure 31).

Tableau 05 : Analyses granulométrique des sols de la zone d'étude

N° Echantillon	A (%)	LF (%)	LG (%)	S (%)	Texture
P2L15A8	4,5	21	16,58	57,9	Limono-sableuse
P4L6A11	4	31	16,435	48,5	Limono-sableuse

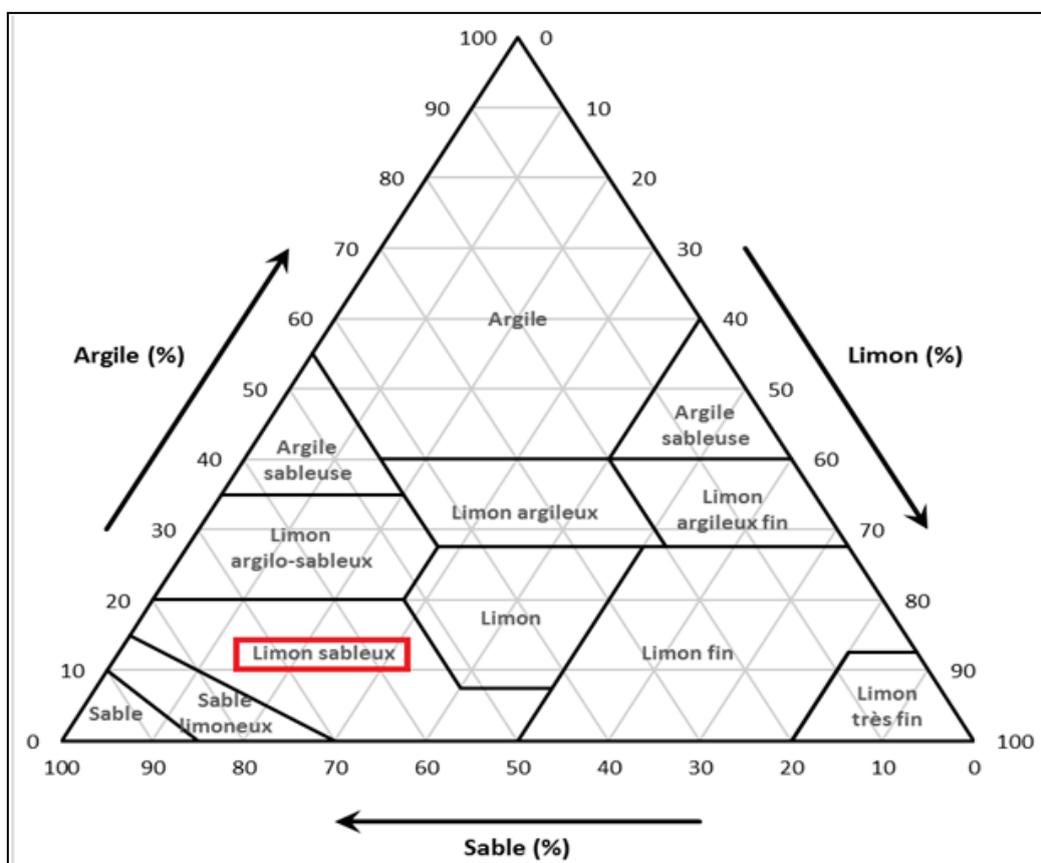


Figure 31: Triangle des textures minérales.

2.3.Humidité

La teneur en humidité montre que pour la parcelle 2, elle est de 19.68% et elle est de 17.7% pour la parcelle 4 (figure 32).

2.4. La conductivité électrique et pH

Le sol des deux parcelles ont une alcalinité modérée (pH=8.52 pour la parcelle 2 et pH=8.71 parcelle 4 (figure 34). La conductivité électrique est en moyenne de 3.08 mS/cm pour la parcelle 2 et de 1.92mS/cm parcelle 4 (figure 33), le petite valeur se trouve à parcelle 2 (5.26 mS/cm). Les sols des deux parcelles sont donc non salés.

2.5. La matière organique

La matière organique (MO) présente une moyenne de 3.74% parcelle 2 et 3.51% parcelle 4 (figure 38).

2.6. Le calcaire total et le calcaire actif

Le calcaire total (CT) est en moyenne de 30.44% parcelle 2 et de 20.06% parcelle 4, et le calcaire actif montre un moyen de 17.8% parcelle 2 et 16.1% parcelle 4 (figure 35-36). Le sol est fortement calcaire.

2.7. Azote total

L'azote total (AT) est en moyenne de 0.106 % parcelle 2 et de 0.12 parcelle 4 (figure 37). (voir figure 37 et le tableau 06).

2.8. Phosphore

Pour le phosphore, le test a abouti à des résultats aberrants. En effet, par 3 fois, les échantillons préparés pour la gamme d'étalonnage, ont viré au bleu foncé. Pris par le temps, nous avons reporté ce test à une date ultérieure.

