الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة وهران
Université d'Oran
كلية العلوم
Faculté des sciences

MEMOIRE

Présenté
A LA FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITE D'ORAN ES-SENIA
LABORATOIRE DE BIOTECHNOLOGIE DES RHIZOBIUMS ET AMELIORATION DES PLANTES

Pour l'obtention

Du

DIPLOME DE MAGISTERE EN BIOTECHNOLOGIE

SPECIALITE : EXPLOITATION DES INTERACTIONS PLANTES-MICROORGANISMES

Thème

Gestion et valorisation des communautés de symbiotes telluriques pour une réhabilitation durable des carrières de l'ouest algérien

Présenté par :
M^ELLE BENGUESMIA CHADLY Rima

Soutenu le

Membres de jury :

Président : Mr **KIHAL Mabrouk,** Professeur à l'Université d'Oran Es-Senia.

Examinateur : Mr **BELAHCEN Miloud**, Maître de Conférences à l Université de Mostaganem

Examinatrice: Mme **IGHIL HARIZ Zohra,** Maître de Conférences à l'Université d'Oran Es-Senia.

Rapporteur: Mr **BEKKI Abdelkader,** Professeur à l'Université d'Oran Es-Senia.

Année Universitaire : 2011 - 2012

Remerciements

Au dessus de tout, je remercie DIEU Tout Puissant, qui m'a donné la foi et la force et m'a illuminé le chemin pour mener à bien mon étude.

J'exprime ma profonde gratitude et mes remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer et de juger ce travail :

Monsieur KIHAL Mabrouk (Professeur à l'Université d'Oran Es-senia) pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider ce jury.

Madame IGHIL HARIZ Zohra (Maître de Conférences à l'Université d'Oran Es-senia) et Monsieur BELAHCENE Miloud (Maître de conférences à l'université de Mostaganem) en acceptant d'examiner ce travail.

Un grand merci à mon encadreur, Monsieur BEKKI Abdelkader (Professeur à l'Université d'Oran Es-Senia), pour m'avoir donné la chance de travailler sur ce sujet passionnant. Son optimisme à toute épreuve, parfois déconcertant, m'a surtout aidé à surmonter les nombreuses difficultés inhérentes à la recherche scientifique. Je le remercie également de m'avoir donné l'opportunité de travailler dans des conditions très agréables durant ces années, de m'avoir fait profiter de ses nombreuses collaborations et de m'avoir permis de voyager autant. En dehors de ses compétences professionnelles, ses qualités « humaines » doivent ici être mises en valeur ; elles ont permis une forte cohésion au sein de notre équipe.

Je tiens également à remercier chaleureusement Monsieur Philippe de Lajudie (Directeur de recherche à l'IRD, France) pour son aimable collaboration, son accueille au LSTM, son aide et ses encouragements durant mes deux séjours de stage.

Grand Merci à Monsieur BAUDOIN Ezekiel (Chercheur au LSTM) de m'avoir permis de plonger dans l'univers fascinant de la biologie moléculaire. Merci Ezekiel de m'avoir « introniser » dans le monde de la Recherche. Je tiens par ailleurs à remercier tout le personnel du LSTM, dont la sympathie m'aura permis d'oublier l'agréable climat de travail… merci à tous et spécialement à

Monsieur Ngonkeu Mangaptché Eddy Léonard(chercheur).....Merci infiniment Eddy.

Je tiens également à exprimer ma gratitude et mon respect à Monsieur Robin DUPONNOIS (Directeur de recherche à l'IDR, France), pour ses réflexions, son aide et son soutien qui m'ont permis d'aborder plus sereinement le flot de données auquel nous étions confrontés.

Je suis reconnaissante envers l'ensemble des enseignants du LBRAP pour leur disponibilité, leur encouragement, leur soutient moral et leur sympathie. Particulièrement, mes pensées vont vers Madame BOUKHATEM Faiza et Madame BEKKI Meriem Amina (Chargées de cours à l'Université d'Oran Es-senia) .... Mille mercis ne pourront jamais suffire pour vous chère Miss et chère Madame BEKKI.

Merci à la force vive du LBRAP, enseignants, doctorants et ingénieurs.

Je ne manquerai pas non plus de dire un grand merci aux gardes forestiers de la forêt de Stidia qui nous ont facilité le travail et l'ont rendu agréable à chaque sortie.

J'aimerais remercier vivement Mr le professeur Maarouf responsable du laboratoire de Biochimie Végétale et des Substances Naturelles (Université d'Oran, Es-sénia) pour l'aide apportée dans l'identification des espèces végétales.

Mes remerciements s'adressent également à l'équipe du laboratoire de génétique et amélioration des plantes de l'Université d'Oran Es-sénia, pour leur aide à l'élaboration de l'étude statistique.

Merci également aux financeurs, sans qui ce travail n'aurait pas été possible.

Un énorme merci également à ma famille, pour son soutien continu tout au long de ma scolarité : merci à mes chers parents et à mes chers frères.

M^elle BENGUESMIA CHADLY Rima.

DEDICACES

A

Mes très chers parents

Et

Mes chers frères

Rima

Liste des abréviations

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

AMF : Arbuscular mycorhizal fungi

ARN: Acide Ribo Nucléique

ATP: Adenosine Tri-Phosphate

BET: Bromure d'Ethidium

CMA : Champignons mycorhiziens à arbuscules

CW : Chemin de Wilya

ddNTP : didésoxy Nucléotide Tri Phosphate

DGGE : Dentauring Gradient Gel Electrophoresis

dNTP : désoxy Nucléotide Tri Phosphate

EDTA : Ethylène Diamine Tétra Acétate

g : gramme

kb: kilobase

kDa: kilo Dalton

LBRAP : Laboratoire de Biotechnologie des Rhizobiums et Amélioration des Plantes

LSTM : Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes

M : Molaire

Min : minute

mM : milli Molaire

pb : paire de bases

PCR : Polymerase Chain Reaction

pH : Potentiel d'hydrogène

Sec. : Seconde

sp : *species* (espèce non déterminée)

TAE : Tris Acétate EDTA

TE : Tris EDTA

Tris : Tris hydroxymethyl amino methane

UV : Ultrat Violet

µg : microgramme

µL : microlitre

µmol : micromole

Liste des tableaux

Pages

Tableau 1 : Liste des amorces utilisées pour l'amplification PCR **31**

Tableau 2: Composition des différents Mix PCR et cycles selon le couple d'amorces utilisées **32**

Tableau 3: Liste des amorces utilisées pour l'amplification PCR. **33**

Tableau 4: Composition des différents Mix PCR et cycles selon le couple d'amorces utilisées **34**

Tableau 5: Prospection botanique dans les dix parcelles de prélèvement **39**

Tableau 6: Caractéristiques pédologiques des sols dans chaque parcelle..... **41**

Tableau 7: La texture des dix sols de la forêt de Stidia **42**

Tableau 8 : Les paramètres de quantification des ectomycorhizes..... **64**

Liste des figures

Pages

Figure 1: Début de la colonisation (Ontario, 2011) **08**

Figure 2: Hyphe de CMA pénétrant une racine (Ontario, 2011) **08**

Figure 3 : Arbuscules intraracinaires (Ontario, 2011)..... **09**

Figure 4: Vésicules intraracinaires (Ontario, 2011)..... **09**

Figure 5: Des manchons mycorhiziens sur les radicelles d'un pin maritime ***Pinus pinaster*** (SMHV, 2010) **10**

Figure 6: Carpophore du Lactaire délicieux (environnement.ecole.fr)..... **10**

Figure 7: Localisation de la forêt de Stidia, Données cartographiques sur la localisation de la forêt de Stidia (Imagerie 2011, Digital Globe, Cnes/Spot. Image. Géo Eye) **19**

Figure 8: Vue d'ensemble sur la forêt de Stidia (Benguesmia, 2009..... **20**

Figure 9: Les espèces végétales les plus dominantes à Stidia (a) *Pinus pinea, (b) Titraclinis articulata, (c) Juniperus phoenicea, (d) Retama monosperma* (Benguesmia, 2009)..... **21**

Figure 10 : colonisation mycorhizienne de la classe 0 à 5 (Trouvelot et *al*.,1986)..... **30**

Figure 11: Délimitation des parcelles étudiées et leurs gammes de dégradation (a), densité et distribution du couvert végétal dans les 10 parcelles du site d'échantillonnage(b), (c) et (d) **40**

Figure 12: Nombre de spores des 100 échantillons dans les 10 parcelles de la forêt de Stidia **45**

Figure 13: Distribution du nombre de spores des sols homogénéisés (composite) selon la gamme de sdégradation dans les dix parcelles..... **46**

Figure 14: Distribution du nombre de spores des sols homogénéisés (composite) selon la gamme de sdégradation dans les dix parcelles **46**

Figure 15: Fréquences de mycorhization et les intensités de colonisation du cortex racinaire du retame au niveau des dix parcelles..... **49**

Figure 16: Exemple d'une observation microscopique des racines traitées au bleu de trypan sous microscopie photonique (G X 40) **49**

Figure 17: Exemple d'une observation microscopique des racines traitées au bleu de trypan sous microscopie photonique (G X 10) **50**

Figure 18 : Observation des spores Transparentes sous microscopie photonique (G X40)..... **51**

Figure 19: Observation des spores jaunes claires sous microscopie photonique (G X 40)..... **51**

Figure 20: Observation des spores jaunes foncées sous microscopie photonique (G X 40) **51**

Figure 21: Observation des spores Orange claires sous microscopie photonique (G X 40) **52**

Figure 22: Observation des spores Orange foncés sous microscopie photonique (G X 40). **52**

Figure 23 : Observation des spores Marron claires sous microscopie photonique (G X 40)..... **52**

Figure 24 : Observation des spores Marron foncés sous microscopie photonique (G X 40). **52**

Figure 25: Observation des spores Grises sous microscopie photonique (G X 40) **53**

Figure 26 : Observation des spores Rétrécies sous microscopie photonique (G X 40)..... **53**

Figure 27 : Observation des spores Noires sous microscopie photonique (G X 40)..... **53**

Figure 28: Observation des spores Rouges sous microscopie photonique (G X 40)..... **53**

Figure 29 : Photo Gel: PCR AMF-step 1 NS1/NS4, ADN Spores extraites du sol de Stidia: Extaction par chelex (vanTuinen et *a*l. 1998) (8 morphotypes: brut, dilué), S1: Spores noir, S2 : Spores marron, S3 : Spores orange, S4: Spores Jaunes, S5: Spores Rétrécies , S6: Spores transparents , S7: Spores Rouges, S8: Spores beiges et T neg : témoin négatif..... **54**

Figure 30 : Photo Gel: PCR AMF-step 2 NS31/Am1, NS31-GC/AM1, NS31/AM-GC ADN Spores (6 échantillons: dilué : Extaction par chelex (van Tuinen et *a*l. 1998)) test sur les 3 premiers Morphotypes de spores : S1 : Spores noir, S2 : Spores marron, S3 : Spores orange, T neg 1: témoin négatif , T neg 2: Témoin négatif 2, T neg 3: Témoin négatif 3 ..... **55**

Figure 31: Photo Gel: PCR AMF-step 2, NS31/AM1-GC ADN sur step1 NS1/ NS4: Spores (8 morphotypes: Extraction par chelex (van Tuinen et *al.* 1998)): S1 : Spores noir, S2 : Spores marron, S3 : Spores orange, S4: Spores Jaunes, S5: Spores Rétrécies, S6: Spores transparents , S7: Spores Rouges, S8: Spores beiges, T neg : témoin négatif, Tneg 2: témoin négatif 2..... **55**

Figure 32 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur la croissance des plants de *Retama monosperma (a) et Titraclinis articulata* (b) (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur le sol de Stidia **57**

Figure 33 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur la hauteur de la partie aérienne des plants de *Retama monosperma et Titraclinis articulata* (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur sol de Stidia **58**

Figure 34 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur la hauteur de la partie aérienne des plants de *Retama monosperma (a) et Titraclinis articulata* (b) (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur sol de Stidia **58**

Figure 35 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur le nombre des feuilles des plants de *Retama monosperma et Titraclinis articulata* (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur sol de Stidia **59**

Figure 36 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur sur le poids frais de la partie aérienne des plants de *Retama monosperma et Titraclinis articulata* (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur sol de Stidia **60**

Figure 37 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur le poids sec de la partie aérienne des plants de *Retama monosperma et Titraclinis articulata* (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur sol de Stidia **61**

Figure 38 : Comparaison du taux de mycorhization des plantes de *Retama monosperma et Titraclinis articulata* (âgés de 4 mois), en conditions naturelles et en conditions contrôlées **63**

Figure 39 : Observation des cordons mycéliens et des hyphes des ectomycorhizes sous la loupe binoculaire (G X 20) **65**

Figure 40 : Récolte de *Suillus granulatus sous Pinus pinea* (Benguesmia, 2010) **67**

Figure 41 : Rècolte de *Russula. Sp sous Pinus pinea* (Benguesmia, 2010)..... **67**

Figure 42 : Récolte de *Lactarius.sp sous Pinus pinea* (Benguesmia, 2010)..... **68**

Figure 43 : Récolte de *Lactarius scocubulatus sous Pinus pinea* (Benguesmia, 2010)..... **68**

Sommaire

Remerciements i
Dédicaces ii
Liste des abréviations iii
Liste des tableaux iv
Liste des figures v
Sommaire vi
Introduction générale 1

Chapitre 1 : Etude bibliographique

1. Qu'est-ce que la dégradation des terres ? 4
2. Concept et importance de la couverture végétale 4
3. La symbiose mycorhizienne 6
3.1. Les mycorhizes : partenaires privilégiées des plantes 6
3.1.1. Les mycorhizes à vésicules et arbuscules 8
3.1.2. Les ectomycorhizes 9
4. Le rôle écologique des champignons mycorhiziens dans les systèmes forestiers 10
5. Les mycorhizes et la gestion des forêts et des cultures 12
6. Gestion durable du Potentiel Infectieux Mycorhizogène (PIM) des sols pour une meilleure valorisation des ressources naturelles telluriques 13
6.1. Les écosystèmes telluriques dans des milieux fortement dégradés 13
6.2. Le potentiel infectieux mycorhizogène (PIM) du sol : un outil biologique pour restaurer et revégétaliser les sols dégradés 13
7. Stratégies d'occupation du sol par les espèces végétales 15
7.1. Les modifications des communautés microbiennes et des cycles biogéochimiques…….. 15
7.2. Restauration écologique : rôle de la composante microbienne tellurique 16
Conclusion 17

Chapitre 2 : Etats des lieux

1. Description du site étudié 19
1.1. Couvert végétal 20
1.2. Historique végétal 21

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

I. Matériel biologique 23
1. Choix des essences forestières 23
2. Identification des sites expérimentaux 23
3. Prélèvement des échantillons 23
4. Prospection botanique 23
II. Méthodes 24

1. Détermination des caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sol prélevés des 10 parcelles 24
1.1. Analyses physiques 24
1.1.1. Analyse granulométrique 24
1.1.2. Mesure du pH 25
1.2. Analyses chimiques 25
1.2.1. Dosage du calcaire total 25
1.2.2. Dosage du calcaire actif 26
1.2.3. Carbone total et matière organique 26
1.2.4. Mesure de la conductivité électrique (salinité) 26
1.2.5. Dosage du phosphore assimilable 27
1.2.6. Le dosage de l'azote total du sol 27
2. Détermination des potentiels endomycorhiziens 28
2.1. Estimation de la densité des spores 28
2.1.1. Par échantillon 28
2.1.2. Par parcelle 28
2.1.3. Identification des morphotypes des spores 29
2.2. Mise en évidence de l'infection racinaire 29
2.3. Analyse des populations mycorhiziennes par approche moléculaire 30
2.3.1. Extraction d'ADN total à partir des spores et purification 30
2.3.2. Amplification de l'ADN par PCR 31
2.3.3. Travaux accomplies par d'autres amorces 32
2.3.3.1. Travaux effectués sur les spores des champignons endomycorhiziens 32
2.3.3.2. Travaux effectués sur l'ADN extrait à partir des racines 33

3. Détermination de la réponse des plants des essences étudiées à l'inoculation par des communautés de champignons mycorhiziens 34
4. Comparaison des caractèristiques microbiologiques et chimiques des sols influencés par des plantes nurses à ceux prélevés sous d'autres composantes végétales 35
4.1. Estimation de la croissance des plants 35
4.2. Interprétation statistique 35
5. Détermination des potentiels Ectomycorhiziens 35
5.1. Quantification des ectomycorhizes 35
5.1.1. Lavage des échantillons 35
5.1.2. Comptage des ectomycorhizes 36
5.2. Identification des morphotypes des carpospores 36

Chapitre 4 : Résultats et discussions

1. Relevé floristique 38
1.1. Identification des sites expérimentaux 40
2. Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sol prélevés des 10 parcelles 40
2.1. L'analyse physique des sols 42
2.1.1. La granulométrie 42
2.2. L'analyse chimique des sols 42
2.2.1. Le pH 42

2.2.2. Le calcaire actif et le calcaire total 43
2.2.3. La matière organique 43
2.2.4. La conductivité électrique (salinité) 43
2.2.5. Le phosphore (P2O5) assimilable 43
2.2.6. Le rapport C/N 44
3. Détermination des potentiels mycorhiziens 45
3.1. Estimation de la densité des spores des champignons mycorhiziens à arbuscules et à vésicules 45
3.1.1. Estimation pour les 100 prélèvements dans les 10 parcelles 45
3.1.2. Estimation pour chaque parcelle 47
3.1.3. Estimation pour chaque essence ou plant étudiés dans chaque parcelle 47
3.2. Mise en évidence de l'infection racinaire 48
3.3. Identification des morphotypes des spores 50
4. Analyse de la communauté des champignons mycorhiziens arbusculaires AMF 54
5. Effets de l'inoculation par des communautés de champignons mycorhiziens sur la croissance des plants inoculés 56
5.1. Hauteur de la partie aérienne des plants 58
5.2. Nombre de feuilles 59
5.3. Longueur des feuilles 59
5.4. Poids frais de la partie aérienne 60
5.5. Poids sec de la partie aérienne 60
5.6. Taux d'infection mycorhizienne 63
6. Détermination des potentiels ectomycorhiziens 64
6.1. Quantification des ectomycorhizes 64
6.2. Identification des morphotypes des carpospores 65
Conclusion et perspectives 70
Références bibliographiques 73
Annexes 98

Dans les écosystèmes méditerranéens semi-arides, le processus de désertification s'est accéléré depuis plusieurs décennies suite aux différents aléas climatiques (périodes de sécheresse prolongée) et une surexploitation des ressources naturelles (surpâturage, déforestation intensive, etc.). Ces activités anthropiques se manifestent principalement par une dégradation significative de la dynamique et de la composition des écosystèmes forestiers. Elles entraînent également de profondes modifications dans les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols consécutives à une importante érosion hydrique et éolienne des sols (Requena *et al.,* 2001). Il a été clairement établi que ce processus d'érosion et de dégradation du couvert végétal réduisait la composition et la diversité fonctionnelle de la microflore tellurique (Garcia *et al.,* 1997).

Parmi les composantes microbiennes du sol impliquées dans le fonctionnement des principaux cycles biogéochimiques (phosphore, P, azote, N, et carbone, C) figurent les champignons mycorhiziens. Ces microorganismes ont un rôle clé dans l'évolution des écosystèmes terrestres plus particulièrement dans les environnements arides à semi aride en assurant principalement la pérennité du couvert végétal (Brundrett, 1991).

Les altérations de la couverture végétale induites par les activités anthropiques, ont un effet délétère sur la diversité et l'abondance des propagules fongiques mycorhiziennes et en conséquence, diminuent le potentiel mycorhizogène des sols (Mc Lellan *et al.,* 1995 ; Duponnois *et al*., 2001). Du fait des relations privilégiées liant les communautés de symbiotes mycorhiziens et les végétaux terrestres, ces perturbations du potentiel mycorhizien contribuent au ralentissement des processus naturels ou artificiels de revégétalisation du milieu (Requena *et al.,* 2001).

C’est dans ce cadre que nous avons orienté nos recherches avec un objectif principal ; celui d’évaluer l’état de dégradation d’un sol via sa richesse en propagule mycorhiziennes, et de déterminer en fonction de ces indicateurs biologiques, le mode d’intervention susceptible de restaurer le potentiel mycorhizogène, permettant à la symbiose mycorhizienne, d’exercer ses fonctions tant au niveau de la croissance de l’arbre qu’au niveau du fonctionnement du sol.

Afin de déterminer et estimer ces carences microbiologiques, des études entreprises jusqu'ici ont été focalisées sur une formation forestière dégradée en zone côtière en étage semi aride. ; La forêt de dunes de Stidia (ville de Mostaganem). Cette forêt est recouverte de Pin pignon (*Pinus pinea)*, de Thuya (*Titraclinis articulata)* et de Genévrier (*Juniperus phoenicea*), ces derniers sont entourés et accompagnés par une grande variété d’espèces herbacées et arbustives.

Il s’agit de :

1- Déterminer les potentiels et les taux endomycorhiziens dans des zones boisées et déboisées pour chaque essence forestière considérée.
2- Déterminer la réponse des plants des essences étudiés à l’inoculation par des communautés de champignons mycorhiziens.
3- Déterminer les potentiels ectomycorhiziens.

L’ensemble de notre travail est réalisé dans le cadre du projet symptrop développé entre l’université d’Oran et l’IRD (Institut de Recherche et de Développement) de Montpellier.

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres CS, 12 pt, Police de script complexe :+Titres CS, 12 pt

Mis en forme : Retrait : Première ligne : 1,25 cm

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres CS, 12 pt, Police de script complexe :+Titres CS, 12 pt

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres CS, 12 pt, Police de script complexe :+Titres CS, 12 pt

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

1. Qu'est-ce que la dégradation des terres ?

D'une manière générale, la dégradation débute par une altération de la végétation, une modification de la composition floristique, les espèces les plus utilisées se raréfient et disparaissent. Ensuite ou parallèlement, le couvert végétal s'éclaircit, la production de biomasse diminue. Les capacités de reproduction et de régénération de la végétation se réduisent de plus en plus. Une spirale de dégradation est constituée : sans intervention, elle conduira à une désertification irréversible (Cornet, 2011).

2. Concept et importance de la couverture végétale

La biodiversité, c'est-à-dire 'la diversité de la vie sur terre' est essentielle au fonctionnement des écosystèmes et à la provision des services écosystémiques qui à terme affectent la vie de l'homme. Cependant, il est de mieux en mieux accepté que les changements climatiques d'une part et la simplification et l'artificialisation grandissantes de l'environnement (changements d'usage des terres et des milieux aquatiques) d'autre part, constituent les sources majeures de menace de la biodiversité végétale (Sala et *al*., 2000). À cela, s'ajoute la facilité de transport et de déplacement des marchandises qui est associée aux autres perturbations d'origine anthropique (fertilisation chimique, surexploitation des ressources naturelles, etc …), augmentant l'apparition et la prolifération des plantes exotiques invasives. Tous ces phénomènes, séparément ou en combinaison, sont à même d'affecter la composition, le fonctionnement et la stabilité des communautés vivantes (Sanon, 2009).

La restauration et la préservation de l'environnement doivent donc être retenues par les politiques et par la recherche comme des priorités majeures dans les stratégies de lutte contre la dégradation des terres et le développement durable dans différentes régions du monde. En effet, il a été montré que ce sont les populations les plus démunies qui souffrent le plus de cette baisse de la biodiversité car leur subsistance en dépend en majeure partie (Millennium Ecosystem Assessment, 2005 ; Diaz et *al.*, 2006).

La biodiversité participe directement ou indirectement, sous différentes formes au bien être de la biosphère et en particulier de l'homme. Elle joue un rôle fondamental dans l'alimentation et dans la qualité des sols et des eaux. De plus, elle est pourvoyeuse de ressources médicinales, de matériaux de construction et de diverses ressources renouvelables.

D'un point de vue environnemental, la diversité biologique participe au recyclage des éléments nutritifs, à la réhabilitation des sols dégradés, à la résilience des écosystèmes et à la régulation des variations climatiques (Sanon, 2009).

Les communautés végétales sont plus particulièrement affectées par cette perte de diversité et par l'homogénéisation des écosystèmes. Or, il a été bien établi que le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes telluriques sont principalement dépendants de la composition et de la diversité spécifiques des couverts végétaux (Tilman et *al.*, 1996 ; Hooper et Vitousek, 1997). En effet, la perte de la couverture végétale d'une façon générale est très fortement corrélée à une dégradation (physique, chimique et biologique) des terres qui perdent leur potentiel productif (Piéri, 1989).

La capacité de plusieurs espèces végétales à coexister et à déterminer ainsi la biodiversité du biotope hôte a été expliquée par divers mécanismes dont la répartition spatiale et temporelle des ressources nutritives (Ricklefs, 1977), la compétition interspécifique (Aarsen, 1983) et les perturbations édaphiques qui créent des zones ou 'patches' pour de nouvelles colonisations (Huston, 1979) et de plus les interactions avec les autres organismes qui constituent d'autres écosystèmes (Bever et *al.*, 1997 ; van der Heijden et *al.*, 1998).

Parmi ces facteurs biotiques, les communautés microbiennes du sol constituent une composante clef dans les relations plante-plante. Celles-ci jouent un rôle déterminant dans la structuration et dans la dynamique des communautés végétales épigées (strate végétale) (Bever et *al.*, 1997 ; van der Heijden et *al.*, 1998). Les champignons mycorhiziens font ainsi partie de cette microflore tellurique. Ils colonisent le système racinaire de la quasi-totalité des végétaux pour former une symbiose appelée mycorhize. Les symbioses mycorhiziennes constituent un lien essentiel entre le sol et la plante et jouent un rôle important dans la dynamique des écosystèmes (Bever et *al.*, 1997 ; van der Heijden et *al.*, 1998). Par conséquent cette symbiose qui est susceptible d'améliorer la croissance et la survie des plantes peut influencer la composition, la productivité et la biodiversité des communautés végétales (van der Heijden et *al.*, 1998). En retour, la diversité de la flore a des influences très marquées sur la diversité et l'activité des microorganismes symbiotiques dans les écosystèmes (Grayston et *al.*, 1996 ; Gransee et Wittenmayer, 2000).