Tableau 06: Résultats des analyses physico-chimique des sols

Arbres	AT	CA	CT	CE	MO	pH	P	HUM
P2L3A2	0,07	16,5	25,4	2,22	3,08	8,56	-	17,9
P2L3A15	0,14	18	32,6	1,77	3,81	8,62	-	20,1
P2L15A8	0,12	19	28,9	3,1	4,02	8,46	-	19,5
P2L31A2	0,11	20	34,9	5,2	4,1	8,37	-	19,3
P2L31A15	0,09	15,5	37,8	3,1	3,72	8,62	-	21,6
P4L2A2	0,1	18,5	30,3	3	3,88	8,66	-	18,3
P4L2A21	0,06	15,5	32,6	2,18	2,86	8,7	-	16,8
P4L6A11	0,12	19,5	28,9	1,53	3,68	8,64	-	20
P4L11A2	0,13	12,5	28,6	1,52	3,73	8,78	-	14,6
P4L11A21	0,15	14,5	26,6	1,39	3,44	8,79	-	18,8
Moyenne par parcelle	Moy AT	Moy CA	Moy CT	Moy Ce	Moy MO	Moy pH	Moy P	Moy HUM
P2	0,106	17,8	30,44	3,082	3,74	8,52	-	19,68
P4	0,112	16,1	20,06	1,924	3,51	8,71	-	17,7

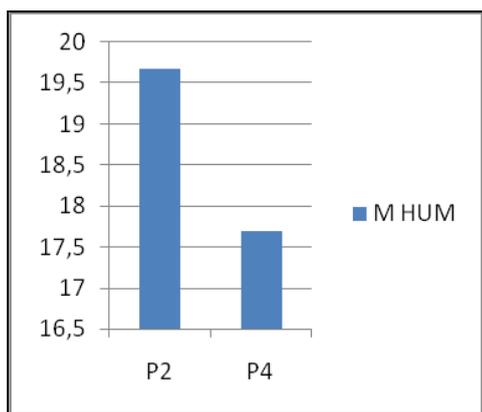


Figure 32: Moyenne Humidité moyenne parcelles 2 et 4

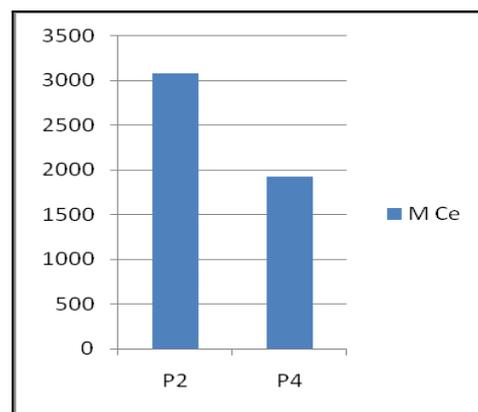


Figure 33: Moyenne Conductivité électrique parcelles 2 et 4

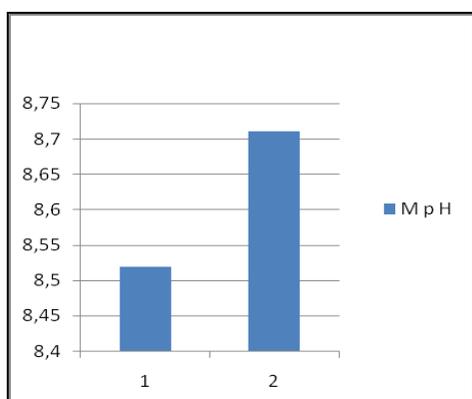


Figure 34: Moyenne pH parcelles 2 et 4

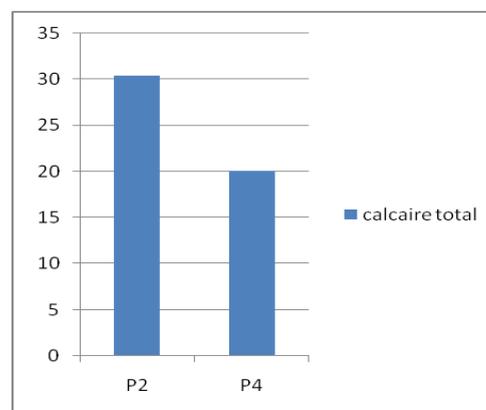


Figure 35: Moyenne Calcaire total parcelles 2 et 4

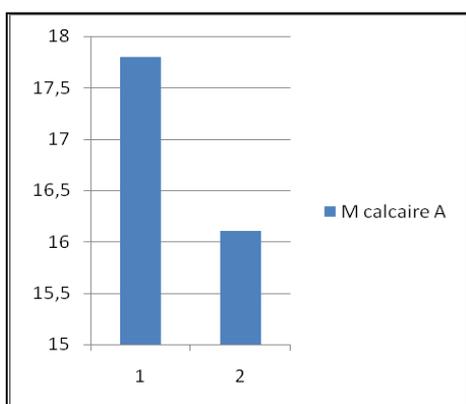


Figure 36: Moyenne Calcaire actif parcelles 2 et 4

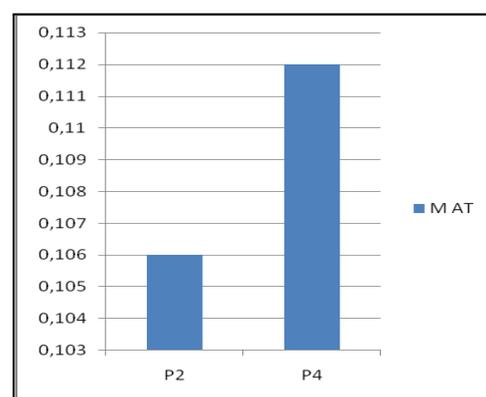


Figure 37: Moyenne Azote total parcelles 2 et 4

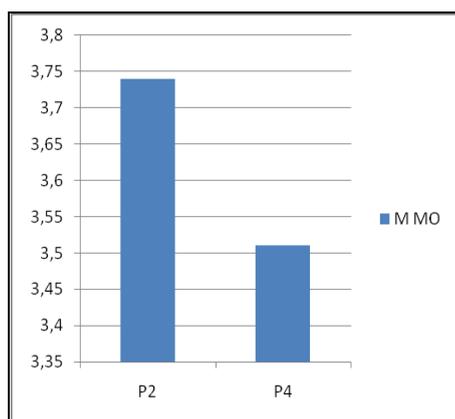


Figure 38: Moyenne Matière organique parcelles 2 et 4

2.9. Analyse statistique des résultats des analyses des sols

L'ANOVA ne montre aucune différence significative ($p < 0,001$) concernant le facteur parcelle et les paramètres étudiés (tableau 07).

Tableau 07: Paramètres de l'analyse statistique des sols

parcelle	Paramètres							
	AT	CA	CT	CE	MO	pH	P	H
P2	0,11±02 (0,08-0,14)	18±1,58 (16-20)	30,44±3,62 (25,40-34,9)	6,27±6,49 (2,22-17,7)	3,74±0,40 (3,08-4,1)	8,53*±0,10 (8,37-8,62)	-	19,68±1,34 (17,9-21,6)
P4	0,12±03 (0,06-0,15)	16,1±2,88 (13-20)	26,06±3,52 (21,9-30,3)	9,94±6,74 (2,18-15,33)	3,51±0,40 (2,86-3,88)	8,71*±0,06 (8,64-8,79)	-	17,7±2,08 (14,6-20)
Facteur parcelle	NS	NS	NS	NS	NS	S	-	NS

Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; Seuil de signification statistique $A\alpha=0,05$; * , $p < 0,05$; ** , $p < 0,01$; *** , $p < 0,001$; NS, non significatif

2.10. Discussion

Sur la base de la composition granulométrique moyenne, la zone d'étude est à une texture dominante équilibrée (limono-sableuse). Nos résultats sont similaires à la majorité des études précédemment réalisées sur l'analyse granulométrique des sols qui montrent une variabilité dans la texture. Selon les normes d'interprétation, le pH-eau des sols étudiés a généralement une alcalinité forte. C'est une fourchette des pH courants pour les sols en régions semi arides (Bouabdelli, 2019).

La salinité du sol a une certaine influence sur le développement de la végétation, la présence de quantités importantes de sels dans la solution du sol abaisse le potentiel hydrique et réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu «physiologiquement sec». Les sels, au sens large du terme, constituent les traits caractéristiques des paysages arides d'Algérie, plus de 95% de ces régions sont en effet soit calcaires, soit gypseux, soit salsodiques. Ce n'est pas le cas des sols échantillonnés lors de cette étude. En effet, les sols de toutes les stations sont non salés, même si nous avons enregistré des taux variés de la CE.

La valeur la plus faible de salinité a été enregistrée au niveau de la parcelle 2 et la valeur la plus élevée est enregistrée dans la parcelle 4, ce qui peut s'expliquer par la salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire ou bien à l'utilisation d'engrais inorganiques, car cette station est située en contrebas. Il y aurait alors accumulation.

Les analyses de sol montrent que la zone d'étude présente un taux modéré en matière organique.

D'après les résultats obtenus concernant le taux de calcaire total, un taux de calcaire élevé s'explique par la présence de croûte calcaire. Dans notre étude, il n'en ressort aucune corrélation entre le calcaire et pH. Cela a été déjà confirmé par les résultats de Pouget (1980), par contre Limane (2014) démontra que le pH le plus faible correspondait au taux de calcaire le plus élevé. Les différences non significatives observées entre les parcelles pour les sols échantillonnés sont peut-être dues à la localisation des deux parcelles dans le même étage bioclimatique.

3. Estimation du taux de colonisation racinaire par les CMA de Olea europaea

3.1. Observation microscopique des écrasements racinaires chez Olea europaea

L'observation des fragments, prélevés durant le printemps, écrasés puis colorés à l'encre bleue par la technique de Philippe et Hayman (1970), nous a permis de mettre en évidence la présence de champignons à arbuscules et vésicules (CMA) chez Olea europaea.

Ce type de mycorhize est caractérisé par la présence de trois structures fongiques différentes (voir tableau 41 et figure 40):

-Les hyphes : Ils pénètrent dans le cortex racinaire. Une fois à l'intérieur, ces hyphes se ramifient et s'étendent au niveau du parenchyme cortical des radicelles (figure 40). Ils présentent deux voies de cheminement, la voie intracellulaire caractérisée par des hyphes de diamètre assez gros, enroulées pour former des pelotons (figure 40,b), et la voie extracellulaire caractérisée par des hyphes fines et ramifiées pour former des arbuscules.

-Les vésicules : De taille et de forme variées, elles se forment dans les espaces intracellulaires et intercellulaires du parenchyme cortical (figure 40). Pour la taille, elles sont plus petites à l'intérieur des cellules que dans l'espace extracellulaire où elles sont plus ou moins grandes. Leur forme est variée néanmoins, les formes les plus communes sont la forme ovale et la forme arrondie. D'autres formes irrégulières ont été observées dans l'espace extracellulaire (figure 40, a).

-Les arbuscules : Les hyphes pénètrent à l'intérieur des cellules et se ramifient pour donner des structures en forme d'arbuscules (figure 40, e). Pour le mode de colonisation, nous avons observé la formation d'arbuscules dans les cellules du cortex, de type Paris qui est caractérisé par un enroulement des hyphes dans les espaces intracellulaires (figure 40, f).