Ainsi, ''Pouvoir continuer à produire de la biomasse végétale de manière à ne pas compromettre l'intégrité environnementale et la santé publique'' constitue un challenge pour notre décennie (Tilman et *al.*,2002) entre autre l'utilisation harmonieuse des microorganismes symbiotiques du sol devrait nous aider à aboutir à la restauration des écosystèmes (SBSTTA, 2001).

A titre d'exemple, les écosystèmes méditerranéens sont considérés comme des systèmes écologiques très fragiles vis-à-vis des pressions anthropiques. Paradoxalement, il n'existe que peu d'études qui ont été consacrées à l'impact des activités anthropiques sur l'évolution des

formations végétales terrestres en prenant en compte les mécanismes biologiques régissant l'adaptation des plantes dans ce type de milieu et en conséquence, les processus assurant la biodiversité végétale. Sans compter que depuis de nombreuses décennies, l'homme a introduit de nombreuses espèces exotiques (plantations forestières, espèces de grande culture, etc..) sans évaluer leur impact sur les caractéristiques "natives" du milieu hôte (Sanon, 2009).

3. La symbiose mycorhizienne

3.1. Les mycorhizes : « partenaires privilégiées des plantes »

Les mycorhizes sont des "unions durables" résultant de l'association entre les racines des végétaux et certains champignons du sol. Chaque union est basée sur des échanges à bénéfice réciproques. Les mycorhizes constituent des partenaires essentielles 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-évoluées (Janos, 1980 ; Hetrick, 1984 ; Brundrett, 1991 ; Smith et Read, 1997 ; Gobat et *al.*, 2003).

Le nouvel organe mixte est formé de tissus de la plante hôte et du champignon mycorhizien et chaque partenaire optimise son développement grâce à cette symbiose. Les racines de plus de 80% des espèces de plantes vasculaires présentent ou sont susceptibles de présenter des symbioses mycorhiziennes. La symbiose mycorhizienne est donc un phénomène général chez les plantes à l'exception de quelques familles comme les *Brassicaceae*, les *Caryophyllaceae*, les *Cyperaceae*, les *Juncaceae*, les *Chenopodiaceae* et les *Amaranthaceae* qui présentent très peu d'associations mycorhiziennes (Strullu, 1991 ; Norman et *al.*, 1995).

La fonction de la mycorhize est primordiale dans tout ou une partie du cycle de la plante hôte, surtout mais pas de façon exclusive pour la nutrition. Le champignon profite des ressources carbonées synthétisées par la plante via la photosynthèse et qui sont indispensables à son métabolisme, à son cycle de développement et à sa fructification. En retour, les hyphes fongiques améliorent la nutrition hydrique et minérale de la plante hôte grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté et à la production de divers enzymes extracellulaires (phosphatase, phytase) susceptibles de mobiliser du phosphore à partir de composés complexes du sol (Manjunath et *al.*, 1989 ; Leyval et Berthelin, 1993 ; Smith et Read, 1997 ; Gobat et *al.*, 2003).

La présence des mycorhizes entraîne l'apparition de nouveaux compartiments biologiques dans la rhizosphère. En modifiant la physiologie de la plante et donc la sécrétion des exsudats racinaires, les mycorhizes induisent des modifications significatives dans la

structure des communautés bactériennes au voisinage de ces racines mycorhizées: le terme mycorhizosphère a été utilisé pour désigner ce volume de sol sous influence des mycorhizes (Rambelli, 1973 ; Linderman, 1988). Des études réalisées en milieu naturel sur des plantes colonisées par des champignons mycorhiziens ont montré qu'environ 10 à 20% du carbone fixé au niveau du végétal sont transférés aux symbiotes fongiques. Ceci représente une entrée significative d'énergie dans ce compartiment et ce carbone jouera un rôle crucial dans la dynamique de nombreux microorganismes associés à cette mycorhizosphère (Johnson et *al*., 2002). Par ailleurs, les hyphes mycéliens des champignons formant les associations mycorhiziennes peuvent s'étendre jusqu'à plusieurs centimètres au-delà de la surface racinaire (Rhodes et Gerdemann, 1975). Outre leur rôle dans le prélèvement des nutriments, ces hyphes favorisent la formation d'agrégats dans le sol notamment par leur exsudation. Ces structures stimulent la prolifération de microorganismes bien distincts: l'hyphosphère désigne ainsi le sol conditionné par ce réseau d'hyphes (Rambelli, 1973 ; Linderman, 1988).

La richesse du sol en phosphore est un facteur déterminant dans la mise en place de la symbiose mycorhizienne. Ratnayake et *al*. (1978) ont proposé que le mécanisme par lequel le phosphore contrôlerait la formation de cette symbiose soit lié à la perméabilité membranaire des racines. En effet, en condition de sol riche en P, les métabolites nécessaires à l'initiation et à la formation de l'association plante-champignon mycorhizien ne seraient pas exsudés en quantités suffisantes suite à une baisse de la perméabilité membranaire des racines dues à leur teneur élevée en P. De même, Graham et *al*. (1981) ont indiqué que les champignons mycorhiziens, en améliorant la nutrition phosphatée de la plante, réduisaient également les quantités d'exsudats racinaires libérées dans la rhizosphère du fait d'une diminution de la perméabilité des membranes racinaires.

En revanche, Leyval et Berthelin (1993) et Grayston et *al. (*1996) observent plutôt une augmentation de l'exsudation racinaire en présence des mycorhizes. Différentes hypothèses ont été avancées pour expliquer ce mécanisme : une plus grande allocation de photosynthétats au symbiote fongique (Koch et Johnson, 1984), la production par les mycorhizes d'hormones augmentant la perméabilité racinaire (Bowen, 1994).

Selon le type de champignons symbiotes et des critères morpho-anatomiques, deux principaux types de mycorhizes ont majoritairement été décrits en zone côtières méditerranéennes (Read, 1991 ; Gobat et *al*., 2003) : les mycorhizes à vésicules et arbuscules et les ectomycorhizes.

3.1.1. Les mycorhizes à vésicules et arbuscules

Elles concernent environ 95% des taxons végétaux à mycorhizes et ce type de symbiose est non visible à l'oeil nu (Read, 1991 ; Smith et Read, 1997). Les symbiotes fongiques sont classés dans quatre ordres : Archeosporales (Walker, 1983), Diversisporales (Walker, 1983), Glomerales (Morton et Benny, 2005) et Paraglomerales (Walker, 1983) appartenant à la classe des Glomeromycètes (Cavalier-Smith, 2000) et à l'Embranchement des Glomeromycota (Walker, 1983) (Schüpller et *al*., 2001). Ils sont distingués par leurs caractères morphologiques et structuraux ou par analyse moléculaire. Le genre *Glomus* est généralement le plus représenté en termes d'espèces dans les sols des agrosystèmes en Afrique, probablement à cause de sa capacité d'adaptation aux sols dégradés (Bâ et *al*., 1996 ; Dalpé et *al*., 2000).

Ces champignons sont des symbiotes obligatoires non cultivables en absence de la plante hôte. Après la germination de la spore et la formation d'un tube germinatif, l'hyphe qui en résulte entre en contact avec la racine de la plante hôte et différencie un appressorium (figure1)**.** À son tour, l'appressorium différencie un hyphe d'infection qui s'insinue entre les cellules épidermiques et corticales de la racine (figure 2) où des structures d'échange (arbuscules) (figure 3) et de réserve (vésicules) (figure 4) se développent. Néanmoins, la formation de vésicules n'est pas observée chez tous les groupes développant ce type de symbiose (Smith et Read, 1997).

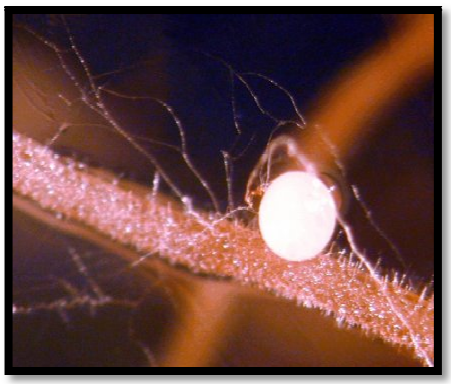


Figure 1 : Début de la colonisation (Ontario, 2011)

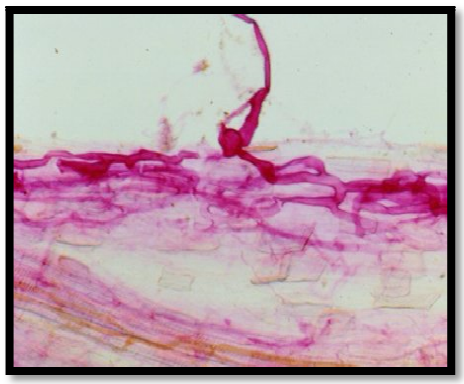


Figure 2 : Hyphe de CMA pénétrant une racine (Ontario, 2011)

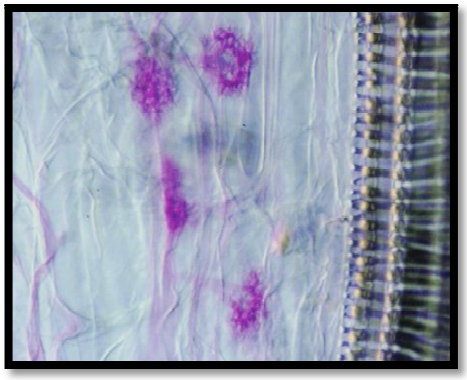


Figure 3 : Arbuscules intraracinaires (Ontario, 2011)



Figure 4 : Vésicules intraracinaires (Ontario, 2011)

Des spores sont également différenciées dans le sol et dans les racines et sont utilisées comme structure de référence pour l'identification morpho-anatomique des espèces. Ce sont des structures unicellulaires, de forme généralement globoïde, à paroi épaisse formée de plusieurs couches de différentes textures, reliées au réseau filamenteux par un hyphe suspenseur. L'infection par les endomycorhizes ne modifie pas la morphologie globale des racines (Smith et Read, 1997).

3.1.2. Les ectomycorhizes

La symbiose ectomycorhizienne concerne 3 à 5% des plantes vasculaires et se rencontre principalement chez les dicotylédones. Dans ce cas, les partenaires fongiques sont des champignons supérieurs, Basidiomycètes et Ascomycètes qui peuvent fructifier et une première identification peut être basée sur la morphologie des carpophores (figure 5). Certains de ces champignons sont cultivables en l'absence de leur plante hôte (Smith et Read, 1997).

La symbiose ectomycorhizienne entraîne d'importantes modifications dans la morphologie racinaire : les poils absorbants disparaissent et un manteau d'hyphes, appelé 'manteau fongique' qui entoure les racines nourricières. De ce manteau partent des hyphes qui s'insèrent entre les cellules corticales de la racine pour former le 'réseau de Hartig'. Vers l'extérieur, des hyphes prolifèrent à partir du manteau fongique et colonisent le milieu environnant en formant le 'réseau extramatriciel' (figure 6) (Smith et Read, 1997 ; Hampp et *al*., 1999).

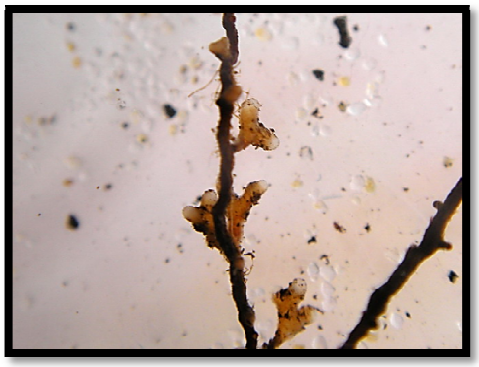


Figure 5 : Des manchons mycorhiziens sur les radicelles d'un pin maritime ***Pinus pinaster*** (SMHV, 2010)



Figure 6 : Carpophore du Lactaire délicieux (environnement.ecole.fr)

Dans les écosystèmes méditerranéens, au niveau des zones côtières en particulier, les associations endomycorhiziennes sont majoritaires (Ducousso et Thoen, 1991) et le type ectomycorhizien se retrouve principalement chez les *Caesalpinioideae*, les *Dipterocarpaceae*, les *Euphorbiaceae*, les *Fabaceae*, les *Proteaceae*, les *Gnetaceae*, les *Sapotaceae*, les *Sarcolaenaceae* (Thoen et Bâ,1989 ; Thoen et Ducousso, 1989 ; Sanon et *al*., 1997 ; Diédhiou et *al*., 2005).

4. Le rôle écologique des champignons mycorhiziens dans les systèmes forestiers

Le rôle majeur des mycorhizes est le prélèvement et le transport vers la plante des éléments nutritifs très peu mobiles dans le sol, principalement le phosphore (Rhodes et Gerdemann, 1975 ; Bolan, 1991 ; Gianinazzi et Schüepp, 1994 ; Smith et Read, 1997 ; Duponnois et *al*., 2005 ; Lambers et *al*., 2008). En effet, selon le pH du sol, cet élément se retrouve en grande partie associé au fer, à l'aluminium ou au calcium sous des formes de phosphates difficilement disponibles pour les plantes (Hinsinger, 2001). L'exploration d'un plus grand volume du sol et la possibilité de solubilisation des minéraux primaires par les mycorhizes devraient ainsi permettre une meilleure nutrition phosphatée des plantes (Manjunath et *al*., 1989 ; Smith et Read, 1997 ; Landeweert et *al*.,2001).

Cette amélioration de l'acquisition des nutriments inorganiques par les mycorhizes concerne également N, K, Mg, Na, S, B, Br, Cl, Cu, Cr, Cs, Co, Fe, Mo, Mn, Ni, Si, Zn (Smith et Read, 1997 ; Caris et *al*., 1998 ; Duponnois et Bâ, 1999 ; He et Nara, 2007). Par ailleurs, il a été démontré que les associations mycorhiziennes pouvaient jouer un rôle significatif dans la décomposition et la minéralisation des matières organiques végétales et mobiliser les nutriments au bénéfice de la plante hôte (Tarafdar et Rao, 1997 ; Pare et *al*., 2000 ; Hodge et *al*., 2001 ; Gobat et *al*., 2003 ; Lambers et *al*., 2008). He et Nara (2007) ont

même suggéré que les mycorhizes pourraient jouer un rôle fondamental dans la réduction de la malnutrition humaine du fait que de nombreux nutriments se retrouvaient dans la biomasse des plantes mycorhizées (biofortification) et pourraient alimenter l'organisme humain.

De nombreux autres résultats indiquent d'autres effets bioprotecteurs des mycorhizes : réduction ou même inhibition de l'effet négatif de certains agents phytoparasitaires (Smith, 1987; Duponnois et *al*., 1993 ; Duponnois et Cadet, 1994 ; Newsham et *al*., 1995 ; Azcon-Aguilar et Barea, 1996 ; St-Arnaud et *al*., 1997) et une meilleure survie des plantes mycorhizées sur les sols pauvres et pollués par les traces d'éléments métalliques ou par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (Leyval et *al*., 1997 ; Khan et *al.*, 2000 ; Rufyikiri et *al.*, 2000 ; Leyval et Joner, 2001 ; Joner et Leyval, 2003). De même, une nette amélioration de la structure du sol a souvent été notée en présence des mycorhizes. Le vaste réseau d'hyphes extramatriciels et la libération dans le sol par les hyphes mycorhiziens d'une glycoprotéine, la glomaline, entraîneraient une meilleure stabilisation du sol par la formation d'agrégats beaucoup plus stables (Tisdall et Oades, 1979 ; Smith et Read, 1997 ; Wright et Upadhyaya, 1998 ; Rillig et Steinberg, 2002 ; Lovelock et *al*., 2004 ; Rillig et Mummey, 2006).

Les associations mycorhiziennes jouent également un rôle clef dans le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes terrestres en intervenant fortement dans les relations plante-plante. En effet, l'existence d'arbres adultes supportant déjà des structures mycorhiziennes a été décrite comme un moyen très efficace dans l'établissement des jeunes plants en favorisant notamment l'infection de ces jeunes plants par les champignons mycorhiziens, donc leur survie (Newman, 1988 ; Simard et Durall, 2004). En outre, les champignons mycorhiziens favorisent la coexistence entre plusieurs espèces végétales, améliorant ainsi la productivité et la biodiversité végétales dans ces écosystèmes (van der Heijden et *al*., 1998; Gobat et *al*., 2003 ; Hart et *al*., 2003; Silvertown, 2004 ; Sanon, 2009 ; Kisa et *al*., 2007). Des auteurs ont même suggéré une translocation de métabolites via un pont mycélien créé par le réseau d'hyphes connectant plusieurs plantes de la même et d'espèces différentes (Smith et Read, 1997 ; Robinson et Fitter, 1999 ; Gobat et *al*., 2003 ; Yao et *al*., 2003 ; Simard et Durall, 2004), avec le cas particulier de la mycohétérotrophie où des plantes non chlorophylliennes(Orchidées, Ericacées) sont nourries par leurs congénères photosynthétiques via ce réseau mycélien (Leake, 2004 ; Selosse et *al*., 2006).

Par ailleurs, les associations mycorhiziennes sont fortement impliquées dans les successions végétales : ainsi, sur certains sols pauvres aussi bien en éléments nutritifs qu'en propagules mycorhiziennes, les espèces végétales dépendant peu de cette symbiose vont

s'installer. Par la suite, avec l'enrichissement du sol en structures mycorhiziennes, les espèces plus mycotrophes prennent la relève avec une forte corrélation positive entre les biodiversités fongique et végétale (Reeves et *al*., 1979 ; Janos, 1980 ; van der Heijden et *al*., 1998, Hart et *al*., 2003).

5. Les mycorhizes et la gestion des forêts et des cultures

Un cortège mycorhizien optimal agirait comme un « engrais » sans ses inconvénients, et gratuitement, en se passant de pesticides, fongicides et amendements. Après de premiers essais en Australie dès les années 1920, des entreprises ont développé des souches d'inoculation adaptée à plusieurs espèces commerciales, mais il faudrait qu'elles soient aussi adaptées au contexte du lieu d'implantation. Plusieurs chercheurs estiment que les souches de champignons symbiotiques génétiquement les mieux adaptées au terrain, sont celles qui sont indigènes. (Trappe, 1977; Navratil, 1988; Perry et *al.*, 1987).

Les activités sylvicoles et agricoles peuvent perturber ou modifier (négativement ou positivement) la microflore fongique et sa capacité à mycorhizer :

- Le retournement du sol (labour), le tassement par les engins endommagent la communauté ectomycorhizienne.
- La fertilisation azotée (qui se fait de plus en plus en sylviculture aussi) diminue le nombre de carpophores et altère la composition en espèces (mesuré sur *Picea abies* par Peter et *al.*, 1995) en réduisant le nombre de mycorhizes, et en changeant les types mycorhiziens.
- Les coupes rases endommagent la communauté mycorhizienne, le changement de composition des communautés ectomycorhiziennes est plus en cause qu'une diminution du taux de colonisation des racines (Perry, 1995).
- Les coupes forestières d'éclaircie (Waters et *al.*, 1995, Egli et *al.*, 1997) augmentent le nombre de carpophores produits avec des effets encore mal compris sur la composition et la biodiversité de la communauté fongique. Bien entendu l'utilisation de fongicide affecte cette communauté. La présence de fongicides dans les eaux météoritiques (pluies, brumes, rosées, neige, etc.) est avérée, mais ses impacts sur les champignons restent mal compris.

Les changements biochimiques et biologiques, ainsi que microclimatique s'induits par les grandes coupes rases, (ou même par les moissons dans le cas de l'agriculture) pourraient avoir des impacts sous-estimés, liés aux impacts directs sur le sol, sur l'eau, mais aussi à la perte d'inoculum fongique (même si les racines restent dans le sol, les gros bois mort

deviennent rares ou absents, et les rémanents sont souvent rassemblés) (Waters et *al.*, 1995, Egli et *al.*, 1997).

6. Gestion durable du Potentiel Infectieux Mycorhizogène (PIM) des sols pour une meilleure valorisation des ressources naturelles telluriques

6.1. Les écosystèmes telluriques dans des milieux fortement dégradés

Les pays limitrophes, particulièrement ceux du nord de l'Afrique, sont caractérisés par une dégradation accélérée des ressources naturelles (absence de couverture végétale, érosion du sol) (Ghazi, 2004).

Les sols sont soumis à un rapide déclin de leur fertilité caractérisé par une faible teneur en matière organique et en éléments minéraux (N et P en particulier), des pHs bas, des capacités très élevées de fixation et de rétention du phosphore le rendant indisponibles aux plantes, et une perte de la biodiversité (Piéri, 1989 ; Bationo et *al*., 1991 ; Sanchez et *al*., 2003 ; Zapata et Roy, 2004 ; Cardoso et Kuyper, 2006 ; Swift et Shepherd, 2007). À cela s'ajoutent des pluies erratiques et une longue saison sèche et chaude qui favorisent la désertification (Piéri, 1989 ; Warren et *al*., 1996).

Par ailleurs, les activités anthropiques courantes exacerbent cette fragilisation des écosystèmes: la déforestation qui favorise la dégradation (physique, chimique et biologique) des sols, l'application des intrants agricoles (engrais, pesticides, etc.…), les pratiques agricoles (défrichage, labour, feux de brousse, etc…), les techniques utilisées (monoculture en continu, salinisation résultant d'une irrigation mal contrôlée, etc.…) réduisent de façon drastique le développement (diversité et/ou activité) de la microflore tellurique symbiotique, des champignons mycorhiziens en particulier (Mosse, 1986 ; Jasper et *al*., 1991 ; Hamel, 1996 ; Smith et Read, 1997), compromettant ainsi la survie et la croissance des plantes qui en dépendent (Sylvia, 1990 ; Duponnois et *al*., 2001).

6.2. Le potentiel infectieux mycorhizogène (PIM) du sol : un outil biologique pour restaurer et revégétaliser les sols dégradés

Une gestion appropriée de la biodiversité microbienne tellurique pourra concourir aussi bien à l'amélioration de la performance des plantes vis-à-vis des stress environnementaux qu'à la fertilité, en définitive, à la qualité des sols (Barea et Jeffries, 1995 ; Requena et *al*., 2001).

Dans ce contexte, les champignons mycorhiziens apparaissent comme un outil biologique d'un grand intérêt pour améliorer la croissance des plantes, qu'elles soient

spontanées ou cultivées, et restaurer les sols (Bethlenfalvay et Schüepp, 1994 ; Johansson et *al*., 2004 ; Cardoso et Kuyper, 2006 ; Gentili et Jumpponen, 2006).

Le Potentiel Infectieux Mycorhizogène (PIM) d'un sol représente ainsi sa richesse en propagules mycorhiziennes sous forme de spores, de mycélium et de fragments de racines portant des structures mycorhiziennes et susceptibles d'initier chez les plantes, la formation d'associations mycorhiziennes (Plenchette et *al*., 1989).

La restauration d'un PIM acceptable dans un sol pourra alors passer par deux principales stratégies :

1) La gestion du potentiel mycorhizien endogène a travers des espèces végétales très mycotrophes : il s'agira de favoriser l'établissement d'espèces végétales, natives notamment, capables d'accroître le stock endogène de propagules mycorhiziennes (Duponnois et *al*., 2001 ; Azcon-Aguilar et *al*., 2003). En effet, il a été préalablement établi que le réseau d'hyphes en particulier, mis en place entre plantes constitue une source potentielle et efficace d'inoculum mycorhizien dans les systèmes sol - plantes (Requena et *al*., 1996 ; 2001 ; Azcon-Aguilar et *al*., 2003). Surtout dans le cas des sols fortement perturbés et dégradés caractérisés par des PIMs très bas.

2) L'inoculation préalable des plants par des symbiotes fongiques sélectionnés avant leur mise en terre : cette technique permet d'améliorer la survie et la croissance des plantes par une meilleure nutrition hydrique et minérale, et de reconstituer le PIM du sol, etc.… (Herrera et *al*., 1993 ; Estaùn et *al*., 1997 ; Duponnois et *al*., 2005).

Cependant, il faudra bien noter que la réponse d'une plante à la mycorhization dépendra d'un certain nombre de facteurs dont entre autre, la souche fongique en présence (Plenchette et *al*., 1982 ; Miller et *al*., 1985 ; van der Heijden et *al*., 1998) et le niveau de dépendance mycorhizienne de la plante hôte qui est fortement lié à la fertilité du sol (Janos, 1980 ; Plenchette et *al*., 1983 ; Brundrett, 1991 ; Smith et Read, 1997). Même si la relation plante - champignon mycorhizien semble peu spécifique, de fortes variabilités existeraient dans la réponse à cette association en regard de la diversité des symbiotes (Douds et Millner, 1999 ; Daniell et *al*., 2001 ; Vandenkoornhuyse et *al*., 2002 ; Hart et *al*., 2003 ; Sanders, 2003).

Certains auteurs pensent à une 'spécialisation' des souches fongiques dans les diverses fonctions des mycorhizes (Bever et *al*., 1996 ; Hart et *al*., 2003). À cet effet, la réponse à la mycorhization peut être variable entre cultivars ou écotypes de la même espèce végétale (Azcon et Ocampo, 1981 ; Bever et *al*., 1996).

7. Stratégies d'occupation du sol par les espèces végétales

La réflexion sur les processus biologiques régissant l'adaptation des plantes dans des sols dégradés a été largement abordée via les théories classiques d'écologie végétale (exemple : modèle de Lotka-Volterra) basées sur le principe de Gause (1937) à savoir que la survie durable interspécifique est assujettie à une stratégie d'occupation du milieu par chaque espèce végétale en fonction de ses besoins nutritifs et de ses caractéristiques intrinsèques au sein de la communauté. Dans ce contexte intervient le concept de 'l'interaction plante-microorganismes.

7.1. Les modifications des communautés microbiennes et des cycles biogéochimiques du sol

Les relations plantes invasives – champignons MA sont liées au degré de dépendance mycorhizienne de la plante hôte (Urcelay et Diaz, 2003), étant donné la large distribution de ces symbiotes dans les écosystèmes terrestres et de leur faible spécificité pour les plantes hôtes (van der Heijden et *al*., 1998 ; Hart et *al*., 2003). Fumanal et *al*. (2006) concluent que les champignons mycorhiziens à arbuscules ont facilité l'expansion de la plante invasive *Ambrosia artemisiifolia* L. (*Asteraceae*) en France car cette espèce végétale forme des relations étroites avec les champignons mycorhiziens, en revanche, *Alliaria petiolata* (*Brassicaceae*) une plante non mycotrophe, doit son expansion au fait qu'elle produit des composés allélopathiques qui inhibent la germination des spores des champignons MA. Ce qui se traduit par une importante diminution des propagules mycorhiziens dans les sites envahis, réduisant ainsi la croissance et la survie des espèces natives dépendant fortement de cette association symbiotique (Roberts et Anderson, 2001 ; Stinson et *al.*, 2006).