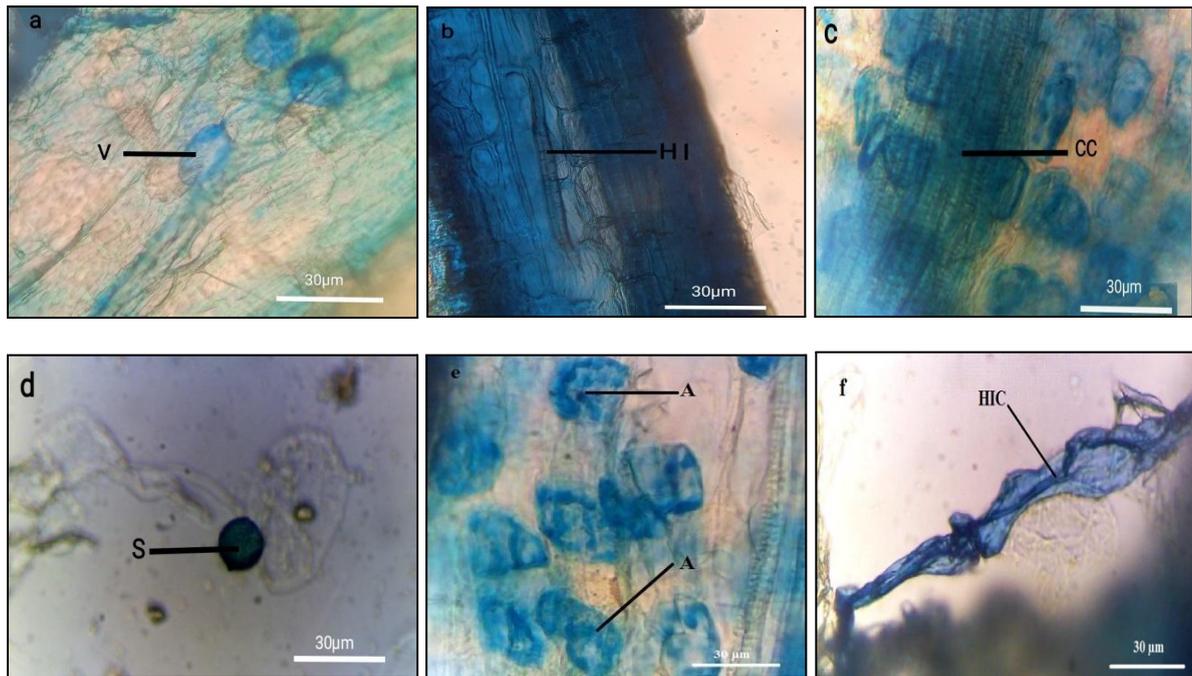


Figure 39: Racines d’olivier infectées d'hyphes, vésicules, et arbuscules **(a)- V** : vésicule, **(b)- HI** : hyphe intercellulaire, **(c)- CC** : cylindre central, **(d)- S** : spore ; **(e) - A** : arbuscules, **(f)- HIC**: hyphe intracellulaire (Observation au microscope GX40) (Original, 2022).

3.2. Taux de mycorhization

Parmi les paramètres mesurés, la fréquence de l’infection (F) est celle qui enregistre le taux le plus élevé (88.5 %). Le taux le plus bas (17, 5%) est enregistré pour la teneur arbusculaire de l'infection (A). Les valeurs les plus importantes pour les deux paramètres mesurés ont été enregistrées pour la parcelle P4, la plus anciennement plantée (voir tableau 08).

Tableau 08 : Le taux de mycorhization (Original, 2022)

Parcelles	F (%)	M (%)	m (%)	a (%)	A (%)
P2	87	24.44	28.5	75.826	18.56
P4	90	25.82	28.595	68.718	17.76
Moy T	88.5	25.13	28.547	72.272	18.16

On voit que les degrés de colonisation des racines de l’olivier par les champignons endomycorhiziens sont estimés par la calcul de la fréquence. Les résultats montrent que l’olivier est fortement endomycorhizés 88.5% .

3.3. Analyse statistique relative au taux de mycorhization

Analyse de la variance (ANOVA)

L'analyse de la variance à un facteur (parcelles 2 et 4) pour l'ensemble des paramètres de mycorhization (F. A. V. M), ne montre aucune différence significative, même si l'abondance en arbuscules est plus importante pour la parcelle P2 que pour P4 (tableau 08 et 09).

Tableau 09 : Paramètres de mycorhization chez *Olea europaea*

Parcelles	Paramètres de mycorhization				
	Fréquence de l'infection mycorhizienne F (%)	Intensité de colonisation du cortex racinaire M (%)	Intensité de la colonisation mycorhizienne dans les fragments racinaires m (%)	Abondance d'arbuscules dans les parties mycorhizées des fragments de racines a (%)	Teneur arbusculaire de l'infection A (%)
P2	87±9,08 (75-100)	24,44±11,72 (12,55-37,55)	28,5±14,75 (13,94-50,07)	75,82±12,06 (65,7-90,32)	18,56±9,85 (9,56-32,9)
P4	90±3,53 (85-95)	25,82±8,76 (15,65-36,85)	28,59±9,26(17,39-40,94)	68,71±5,71 (61,66-75,86)	17,76±6,26 (10,2-26,83)
Facteur parcelle	NS	NS	NS	NS	NS
Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; Seuil de signification statistique $\lambda\alpha=0,05$; *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$; NS, non significatif.					

Test de corrélation de Pearson

Un test de corrélation (Pearson) et une analyse en composantes principales (ACP) ont été réalisées pour mettre en évidence les relations existantes entre les différentes variables étudiées.

La matrice de corrélation entre les paramètres de mycorhization et des sols présentent des corrélations positives et significatives entre l'abondance d'arbuscules (a) et le calcaire actif (CA) $r=0,79$ et une corrélation négative entre la fréquence de l'infection mycorhizienne (F) et l'humidité $r= -0.79$.

Tableau 10 : Matrice de corrélation de Pearson ($p < 0.05$) pour l'ensemble des variables de mycorhization et des sols

	AT	CA	CT	CE	MO	pH	P	H	F	M	m	a	A
AT	1	-0,097561	-0,121951	-0,528878	0,182372	0,27439	-	0,218846	-0,457533	-0,455929	-0,455929	0,145897	-0,541036
CA		1	0,682927	0,595747	0,468087	-0,716463	-	0,431613	-0,349504	0,115502	0,115502	0,790277	0,273557
CT			1	0,662617	0,656538	-0,646341	-	0,69301	-0,42576	-0,249241	-0,249241	0,38906	-0,12766
CE				1	0,636364	-0,820672	-	0,284848	-0,171054	0,236364	0,236364	0,490909	0,406061
MO					1	-0,462008	-	0,369697	-0,449809	-0,151515	-0,151515	0,575758	-0,042424
pH						1	-	-0,44985	0,279603	-0,048632	-0,048632	-0,547115	-0,188451
P							-	-	-	-	-	--	-
H								1	-0,791917	-0,163636	-0,163636	0,345455	-0,139394
F									1	0	0	-0,342108	0,044347
M										1	0	0,139394	0,963636
m											1	0,139394	0,963636
a												1	0,321212
A													1

3.4. Discussion

L'analyse de corrélation a mis en évidence plusieurs corrélations significatives entre les variables pédologiques et les variables de la mycorhization. Certaines sont positives, d'autres négatives.

La corrélation positive entre ces 2 groupes de variables est l'abondance arbusculaire dans les parties mycorhizées des fragments des fragments de racines (a) et la matière organique (MO). Tandis que les corrélations négatives sont entre Azote total (AT) et la teneur arbusculaire de l'infection (A) ainsi que entre la fréquence de l'infection mycorhizienne (F) et l'humidité (H). Ce qui signifierait que plus il y a d'azote et plus les sols sont humides, plus la fréquence de l'infection mycorhizienne et la teneur arbusculaire sont faibles.

Conclusion générale

La contribution à l'estimation du taux de mycorhizes de l'olivier dans la steppe algérienne est effectuée sur la même population située à un étage bioclimatique Aride-Hiver-Frais, en steppe. Au terme de cette étude nous pouvons conclure que la mycorhization de l'espèce étudiée est naturellement établie.

L'étude pédologique des sols a montré un taux d'humidité variant de 21.6% à 20.1%. Par ailleurs, les analyses chimiques ont montré que les sols sont à caractère calcaire alcalin de pH (8.5 à 8.7%), pauvres en sel, en azote (0.11 à 0.12%) , et la teneur en matière organique est modéré (3.8% à 4.1%). Pour le phosphore, le test a abouti à des résultats aberrants, peut-être à cause des changements de température ou d'un problème avec les produits chimiques (péremption?) ou enfin à cause d'une contamination au phosphore (?).

En réponse aux questions citées en introduction nous pouvons résumer les principales observations comme suit :

- Les examens microscopiques des fragments de racines de l'olivier ont révélé la présence dans tous les échantillons racinaires, des structures caractéristiques des endomycorhizes arbusculaires : des arbuscules, vésicules et hyphes.
- La fréquence de mycorhization a atteint une moyenne de 88.5%.

A l'avenir il serait intéressant de refaire ces analyses sur un plus grand nombre d'échantillons, re-doser le phosphore et étudier le taux de mycorhization corrélé au phosphore dans les feuilles et à la production des oliviers, par exemple.

Références bibliographiques

Abbas H, 2019. “ Caractérisation morphologique et étude de l’extrait des feuilles des trois variétés d’olivier Olea europaea. L dans la région de Biskra. Mémoire de magister en biochimie appliquée; Université de Biskra Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, p 4-5.

Abdessemed S, 2016. "Contribution à la caractérisation et à l’identification des écotypes d’olivier Olea europaea. L dans la région des Aurès. Université de Batna 2.

Adjoud-Sadadou D, Halli-Hargas R, 2000. “Effectiveness of mycorrhizal fungi in promoting growth of calcifuge eucalyptus seedling in calcareous soil. International conference. Montpellier. France.

Afnor, 1990. “Granulats, analyses granulométriques par tamisage”. Norme.18-560

Agronomie.info, non daté. Mycorhizes à truffes. Consulté le 24.05.2023. Disponible sur le site :<https://agronomie.info/fr/mycorhizes-a-truffes/>

Aibeche A, 2008. “ Caractérisation écologiques et mycologiques d'une espèce de terfez du littoral ouest algérien. Thèse, université d'Oran, faculté des sciences.

Aubert G, 1978. “Pédologie africaine : bilan et perspectives de recherche française. In : La recherche française en Afrique tropicale à Madagascar. Paris: Académie des sciences d’Outre Mer, p. 45-54 (Travaux et Mémoire de l’Académie des sciences d’Outre Mer. Nouvelle Série; 6). Disponible sur le site : <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010059927>

Azcón-Aguilar C, Barea J.M, 1996. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens-an overview of the mechanisms involved. Mycorrhiza, 6: 457-464.

Azcón-Aguilar C, Palenzuela J, García L, Barea J.M, 1999. “Aplicación de las micorrizas en la hortofruticultura. Phytoma”. Article., 110: 46-56.