Ces deux types de réponses, interactions positive ou négative entre les champignons MA et les plantes invasives ne sont forcément pas contradictoires mais dépendent fortement du statut mycorhizien de la plante invasive et de sa position dans la dominance hiérarchique locale (Urcelay et Diaz, 2003). Dans ce contexte, il a été suggéré que pour une espèce végétale moins compétitive mais beaucoup plus mycotrophe que ne l'est une autre pourtant plus compétitive, les champignons MA vont promouvoir la coexistence entre ces deux espèces en augmentant la capacité de l'espèce la moins compétitive à accéder aux nutriments (Zobel et Moora, 1995 ; Moora et Zobel, 1996). De la même manière, si une espèce végétale fortement compétitive est plus largement colonisée par les champignons mycorhiziens, ces derniers renforceront l'avantage compétitif de cette plante, réduisant alors la coexistence entre plantes (West, 1996).

Les changements dans la composition spécifique des espèces végétales sont également corrélés à des modifications dans les activités enzymatiques des microorganismes, principaux responsables du recyclage des nutriments dans le sol (Kourtev et *al*, 2002; 2003).

L'agrégation et les processus d'érosion du sol ont un impact sur l'habitat des microorganismes et donc sur les microorganismes eux-mêmes, et sont également affectés par les phénomènes d'invasion des plantes (Rillig et *al*., 2002). Ces modifications physiques crées au niveau du sol par les plantes invasives sont traduites par le concept « ecological engineering » (Cuddington et Hastings, 2004).

7.2. Restauration écologique : rôle de la composante microbienne tellurique

Un des enjeux majeurs pour les programmes de restauration des écosystèmes après une forte dégradation suivi par une invasion végétale est de pouvoir assurer le retour du biotope à une situation 'recherchée' avec une composition végétale spécifique, une structure et/ou un ensemble de fonctions bien particulières (Noss, 1990).

Plus récemment, les microorganismes telluriques ont été utilisés dans les méthodes de restauration des sites exploités et envahis par les espèces exotiques. Dans ce contexte, le rôle de ces microorganismes dans le recyclage des éléments minéraux du sol a été mis à profit dans la méthode de lutte contre certaines plantes indésirables (D'Antonio et Meyerson, 2002). Même si la méthode semble peu applicable à large échelle, cette approche peut néanmoins s'avérer fort intéressante pour les programmes de restauration où les besoins en nutriments des plantes invasives sont bien maîtrisés. Lorsqu'une espèce végétale invasive avec un fort besoin en azote, se trouve sur un site, des études ont suggéré d'y apporter de la matière organique (sciure de bois, etc…) afin de réduire le pool de N disponible dans le sol (Wilson et Gerry, 1995 ; Reever-Morghan et Seastedt, 1999 ; D'Antonio et Meyerson, 2002). Le carbone labile stimule la croissance des microorganismes telluriques résultant en une immobilisation de l'azote. La teneur moins élevée du sol en N devrait réduire la croissance de la plante invasive qui en dépend le plus (D'Antonio et Meyerson, 2002).

Des stratégies spécifiques de gestion des sites dégradés pourront être mises en place en favorisant par exemple le développement de communautés microbiennes clefs qui sont susceptibles de promouvoir à leur tour la croissance d'espèces végétales 'recherchées'. Cependant, l'application à large échelle de ces stratégies reste limitée par la complexité et le coût des études liées aux microorganismes telluriques. En outre, une meilleure compréhension de la structure et du fonctionnement de ces communautés microbiennes reste encore

indispensable pour la détermination d'indicateurs pertinents à prendre en compte (Harris, 2003 ; Wolfe et Klironomos, 2005).

- **En Conclusion**

La structuration et la dynamique des communautés végétales sont fortement assujetties au développement des microorganismes telluriques. En retour, les plantes influenceraient en grande partie la prolifération des communautés microbiennes dans leur rhizosphère.

Suite à des pratiques culturales peu respectueuses de l'environnement et à la facilitation des déplacements des propagules végétales, les écosystèmes telluriques dans les régions côtières sont soumis à des profondes perturbations des équilibres entre les compartiments épigés (strate végétale) et hypogés (communautés microbiennes). Ces perturbations sont de nature à modifier le fonctionnement des écosystèmes, à compromettre le maintien de la diversité biologique dans ces compartiments et à exacerber leur dégradation.

Nous envisageons donc dans notre étude une compréhension des interactions entre les espèces végétales et les communautés microbiennes rhizosphériques (en particulier les champignons mycorhiziens à arbuscules) dans un écosystème méditerranéen, au niveau des zones côtières de l'ouest Algérien, pour une meilleure gestion et une valorisation des ressources naturelles.

Chapitre II

Etat des lieux

1. Description du site étudié

Cette étude a été conduite sur la forêt de Stidia. Cette dernière est attenante à une petite ville : « Stidia » (également appelée Aïn Stidia), elle est située à l'ouest algérien dans la Wilaya de Mostaganem, à 80 Km d'Oran vers l'Est (figure 7). Cette forêt est localisée dans les vallées basses de l'ouest, à 104 mètres d'altitude sur le rebord d'un plateau côtier, du bassin méditerranéen. Elle donne à l'ouest sur la large baie d'Arzew qui se termine par Djebel Orousse. Sa localisation est de 35.8347222° (Latitude) et de 0.0005556° (Longitude) (Anonyme 1).

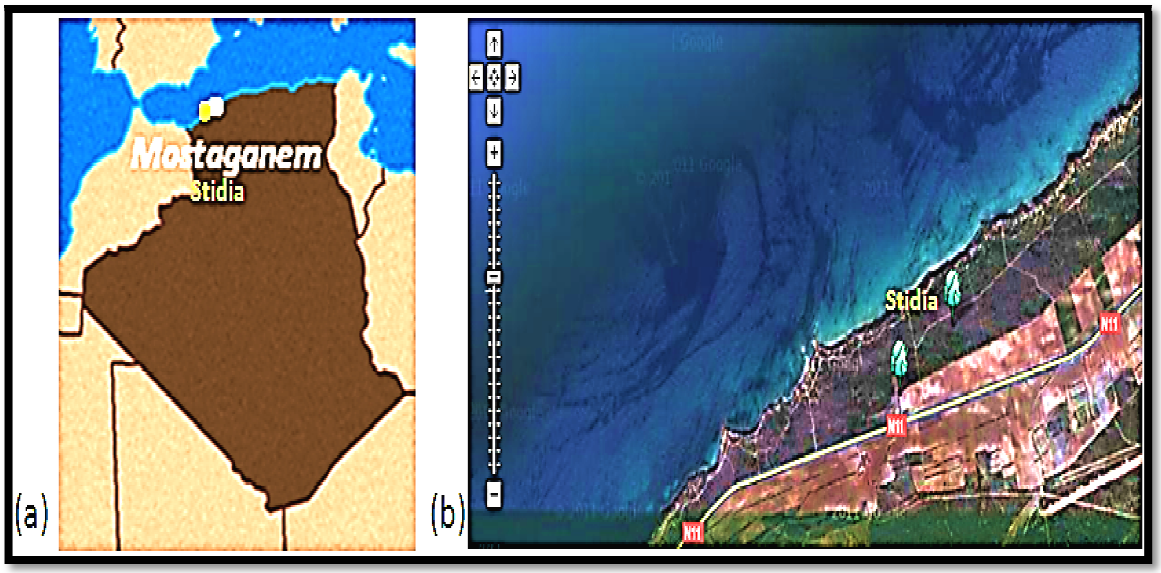


Figure 7 : (a) Localisation de la forêt de Stidia, (b) Données cartographiques sur la localisation de la forêt de Stidia (Imagerie 2011, Digital Globe, Cnes/Spot. Image. Géo Eye).

La forêt de Stidia se caractérise par un climat semi-aride à hiver tempéré et une pluviométrie annuelle qui varie entre 300 et 350mm, elle est à son maximum entre décembre et mars (E'mmlati, 2010). Les températures extrêmes prévalant dans cette forêt sont de l'ordre de 18°C en décembre et de 30°C en juillet-août.

1.1. Couvert végétal



Figure 8 : Vue d'ensemble sur la forêt de Stidia (Benguesmia, 2009).

La forêt de dunes de Stidia est classée parmi les forêts de protection (figure 8), elle est composée principalement de trois essences forestières méditerranéennes, introduites dans les années 1840 (Belgat, 1984). Il s'agit de :

a. Pin Pignon (*Pinus pinea*)

Arbre qui appartient à la famille des pinacées, ce sont des résineux comprenant de nombreuses espèces dont beaucoup sont des essences forestières importantes, plusieurs d'entre elles ont été introduites hors de leurs habitat naturel et sont devenues localement envahissantes (Auger, 1982).

Les pins sont des essences sociales de pleine lumière qui supportent bien la sécheresse et les sols pauvres, ils forment des peuplements importants mais craignent la concurrence des autres espèces forestières (figure 9a) (Auger, 1982).

b. Thuya (*Titraclinis articulata*)

Arbre appartenant au genre des conifères de la famille des cupressacées, originaire du Nord-Américain dont la plupart des espèces ont été introduites et qui supportent les sols profonds et pauvres (figure 9b) (Theodore, 2004).

c. Genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*)

Arbuste de la même famille que le thuya (cupressacées), supporte les sols pauvres éventuellement calcaires, sablonneux et secs (figure 9c) (Theodore, 2004).

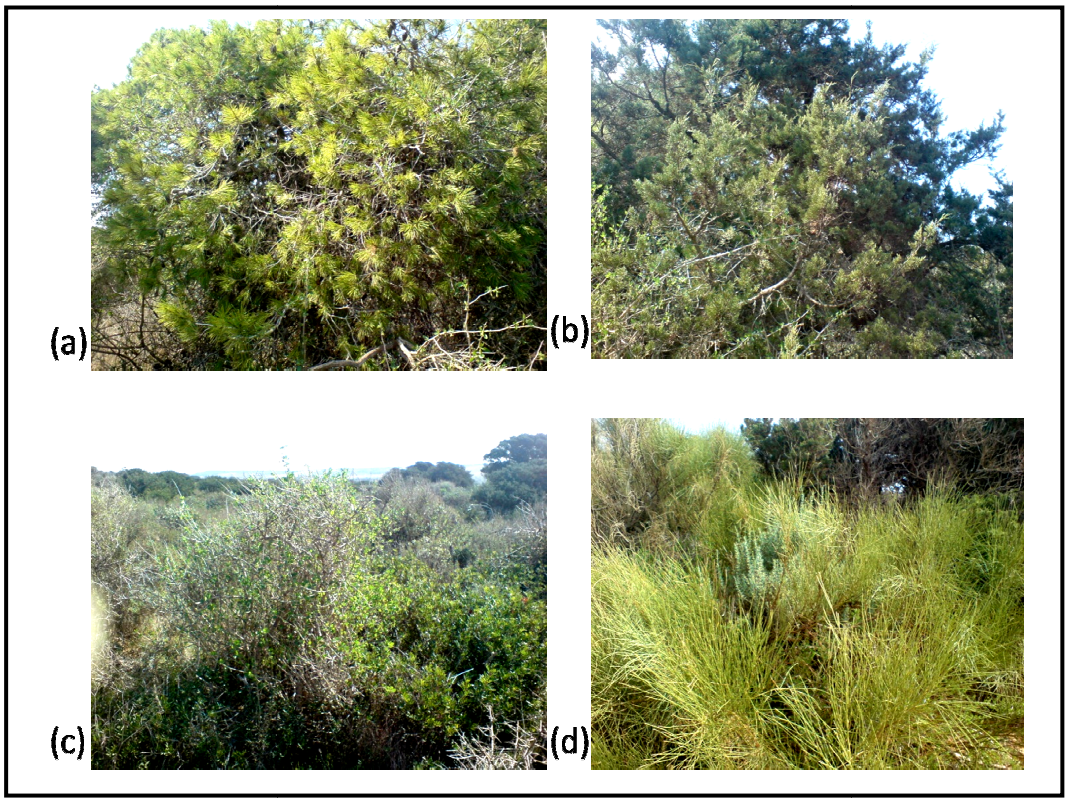


Figure 9 : Les espèces végétales les plus dominantes à Stidia (a) ***Pinus pinea***, (b) ***Titraclinis articulata***, (c) ***Juniperus phoenicea***, (d) ***Retama monosperma*** (Benguesmia, 2009).

1.2. Historique végétal

La végétation dans la forêt de Stidia est en majorité psammophile et xérophile vers la côte, combinant plusieurs modes d'adaptation pour utiliser au maximum les réserves hydriques des sols sablonneux dont la rétention en eau est faible. Les espèces psammo-halophiles comme *Cakile maritima, Salsola Kali*... sont les premières à s'installer sur la plage où les horizons inférieurs sont humides et salés.

Les espèces pionnières comme *Ammophila arenaria* colonisent les premiePlusrs monticules de sable. Plus en arrière, on passe graduellement à des formations arbustives composée de Lavande et surtout le Retame (figure 9d), ensuite on passe à des formations préforestières en matorral à base de Genévrier et Thuya, correspondant à des sols plus évolués. La dégradation de cette forêt ne cesse de s'accentuer, menaçant ainsi l'écosystème méditerranéen (Belgat, 1984).

Chapitre III

Matériel & Méthodes

I. Matériel biologique

1. Choix des essences forestières

Des compagnes de prospection ont été conduites sur la forêt de Stidia, au cours desquelles nous avons identifié les modèles biologiques les plus dominants dans ce site.

Trois essences forestières ont été identifiées. Il s'agit de :

a. Pin Pignon (*Pinus pinea)* : Espèce de mycorhization ectotrophe

b. Thuya (*Titraclinis articulata*) : Espèce de mycorhization endotrophe

c. Genévrier (*Juniperus phoenicea*) : Espèce de mycorhization endotrophe.

2. Identification des sites expérimentaux

Les observations portées sur la structure du couvert végétale au niveau de la forêt du Stidia, montrent que l'état de dégradation de ce dernier s'accentue au niveau des extrémités nord et sud qui bordent la forêt. En se basant sur ces observations, des sites expérimentaux ont été identifiés. Dix parcelles boisées (500m x 500m), associant les 3 essences forestières, sont délimitées. Ces parcelles forment une gamme de dégradation de la strate forestière et herbacé allant d'un couvert végétal peu dégradé (couvert dense, présence de régénération naturelles) jusqu'à un état très dégradé (couvert diffus). Des cordonnées GPS ont été prises par rapport à la position Nord-est pour déterminer la localisation de chaque parcelles (annexe 1).

3. Prélèvement des échantillons

La récolte est effectuée sur dix points d'échantillonnage au hasard dans chaque parcelle. Des prélèvements de sol ont été effectués sous les plants étudiés (arbres forestier et plants herbacés) au niveau de la rhizosphère d'un volume d'un litre, plus des racines de chaque plant.

4. Prospection botanique

Un relevé floristique a été également établi dans chaque parcelle pour chaque point de prélèvement.

II. Méthodes

1. Détermination des caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sol prélevés des 10 parcelles

Dix prélèvements représentatifs de chaque parcelle de la forêt de Stidia sont soumis à des analyses physico-chimiques (granulométrie, dosage du calcaire total, dosage du calcaire actif, carbone total, matière organique, mesure du pH, conductivité électrique, dosage du phosphore assimilable et le dosage de l'azote total).

Les caractéristiques physiques et chimiques du sol sont déterminées par le Laboratoire de l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA) de Sidi Bel Abbes.

Le dosage du Phosphore et de l'Azote ont été effectués au sein du laboratoire TECHANAL à Tlemcen.

1.1. Analyses physiques

1.1.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique du sol ou encore appelée analyse mécanique, ou analyse physique consiste à classer les éléments du sol d'après leur grosseur et à déterminer le pourcentage de chaque fraction (sable, limon, argile). L'analyse granulométrique a pour but de définir la texture d'un sol, c'est à dire le pourcentage de ces divers constituants, et par là d'expliquer les propriétés physiques de ce sol : son comportement vis à vis de l'eau, de l'air et des racines et d'évaluer sa stabilité structurale c'est-à-dire la solidité de l'état de la structure du sol et sa résistance aux agents de dégradation.

On utilise pour cette analyse de la terre fine obtenue par tamisage au tamis à mailles de 2mm, on élimine la matière organique par un oxydant énergique (H_2O_2), la durée d'exposition dépend de la teneur en matière organique (24h à 48h). Les particules minérales sont ensuite dispersées à l'aide d'un dispersant alcalin (hexametaphosphate de sodium).

Les particules grossières de diamètre supérieur à 50 mm sont séparées par tamisage, les particules moyennes et fines sont obtenues par la mesure de la vitesse de sédimentation (Rouiller *et al*., 1994).

La texture des sols prélevés a été définit en se référant au triangle des textures (annexe 2).

1.1.2. Mesure du pH

Le principe de la méthode consiste à ajouter au 20g de terre fine (séchée à l'air), 50 ml d'eau distillée (pour mesurer le pH eau). Le contenu est agité pendant quelques minutes, puis

laissé reposer pendant 2 heures. Le pH est ensuite mesuré à l'aide d'un pH mètre après une brève agitation (Callot-Dupuis, 1980).

Le classement de sol par rapport à son pH a été fait selon les Normes Internationales (annexe 3).

1.2. Analyses chimiques

Elles ont pour but d'évaluer les quantités d'éléments nutritifs que le sol est capable de mettre à la disposition des plantes. Sur les échantillons prélevés des 10 sites étudiés, on a effectué le dosage du calcaire total, le calcaire actif, le carbone total, la matière organique, le pH, la salinité ainsi que le dosage du phosphore total et l'azote total.

1.2.1. Dosage du calcaire total

Le calcaire n'est pas un constituant toujours présent dans le sol. Par contre pratiquement tous les sols contiennent du calcium si peu soit-il, cet élément se trouvant en particulier fixé sur l'argile sous forme d'ion calcique ou en solution sous forme de sels solubles de calcium.

Le calcaire ou carbonate de calcium, $CaCO_3$, est un sel insoluble mais l'eau chargée de gaz carbonique peut le dissoudre lentement le transformant en un sel soluble, le bicarbonate de calcium. C'est ainsi que peu à peu le calcaire disparait d'un sol donné, mais la solution du sol et l'argile gardent très longtemps du calcium provenant de la dissolution du calcaire.

On utilise selon la méthode (Callot-Dupuis, 1980), la propriété du carbonate de calcium qui se décompose sous l'action d'un acide (HCl) en eau et gaz carbonique, ce dernier est recueilli dans un tube gradué en ml.

$$CaCO_3 + 2HCl \longrightarrow CO_2 + CaCl + H_2O$$

$$CaCO_3\% = (p \times V) \times 100 / (P \times v)$$

p : poids du $CaCO_3$ pure utilisé pour l'étalonnage.
V: volume du gaz carbonique dégagé par l'échantillon du sol.
P : poids de l'échantillon du sol.
v : volume de gaz carbonique dégagé par le $CaCO_3$.

1.2.2. Dosage du calcaire actif

Dans le sol, une partie plus ou moins importante de calcaire total se trouve à l'état de fines particules actives pour les végétaux, cette fraction est facilement solubilisée par les eaux riches en gaz carbonique.

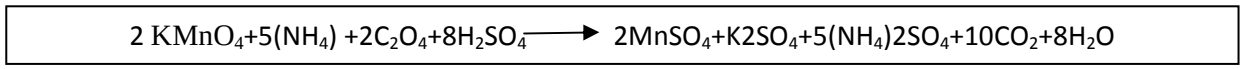
Pour le dosage du calcaire actif, on utilise la technique de Drouineau, (1942) qui prend en considération la propriété du calcium à se combiner aux oxalates d'ammonium pour donner de l'oxalate de calcium insoluble.

L'excès de solution d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique.

La teneur en calcaire actif exprimée en % est obtenue à partir de la formule suivante:

Calcaire actif % = (N-n) x 1.25

N-n: correspond à la quantité d'oxalate de calcium précipité, donc à la quantité d'oxalate d'ammonium qui a réagi avec le calcaire actif.
N: nombre de ml $KMnO_4$ utilisé pour titrer la solution d'oxalate d'ammonium.
n: nombre de ml $KMnO_4$ utilisé pour titrer l'extrait du sol (annexe 4).



$$2\,KMnO_4 + 5(NH_4) + 2C_2O_4 + 8H_2SO_4 \longrightarrow 2MnSO_4 + K2SO_4 + 5(NH_4)2SO_4 + 10CO_2 + 8H_2O$$

1.2.3. Carbone total et matière organique

La teneur en matière organique totale du sol s'obtient généralement en dosant la teneur en carbone. On estime que le rapport matière organique / carbone est à peu près constant et égal à MO/C =1.72. Le carbone de la matière organique est oxydé par un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique (H_2SO_4). On admet que l'oxygène consommé est proportionnel au carbone que l'on veut doser. L'excès de bichromate inutilisé dans la réaction est dosé par le sel de mohr (Anne, 1945) (annexe 5).

1.2.4. Mesure de la conductivité électrique (salinité)

Le principe de la technique selon Aubert (1978), consiste à déterminer la conductivité électrique (C.E.) de l'eau pour déterminer la salinité de l'extrait du sol. Elle est effectuée en mélangeant 1/5 du sol avec 4/5 d'eau distillée. Après une agitation de quelques minutes, la solution est chauffée à une température (T=25°C), une première lecture est réalisée à cette température (CT), puis chauffer à une température (T=35°C) où une deuxième lecture est réalisée avec le conductivimètre (CT'), le coefficient de température ß est calculé comme suit:

Le conductivimètre est réglé à la valeur ß et la mesure de la C.E. est effectuée ; cette dernière s'exprime en milli Siemens (mS).

Nous évaluerons le degré de la salinité du sol en se référant aux Normes internationales (annexe 6).

$$ß = (CT' - CT) \times 100 / (T' - T) \times CT$$

1.2.5. Dosage du phosphore assimilable

Il existe différentes méthodes chimiques d'extraction, dont le but est d'estimer la part du phosphore, exprimé en anhydride phosphorique (P_2O_5), présent dans le sol et susceptible de participer à l'alimentation des végétaux.

Ces méthodes permettent de mettre en solution le (P_2O_5) dit assimilable qui est ensuite dosé par photocolorimétrie et exprimé en pour mille (‰) de terre fine et sèche, ou en ppm (parties par million) ou en mg/kg. Parmi ces méthodes on cite la technique qu'on a utilisée dans cette étude qui est :

**** La méthode d'Olsen***

Le phosphore est extrait par agitation avec une solution d'hydrogénocarbonate de sodium à pH = 8,5. La solution alcaline d'hydrogénocarbonate peut abaisser la concentration des ions calcium par précipitation sous forme de carbonate de calcium et celle des ions aluminium et ferriques par précipitation sous forme d'hydroxydes. La concentration des ions phosphate augmente en conséquence et le phosphore «assimilable» peut être extrait de l'échantillon de terre par la solution d'hydrogénocarbonate de sodium et filtration.

Cette solution d'extraction a tendance de dissoudre les matières organiques, elle donne parfois des extraits colorés. Aussi avant de procéder à la formation du bleu de molybdène, on utilise du charbon activé pour adsorber les matières organiques solubles (le carbone activé doit être exempt de phosphate et n'avoir aucune action sur les ions phosphate) (annexe 7) (Olsen, 1954).

1.2.6. Le dosage de l'azote total du sol

Le dosage se fait selon la méthode de Kjeldahl (1882), qui consiste à minéraliser l'échantillon en milieu acide sulfurique en présence de cuivre et d'un catalyseur (sélénium ou mieux oxyde de titane moins dangereux pour l'environnement). Dans les conditions de minéralisation, l'azote organique est retrouvé sous forme d'ammonium. Les ions ammonium sont transformés en ammoniac par passage en milieu alcalin. On entraîne le NH_3 à la vapeur d'eau et on dose le condensât recueilli par dosage volumétrique acide/base (annexe 8).

2. Détermination des potentiels endomycorhiziens

Pour estimer la richesse globale des essences étudiées en champignons endomycorhiziens, nous avons utilisé deux méthodes : extraction directe des spores à partir des sols par tamisage humide selon la méthode de Siverding (1991) et estimation du degré de l'infection endomycorhizienne des racines des plantes dominantes selon la méthode de Philips et Hayman (1970).

2.1. Estimation de la densité des spores

2.1.1. Par échantillon

L'extraction des spores de champignons mycorhiziens à arbuscules est effectuée par la méthode de centrifugation décrite par Siverding (1991).

Dans cette méthode, 100 grammes de sol de chaque échantillon sont mélangés avec un excès d'eau de robinet dans un bêcher de 1000 ml. Ce mélange eau-sol est agité pendant une minute puis laissé décanter pendant 30 secondes. Le surnageant contenant les spores est filtré à travers un jeu de tamis superposés à mailles de tailles décroissantes (500µm, 200µm, 100µm, 50µm).

Afin de récupérer le maximum de spores l'opération de tamisage humide est répétée au moins trois fois. Les particules retenues dans le tamis de 50µm sont récupérées dans des tubes de centrifugation (tubes corex de 50ml), puis une solution de saccharose à 60% (annexe 6) est injectée à l'aide d'une pipette au fond des tubes (Solution de saccharose = environ 1/3 du volume total à Centrifuger).

Après Centrifugation 3000 rpm/mn pendant trois minutes et à 4°C, les spores et les particules en suspension dans la solution de saccharose sont récupérées à l'aide d'une pipette et placées dans un tamis de 50 µm. Un dernier rinçage à l'eau permet d'éliminer le saccharose puis le contenu du tamis est recueilli dans des boites de Pétri. Le nombre de spores dans 100g de sol et compté sous la loupe binoculaire.

2.1.2. Par parcelle

Le sol de chaque parcelle est homogénéisé (mélanger les échantillons de chaque parcelle) pour déterminer le potentiel mycorhizien en fonction de la distribution du couvert végétal.