Bencherif K, 2016. “ Etude de la symbiose arbusculaire chez deux espèces de Tamarix” Thèse de doctorat. Université Saad Dahleb Blida.

Bouabdelli Z, 2019. Etudes des mycorhizes des espèces du genre Pistacia en fonction des conditions édapho-climatiques, en Algérie. thèse de doctorat Université de Djelfa, p.119-122.

Bouazza A, 2016. Les symbioses mycorrhiziennes et leur importance dans la réhabilitation des sols dégradés. Thèse de Doctorat: Faculté des sciences, département de biotechnologie ; université D’oran 1. p.159.

Boukhtache N, 2008. "Contribution à l’étude de la niche écologique de la Cigogne blanche Ciconia ciconia. L . Mémoire Magister en agronomie. Université de El Hadj lakhdar Batna.

- Boullard B, 1990.** Guerre et paix dans le règne végétal. Ed. Ellipse, France : 245-279.
- Brundrett M.C, 2004.** Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biol. Rev* 79: 473–495 p.
- Caravaca F, Barea J.M, Figueroa D, Roldán A, 2002.** Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reforestation with Olea europaea subsp. *Sylvestris* through changes in soil biological and physical parameters. *ELSEVIER*, 20: 107-118.
- Dalpe Y, 2005.** “Les mycorhizes: un outil de protection des plantes mais non une panacée”, *Phytoprotection*, V. 86, n° 1 , 53-59 p.106.
- Deveau A, Garbaye J, Frey-Klett P, 2008.** Des bactéries à la rescousse des champignons Symbiotiques. *Biofutur*, 284: 34-37.
- Duhoux E., Nicole M, Selosse M.A, 2004.** “Biologie végétale. Associations et interactions chez les plantes”, Dunod, Paris, France, 166 p.
- FAO, 2022.** Base de données de la FAO (FAOSTAT). Disponible sur le site: <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL>
- Fraga-Beddiar A & Abda S, 2002.** “Statut mycorhizien du chêne-liège Quercus suber.L et dynamique de la symbiose au cours des saisons”. Département de biologie à l' université Badji Mokhtar. Annaba. Algérie.p 109, in; Synthèse Volume 8, Numéro 1, Pages 108-1142002-06-30. Disponible sur le site: <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/78209>
- Fortin JA, Plenchette C, Piché Y, 2008.** ‘Les mycorhizes. La nouvelle révolution verte. *Multi Monde Quae*. (Eds), Québec,131p. Disponible sur le site: <https://www.researchgate.net> 3071..Les mycorhizes. L'essor de la nouvelle révolution verte. Québec, 2008.
- Fortas Z, 1990.** Étude de trois espèces de Terfez : caractères cultureux et cytologie du mycélium isolé et associé à *Helianthemum guttatum*. Thèse de doctorat d'État, Univ. Oran es-sénia (Algérie), INRA de Clermont-Ferrand (France) ,166 p.
- Fortas Z, & Chevalier G, 1992.** Caractéristiques de la germination des ascospores de *Terfezia arenaria* (Moris) Trappe, récolté en Algérie. *Cryptogamie, Mycol.*, 13: 21-29.
- Johnson C.R, Joiner J.N, Crews C.E, 1980.** “Effects of N, K and Mg on growth and leaf nutrient composition of three container grown woody ornamentals inoculated with mycorrhizae”, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, V.105 , n°2, 286-288p.
- Gagné A, 2005.** Étude moléculaire du cortège ectomycorhizien de plantations de conifères sur des sites forestiers après coupes à blanc. Thèse de Doctorat d'État, Univ Laval (Québec), 88p.

- Gallaud, I, 1905.** “ Études sur les mycorhizes endotrophes”, Rev. Général. Bot, n° 17 , 5-48p.
- Garbaye, J, 2013** “ La symbiose mycorhizienne: une association entre les plantes et les champignons “ Editions Quae
- Hamza N, 2014.** “Application des mycorhizes arbusculaires en culture maraîchère cas de la pastèque *Citrullus lanatus*. Mémoire Magister en biologie et physiologie végétale. Université de Ferhat Abbas Sétif 1.
- Hibbett D.S, Gilbert L.B, Donoghue M.J, 2000.** “Evolutionary instability of ectomycorrhizal symbioses in basidiomycetes”, Nature, n° 407, 506–508p.
- Lamy S, 2019.** “ Orchidée et mycorhize, une question de survie” Article scientifique disponible sur le site : <https://top-pouss.com/terrain/pour-lorchidee-la-mycorhize-est-une-question-de-survie/>
- Le Tacon, F, 1985.** “ Les mycorhizes: une coopération entre plantes et champignons”, La Recherche, n° 166, 624-632 p.
- Limane, A, 2014.** “Root architecture adaptation of *Pistacia atlantica*_according to an increasing climatic and edaphic gradient : case pf north-south transect Algeria. Turk. “J” Article. 38:536-594.
- Loussert R, & Brousse G, 1977.** “ L’olivier” Journal d’agriculture traditionnelle et de botanique appliquée p.347.
- Masson S, 1987.** Les mycorhizes. Maîtrise de sciences naturelles, Univ. Clermont-Ferrand, France, 40p.
- Monnier G, 1965.** “ Action de matière organique sur la stabilité du sol” Article scientifique. Unité de science du sol 13682 -. Avenue de la pomme de pin BP 20619, F-45166 Ardon - France. Institut National de la Recherche Agronomique : URo 272.
- Mossé J, Huet J.C, Baudet J, 1986.** “ Evidence from amino acid analysis for the constancy of composition of storage proteins accumulated in maize seed. J. Plant physiol., 125(3-4):199-205.
- Nouaim R, & Choussod R, 1996.** “ Rôle des mycorhizes dans l’alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux de zones arides. La mycorhization des plantes forestières en milieu aride et semi-aride et la lutte contre la désertification dans le bassin méditerranéen . Zaragoza : CIHEAM, 1996. p. 9-26 (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 20).

- Phillips J.M. & Hayman D.S, 1970.** “ Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transaction of the British Mycological Society, 55 :158-161.
- Plenchette C, 2005.** “Mycorhizes et nutrition phosphatée des plantes. Journées Techniques Fruits et Légumes et Viticulture Biologiques”, Beaune, (6-7 décembre 2005), 103-109.
- Porrás Piedra A, Soriano Martín M.L, Fernández Izquierdo G, 2005.** “Application de mycorhizes à la culture de l’olivier. Influence sur le développement des jeunes plants de la variété Cornicabra. Olivæ, n°.104 , 46-54p.
- Pouget M, 1968 :**“ Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-Algéroises (Algérie)" Article scientifique. Académie d'agriculture de France. P.953-954.
- Saad D, 2009.** “Etude des endomycorhizes de la variété sigoise d'olivier Olea europea et essai de leur application à des boutures semi-ligneuse”. Mémoire de Magister en Biotechnologie. Université d’Oran Faculté des Sciences, 98p.
- Sanders I.R, 2004.** “Intraspecific genetic variation in arbuscular mycorrhizal fungi and its consequences for molecular biology, ecology, and development of inoculum”, J. Bot, Cambridge, n° 82, 1057–1062 p.
- Selosse M.A, 2001.** “La symbiose: ses rôles écologiques et évolutifs”, Résumé de la conférence présentée le 3 mars à la société des Amis du Muséum National d’histoire naturelle, France, 37-39p.
- Smith S.E & Read D.J, 2008.** “ Mycorrhizal Symbiosis” Book. Third Edition, Academic Press, London P. 1-9.
- Sidhoum W, 2011.** “ Diversité des mycorhizes arbusculaires chez la variété Sigoise d’olivier Olea europaea. L : “L’étude de leurs efficacités sur la croissance des plantes”. Mémoire de Magister en Biotechnologie. Université d'Oran ES-SÉNIA, p. 12-30.
- Trouvelot A, Kough J.L, Gianinazzi-Pearson V, 1986.** “ Estimation of vesicular arbuscular mycorrhizal infection levels. Research for methods having a functional significance. Disponible sur le site: [https://www.dijon.inra.fr\(INVAM\)](https://www.dijon.inra.fr(INVAM)).
- Institut Technologique des Arbres Fruitiers, 2008.** “ L’oléiculture en Algérie”. Article scientifique disponible sur le site :<https://agronomie.info/fr/loléiculture-en-algerie/>
- Smallholder Soil Health Assessment, 2022.** " Le phosphore assimilable" . Disponible sûr le site:<https://smallholder-sha.org/bienvenue/phosphore-disponible/>
- Station météo de Djelfa, 2022.** “ Les données climatiques de la station de Djelfa: les précipitation et température pendant la période 1990-2020”

Annexes

Annexe 1 : Mycorhize

Tableau 11 : Statistique descriptive mycorhize

	Paramètres	Min	Max	Moyenne	Ecart-Type
P2	F (%)	75.00	100.00	87.0000	9.08
	M (%)	12.55	37.55	24.4400	11.72
	m (%)	13.94	50.07	28.5000	14.75
	a (%)	65.70	90.32	75.8260	12.06
	A (%)	9.56	32.90	18.5600	9.85
	F (%)	85.00	95.00	90.0000	3.53
	M (%)	15.65	36.85	25.8200	8.76
P4	m (%)	17.39	40.94	28.5940	9.26
	a (%)	61.66	75.86	68.7180	5.71
	A (%)	10.20	26.83	17.7600	6.26

Annexe 2 : Pédologie

Tableau 12 : Statistique descriptive des analyses des sols

	Paramètres	Min	Max	Moyenne	Ecart-Type
P2	AT	0,07	0,14	0,11	0.02
	CA	16	20	18.00	1.58
	CT	25.40	34.90	30.44	3.62
	CE	2.22	17.70	6.27	6.49
	MO	3.08	4.1	3,74	0.40
	pH	8.37	8.62	8.53	0.11
	P	0.01	0.03	0.02	0.01
	H	17.90	21.60	19.68	1.34
P4	AT	0.06	0.15	0.11	0.03
	CA	13	20	16.60	2.88
	CT	21.90	30.30	26.06	3.52
	CE	2.18	15.33	9.94	6.74
	MO	28.60	38.80	34.10	3.63
	pH	8.64	8.79	8.71	0.07
	P	0.00	0.05	0.02	0.02
	H	14.60	20.00	17.70	2.08