Cent gramme de sol homogénéisé de chaque parcelle est traité de la même manière décrite précédemment (voir 2.1.1).

2.1.3. Identification des morphotypes des spores

Dans chaque lot homogène, une vingtaine de spores sont montées entre lame et lamelle pour l'identification des morphotypes qui est basée sur leurs caractéristiques phénotypiques (couleurs, taille….etc.) sous microscopie optique avec un grossissement de 400 X : (Walker, 1983).

2.2. Mise en évidence de l'infection racinaire

La deuxième technique pour la mise en évidence de l'infection endomycorhizogène est réalisée par la coloration des racines des plantes prélevées selon la méthode de Philips et Hayman (1970). Dans chaque site, des échantillons de racines fines sont prélevés au niveau du système racinaire des quatre espèces végétales (*Retama, Pin, Thuya et Genévrier*). Ces racines bien lavées sont mises dans une solution de potasse (KOH) à 10% pendant 45 minutes à 90°C. Elles sont par la suite abondamment rincées à l'eau et trempées dans un bain d'acide lactique pendant 10 minutes. Les racines ainsi éclaircies, sont ensuite colorées dans une solution de bleu de trypan à 0,01% (annexe 9) à 90°C pendant 20 minutes. Toutes les racines ainsi traitées sont découpées en fragments d'environ 1cm de longueur. 30 fragments choisis au hasard sont montés et écrasés entre lame et lamelle dans le glycérol.

Les fragments sont observés au microscope et les paramètres suivants sont calculés (Trouvelot *et al.* 1986) :

a. Fréquence de mycorhization F%

Ce paramètre reflète l'importance de l'infection du système racinaire, il est déterminé par la formule suivante :

$$F\ \% = (N-n_o)\ N \times 100$$

N : nombre de fragments observés
n_o : nombre de fragment sans trace de mycorhization (figure 5)

b. Intensité de colonisation du cortex M%

Elle exprime la portion du cortex colonisé par rapport à l'ensemble du système racinaire, elle est déterminée par la formule suivante :

$$M\ \% = [\ (95 \times n_5) + (70 \times n_4) + (30 \times n_3) + (5 \times n_2 + n_1)\ ]\ N$$

Où n_5, n_4, n_3, n_2 et n_1 sont les nombres de fragments classés 5, 4, 3, 2 et 1 respectivement (figure 10).

Classe 5 : plus de 91 %
Classe 4 : de 51 % à 90 %
Classe 3 : de 11 % à 50 %
Classe 2 : moins de 10 %
Classe 1 : traces
Classe 0 : pas de mycorhization

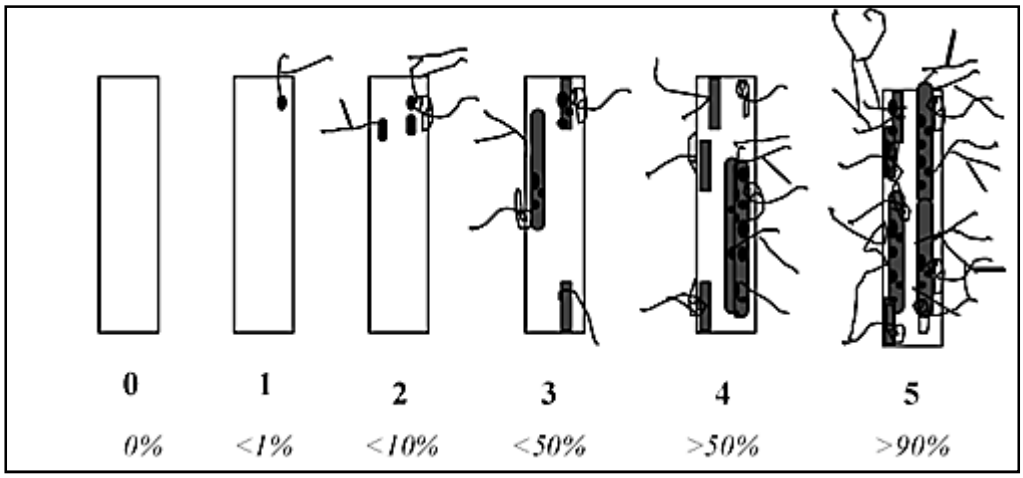


Figure 10 : colonisation mycorhizienne de la classe 0 à 5 (Trouvelot et *al*.,1986)

2.3. Analyse des populations mycorhiziennes par approche moléculaire

Cette partie de travail a été réalisée en collaboration avec le Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes (LSTM) à Montpellier dans le cadre d'un module financé par le projet Tassili.

2.3.1. Extraction d'ADN total à partir des spores et purification

Pour chaque mixte de spores issues du tamisage humide de chaque échantillon composite des parcelles étudiées, le volume de la suspension sporale est réduit à 70µl.

Cette suspension est frottée entre deux lames microscopiques pour faire éclater les spores. Ces lames sont ensuite lavées avec 100µL de TE. Le volume de rinçage est récupéré et mélangé à 10 µL de Chelex à 20% (annexe 10) puis chauffé à 95 °C pendant 5 min.

Afin de réduire les contaminants susceptibles de gêner la réaction d'amplification, la suspension d'ADN brut est séparée des fragments cellulaires par centrifugation (12000 rpm pendant 2 min).

2.3.2. Amplification de l'ADN par PCR

Les champignons mycorhiziens sont quant à eux ciblés par amplification de fragments des gènes codant pour la grande sous unité 28S de l'ARNr (figure 6). L'ADN d'origine végétale et bactérienne est ainsi éliminé.

La technique utilisée est la Nested PCR. C'est une méthode d'amplification au cours de laquelle, le produit issu d'une première PCR est amplifié à l'aide d'un second couple d'amorces. Ce couple d'amorce s'hybride à une partie interne de la séquence amplifiée précédemment (Nedjma et *al*., 2005).

Différents couples d'amorces ont été testé. En l'occurrence, à la première PCR sont employées le couple d'amorces LR1/FLR2 (van Tuinen et *al.* 1998; Trouvelot et *al.,* 1999) spécifique aux eufonges (tableau 1), et en parallèle le couple d'amorces LR1/NDL22 (van Tuinen et *al.*, 1998a, van Tuinen et *al.*, 1998b) spécifique aux eucaryotes (tableau 1).

Pour la 2ème étape d'amplification, 2 couples d'amorces spécifiques aux Glomeromycota sont testés : le couple FLR3-GC/FLR4 (Gollotte et *al.*, 2004 ; da Silva et *al*., 2006). Les conditions d'amplification sont résumées dans le tableau 2.

Une quantité de 5µl d'ADN purifié est utilisée pour la première étape de PCR, puis 5µl des produits PCR obtenus est utilisé pour effectuer la deuxième étape de PCR. Après chaque PCR les produits sont vérifiés par électrophorèse sur un gel d'agarose. Un marqueur de taille (annexe 11) nous permet d'estimer si la taille des fragments PCR obtenus est conforme à ce qui était attendu.

Tableau 1 : Liste des amorces utilisées pour l'amplification PCR

Amorces	Séquences	Spécificité	Références
LR1	GCATATCAATAAGCGGAGGA	Eucaryotes	van Tuinen *et al*. (1998)
FLR2	GTCGTTTAAAGCCATTACGT	Eufonges	Trouvelot *et al.* (1999)
NDL22	TGGTCCGTGTTTCAAGACG	Eucaryotes	van Tuinen *et al*. (1998)
FLR3-GC	TTGAAAGGGAAACGATTGAAGT	Glomeromycota	Gollotte *et al.* (2004)
FLR4	TACGTCAACATCCTTAACGAA	Glomeromycota	Gollotte *et al*. (2004)

Tableau 2 : Composition des différents Mix PCR et cycles selon le couple d'amorces utilisées.

Couple d'amorces	Taille du fragment d'ADN	Mix. PCR	Cycles
LR1/NDL22	800pb	Tampon 5X Mix dNTPs 2,5 mM Amorces 1 (20µM) Amorces 2 (20µM) Taq. BSA.10mg/ml H_2O ADN PCR dilué	93°C 5.mn 93°C 1.mn 58°C 1.mn X 35 72°C 1.mn 72°C 10.mn
FLR3-GC/FLR4	350pb	Tampon.5X. .Mix dNTPs.2,5 mM Amorces 1 (20µM) Amorces 1 (20µM) Taq. BSA.10mg/ml H_2O ADN PCR 1dilué 1/…	93°C 5.mn 93°C 1.mn 58°C 1.mn X 35 72°C 1.mn 72°C 10.mn

2.3.3. Travaux accomplies par d'autres amorces

2.3.3.1. Travaux effectués sur les spores des champignons endomycorhiziens

Cette partie est réalisée sur les morphotypes de spores isolée à partir des sols composites de la région de Stidia. Ces spores sont triées et désinfectées au niveau du laboratoire LBRAP.

Les champignons mycorhiziens sont ciblés par amplification de fragments des gènes codant pour la grande sous unité 18S de l'ARNr. La technique utilisée est la Nested PCR comme à chaque fois pour les champignons endomycorhizogéne. Les couples d'amorces qui ont été testé, en l'occurrence, à la première PCR sont employées le couple d'amorces NS1/NS4 (tableau 3) spécifique pour les eucaryotes.

Cette étape est suivi par la deuxième étape d'amplification (Step2), cette amplification est réalisée par 3 couples d'amorces différents spécifiques aux gloméromycètes qui sont : les NS31/AM1 et deux amorces GC clamp (pour faire de la DGGE) avant et arrière la séquence à amplifier NS31-GC/AM1, NS31/AM1-GC (tableau 3). Les conditions d'amplification sont résumées dans le tableau 4.

2.3.3.2. Travaux effectués sur l'ADN extrait à partir des racines

Ce travail est réalisé sur 3 systèmes racinaires de Retame et 2 systèmes racinaires de Thuya. Ces racines séchées et conservés ont été récoltées après un test d'efficience d'inoculation par une suspension mycorhizioenne de racines et de sol (mai 2011) sur sol issue de Stidia. Un système racinaire prélevé *in situ* aussi de Stidia est mis au test.

Chaque échantillon est soigneusement broyé dans de l'azote liquide. Ensuite l'ADN génomique total (mélange d'ADN végétal, bactérien et fongique) est extrait à l'aide d'un kit commercial. Pour réduire les contaminants susceptibles de gêner l'amplification PCR, l'ADN a été purifié en le passant d'abord sur une colonne de PVPP (PolyVinylPolyPyrrolidone) puis sur une colonne de sépharose 4B.

L'intégrité de l'ADN est vérifiée par électrophorèse sur gel d'agarose. L'ADN est repéré par coloration avec du BET (un intercalant de l'ADN), ce qui permet de visualiser les bandes d'ADN génomique sous UV grâce à une caméra reliée à un ordinateur. L'ADN est ensuite conservé à -20°C.

Les champignons mycorhiziens sur l'ADN racinaire, sont ciblés par amplification de fragments des gènes codant pour la grande sous unité 18S de l'ARNr. La technique utilisée est la Nested PCR. Les premières PCR ont employées le couple d'amorces NS1/NS4. Pour la 2ème étape d'amplification, 2 couples d'amorces spécifiques aux Glomeromycota sont testés : le couple NS31/AM1. Les conditions d'amplification sont résumées dans le tableau 4.

Tableau 3 : Liste des amorces utilisées pour l'amplification PCR

Amorces	**Séquences**	**Spécificité**	**Références**
NS1	GTAGTCATATGCTTGTCTC	Eufonges	Vainio et *al*. (2000)
NS4	CTGTTACTGAATCCGTTAA	Eufonges	Vainio et *al*. (2000)
NS31	TTGGAGGGCAAGTCTGGTGCC	Glomeromycota	Zhanbei et *al*. (2008)
AM1	GTTTCCCGTAAGGCGCCGAA	Glomeromycota	Zhanbei et *al*. (2008)
NS31-GC	CGCCCGGGGCGCGCCCCGGGC GGGGCGGGGGCA	Glomeromycota	Zhanbei et *al*. (2008)
AM1-GC	CGGGGGTTGGAGGGCAAGTCT GGTGCC	Glomeromycota	Zhanbei et *al*. (2008)

Tableau 4 : Composition des différents Mix PCR et cycles selon le couple d'amorces utilisées.

Couple d'amorces	Taille	Mix. PCR	Cycles
NS1/NS4	1100pb	Tampon.5X. .Mix dNTPs.2,5 mM Amorces 1 (20µM) Amorces 1 (20µM) Taq. BSA.10mg/ml H_2O ADN PCR dilué	94°C 3.mn 94°C 30.sec 40°C 1.mn X 30 72°C 1.mn 72°C 10.mn
NS31/ AM1	600pb	Tampon.5X. .Mix dNTPs.2,5 mM Amorces 1 (20µM) Amorces 1 (20µM) Taq. BSA.10mg/ml H_2O ADN PCR 1dilué 1/…	95°C 3.mn 94°C 1.mn 60°C 1.mn X 30 72°C 1.mn 72°C 10.mn
NS31-GC/AM1 Ou NS31/AM1-GC	600pb	Tampon.5X. .Mix dNTPs.2,5 mM Amorces 1 (20µM) Amorces 1 (20µM) Taq. BSA.10mg/ml H_2O ADN PCR 1dilué 1/…	95°C 3.mn 94°C 1.mn 60°C 1.mn X 30 72°C 1.mn 72°C 10.mn

3. Détermination de la réponse des plants des essences étudiées à l'inoculation par des communautés de champignons mycorhiziens

Dans chaque parcelle, des échantillons de racines et de sol rhizosphérique de chaque essence étudiée sont prélevées. Les racines sont immergées dans de l'eau stérile et découpés en petits fragments de 0,5mm de long. Ces racines sont mélangées à la suspension de sol issu du même lieu de prélèvement (1:10, V:V) (annexe 12).

Dans le cas des sols cultivés (parcelles déboisées), la suspension est composée uniquement de sol. Parallèlement, du sol de chaque parcelle est récolté et stérilisé (120°C, 60 min) puis réparti dans des pots de 1 litre ou sont plantés 03 graines pré-germées de chaque espèce. Après une semaine de croissance en serre, ces plants ont été inoculés par 100 ml de la

suspension de sol et de racine de même origine que le sol désinfecté. Chaque combinaison sol/inoculum est répétée 10 fois.

Après 4 mois de culture en serre, les plants ont été déterrés et leurs biomasses sont déterminées ainsi que le taux de mycorhization de chaque plant sont évalués selon les techniques décrites par Duponnois et Plenchette (2003).

4. Comparaison des caractèristiques microbiologiques des sols influencés par des plantes nurses à ceux prélevés sous d'autres composantes végétales

Dans les parcelles ou le couvert arbustif est le plus abondant, des racines de Retame sont prélevées et analysées pour leurs composantes symbiotiques (Ectomycorhizes, mycorhizes à arbuscules).

Des échantillons de sol sont récoltés sous chaque arbuste puis tamisés à 2mm de diamètre. Leurs caractéristiques physico-chimiques sont déterminées ainsi que les potentiels mycorhiziens.

Les sols sont répartis dans des pots de 1 litre où est plantée chacune des 3 essences forestières étudiées, avec 10 répétitions par traitement.

Après 4 mois de culture en serre, la croissance de chaque espèce est mesurées (hauteur, biomasse). Les taux de mycorhization sont aussi déterminés selon les protocoles décrits précédemment.

4.1. Estimation de la croissance des plants

La croissance des plants est estimée par les mesures de la hauteur, du poids frais, du poids sec des parties aériennes ainsi que par le nombre des feuilles des plants inoculés et témoins. Le séchage des plantules s'est fait dans une étuve à 60°C pendant 24h.

4.2. Interprétation statistique

Les résultats de la mesure de la croissance des plants sont soumis à des analyses de variance (ANOVA) et des comparaisons de moyennes à l'aide du logiciel Statistica.

5. Détermination des potentiels Ectomycorhiziens

5.1. Quantification des ectomycorhizes

5.1.1. Lavage des échantillons

Les racines des plantes sont tout d'abord débarrassées de leur support (le sol). Elles sont ensuite rincées délicatement et abondamment à l'eau. Dans le cas des systèmes racinaires

entiers, les plants sont remués légèrement dans un seau d'eau. Si le sol est argileux ou sec, un trempage préalable de quelques heures facilite l'opération (Garbaye, 1990). Le matériel récupéré est gardé dans l'eau.

5.1.2. Comptage des ectomycorhizes

On y fait appel lorsqu'une quantification précise est nécessaire (Garbaye, 1990) ou si l'on veut déterminer le degré d'exactitude des estimations directes (Berry et Marx, 1977).

L'observation peut porter sur l'ensemble du système racinaire ou seulement sur quelques racines latérales prélevées au hasard. Les comptages sont effectués dans l'eau sous la loupe binoculaire à un grossissement de 5 à 20x (Marx et Bryan, 1971 ; Ritcher et Bruhn, 1993). On dénombre à l'aide de compteurs à main la totalité des racines courtes mycorhizées et non mycorhizées de l'échantillon. II est alors possible de calculer de cette façon le taux de mycorhization ou tout autre rapport (Garbaye, 1990).

5.2. Identification des morphotypes des carpophores

Des fructifications des ectomycorhizes, nommées carpophores ou carpospores, ont été récoltées sous l'espèce de mycorhization ectotrophe (Pin pignon), et identifiées morphologiquement selon l'atlas d'Agerer (1987) basée sur les critères phénotypiques suivants :

- Chapeau : taille, couleur, forme, particularités.
- Lames : insertion ou alors tubes, plis, ...
- Stipe : taille, forme, couleurs, consistance, ...
- Saveur : Ne prendre aucun risque jusqu'à consultation d'un spécialiste.
- Odeur : anis, farine,
- Habitat : type d'arbres le plus précisément possible (de nombreux champignons sont inféodés), type de sol….

1. Relevé floristique

L'exploration floristique de la forêt de Stidia nous révèle que le cortège floristique est très diversifié. Du point de vue morphologique, la végétation de la station de Stidia est constituée de strates herbacées (plantes annuelles et vivaces), arbustive et arborescente (tableau 5).

La strate herbacée est représentée par des genres dont certains sont cités dans la littérature tels que *Lavandula, Euphorbia* et *Plantago* signalées par Janex-Favre et *al*., (1988) dans des forêts du littoral.

Les groupements arbustifs sont dominés par les grands buissons de *Pistacia lentiscus, Withania frutescens*, *Rhus pentaphylla, Calycotome spinosa* et *Tetraclinis articulata* qui est le seul arbre s'élevant en bouquets plus ou moins dispersés. Cette observation a également été signalée par Hadjadj-Aoul (1991) qui a analysé les formations à *Tetraclinis articulata* présentes sur les massifs littoraux entre Ghazaouet et Mostaganem.

Parmi les espèces de la strate arborescente de la forêt, on rencontre *Pinus penia* qui est une plante hôte naturelle de différents types de champignons ectomycorhiziens (Chevalier et *al*., 1984; Diez et *al.*, 2002).

Les travaux de phytosociologie et de phytoécologie effectués dans différents régions algérienne ont mis en évidence en particulier le niveau de dégradation très poussée de la végétation naturelle (*in* Hellal, 1998), ce qui est clairement et nettement remarquable sur la forêt de Stidia, selon les observations qui ont été portées sur la structure et la distribution du couvert végétale au niveau des dix parcelles délimitées pour notre étude. Cette structure montre un état de dégradation très accentué au niveau des extrémités nord (Parcelles 9 et 10) et sud (Parcelles 1, 2 et 3) qui bordent la forêt de Stidia, par contre les parcelles internes (4, 5, 6, 7 et 8) se caractérisent par un couvert dense envahis surtout par des espèces herbacées et arbustives (figure 11).

Tableau 5 : Prospection botanique dans les dix parcelles de prélèvement

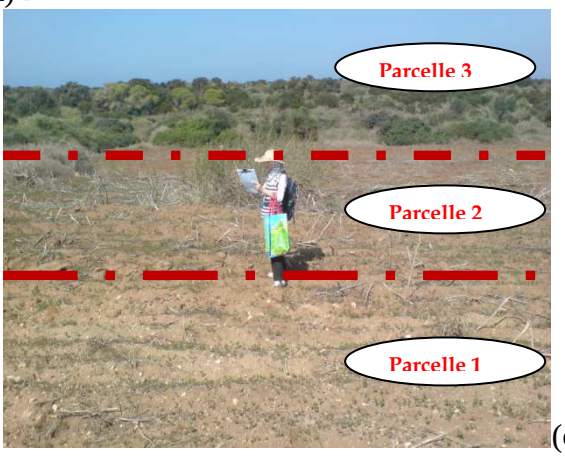
	E1	***E2***	***E3***	***E4***	***E5***	***E6***	***E7***	***E8***	***E9***	***E10***
P1	*Juniperus phoenicea*	*Juniperus phoenicea*	*Retama monosperma*	--	*Titraclinis articulata*	--	*Retama monosperma*	*Juniperus phoenicea*	--	--
P2	*Retama monosperma*	*Spartum sp.*	*Juniperus phoenicea*	--	*Ephedra aphylla*	*Retama monosperma*	*Calendule arvensis*	*Juniperus phoenicea*	--	--
P3	*Daphne sp.*	*Pinus pinea*	*Pinus pinea*	*Pinus pinea*	*Titraclinis articulata*	*Titraclinis articulata*	*Retama monosperma*	*Retama monosperma*	*Pinus pinea*	--
P4	*Juniperus phoenicea*	*Juniperus phoenicea*	*Juniperus phoenicea*	*Hordeum mirinum*	*Juniperus phoenicea*	*Hordeum mirinum*	*Hordeum mirinum*	*Hordeum mirinum*	*Juniperus phoenicea*	*Ephedra aphylla*
P5	*Pinus pinea*	*Pinus pinea*	*Pinus pinea*	*Pinus pinea*	*Pinus pinea*	*Pinus pinea*	*Pinus pinea*	*Pinus pinea*	*Pinus pinea*	*Pinus pinea*
P6	*Titraclinis articulata*	*Spartum sp.*	*Titraclinis articulata*	*Juniperus phoenicea*	*Spartum sp.*	*Spartum sp.*	*Juniperus phoenicea*	*Titraclinis articulata*	*Titraclinis articulata*	*Spartum sp.*
P7	*Titraclinis articulata*	*Spartum sp.*	*Juniperus phoenicea*	*Titraclinis articulata*	*Juniperus phoenicea*	*Titraclinis articulata*	*Spartum sp.*	*Juniperus phoenicea*	*Titraclinis articulata*	*Juniperus phoenicea*
P8	*Titraclinis articulata*	*Titraclinis articulata*	*Titraclinis articulata*	*Daphne sp.*	*Juniperus phoenicea*	*Daphne sp.*	*Daphne sp.*	*Juniperus phoenicea*	*Titraclini articulata*	*Lavandula sp.*
P9	*Spartum sp.*	*Titraclinis articulata*	*Juniperus phoenicea*	*Titraclinis articulata*	*Juniperus phoenicea*	*Titraclinis articulata*	*Spartum sp.*	*Titraclinis articulata*	*Juniperus phoenicea*	*Spartum sp.*
P10	-	*Spartum sp.*	*Pinus pinea*	*Titraclinis articulata*	*Titraclinis articulata*	*Juniperus phoenicea*	*Titraclinis articulata*	*Titraclinis articulata*	--	--

1.1. Identification des sites expérimentaux

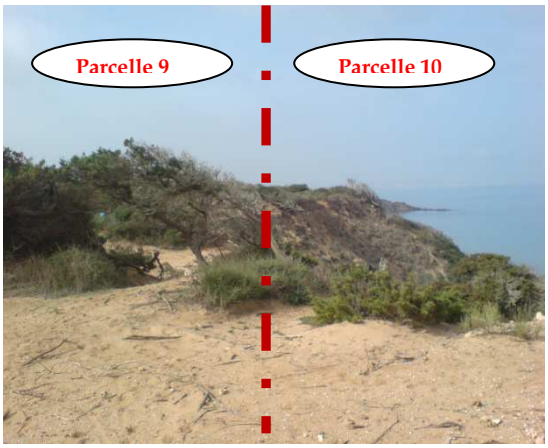
(a)



(b)



(c)



(d)

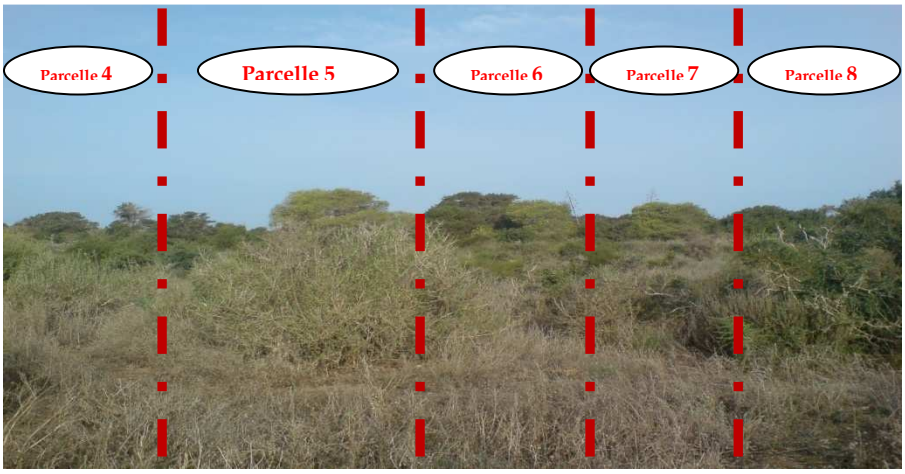


Figure 11 : Délimitation des parcelles étudiées et leurs gammes de dégradation (a), densité et distribution du couvert végétal dans les 10 parcelles du site d'échantillonnage(b), (c) et (d).

2. Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sol prélevés des 10 parcelles

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols sont représentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Caractéristiques pédologiques des sols dans chaque parcelle.

Ech.	pH	Calcaire total	Conductivité électrique (CE)	N(%)	P(mg\ Kg)	Rapport C\N	Calcaire Actif	Carbone	Matière organique	GRANULOMETRIE			
										Sable	Limon grossier	Limon fin	Argile
1	8.16	24	0.08	0.087	76	4,25	2.63	0.37	0.74	65	5	20	10
2	8.22	10.8	0.07	0.059	102	11 ,52	4	0.68	1.38	60	10	20	10
3	8.38	2	0.15	0.098	21.5	13,16	0	1.29	2.58	60	5	15	20
4	8.09	2	0.15	0.078	38	34 ,74	0	2.71	5.42	45	10	30	15
5	8.09	5	0.10	O.112	145.4	12,05	0.88	1.35	2.70	55	5	30	10
6	8.16	9.60	0.06	0.156	51	7,6	1	1.17	2.34	70	5	5	20
7	8.10	2	0.07	0.056	43.7	3 ,21	0	0.18	0.38	51	15	16	18
8	8.19	4	0.06	0.053	53.7	13,39	0	0.71	1.42	50	10	25	15
9	8.26	8.40	0.08	0.054	37	0	1.38	0	0	67	10	13	10
10	8.14	18	0.74	0.084	12.6	0,71	2.38	0.06	0.12	82	5	10	3

Ech : échantillon : sol composite de chaque parcelle.

2.1. L'analyse physique des sols

2.1.1. La granulométrie

La lecture des résultats du tableau 6 et leur extrapolation sur le triangle des textures (annexe 6), nous a permis de classer les dix sols représentatifs des dix parcelles de la forêt de Stidia (tableau 7).

Cette analyse permet de juger la stabilité structurale d'un sol (Capinov, 2010), en termes de granulométrie, les sols analysés de la zone de Stidia ; renferment des éléments grossiers en quantité très élevée allant de 45 % dans la parcelle (4) à 82 % dans la parcelle (10), par contre la teneur en éléments fins varient de 5 % dans la parcelle (6) à 30 % dans les parcelles (4) et (5), ce qui confère le caractère limoneux-sablonneux pour la majorité des parcelles, à l'exception des deux parcelles (3) et (6) qui renferment un pourcentage élevé d'argile, qui leur confère la texture Limono-argileux-sablonneuse, et d'après le triangle de texture (Annexe 2) ces deux types de sol sont classés parmi les textures équilibrées (Gadrat, 1997).

Tableau 7 : La texture des dix sols de la forêt de Stidia.

Parcelles	Texture
1	Limono-sablonneux
2	Limono-sablonneux
3	Limono-argileux- sablonneux
4	Limoneux
5	Limono- sablonneux
6	Limono-argileux- sablonneux
7	Limoneux
8	Limoneux
9	Limono- sablonneux
10	sablonneux -limoneux

2.2. L'analyse chimique des sols

Les problèmes de vie du sol sont détectés grâce à l'interprétation croisée des réserves de pH, de la matière organique, du carbone et de l'azote total (Capinov, 2010).

2.2.1. Le pH

Le pH (potentiel Hydrogène) : c'est un indicateur d'ambiance qui exprime l'acidité du sol qui influence directement sur la vie microbienne et les formes chimiques des éléments nutritifs. Les dix sols de Stidia sont de **pH alcalin** variant entre 8,09 et 8, 38, ayant une teneur importante en matière organique, favorisant ainsi toute activité microbienne (Capinov, 2010)

2.2.2. Le calcaire actif et le calcaire total

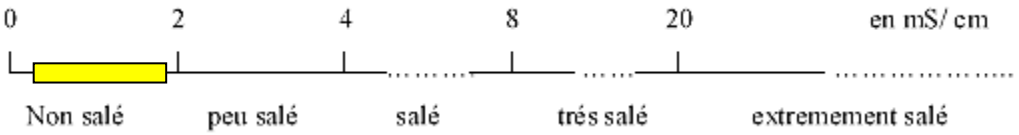
Les résultats obtenus montrent que les teneurs en calcaire total et celles en calcaire actif varient respectivement entre 2 et 24 % et entre 0 et 2,63 %. Ces sols sont riches en carbonate de calcium ($CaCO_3$) et sont considérés comme calcaires, puisque la proportion du calcaire total dépasse 60 pour mille (Calvet et Villemin, 1986). Celui-ci est hérité du matériau parental à dominance calcaire. Le pourcentage du calcaire actif est faible pour les sols des dix parcelles analysées et ne dépasse pas les 60 pour mille, seuil à partir duquel le calcaire actif peut avoir une action chlorosante sur certaines plantes car il insolubilise le fer et d'autres éléments (Calvet et Villemin, 1986).

2.2.3. La matière organique

Les résultats de l'analyse de la teneur en matière organique des dix parcelles de Stidia prospectées montrent que le pourcentage de la matière organique est relativement élevé, il est de 5,42 dans la parcelle (4) et 0,12 dans la parcelle (10). Selon Slama et Neffati (2004) les sols forestiers, ayant une teneur relativement élevée en matière organique témoigne une forte présence de végétation et une forte action biologique.

2.2.4. La conductivité électrique (salinité)

Le tableau 6 montre que la valeur de la conductivité électrique dans les dix parcelles n'a pas atteint les quatre milli siémens. Il y a un lieu de signaler que cette valeur constitue une limite à partir de laquelle on peut considérer que le sol est non salé selon l'échelle de salure suivante (Herrmann, 1980) :



2.2.5. Le phosphore (P_2O_5) assimilable

La teneur des dix sols étudiés en phosphore assimilable est de 12,6 ppm pour la parcelle (10) et de 145,4 ppm pour la parcelle (5). Ces pourcentages considérés comme faibles sont inférieurs à ceux obtenus par Tadja (1996) en Algérie dans des régions semi-arides (El-Bayadh, Mecheria, Ain Sefra,…) et supérieurs à ceux obtenus par Fortas et Chevalier (1992) sur des sols du sud de la France, par Bessah (1998) sur des sols des régions steppiques algériens ; par Khabar (2002) sur des sols marocains et par Slama et Nefati (2004) sur ceux de la Tunisie méridionale.

Ouahmane et *al*., (2006, 2007), Abbas et *al*., (2006) et Bonifacio et *al.* (1998) ont trouvé des teneurs en phosphore de 32 à 273 ppm sur des zones forestières. Ces teneurs se rapprochent de nos résultats.

La période d'assimilation du phosphore est réduite car sa durée de vie en tant que molécule assimilable par les racines est fonction du pH du sol (plus le pH des sols est extrême moins la durée de vie efficace est longue). Ainsi on peut estimer, dans un sol calcaire (pH compris entre 7,5 et 8) que la période d'assimilabilité du phosphore est comprise entre une et trois semaines. De manière simplifiée, l'assimilabilité du phosphore diminue avec l'augmentation du pH. Selon les normes d'Olsen *et al.,* (1954) les dix sols de la forêt de Stidia sont pauvre en phosphore.

2.2.6. Le rapport C/N

Le Rapport **C/N** ou le rapport carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol. Les microorganismes du sol (microfaune) ont un rapport C/N moyen de 8. Ils consomment les deux tiers du carbone pour l'énergie (celui-ci est alors transformé en dioxyde de carbone) et un tiers pour leur constitution. L'azote est quant à lui presque seulement utilisé pour la constitution. L'équilibre nutritionnel des microorganismes est donc situé à un rapport C/N de 24. En dessous de ce rapport, l'azote est en excès et sera donc libéré, à la disponibilité des plantes (Capinov, 2010). Au-dessus, l'azote sera prélevé dans la solution du sol pour subvenir aux besoins des microorganismes. D'où :

- C/N < 15 : production d'azote, la vitesse de décomposition s'accroît ; elle est à son maximum pour un rapport C/N = 10, c'est le cas de la majorité des parcelles ayant un rapport qui varie entre 0 à 13,39 mise à part dans la parcelle (4) qui est de 34,74 appartenant à la catégorie suivante :
- C/N > 20 : Pas assez d'azote pour permettre la décomposition du carbone (il y a compétition entre l'absorption par les plantes et la réorganisation de la matière organique par les microorganismes du sol, c'est le phénomène de "faim d'azote" l'azote est alors prélevé dans les réserves du sol (Capinov, 2010).

En étudiant les deux paramètres (climat et sol) dans la forêt de Stidia, on constate que cette région reçois des précipitations moyennement faibles, le sol est satisfait en éléments nutritifs, le pH est alcalin. Ces conditions défavorables constituent non seulement une

contrainte à la végétation, mais également entravent le développement de la flore microbienne du sol indispensable pour la croissance et la nutrition des plantes (Hatimi et *al.*, 2001).

3. Détermination des potentiels mycorhiziens

3.1. Estimation de la densité des spores des champignons mycorhiziens à arbuscules et à vésicules

3.1.1. Estimation pour les 100 prélèvements dans les 10 parcelles

Le nombre de spores extraites à partir du sol pour les cents échantillons dans les dix parcelles qui hébergent les trois essences forestières dominantes, plus les autres espèces arbustives et herbacées déjà identifiées (tableau1) étaient relativement élevé, mais varie en fonction de la densité et de la structure du couvert végétal (figure 12).

Pour les points de prélèvements sans influence par des systèmes racinaires (pas de végétation), le nombre de spores dans 100 g de sol était entre des valeurs nulles (0) à 5 spores/100 g de sol dans la parcelle (10), de 5 à 21 spores/100 g de sol dans la parcelle (1) et de 28 spores/100 g de sol dans la parcelle (3) (figure 12).

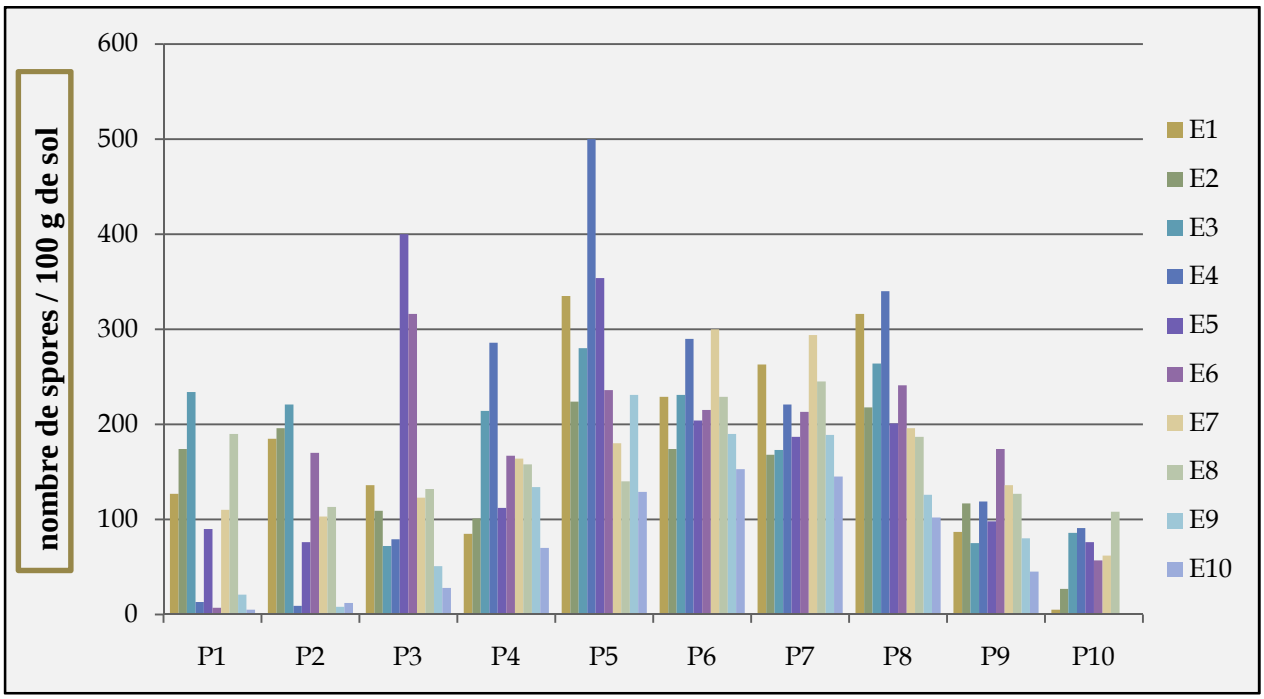


Figure 12: Nombre de spores des 100 échantillons dans les 10 parcelles de la forêt de Stidia : E : Echantillon, P : parcelle.

Pour les points de prélèvements au contact avec le système racinaire (Sol rhizosphèrique), le nombre de spores était relativement élevé, mais varie en fonction de la densité et de la structure du couvert végétal. Ce nombre était entre 86 spores/100 g de sol

dans la parcelle (10) et 500 spores/100 g de sol dans la parcelle (5) qui est envahie par le Pin pignon (*Pinus pinea*), pour le thuya (*Titraclinis articulata*) le nombre oscille entre 76 spores/100 g de sol dans la parcelle (10) à 400 spores/100 g de sol dans la parcelle (3), pour le genévrier (*Juniperus phoenicea*) était de 57 spores/100 g de sol dans la parcelle (10) et 290 spores/100 g de sol dans la parcelle (6).

En effet, les secteurs dégradés montrent souvent de faibles densités de spores mycorhiziennes (Siverding, 1991), pour confirmer et comparer ce dernier résultat avec notre travail nous avons réalisé l'estimation de la densité des spores par apport aux parcelles de dégradation (figure 13 et 14).

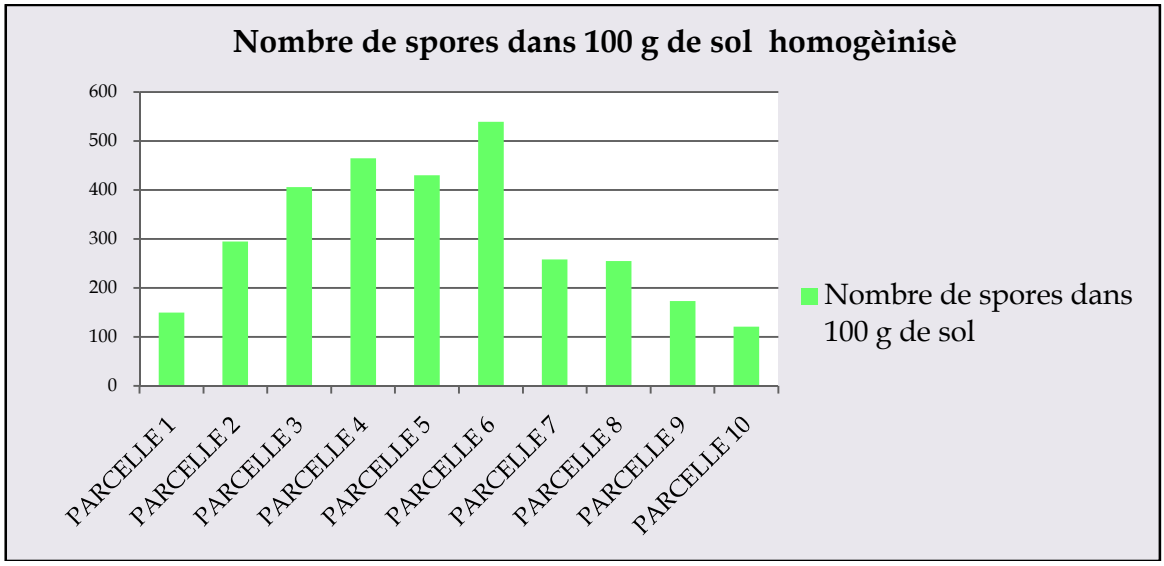


Figure 13 : Distribution du nombre de spores des sols homogénéisés (composite) selon la gamme de dégradation dans les dix parcelles.

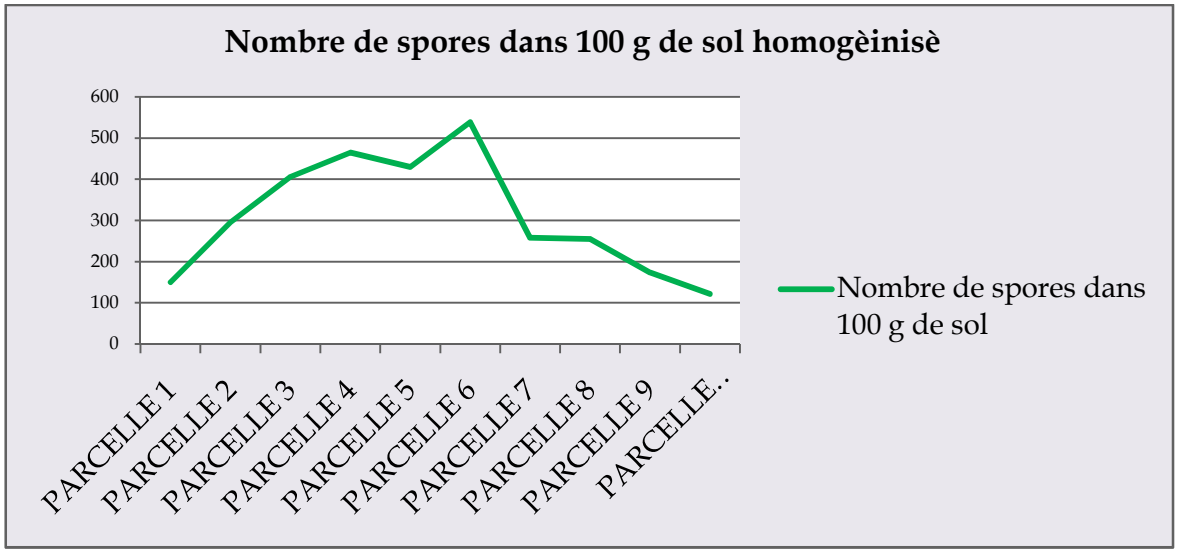


Figure 14 : Distribution du nombre de spores des sols homogénéisés (composite) selon la gamme de dégradation dans les dix parcelles.

3.1.2. Estimation pour chaque parcelle

Le nombre de spores dans 100 g de sol composite de chaque parcelle est aussi élevé, plus particulièrement dans les parcelles (4), (5), (6), (7) et (8) (figure 12 et 13) caractérisées par un couvert plus au moins dense, mais dans certains cas le nombre est inférieur, probablement en raison de la dégradation de sol. Les secteurs dégradés montrent souvent de faibles densités de propagules mycorrhiziens selon Siverding (1991), ce sont des caractéristiques des sols des régions semi-aride (Siverding, 1991 ; Stutz et Morton, 1996).

3.1.3. Estimation pour chaque essence ou plant étudiés dans chaque parcelle

a. Le Thuya (*Titraclinis Articulata*)

Sachant que le thuya est une espèce de mycorhization endotrophe (Duponnois, 2007), aussi confirmé par le traitement des racines qui renferment des vésicules et des arbuscules des champignons mycorhiziens: Le nombre de spores oscille entre 62 à 108 spores/100 g de sol dans la parcelle (10), 264 à 316 spores/100 g de sol dans la parcelle (8) jusqu'à 400 spores/100 g de sol dans la parcelle (3).

b. Le Genévrier de Phénicie (***Juniperus phoenicea***)

Idem que le Thuya, le Genévrier est une espèce de mycorhization endotrophe (Duponnois, 2007), aussi confirmé par le traitement des racines qui renferment des vésicules et des arbuscules des champignons mycorhiziens. La densité des spores était de 57 spores/100 g de sol dans la parcelle (10), 245 spores/100 g de sol dans la parcelle (7), à 300 spores/100 g de sol dans la parcelle (6).

c. Pin pignon (*Pinus pinea)*

Le Pin est une espèce de mycorhization ectotrophe, (Duponnois, communication personnelle (2010) ; Garbaye, 1990 ; Garbaye, communication personnelle (2011) ; Bidartondo, 2001) c'est la plante hôte de plusieurs ectomycorhizes, qui enveloppe leur racine d'un manteau d'hyphes ; le manchon mycorhizien. Dans notre étude l'estimation de la densité des spores dans le sol prélevé a la rhizosphère de plusieurs arbres de pin a révélé la présence d'un nombre qui varie de 109 spores \100g de sol dans la parcelle (3) à 500 spores /100g de sol dans la parcelle (5), mais aucune vésicule ni arbuscule n'ont étaient observée après le traitement de ses racines. En effet les spores détectée au niveau de ce sol, appartiennent aux racines des plantes accompagnatrices ou contaminatrices qui dominent les parcelles ou se trouvent les pins (Duponnois, communication personnelle (2010)).

d. Retame (*Retama monosperma)*

D'après notre prospection, le retame est trouvé généralement, dans les parcelles dégradées. Le nombre de spores pour tous les échantillons était élevé, variant entre 123 spores\ 100 g de sol dans la parcelle (3) à 234 spores\ 100 g de sol dans la parcelle (1).

Le taux de mycorhizes est bien représenté avec des densités élevées dans les dix parcelles. Plusieurs auteurs, étudiant des sols de différentes structures, rapportent des densités voisines de celles que nous avons obtenues : sols de deux palmeraies algériennes (Amir, 1981), sols de palmeraies marocaines (Oihabi et Hatimi; 1992), les sols français (Alabouvette, 1983), les sols de titraclinais marocaines (Abbas *et al*, 2006) et quelques sols forestiers marocains (Ouahmane et *al*., (2006)) Cependant, Pochon et *al*. (1957), travaillant sur des sols sahariens secs sans végétation, ont enregistré des densités de microorganismes nettement inférieures aux nôtres.

Les quantités de spores MVA enregistrées dans les sols de Stidia, sont en général, importantes si on les compare à celles trouvées par Nicolson et Johnston (1979) dans les jeunes dunes côtières de Scotland, ou celles enregistrées dans les zones maritimes de Cap Cod (USA) par Bergen et Koske (1984). En revanche, nos sols sont relativement égaux en spores MVA par rapport aux dunes côtières d'Island (Koske, 1981) ou de Floride (Sylivia, 1988).

La fluctuation du nombre de spores MVA observée en fonction de la densité végétale serait attribuée aux processus de la formation des spores, à leur germination et à leur dégradation (Smith, 1980 ; Smith, 2008). La diminution de la densité de spores en été probablement due aux conditions climatiques, à l'arrêt subséquent de la croissance des racines ou à la sénescence des plantes annuelles. Il serait intéressant à l'avenir d'évaluer la cinétique d'évolution des paramètres physico-chimiques et microbiologiques afin d'étudier leur impact sur la fluctuation du nombre des spores MVA et d'avoir ainsi une vision dynamique de ces zones côtières.

3.2. Mise en évidence de l'infection racinaire

L'organisation cytologique des mycorhizese à vésicules et à arbuscules est identique dans tous les échantillons, au niveau des dix parcelles. L'observation microscopique des racines colorées prouve que le Retame, le Thuya et le Genévrier ont formé des endomycorhizes abondants, par contre aucune ectomycorrhize n'a été détectée sur ces espèces. Dans certains cas, la fréquence et l'intensité de l'infection mycorhizienne chez le Retame ont atteint le 79% et même le 100% (figure 15). Différentes structures ont été

observées notamment des hyphes et des vésicules qui sont présentes entre les cellules du cortex racinaire, ces vésicules sont de forme sphérique à ovale dotées de quelques déformations (figure 16 et 17) quelques arbuscules ont été également observées, les mêmes résultats ont été rapportés par Wetzel et Vandervack (1996), Aguilera et *al*., (1998) et par Abbas et *al*., (2006).

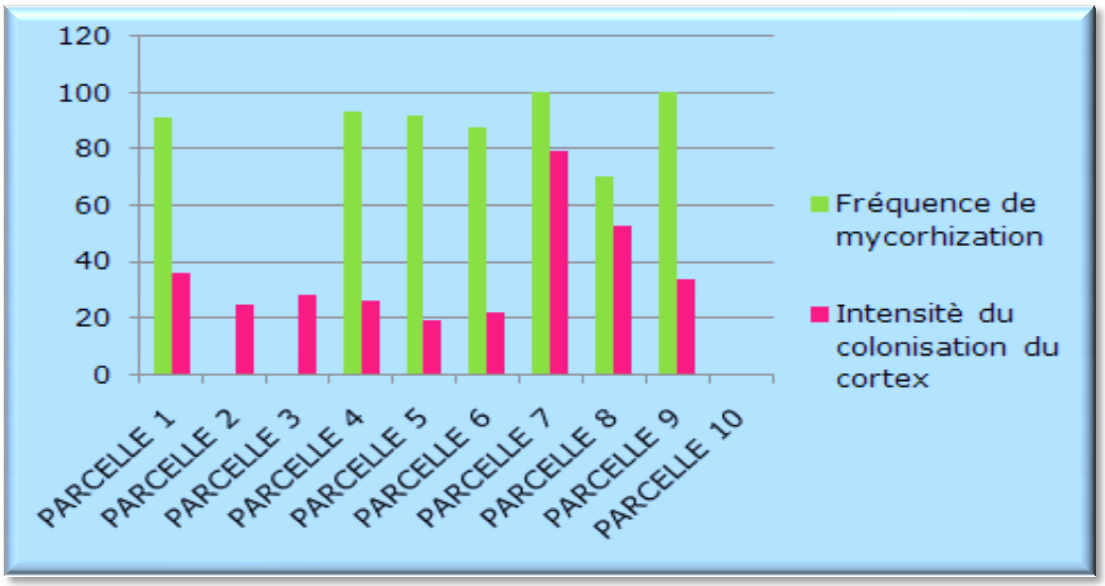


Figure 15 : Fréquences de mycorhization et les intensités de colonisation du cortex racinaire du retame au niveau des dix parcelles.

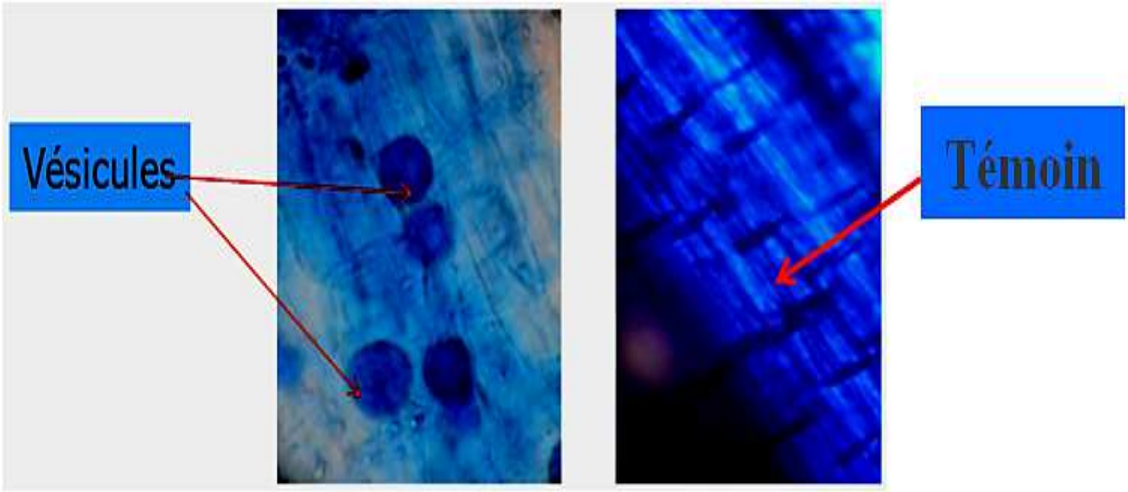


Figure 16 : Exemple d'une observation microscopique des racines traitées au bleu de trypan sous microscopie photonique (G X 40).