Tableau 13 : Paramètres des sols de la zone d'étude

Parcelles	AT	CA	CT	Ce	MO	pH	P	HUM
P2L3A2	0,07	16,5	25,4	2220	3.08	8,56	–	17,9
P2L3A15	0,14	18	32,6	1770	3.81	8,62	–	20,1
P2L15A8	0,12	19	28,9	3120	4.02	8,46	–	19,5
P2L31A2	0,11	20	34,9	5260	4.1	8,37	–	19,3
P2L31A15	0,09	15,5	30,4	3040	3.72	8,62	–	21,6
P4L2A2	0,1	18,5	30,3	3000	3.88	8,66	–	18,3
P4L2A21	0,06	15,5	25,6	2180	2.86	8,7	–	16,8
P4L6A11	0,12	19,5	28,9	1533	3.68	8,64	–	20
P4L11A2	0,13	12,5	21,9	1529	3.73	8,78	–	14,6
P4L11A21	0,15	14,5	23,6	1391	3.44	8,79	–	18,8
Moyenne	M AT	M CA	M CT	M Ce	M MO	M pH	M P	M HUM
P2	0,106	17,8	30,44	3082	3,74	8,52	–	19,68
P4	0,112	16,1	20,06	1926	3,51	8,71	–	17,7

Tableau 14 : La granulométrie parcelles 2 et 4

N° Echantillon	N° capsule	Poids capsule vide	Poids capsule pleine	Poids final	A (%)	LF (%)	LG (%)	S (%)
P2L15A8	2	65,460	65,527	0,0067	4,5	21	16,58	57.92
P4L6A11	4	66,067	66,154	0,087	4	31	16,435	48.565

Tableau 15 : Analyses granulométriques des sols de la zone d'étude

N° Echantillon	A (%)	LF (%)	LG (%)	S (%)	Texture
P2L15A8	4,5	21	16,58	57.92	Limono-sableuse
P4L6A11	4	31	16,435	48.565	Limono-sableuse

Tableau 16 : La mesure de l'humidité (Original, 2022)

Arbre	Humidité (%)
P2L3A2	17,9
P2L3A15	20,1
P2L15A8	19,5
P2L31A2	19,3
P2L31A15	21,6
P4L2A2	18,3
P4L2A21	16,8
P4L6A11	20
P4L11A2	14,6
P4L11A21	18,8

Tableau 17 : La mesure du pH

Arbre	pH
P2L3A2	8,56
P2L3A15	8,62
P2L15A8	8,46
P2L31A2	8,37
P2L3A15	8,62
P4L2A2	8,66
P4L2A21	8,70
P4L6A11	8,64
P4L11A2	8,78
P4L11A21	8,79

Tableau 18 : La conductivité électrique du sol (Ce) (Original, 2022)

Arbre	Conductivité (mS/cm)
P2L3A2	2,22
P2L3A15	1,77
P2L15A8	3,12
P2L31A2	5,26
P2L3A15	3,04
P4L2A2	3
P4L2A21	2,18
P4L6A11	1.533
P4L11A2	1.529
P4L11A21	1.391

Tableau 19 : Les Données du dosage du calcaire total parcelles 2 et 4 (Original, 2022)

Échantillon	V0	V1	V0-V1	CT (%)
P2L3A2	6,5	72,5	66	25,4
P2L3A15	6	90,5	84,5	32,6
P2L15A8	7	82	75	28,9
P2L31A2	6,5	97	90,5	34,9
P2L31A15	7	105	98	37,8
P4L2A2	6,5	85	78,5	30,3
P4L2A21	6	72,5	66,5	25,6
P4L6A11	7,5	92	84,5	32,6
P4L11A2	6	70	64	24,7
P4L11A21	9	78	69	26,6

Tableau 20: Témoins du dosage du calcaire total

Témoins	V0 (ml)	V1 (ml)	V0-V1 (ml)
T1	8	73,5	65,5
T2	8,5	80	71,5

Tableau 21 : Les données du calcaire actif (Original, 2022)

Arbre	T=N (ml)	n (ml)	calcaire actif (%)
P2L3A2	19,6	16,3	16,50
P2L3A15	19,6	16	18
P2L15A8	19,6	15,8	19
P2L31A2	19,6	15,6	20
P2L31A15	19,5	16,4	15,50
P4L2A2	19,5	15,8	18,50
P4L2A21	19,5	16,4	15,50
P4L6A11	19,5	15,6	19,50
P4L11A2	19,5	17	12,50
P4L11A21	19,5	16,6	14,50

Tableau 22 : Les données de l'azote total (Original, 2022)

Arbre	T (ml)	N	S (g)	Azote total (%)
P2L3A2	13,6	0,04	10	0,07616
P2L3A15	25	0,04	10	0,14
P2L15A8	22	0,04	10	0,1232
P2L31A2	21,4	0,04	10	0,11984
P2L31A15	16,9	0,04	10	0,09464
P4L2A2	18,3	0,04	10	0,10248
P4L2A21	11,3	0,04	10	0,06328
P4L6A11	22,3	0,04	10	0,12488
P4L11A2	23,3	0,04	10	0,13048
P4L11A21	27	0,04	10	0,1512

Tableau 23: Les données de la matière organique (Original, 2022)

Arbre	PV (g)	Pe (g)	PI (g)	PF (g)	PI-PF	MO (%)
P2L3A2	29,077	10	39,077	38,769	308	3.08
P2L3A15	73,258	10	83,258	82,904	0.381	3.81
P2L15A8	73,658	10	83,658	83,283	0.375	4.02
P2L31A2	73,378	10	83,378	82,968	0.41	4.1
P2L31A15	74,817	10	84,817	84,445	0.372	3.72
P4L2A2	73,098	10	83,098	82,71	0.388	3.88
P4L2A21	29,077	10	39,077	38,791	0.286	2.86
P4L6A11	73,258	10	83,258	82,917	0.368	3.68
P4L11A2	73,658	10	83,658	83,312	0.373	3.73
P4L11A21	73,378	10	83,378	83,034	0,344	3.44