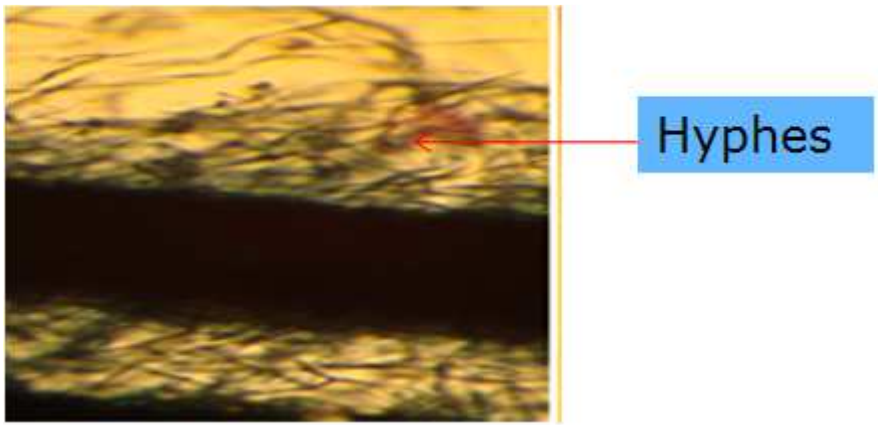


Figure 17 : Exemple d'une observation microscopique des racines traitées au bleu trypan sous microscopie photonique (G X 10).

3.3. Identification des morphotypes des spores

Les spores extraites à partir des échantillons de sol des 10 parcelles présentent presque toutes les caractéristiques des Glomèromycètes, Selon Walker, (1983), Abbas et *al*, (2006), Ouhamane et *al*, (2006, 2007), Eddy et Marc Ducousso (communication personnelle, LSTM 2011).

Le nombre de morphotypes de spore détectés à chaque emplacement, selon la forme, la couleur et la taille, se sont étendus jusqu'à 3 pour la parcelle (10) à 8 pour la parcelle 1,3 et 8 en très faible proportion. La plupart des morphotypes étaient communs à tous les emplacements, et peu spécifiques. Toutes les spores appartiennent à l'ordre de Glomineae représenté par les familles de *Glomaceae*. Les morphotypes de spore de ces familles ont été divisés en deux groupes : le premier inclus les petites spores, blanches à jaunes foncé et noires, et le second groupe correspond aux grandes spores, orange et marron claires à orange et marron foncé.

La population des champignons mycorhiziens récoltés dans les dix parcelles est composée majoritairement d'un seul genre. Le genre *Glomus* qui est largement dominant. Cette dominance a été signalée par plusieurs auteurs dans les zones côtières (Nicolson et Johnston, 1979 ; Giovannetti et Nicolson, 1983 ; Bergen et Koske, 1984 ; Gianinazzi et Trouvelot, 1980 ; Siverding, 1991 ; Wetzel et Vandervack, 1996**).** Quelques Acaulosporaces et Gigasporas ont été détectés. Il semble donc, que *Glomus* est le genre le plus ubiquiste des champignons endomycorhiziens. Parmi cette collection d'environ 3000 spores récoltés et conservées ; douze morphotypes ont pu être identifiés au niveau des parcelles de dégradation étudiées (figure 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 et 28).

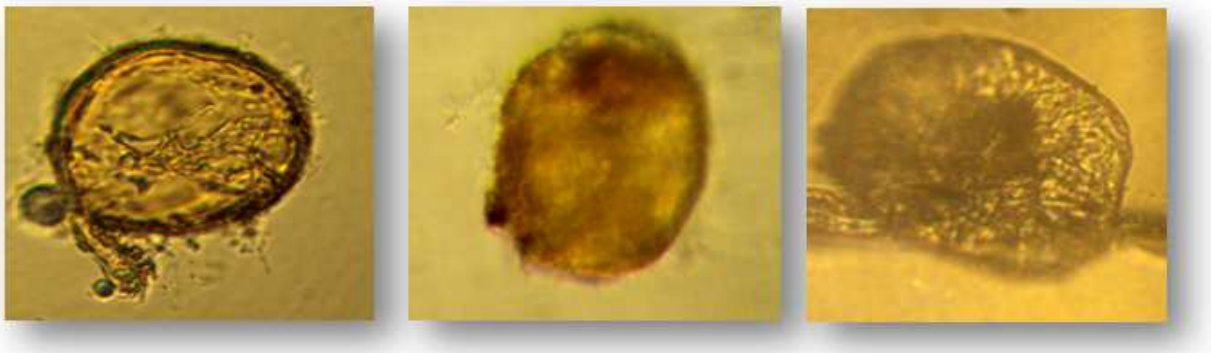


Figure 18 : Observation des spores Transparentes sous microscopie photonique (G X40).

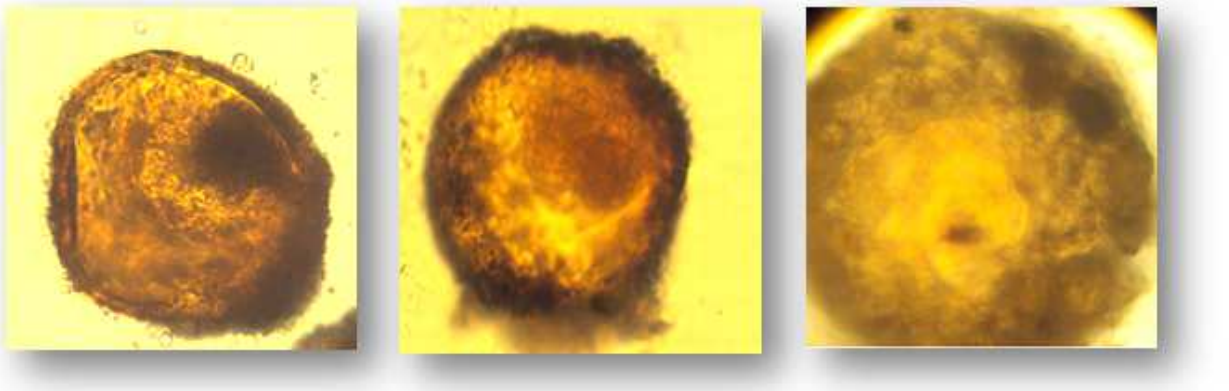


Figure 19 : Observation des spores jaunes claires sous microscopie photonique (G X 40).



Figure 20: Observation des spores jaunes foncées sous microscopie photonique (G X 40).



Figure 21 : Observation des spores Orange claires sous microscopie photonique (G X 40).

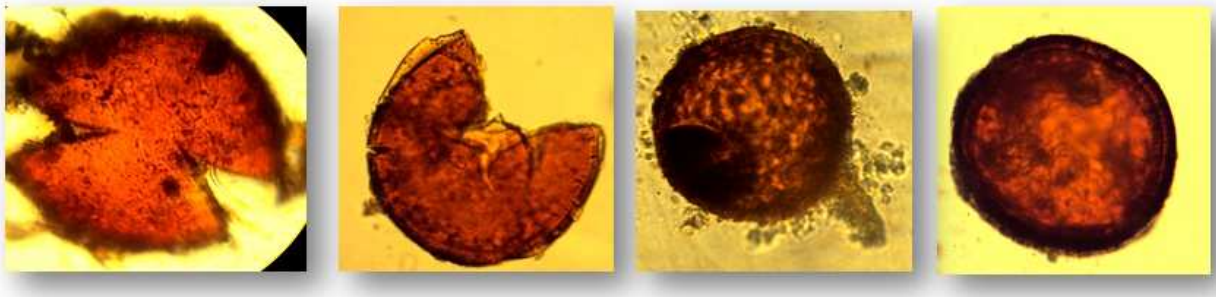


Figure 22 : Observation des spores Orange foncés sous microscopie photonique (G X 40).

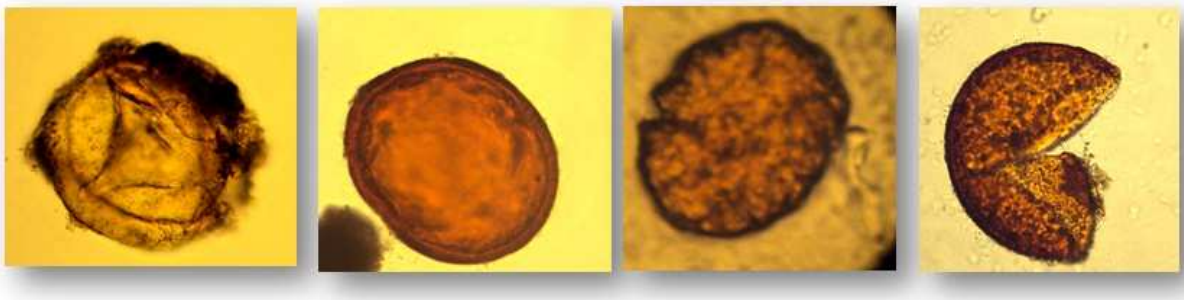


Figure 23: Observation des spores Marron claires sous microscopie photonique (G X 40).

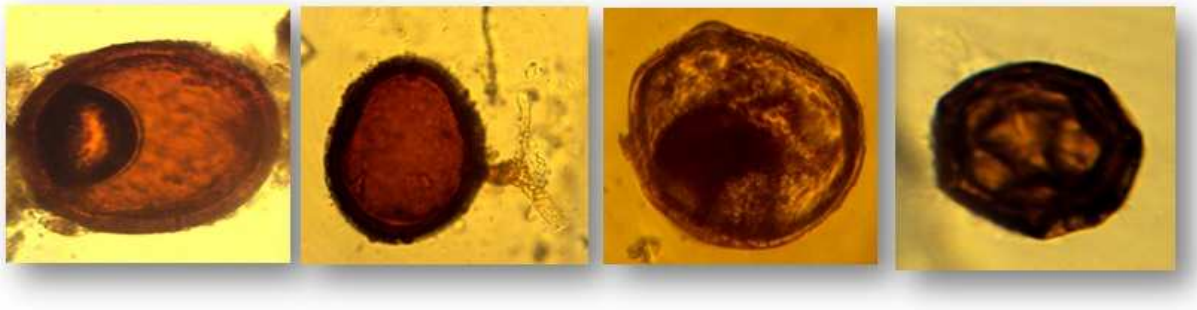


Figure 24 : Observation des spores Marron foncés sous microscopie photonique (G X 40).



Figure 25 : Observation des spores Grises sous microscopie photonique (G X 40).



Figure 26 : Observation des spores Rétrécies sous microscopie photonique (G X 40).

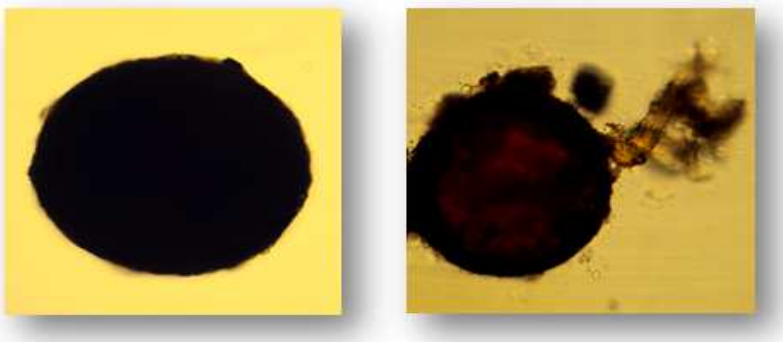


Figure 27 : Observation des spores Noires sous microscopie photonique (G X 40).

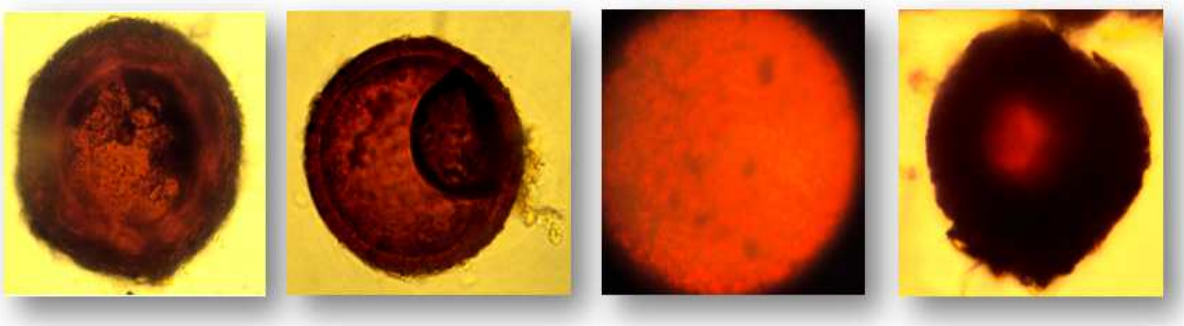


Figure 28 : Observation des spores Rouges sous microscopie photonique (G X 40).

4. Analyse de la communauté des champignons mycorhiziens arbusculaires AMF

Traditionnellement les études sur la diversité des AMF sont basées sur l'observation des structures fongiques dans les racines, sans possibilité de les identifier avec précision (Merryweather et Fitter, 1998). De nombreuses études reposent aussi sur l'extraction des spores du sol suivi de leur identification par microscopie. Néanmoins la présence et l'abondance des spores d'espèces AMF dans le sol ne reflètent pas forcément celles qui sont en interaction avec les racine (Clapp et *al.*, 1995 ; Clapp et *al.*, 2001)

Dans ce travail, nous nous intéressons aux AMF extraites à partir du sol rhizosphérique, par une extraction directe d'ADN total à partir des spores suivies d'une analyse de la structure génétique de la communauté AMF par PCR-DGGE. Il faut souligner que les cellules des AMF sont incrustées dans les cellules végétales. En outre d'autres champignons (non AMF) sont aussi surement présents au niveau du sol. Le choix des amorces PCR est donc capital pour ne pas inclure des séquences eucaryotes autres que celles des AMF, sans pour autant laisser de côté certaines espèces AMF. Ceci est rendu difficile par l'utilisation d'un seul couple d'amorces. Perez-Naranjo (2009) a montré que l'utilisation d'une nested PCR permet de couvrir un plus grand nombre d'espèces d'AMF qu'une PCR directe (figure 29, 30 et 31).

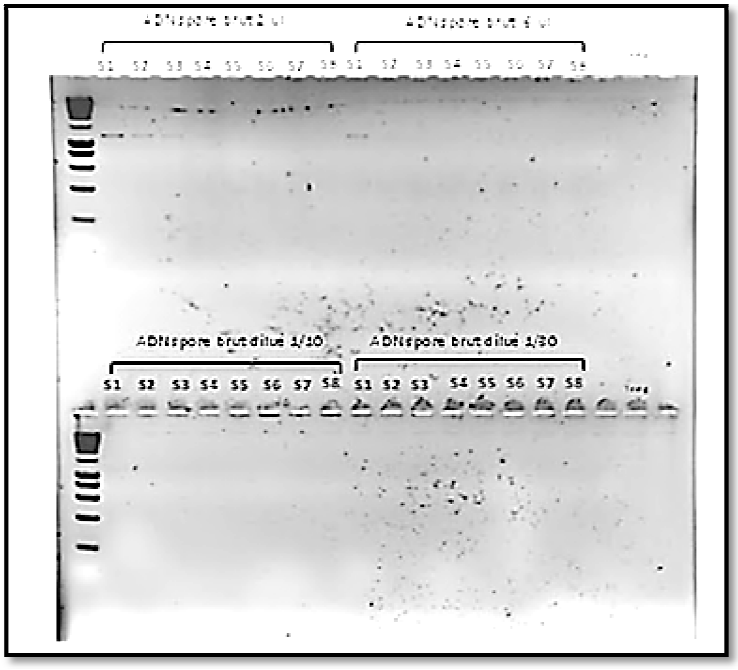


Figure 29: Photo Gel: PCR AMF-step 1 NS1/NS4, ADN Spores extraites du sol de Stidia: Extaction par chelex (vanTuinen et *a*l. 1998) (8 morphotypes: brut, dilué), S1: Spores noir, S2 : Spores marron, S3 : Spores orange, S4: Spores Jaunes, S5: Spores Rétrécies , S6: Spores transparents , S7: Spores Rouges, S8: Spores beiges et T neg : témoin négatif.

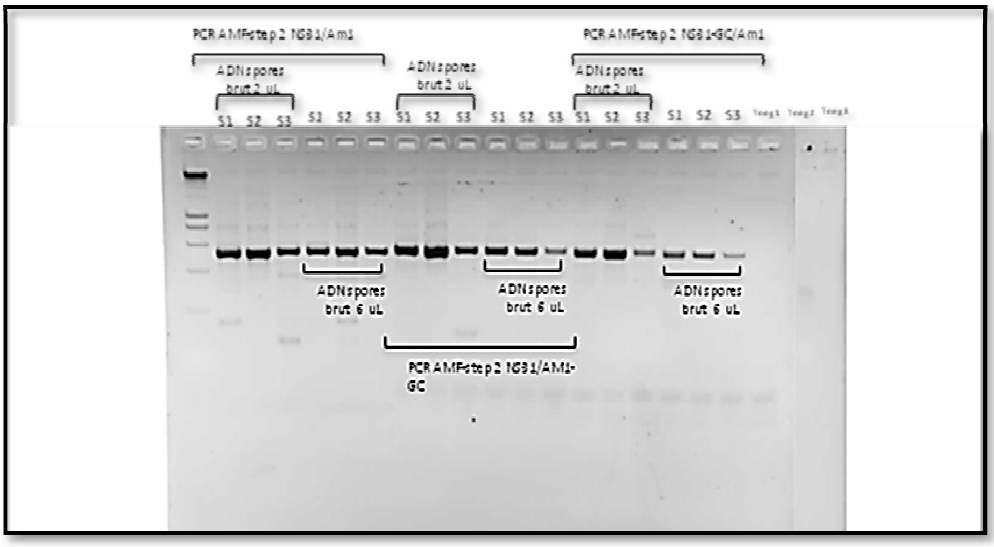


Figure 30: Photo Gel: PCR AMF-step 2 NS31/Am1, NS31-GC/AM1, NS31/AM-GC ADN Spores (6 échantillons: dilué : Extaction par chelex (van Tuinen et *a*l. 1998)) test sur les 3 premiers Morphotypes de spores : S1 : Spores noir, S2 : Spores marron, S3 : Spores orange, T neg 1: témoin négatif , T neg 2: Témoin négatif 2, T neg 3: Témoin négatif 3.

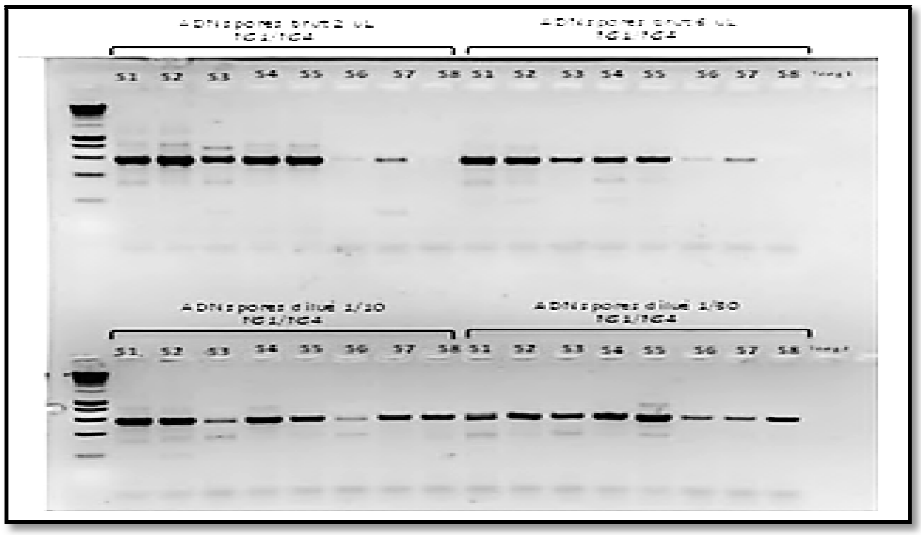


Figure 31: Photo Gel: PCR AMF-step 2, NS31/AM1-GC ADN sur step1 NS1/ NS4: Spores (8 morphotypes: Extraction par chelex (van Tuinen et *al.* 1998)): S1 : Spores noir, S2 : Spores marron, S3 : Spores orange, S4: Spores Jaunes, S5: Spores Rétrécies, S6: Spores transparents , S7: Spores Rouges, S8: Spores beiges, T neg : témoin négatif, Tneg 2: témoin négatif 2.

Il faut noter que les amorces universelles NS31/AM1 ont été utilisées pour la première fois dans ce laboratoire, et des mises au point sont à amener pour améliorer au mieux la qualité des produits PCR, et donc des profils DGGE.

L'étude plus précise des facteurs environnementaux comme les paramètres physicochimiques du sol, le mode de gestion des cultures dans les différentes régions échantillonnées apporterait éventuellement plus d'éléments qui pourraient être corrélés par la suite avec les résultats sur la structure et la diversité des communautés microbiennes.

Après l'analyse de la structure génétique des communautés par PCR-DGGE, il est important d'identifier les populations mis en évidence pour chaque échantillon, grâce à la technique de clonage séquençage. Etant donné la diversité importante des mycorhizes, la technique du clonage semblerait plus appropriée pour l'identification des différentes espèces présentes. Une fois les microorganismes associés à la racine identifiée précisément, on pourrait alors observer si les mêmes microorganismes sont partagés par les essences forestières et leurs plantes accompagnatrices et confirmer ainsi ou non les résultats obtenus dans notre étude. Ceci permettrait d'établir une description détaillée des communautés mycorhiziennes associées à l'ensemble des plantes étudiées dans le projet.

5. Effets de l'inoculation par des communautés de champignons mycorhiziens sur la croissance des plants inoculés

Le démarrage de la croissance des plants inoculés n'a pas été rapide, un retard de croissance (de durée variable) a été observé pendant la phase d'installation de l'association mycorhizienne.

Selon Plenchette (2005), ce retard de croissance est attribué à un déficit de substances carbonées qui sont détournées par le champignon pendant une période où la photosynthèse est limitée chez une jeune plantule. Tout facteur pouvant amené un déficit de photosynthèse chez une plante mycorhizée peut induire un ralentissement de sa croissance, le champignon dérivant à son profit une partie des substances carbonées produites par la plante (*in* Strullu, 1991). Nous avons constaté qu'une croissance importante des plants inoculés débute au mois de mars alors que les plants témoins végètent.

Cette croissance importante des plants peut être expliquée par le fait que les espèces de champignons endomycorhiziennes associées aux différentes plantes ont achevé leur installation dans les cellules corticales pour former des mycorhizes (endomycorhizes) qui leur permettent d'échanger des éléments nutritifs avec leurs partenaires végétaux et d'améliorer significativement la croissance de leur plante hôte.

L'étude des associations mycorhiziennes avec diverses plantes a été effectuée sur des plants forestiers *(Titraclinis articulata)* et arbustives (*Retama monosperma)* âgés de 4 mois.

La majorité des espèces végétales inoculées par les différentes espèces de champignons endomycorhiziennes ont réagi fortement à la mycorhization.

Les plants inoculés ont une croissance plus vigoureuse que les témoins qui sont chétifs, chlorotiques et poussent peu. Le nombre de feuilles des plants témoins est souvent réduit même après plusieurs mois de culture (figure 32).

Retama monosperma, arbuste annuel mycorhizé par des complexes mycorhiziens a achevé rapidement son cycle de développement. En quatre mois, la plante peut atteindre une longueur de 20 cm (figure 32), par contre les espèces de titraclinis ont montrés un cycle de développement très long.

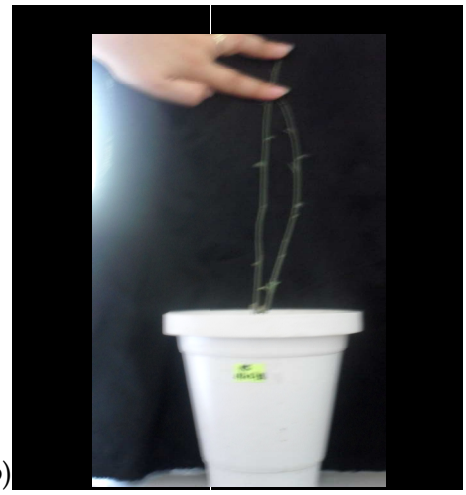
(a)  (b) 

Figure 32 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur la croissance des plants de *Retama monosperma (a) et Titraclinis articulata* (b) (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur le sol de Stidia.

Les résultats des analyses statistiques (Tableaux : annexe 13) montrent que le développement des plants est très affecté par le facteur inoculation. Les paramètres de croissance que nous avons évalués sont: la hauteur de la partie aérienne des plants, le nombre et la longueur des feuilles ainsi que les poids frais et secs.

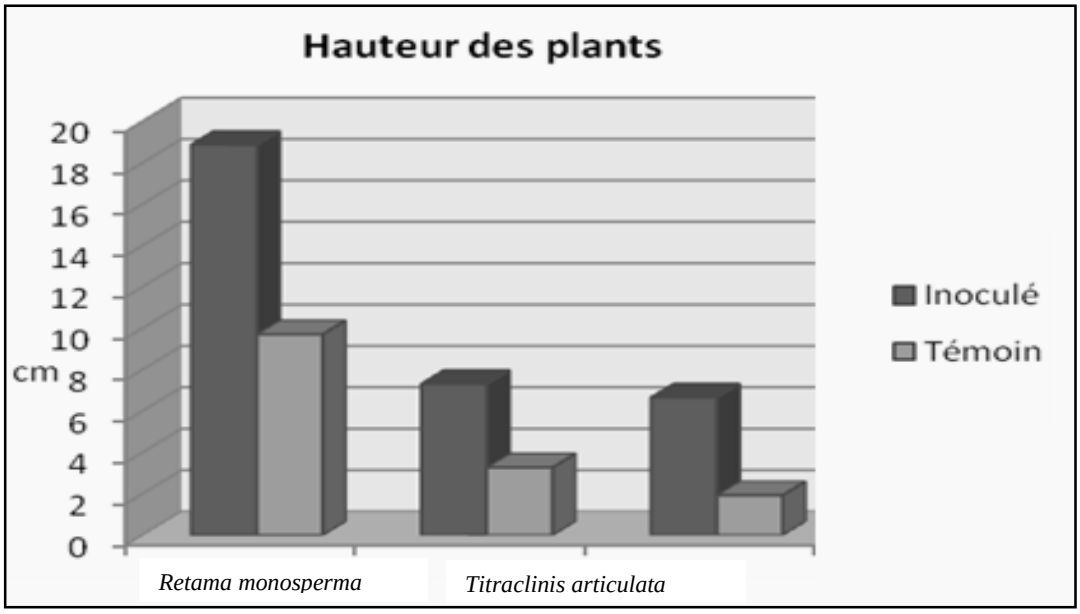


Figure 33 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur la hauteur de la partie aérienne des plants de *Retama monosperma et Titraclinis articulata* (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur sol de Stidia**.**

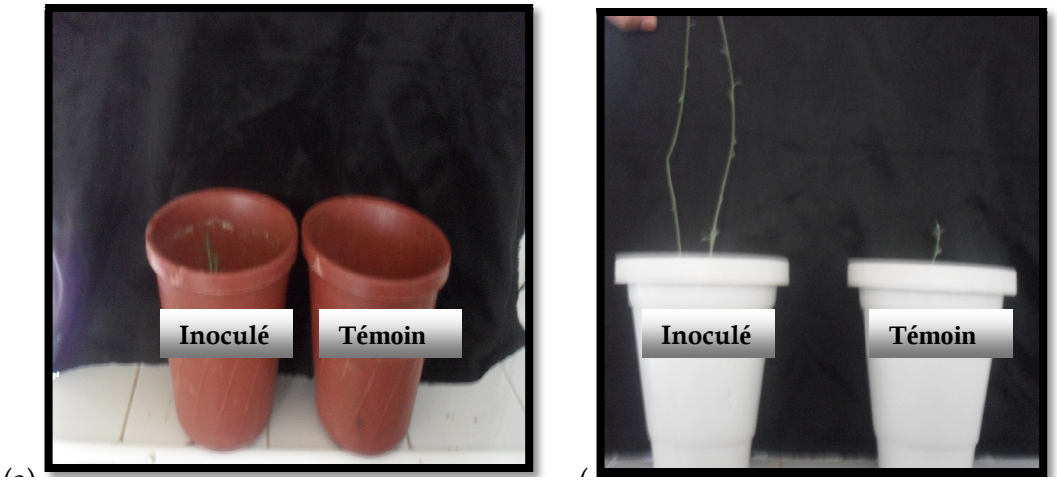


Figure 34 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur la hauteur de la partie aérienne des plants de *Retama monosperma (a) et Titraclinis articulata* (b) (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur sol de Stidia**.**

5.1. Hauteur de la partie aérienne des plants

Les analyses de la variance montrent des effets hautement significatifs de la mycorhization sur la hauteur des plants inoculés (Tableaux : annexe 13).

Les plants inoculés ont une meilleure croissance que les plants témoins (figure 33). Le rapport hauteur des plants inoculés / hauteur des plants témoins varie de 1,37 à 3,95 ce qui explique l'importante croissance des plants inoculés par rapport aux témoins (figure 34).

5.2. Nombre de feuilles

Les analyses de la variance montrent des effets hautement significatifs de la mycorhization sur le nombre de feuilles des plants inoculés (Tableaux : annexe 13).

Le rapport nombre de feuilles des plants inoculés / nombre de feuilles des plants témoins varie de 1,12 à 2,5 ce qui indique que le nombre de feuilles des plants inoculés est double par rapport aux témoins (figure 35).

5.3. Longueur des feuilles

Les analyses de la variance montrent des effets hautement significatifs de la mycorhization sur la longueur des grandes feuilles des plants inoculés (Tableaux : annexe 13)

Le rapport longueur des grandes feuilles des plants inoculés / longueur des grandes feuilles des plants témoins varie de 1,62 à 2,67 ce qui signifie que la différence entre les inoculés et les témoins est assez importante.

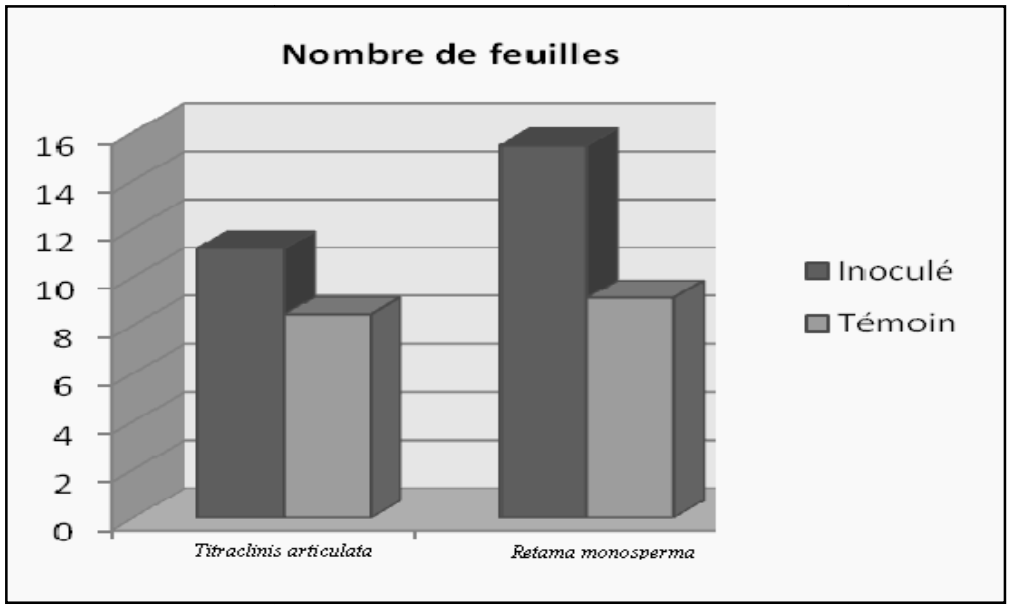


Figure 35 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur le nombre des feuilles des plants de *Retama monosperma et Titraclinis articulata* (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur sol de Stidia**.**

5.4. Poids frais de la partie aérienne

Les analyses de la variance montrent des effets hautement significatifs de la mycorhization sur le poids frais de la partie aérienne des plants inoculés (Tableaux : annexe 13).

Le rapport poids frais de la partie aérienne des plants inoculés / poids frais de la partie aérienne des plants témoins varie de 2,41 à 14, ces résultats montrent que la croissance des plants inoculés est significativement plus importante que celle des témoins (figure 36).

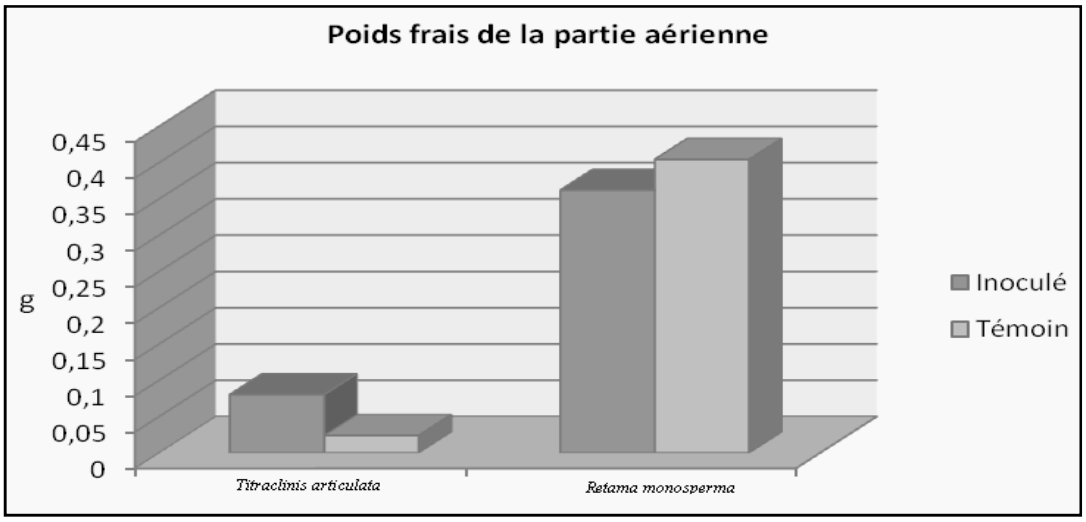


Figure 36 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur sur le poids frais de la partie aérienne des plants de *Retama monosperma et Titraclinis articulata* (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur sol de Stidia**.**

5.5. Poids sec de la partie aérienne

Les analyses de la variance montrent des effets hautement significatifs de la mycorhization sur le poids sec de la partie aérienne des plants inoculés (tableau 42 à 51 annexe 13).

Le rapport poids sec de la partie aérienne des plants inoculés / poids sec de la partie aérienne des plants témoins varie de 2 à 11 ceci montre que les plants inoculés sont significativement plus développés que les témoins (figure 37).

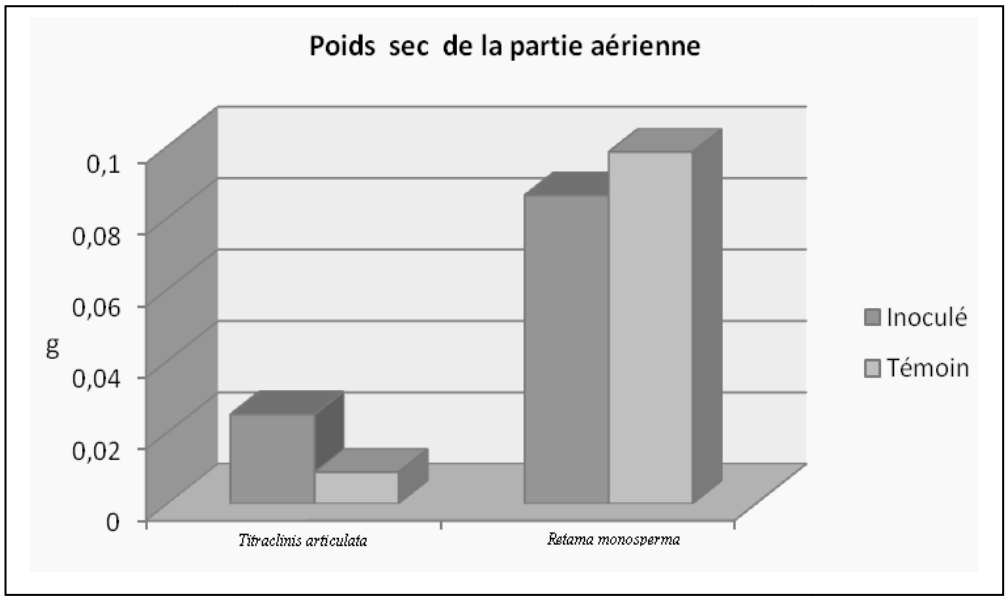


Figure 37 : Effet de l'inoculation par un complexe mycorhizien sur le poids sec de la partie aérienne des plants de *Retama monosperma et Titraclinis articulata* (âgés de 4 mois) cultivés en conditions gnotoxéniques, sur sol de Stidia**.**

La différence entre le poids frais et le poids sec des plants inoculés et témoins nous renseignent sur leurs teneurs en eau. Les inoculés comportent beaucoup plus d'eau que les témoins.

L'analyse de tous ces paramètres de croissance montre que l'inoculation des plants de *Retama monosperma* améliore significativement la hauteur de leur partie aérienne et leur biomasse. Les rapports de la hauteur des plants inoculés / hauteur des plants témoins sont de 3,95; ceux des poids frais de la partie aérienne des plants inoculés / poids frais de la partie aérienne des plants témoins sont de 14 et ceux des poids secs de la partie aérienne des plants inoculés / poids secs de la partie aérienne des plants témoins sont de 11. Selon Plenchette (2003), la manifestation la plus évidente de l'effet des mycorhizes sur les plantes est visible à l'œil nu et leur croissance rapide se traduit d'une manière générale par l'augmentation de leur biomasse (Strullu, 1991).

Ce gain de la hauteur et de biomasse des plants mycorhizés par rapport aux témoins est dû à l'efficacité des complexes mycorhiziens dans l'absorption des éléments minéraux et l'augmentation du volume de sol exploré, en effet les filaments mycéliens pénètrent plus loin que les poils absorbants (Masson, 1987; Durrieu, 1993) et peuvent donc assurer une bonne alimentation minérale à la plante hôte.

La mycorhization exerce également un effet bénéfique sur l'alimentation hydrique des plantes, elle améliore l'efficacité du prélèvement de l'eau et l'augmentation de la conductivité

hydraulique des racines, l'ajustement osmotique ainsi que la régulation des stomates de façon à prévenir une flétrissure irréversible (Augé, 2000; Ruiz-Lozano, 2003; Takacs et Voros, 2003; Kytöviita, 2005; Allen, 2007; Fortin et *al*., 2008). Elle améliore donc la tolérance des plantes aux contraintes hydriques (sécheresse) (Kugler, 1986; Oihabi et Meddich, 1996; Augé, 2004). Ainsi, lorsque *Titraclinis articulata* a été soumis à un stress hydrique, les plants mycorhizés ont manifesté un taux de survie et un potentiel d'eau supérieur aux plants non mycorhizés (Ouhamane et *al*., 2006).

En effet, les filaments mycéliens peuvent aller puiser l'eau dans de petits interstices et agrégats du sol qui ne sont pas accessibles aux racines (Fortin et *al*., 2008).

Par ailleurs, les champignons mycorhiziens sont excellents à générer un maximum de surface d'absorption en utilisant un minimum d'énergie. Ainsi, la plante bien pourvue de mycorhizes dispose de plus d'énergie pour fabriquer ses parties aériennes, tiges, feuilles, fleurs et fruits (Fortin et *al*., 2008), ces structures sont également impliquées dans le processus de reproduction (période, nombre d'inflorescence, précocité de la floraison) (Koide, 2000; Dalpé, 2006).

La chlorose observée chez les plants témoins a été déjà signalée dans des synthèses mycorhiziennes ultérieures menées par Chevalier et *al.* (1984); Duponnois (2001); Duponnois et Planchette (2001, 2003).

Selon Fortin et *al*. (2008), au pH supérieur à 7 (cas des sols étudiés), le fer, élément essentiel pour l'arbre, devient insoluble et inaccessible aux racines : il en découle une carence en fer caractérisée par une chlorose, due à une diminution de la chlorophylle dans les feuilles.

Les champignons endomycorhiziens associés à ces arbres secrètent des acides organiques (par exemple, l'acide oxalique) qui modifient le pH localement autour des racines et rendent ainsi le fer accessible à l'arbre.

Ces différents avantages qu'apportent les mycorhizes à ces partenaires végétaux ont également été décrits par de nombreux auteurs (Awameh, 1981; Chevalier et *al*., 1984; Ravolanirina, 1986; Fortas et Chevalier, 1988; Fortas et Chevalier, 1992 b; Khabar, 2002; Aïbeche, 2008).

5.6. Taux d'infection mycorhizienne

En *conditions naturelles*, nous avons observé un taux de mycorhization des plantes hôtes naturelles élevé, il est compris entre 90 % et 100 %.

En *conditions expérimentales*, le taux de mycorhization des plants inoculées par des complexes mycorhiziens est élevé néanmoins, il reste inférieur à celui évalué dans les racines des mêmes espèces récoltées dans les conditions naturelles.

On constate que le taux de mycorhization est généralement important quel que soit l'espèce fongique ou le substrat naturel de culture, pour nos résultats sur le sol de Stidia, le taux de mycorhization des plants inoculés est assez élevé (80 à 98 %) (figure 38).

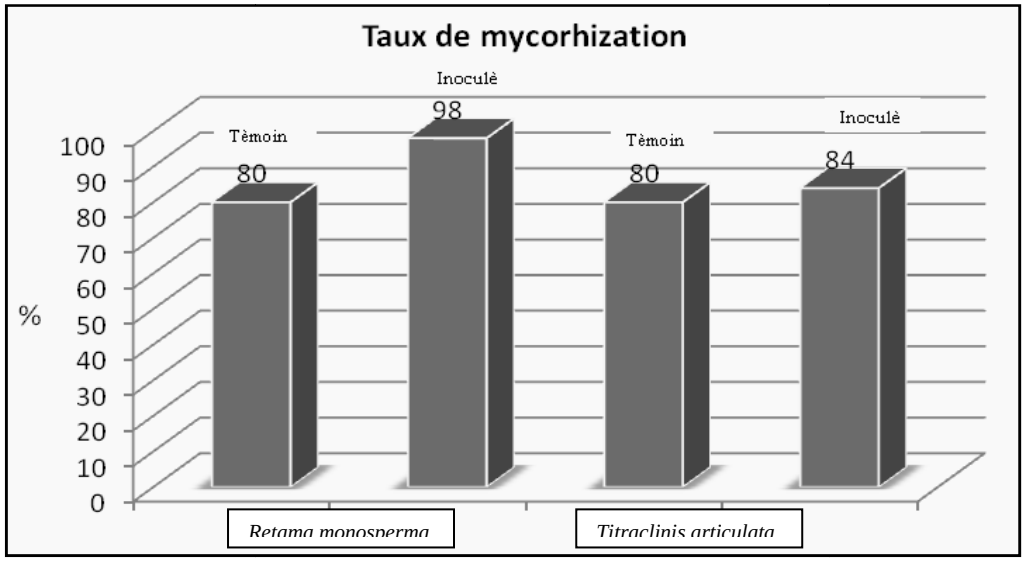


Figure 38 : Comparaison du taux de mycorhization des plantes de *Retama monosperma et Titraclinis articulata* (âgés de 4 mois), en conditions naturelles et en conditions contrôlées.

La majorité des plants associés expérimentalement aux complexes mycorhiziens (Mycorhizes à arbuscules) dans les racines, sont des plantes hôtes naturelles de cet inoculum. En effet, ce dernier a été récolté, dans la nature sous *Retama monosperma et Titraclinis articulata* de la forêt de stidia. La colonisation intense des cellules corticales de ces deux espèces (âgé de 04 mois) par l'inoculum naturelle montre que les champignons endomycorhiziens s'associe facilement avec des partenaires végétaux présents dans son biotope. Le taux de mycorhization avec *Retama monosperma* est plus élevé que celui avec *Titraclinis articulata* car ces espèces fongique s'associe surtout avec des arbustes et herbacées annuelles ou vivaces, ces résultats ont été déjà signalé dans différents régions (Maroc, Tunisie, Sénégal) par : (Duponnois et *al* ., 2002 ; Ouhamman et *al*., 2006 ; Abbas et *al*., 2006).

D'après l'ensemble des résultats des taux de mycorhization, on constate que le complexe mycorhizien inoculé aux deux espèces : *Retama monosperma et Titraclinis articulata* possède un fort pouvoir mycorhizogène qui leur permet d'envahir facilement les cellules corticales des racines de leurs plantes hôtes et de s'y installer fortement.

6. Détermination des potentiels ectomycorhiziens

Le bon moment de la récolte des cordons mycéliens et des hyphes ectomycorhiziens est à partir du mois de mars jusqu'au Juin (García, 1997). Mais aucune ectomycorhizes n'est détectée toute au long de l'année de 2009, sur les dix parcelles, c'est en Avril 2010 qu'on a pu observer une faible production d'ectomycorhizes sur des arbres de Pin pignon (figure 39) qui se trouvent dans une zone très humide au niveau de la forêt de Stidia.

6.1. Quantification des ectomycorhizes

Le nombre de racines courtes mycorhizées et leur biomasse, ainsi que le nombre de types morphologiques pour le site de Stidia étudiés est présenté dans le tableau 8.

Tableau 8 : Les paramètres de quantification des ectomycorhizes

	Forêt de Stidia
Racines courtes mycorhizées (No./l sol)	**30**
Biomasse des mycorhizes (g/l sol)	**5**
Nombre de types morphologiques	**4**

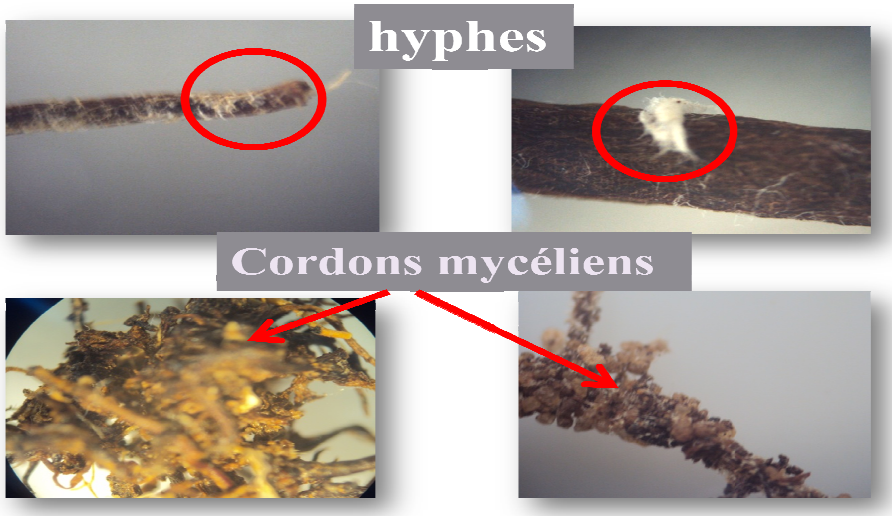


Figure 39 : Observation des cordons mycéliens et des hyphes des ectomycorhizes sous la loupe binoculaire (G X 20).

6.2. Identification des morphotypes des carpospores

En mycologie, on appelle sporophore (ou carpophore, mais le terme de sporophore doit être préféré (Morère et *al., 2003)* la fructification du mycélium d'un champignon (*Mycota*), produisant des spores, sous diverses formes dont la plus connue est un pied et un chapeau chez les Basidiomycètes et quelques Ascomycètes.

Étant souvent la seule partie visible de l'organisme, c'est ce qu'en langage courant on appelle « un champignon ». (Morère et *al., 2003)* et selon les critères cités dans le chapitre précèdent, voici les carpospores déterminés et identifiés sous le Pin pignon dans la parcelle (5) de la forêt de Stidia**,** ces espèces fongiques ont étés aussi déterminés par Garbye, 1990 ; Morère et *al.*, 2003 et Bidartondo et *al.*, 2001 sous différents espèces de Pins.

a. Le **bolet granulé** (*Suillus granulatus*), (figure 40) appelé aussi parfois cèpe des pins, est un champignon basidiomycète de la famille des *Suillaceae*. Il ressemble beaucoup à *Suillus luteus* mais il s'en distingue par l'absence d'anneau sur le pied. C'est un champignon comestible lorsqu'il est jeune et pousse en symbiose avec les pins.

b. Les **russules** (figure 41) figurent parmi les champignons les plus répandus dans les bois et les forêts. Ce sont des basidiomycètes appartenant à l'ordre des russulales et à la famille des *russulacées*, dont font également partie les lactaires. Russules et lactaires ont en commun d'être des champignons à lamelles possédant une chair grenue et cassante. Mais, contrairement aux lactaires, les russules n'ont pas de laticifères efficients (ils sont présents mais ne produisent pas de « lait » qui coule à la cassure), de plus leurs lamelles sont rarement décurrentes. Il existe plus d'une centaine d'espèces

de russules, souvent très difficiles à différencier. Peu d'entre elles sont de bons comestibles, quelques-unes peuvent être toxiques.

c. Les champignons du **genre lactaire (*Lactarius*) sont des Basidiomycètes de la famille des *russulaceae* présentant des carpophores** fragiles ayant la particularité d'exsuder un lait plus ou moins abondant (latex) lorsqu'ils sont blessés ou coupés. Leur chair est cassante et les lames sont plus ou moins décurrentes (lames qui se prolongent sur le stipe) (figure 42 et 43).



Figure 40 : Récolte de *Suillus granulatus sous Pinus pinea* (Benguesmia, 2010).



Figure 41 : Rècolte de *Russula. Sp sous Pinus pinea* (Benguesmia, 2010).



Figure 42 : Récolte de *Lactarius.sp sous Pinus pinea* (Benguesmia, 2010).



Figure 43 : Récolte de *Lactarius scocubulatus sous Pinus pinea* (Benguesmia, 2010).

Dans un écosystème dégradé, la densité des spores des champignons mycorhiziens à arbuscule peut être corrélée avec la densité racinaire, ainsi le nombre de spore diffère d'un type de végétation à un autre. (Cardoso et *al,* (2003, 2006) ; Hatimi, 2007). La densité des spores peut être un bon indicateur de la distribution racinaire des arbres et des cultures.

Il semble que le genre *Glomus* est le plus ubiquiste des champignons endomycorhiziens au niveau des zones côtières dans l'Ouest Algérien.

Les résultats obtenus montrent une abondance relative très élevée des spores, qui devraient être préservées et utilisées dans de tels écosystèmes en les incluant dans des programmes de reboisement et de revégètalisation. Pour cela il faut sélectionner en serre des symbiotes fongiques performants quant à leur impact sur la croissance de la plante hôte étudiée. Les expériences d'inoculation contrôlée seront conduites dans les localités exploitées de l'ouest Algérien, par l'introduction des essences forestières choisis en fonction de leurs statuts symbiotiques.

L'objectif de l'analyse moléculaire à long terme, serait de rechercher des microorganismes susceptibles d'améliorer la croissance des cultures et de restaurer des systèmes forestiers, éventuellement par des techniques d'inoculation contrôlée.

L'intérêt d'un tel travail est donc d'identifier les communautés mycorhiziennes présentes dans les systèmes forestiers des zones côtières de l'ouest Algérien, et mettre en évidence un partage éventuel de taxons mycorhiziens entre espèces végétales annuelles et pérennes. Ces connaissances pourraient par la suite être utilisées pour le maintien et le développement des forêts.

Le taux de mycorhization des plants inoculés par le complexe mycorhizien est élevé ; les endomycorhizes récoltés à partir de la forêt de stidia possèdent un fort pouvoir mycorhizogène qui leur permet de coloniser facilement les racines de leurs plantes hôtes.

Les hyphes et les cordons mycéliens des ectomycorhizes détectées sur les racines du Pin, présentent un taux d'infection de 40%. Les fructifications de ces ectomycorhizes sous cet arbre, ont révélés trois espèces: *Suillus granulatus, Russula. sp, Lactarius sp.* Le développement de ces champignons est étroitement lié aux conditions climatiques. Ils exigent

une pluviométrie d'environ 340 mm bien distribuée de septembre à avril, permettant la germination des ascospores et le développement mycélien.

L'ensemble de ces résultats nous offre un élément de conclusion très important : si la connaissance et la maîtrise des phénomènes de mycorhization sont sans doute une des clés de l'avenir des forêts algériennes, il ne faut pas oublier que la forêt que l'on reconstruit artificiellement n'égalera jamais à la forêt naturelle, sur les plans de la biodiversité, des potentialités et de la productivité globale. C'est pourquoi il est important d'intensifier les programmes d'inventaire de la biodiversité, dont la connaissance est une étape préalable à toute recherche biologique et appliquée crédible. Pour mieux comprendre, donc pour mieux protéger, voire pour mieux réhabiliter un écosystème, qu'il soit forestier ou autre, il est indispensable d'en connaître les composants, d'un point descriptif puis d'un point de vue fonctionnel et inter-relationnel.

Cette intensification est heureusement effective depuis un petit nombre d'années mais elle doit encore s'accentuer. Les démarches d'inventaire, d'évaluation de biodiversité ou d'évaluation patrimoniale (en mycologie ou dans tout autre domaine) sont encore trop peu admises et encouragées dans les circuits officiels des grands programmes de la recherche scientifique. Mais, un certain nombre d'exemples de collaboration pluridisciplinaire répondant à ce souhait existent, actuellement, dans diverses régions du monde.

Le cas particulier des interactions entre les champignons et les arbres est sans doute un modèle idéal pour qu'une synergie effective entre scientifiques (taxonomistes, écologues, biologistes) et forestiers conduise à des résultats spectaculaires et durables.

En effet, il n'y aurait probablement pas de forêt sans champignons. Cette constatation actuelle peut évidemment se transposer à l'avenir (assez proche !) : il n'y aura sans doute pas de forêt sans une bonne connaissance de la biodiversité fongique et sans prise en compte des particularités biologiques et fonctionnelles de l'association mycorhizienne.

A

- **Aarssen WL** (1983) Ecological combining ability and competitive combining ability in plants: towards a general evolutionary theory of coexistence in systems of competition. *American Naturalist* 122: 707-731.

- **Abbas Y, Ducousso M, Abourouh M, Azcón R, Duponnois R** (2006) Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in *Tetraclinis articulate* (Vahl) Masters woodlands in Morocco; INRA, EDP Sciences, Ann. For. Sci. 63 285– 291

- **Abbas Y., Abourouh M**. (2002) Les mycorhizes à arbuscules et la possibilité d'amélioration de la qualité des plants en pépinières forestières, Ann. Rech. For. Maroc. 35 1–15.

- **Abdelhakim Hatimi,** (2007) Saida Tahrouch Biomatec ECHO published online 24 June 2007;caractèrisation chimique, botaniqure et microbiologique du sol des dunes littorales du Souss-massa. Vol. 2, N° 5.

- **AGERER (R.).** (1987) — Colour atlas of ectomycorrhizas . — Einhorn : Verlag Eduard Dietenberger, Schwèbisch Gmünd.

- **Aguilera L.E.; Gutierez J.R.; Moreno R.J**. (1998) Vesiculo arbuscular mycorrhizae associated with saltbusches *Atriplex spp*. (Chenopodiaceae) in the chilean arid zone. *Rev. Chil. Hist. Nat., 71(3): 291-302*.

- **Aïbeche C**. (2008) Caractéristiques écologiques et mycologiques d'une espèce de terfez du littoral Ouest algérien. Essai de mycorhization contrôlée avec sa plante-hôte naturelle *Helianthemum guttatum*. Mémoire de Magister, Univ. d'Oran, Es-Sénia, 85 p.

- **Alabouvette C.** (1983) La réceptivité des sols aux fusarioses vasculaires, rôle de la compétition nutritive entre microorganismes. *Thèse es-Sciences Naturelles, Université de Nancy, 158 pp*.

- **Allen M.F.** (2007) Mycorrhizal fungi: Highways for water and nutrients in arid soils. Vadose Zone Journal, 6 (2): 291-297.

- **Amir H. (**1981) Antagonisme de divers microorganismes vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* (Killian et Maire), Gordon, agent du Bayoud. *Thèse Magester, U.S.T.H.B. Alger: 145 pp*.

- **Anne P**.(1945) Le dosage rapide du carbone organique dans les sols. *Ann. Agron.* Avril, Mai, Juin, 1945, 5 ème année, no 2, 161-172 p.

- **Anonyme1** : le site de stidia: http://travelingluck.com/Africa/Algeria/Mostaganem/_2479092_Stidia.html.

- **Antoine cornet** (2011). La télédétection : un outil de suivi de la desertification. 1-13.

- **Aubert G.** (1978) Méthode d'analyse des sols, 191p.

- **Augé R.M. (**2000) Stomatal behavior of arbuscular mycorrhizal plants. In: Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function, Eds. Kapulnik Y, Douds DD Kluwer Academic Press, p 201-237.

- **Augé R.M. (**2001) Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza, 11: 3-42.

- **Augé R.M.** (2004) Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. Canadian Journal of Soil Science, 84: 373-381.

- **Auger, R. J.** (1982) Flore du domaine atlantique du Sud-ouest de la France et des régions des plaines, CNDP, 1982, 516 p. (ISBN 2 86617 225 6), p. 46.

- **Awameh M.S**. (1981) The response of *Helianthemum salicifolium* and *Helianthemum ledifolium* to the infection by the desert truffle *Terfezia boudieri*. Mushroom Science, 11 : 843-853.

- **Azcon R, Ocampo JA** (1981) Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency or thirteen wheat cultivars. *New Phytologist* 87: 677-685.

- **Azcon-Aguilar C, Barea JM** (1996) Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens – An overview of the mechanisms involved. Mycorrhiza 6: 457-464.

B

- **Bâ AM, Dalpé Y, Guissou T** (1996) Les Glomales d'*Acacia holosericea* et d'*Acacia mangium*. *Bois et Forêt des Tropiques* 250: 5-18.

- **Barea JM, Jeffries P** (1995) Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil plant systems. in: Hock B, Varma, A (eds), Mycorrhiza, Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology. Springer-Verlag, Heidelberg. pp 521-559.

- **Bationo A, Baethgen WE, Christianson CB, Mokwunye AU** (1991) Comparison of five soil-testing methods to establish phosphorus sufficiency levels in soil fertilized with water-soluble and sparingly soluble phosphorus sources. *Nutrient Cycling in Agrosystems* 28: 271-279.

- **Belgat Saci**. (1984) Etudes édaphique en vue de l'aménagement du cordon dunaire littoral de la région de Mostaganem (Algérie), 198 p : 19-58.

- **Bergen M.; Koske R.E**. (1984) Vesicular-arbuscular mycorrhisal fungi from sund dune of Cape cod, Massachusetts. *Trans. Br. Mycol.Soc.,83(1): 157-158*.

- **Berry, C.R. et Marx, D.H.** (1977). Growth of loblolly pine seedlings in strip-mined Kaolin spoil as influenced by sewage sludge. *J. Environ. Qual.,* 6(4) : 379-381.

- **Bessah G**. (1998) Contribution à l'étude de la symbiose mycorhizienne entre deux espèces de terfez : *Terfezia claveryi* et *Terfezia boudieri* avec le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans la région de Djelfa. Thèse de Magister, I.N.A, El-Harrach, Alger, 153p.

- **Bethlenfalvay GJ, Schüepp H** (1994) Arbuscular mycorrhizas and agrosystem stability. in: Gianinazzi S, Schüepp H (eds); Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. Birkhauser Verlag; Basel, Switzerland. pp: 117-131.

- **Bever JD, Morton JB, Antonovics J, Schultz PA** (1996) Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. *Journal of Ecology* 3: 205-214.

- **Bever JD, Westover KM, Antonovics J** (1997) Incorporating the soil community into plant population dynamics: the utility of the feedback approach. Journal of Ecology 85: 561-573.

- **Bidartondo Nina Wurzburger, Martin I, Caroline S. Bledsoe.** (2001) Characterization of Pinus ectomycorrhizas from mixed conifer and pygmy forests using morphotyping and molecular methods, Can. J. Bot. 79: 1211–1216.

- **Bolan NS** (1991) A critical review of the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants.*Plant & Soil* 134: 189-207.

- **Bonifacio E., Scalenghe R., Barberis E., Zanini E**. (1998) Phosphorus status in some natural desert truffle stands. Communications in soil science and plant analysis, 29 (1-2): 87- 96.

- **Bowen GD** (1994) The ecology of ectomycorrhiza formation and functioning. *Plant & Soil* 159: 61-67.

- **Brundrett M** (1991) Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances in Ecological Research* 21: 171-313.

- **Brundrett M** (1991) Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances in Ecological Research* 21: 171-313.

C

- **Callo G., Dupuis M. (**1980) Le calcaire actif des sols et sa signification. *Dull. Afes*, 17-26 p.

- **Calvet G., Villemin P. (**1986) Interprétation des analyses de terre IPAS. Ed. SCPA, Paris, 25 p.

- **Cardoso IM, Kuyper TM** (2006) Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 116: 72-84.

- **Cardoso, I.M., Kuyper, T.W**. (2003) Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agri. Ecosyst. And Envi. N" 116; pp. 72 - 84.

- **Caris C, Hördt W, Hawkins H-J, Römheld V, George E** (1998) Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plants. *Mycorrhiza* 8: 35-39.

- **Chevalier G., Riousset L., Dexheimer J., Dupre C**., (1984) Synthèse mycorhizienne entre *Terfezia leptoderma* Tul et diverses Cistacées. Agronomie, 4 : 210-211.

- **Clapp JP, Rodriguez A, Dodd JC** (2001) Inter- and intra-isolate rRNA large subunit variation in Glomus coronatum spores. New Phytol 149:539–554.

- **Clapp JP, Young JPW, Merryweather JW, Fitter AH** (1995) Diversity of fungal symbionts in arbuscular mycorrhizas from a natural community. New Phytol 130:259–265.

- **Cuddington K, Hastings A** (2004) Invasive engineers. *Ecological Modelling* 178 : 335-347.

D

- **D'Antonio C, Meyerson LA** (2002) Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: a synthesis. *Restoration Ecology* 10: 703-713.

- **da Silva, G., E. Lumini, L. Maia, P. Bonfante, and V. Bianciotto**. (2006) Phylogenetic analysis of Glomeromycota by partial LSU rDNA sequences. Mycorrhiza 16:183-189.

- **Dalpé Y, Diop T, Plenchette C, Gueye M** (2000) Biodiversity of Glomales with soil depth under *Faidherbia albida* in Senegal. *Mycorrhiza* 10 : 125-129.

- **Dalpé Y. (**2006) Mycorhizes et bénéfices marginaux. Québec vert, 8-9.

- **Daniell TJ, Husband R, Fitter AH, Young JPW** (2001) Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising arable crops. *FEMS Microbiology Ecology* 36: 203-209.

- **Diaz S, Fargione J, Chapin III FS, Tilman D** (2006) Biodiversity loss threatens human well-being. *Plos Biology* 4 : 1300-1305.

- **Diédhiou AG, Guèye O, Diabaté M, Prin Y, Duponnois R, Dreyfus B, Bâ AM** (2005) Contrasting responses to ectomycorrhizal inoculation in seedlings of six tropical African tree species. *Mycorrhiza* 16: 11-17.

- **Diez J., Manjon J.L., Martin F**., 2002. Molecular phylogeny of the mycorrhizal desert truffles (*Terfezia* and *Tirmania*), host specificity and edaphic tolerance. Mycologia, 94 (2): 247-259.

- **Douds Jr. DD, Miller PD (1999)** Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agrosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74: 77-93.

- **Drouineau G.** (1942) Dosage rapide du calcaire actif des sols. Nouvelles données sur la répartition et la nature des fractions calcaires. *Annales Agron.* (Nouvelle série), 12: 441-450 p.

- **Ducousso M, Thoen D** (1991) Les types mycorhiziens des *Acacieae*. in : Physiologie des Arbres et Arbustes n zones arides et semi-arides. Groupes d'Etude de l'Arbre. Paris, France. pp : 175-182.

- **Duponnois R**(2007) présentation du programme de recherche ; Gestion et valorisation des communautés de symbiotes telluriques pour une réhabilitation durable des zones côtières en Algérie.25 : 16-17.

- **Duponnois R, Bâ AM** (1999) Growth stimulation of *Acacia mangium* Willd by *Pisolithus sp*. in some senegalese soils. *Forest Ecology & Management* 119: 209-215.

- **Duponnois R, Cadet P** (1994) Interactions of *Meloidogyne javanica* and *Glomus sp*. on growth and N2 fixation of *Acacia seyal*. *Afro Asian Journal of Namatology* 4, 228-233.

- **Duponnois R, Colombet A, Hien V, Thioulouse J** (2005a) The Mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1460-1468.

- **Duponnois R, Garbaye J, Bouchard D, Churin JL** (1993) The fungus-specificity of mycorhization helper bacteria (MHBs) used as an alternative to soil fumigation for

ectomycorrhizal inoculation of bare-root *Douglas*-fir planting stocks with *Laccaria laccata*. *Plant & Soil* 157: 257-262.

- **Duponnois R, Plenchette C, B_ AM** (2001) Growth stimulation of seventeen fallow leguminous plants inoculated with G. aggregatum in Senegal. Eur J Soil Biol 37:181–186
- **Duponnois R, Plenchette C, Thioulouse J, Cadet P** (2001a) The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular Mycorrhizal fungal spores communities in soils of different aged fallows in Senegal. *Applied Soil Ecology* 17: 239-251.
- **Durrieu G. (**1993) Ecologie des champignons. Ed. Masson, Paris, 207 p.

E

- **Egli S. & Ayer F.** (1997) Est-il possible d'améliorer la production de champignons comestibles en forêt ? L'exemple de la réserve mycologique de La Chenéaz en Suisse. Revue Forestière Française 49: 235-243.
- **environnement.ecole.fr** : http://www.environnement.ecole.free.fr.
- **Estaùn V, Save R, Biel C** (1997) AM inoculation as a biological tool to improve plant revegetation of a disturbed soil with *Rosmarinus officinalis* under semi-arid conditions. *Applied Soil Ecology* 6: 223-229.

F

- **Fortas Z., Chevalier G**. (1988) Effet des conditions de culture sur la mycorhization d'*Helianthemum guttatum* par trois espèces du genre *Terfezia* et *Tirmania* (truffes du désert). 2ème congresso internazionale sul.tartufo spoleto, 197-203.
- **Fortas Z., Chevalier G.,** (1992 b) Effet des conditions de culture sur la mycorhization de l'*helianthemum guttatum* par trois espèces de terfez des genres *Terfezia* et *Tirmamia* d'Algérie. Can. J. Bot., 70: 2453-2460.
- **Fortas Z., Chevalier G.,** 1992 a. Caractéristiques de la germination des ascospores de *Terfezia arenaria* (Moris) Trappe, récoltée en Algérie. Cryptogamie, Mycol., 13: 21-29.

- **Fortin J.A., Plenchette C., Piché Y.,** (2008) Les mycorhizes. La nouvelle révolution verte. Eds. MultiMondes et Quae, Québec, Versailles, 131 p.

- **Fumanal B, Plenchette C, Chauvel B, Bretagnolle F** (2006) Which role can arbuscular Mycorrhizal fungi play in the facilitation of *Ambrosia artemisiifolia* L. invasion in France? *Mycorrhiza* 17: 25-35.

G

- **Gadrat.** (1997) Science et Biotechnologie université de Luxembourg.

- **Garbaye, J.** (1990). Pourquoi et comment observer I'état mycorhizien des plants forestiers. Revue Forestière Frangaise, 17(1) : 35-47.

- **Garcia C., Hernandez T., Roldan A., Albaladejo J**., (1997) Biological and biochemical quality of a semiarid soil after induced revegetation. Journal of Environment Quality, 26: 1116-1122.

- **Gause GF** (1937) Experimental populations of microscopic organisms. *Ecology* 18: 173-179.

- **Gentili F, Jumpponen A** (2006) Potential and possible uses of bacterial and fungal biofertilizes. in: Rai MK (ed) Handbook of Microbial Biofertilizers. Food Products Press. pp 1-28.

- **Ghazi Ali**. (2004) la désertification en Algérie : Aspects environnementaux et sécuritaires. 5ème conférence Pan-Eurpéenne et 3eme conférence de AFES-PRESS GMOSS sur : reconceptualisation de la securite dans le cadre de la mondialisation » la haye 9-11 septembre 2004.

- **Gianinazzi S, Schüepp H** (1994) Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems. Birkhäuser Verlag, Basel. 226 p.

- **Gianinazzi-Pearson V.; Trouvelot A. Morandi D.; Marocke R.**(1980) Ecological variations in enendomycorrhizas associated with wild raspherry populations in the Verges region. *Ecol. Plant, 1(15),2: 111-119.*

- **Giovannetti M.; Nicolson T.H**. (1983) Vesicular arbuscular mycorrhiza in Italian sand dunes. Trans. Br. Mycol. Soc., 80(3): 552-556.

- **Gobat JM, Aragno M, Matthey W** (2003) Le sol vivant, 2e Edition. Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne. 568 p.

- **Gollotte A, van Tuinen D, Atkinson D.** (2004) Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising roots of the grass species *Agrostis capillaris* and *Lolium perenne* in a field experiment. *Mycorrhiza* **14**: 111–117.

- **Graham JH, Leonard RT, Menge JA** (1981) Membrane-mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *Plant Physiology* 68: 548-552.

- **Gransee A, Wittenmayer L** (2000) Qualitative and quantitative analysis of water-soluble root exudates in relation to plant species and development. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163: 381-385.

- **Grayston SJ, Vaughan D, Jones D** (1996) Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Applied Soil Ecology* 5: 29-56.

H

- **Hadjadj-Aoul S**. (1991) Les peuplements de *Tetraclinis articulata* sur le littoral d'Oran (Algérie). Ecologia Mediterranea, 17 : 63-78.

- **Hamel C** (1996) Prospects and problems pertaining to the management of arbuscular mycorrhizae in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 60: 197-210.

- **Hampp R, Wiese J, Mikolajeski S, Nehls U** (1999) Biochemical and molecular aspects of C/N interaction in ectomycorrhizal plants: an uptade. *Plant & Soil* 215: 103-113.

- **Harris JA** (2003) Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. *European Journal of Soil Science* 54: 801-808.

- **Hart MM, Reader RJ, Klironomos JN** (2003) Plant coexistence mediated by arbuscular mycorrhizal fungi. *Trends in Ecology & Evolution* 18: 418-423.

- **He X, Nara K** (2007) Element biofortification: can mycorrhizas potentially offer a more effective and sustainable pathway to curb human malnutrition? *Trends in Plant Science* 12: 331-333.

- **Hellal B.,** 1998. Diagnostic phytoecologique d'une nappe alfatière du Nord de la steppe occidentale d'Algérie. Séminaire zones arides « Rétrospectives, Enjeux et Strategie », Adrar, 1-16.

- **Herrera MA, Salamanca CP, Barea JM** (1993) Inoculation of woody legumes with selected arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia to recover desertified Mediterranean ecosystems. *Applied & Environmental Microbiology* 59: 129-133.

- **Herrmann P. (**1980) Travaux pratiques D.A.A. Science du sol-Amenagement. D.E.A. Agronomie, Ecole nationale supérieure agronomique, Montpellier, Chaire de géologie-science du sol, 63 p.

- **Hetrick BAD** (1984) Ecology of VA Mycorrhizal fungi. VA Mycorrhizae. CL Powell, DJ Bagyaraj (eds), CRC Press, Louisiana, USA. pp 35-56.

- **Hodge A, Campbell CD, Fitter AH** (2001) An arbuscular Mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic matter. *Nature* 413: 297-299.

- **Hooper DU, Vitousek PM** (1997). The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277: 1302-1305.

- **Huston MA** (1979) General hypothesis of species diversity. American Naturalist 113: 81-101.

I

- **Imagerie Digital Globe, Cnes/Spot. Image. Géo Eye.** (2011): HTTP://WWW.getamap.net/cartes/algeria/algeria_(general)/_dunesdelastidia_foretdes.

J

- **Janex-Favre M.C., Parguey-Leduc A., Riousset L**. (1988) L'ascocarpe hypogé d'une terfez française (*Terfezia leptoderma* Tul., Tubérales, Discomycètes). Bull. Soc. Mycol. Fr., 104: 145-178.

- **Janos DP** (1980) Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica* 12: 56-64.

- **Jasper DA, Abbot LK, Robson D** (1991) The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soils from different vegetation types. *New Phytologist* 118: 471-476.

- **Johansson JF, Paul LR, Finlay RD** (2004) Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *FEMS Microbiology Ecology* 48: 1-13.

- **Johnson D, Leake JR, Ostle N, Ineson P, Read DJ** (2002) In situ (CO2)-C-13 pulse-labelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. *New Phytologist* 153: 327-334.

- **Joner EJ, Leyval C** (2003) Rhizosphere gradients of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dissipation in two industrial soils and the impact of arbuscular mycorrhiza. Environmental Science & Technology 37: 2371-2375.

K

- **Khabar L**. (2002) Etudes pluridisciplinaires des truffes du Maroc et perspectives pour l'amélioration de production des « Terfess » de la forêt de la Mamora. Thèse de Doctorat d'Etat Es-sciences, Univ. Mohamed V–Agdal, Rabat (Maroc), 167 p.

- **Khan AG, Kuek C, Chaudhry TM, Khoo CS, Hayes WJ** (2000) Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere* 41: 197-207.

- **Kisa M, Sanon A, Thioulouse J, Assigbetse K, Sylla S, Spichiger R, Dieng L, Berthelin J, Prin Y, Galiana A, Lepage M, Duponnois R** (2007) Arbuscular mycorrhizal symbiosis

counterbalance the negative influence of the exotic tree species *Eucalyptus camaldulensis* on the structure and functioning of soil microbial communities in a sahelian soil. *FEMS Microbiology Ecology* 62: 32-44.

- **Kjeldahl G**. (1882) Analyses chimiques du sol (Chimie analytique), 310 :122-125.
- **Kjeldahl G**. (1882) Neue méthode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern. Zanl. chem., 22 :366-382.
- **Koch KE, Johnson CR** (1984) Photosynthate portioning in split-root citrus seedlings with mycorrhizal and non-mycorrhizal root systems. *Plant Physiology* 75: 26-30.
- **Koide R.T. (**2000) Mycorrhizal symbiosis and plant reproduction. In: Arbuscular mycorrhiza: physiology and function, Ed. Y Kapulnick and DD Douds Jr. Kluer Academic Press, 19-46.
- **Koske R.E.; Halvorson W.L**. (1981) Ecologial studies of vesicular arbuscular mycorrhizae in a barrier sand dune. *Can. J. Bot. 59: 1413-1422*.
- **Kourtev PS, Ehrenfeld JG, Häggblom M** (2002) Exotic plant species alter the microbial community structure and function in soil. *Ecology* 83: 3152-3166.
- **Kourtev PS, Ehrenfeld JG, Häggblom M** (2003) Experimental analysis of the effect of exotic and native plant species on the structure and function of soil microbial communities. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 895-905.
- **Kugler M.** (1986) Les mycorhizes. Des engrais qui poussent comme des champignons. C.R.D.I. explore, 5-6.
- **Kytöviita M.-M. (**2005) Asymmetric symbiont adaptation to Arctic conditions could explain why high Arctic plants are non-mycorrhizal. FEMS Microbiology Ecology, 53 : 27-32.

L

- **Lambers H, Raven JA, Shaver GR, Smith SE** (2008) Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology & Evolution* 23: 95-103.

- **Landeweert R, Hoffland E, Finlay RD, Kuyper TW, van Breemen N** (2001) Linking plant to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends in Ecology & Evolution* 16: 248-255.

- **Leake JR** (2004) Myco-heterotroph/epiparasitic plant interactions with ectomycorrhizal and arbuscular Mycorrhizal fungi. *Current Opinion in Plant Biology* 7: 422-428.

- **Leyval C, Berthelin J** (1993) Rhizodeposition and net release of soluble organic compounds by pine and beech seedlings inoculated with rhizobacteria and ectomycorrhizal fungi. *Biology & Fertility of Soils* 15: 259-267.

- **Leyval C, Joner EJ** (2001) Bioavailability of heavy metals in the mycorrhizosphere. in: Trace elements in the rhizosphere. CRC Press. pp 165-185.

- **Leyval C, Turnau K, Haselwandter K** (1997) Effect of heavy metal pollution on mycorrhizal colonization and function: physiological, ecological and applied aspects. *Mycorrhiza* 7: 139-153.

- **Linderman RG** (1988) Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect. *Phytopathology* 78: 366-371.

- **Lovelock CE, Wright SF, Clark DA, Ruess RW** (2004) Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *Journal of Ecology* 92: 278-287.

M

- **Manjunath A, Hue NV, Habte M** (1989) Response of *Leuceana leucocephala* to vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and rock phosphate fertilization in an Oxisol. *Plant & Soil* 114: 127-133.

- **Marx, D.H. et Bryan, W.C**(.1971). Influence of ectomycorrhizae on survival and growth of aseptic seedlings of loblolly pine at high temperature. For, Sci., 17: 37-41.

- **Masson S. (**1987) Les mycorhizes. Maîtrise de sciences naturelles, Univ. de Clermont-Ferrand, 40p.

- **Merryweather, J., Fitter, A**.(1998) The arbuscular mycorrhizal fungi of Hyacinthoides I. Diversity of fungal taxa. New Phytol. 138, 117–129.

- **Millenium Ecosystem Assessment** (2005) Ecosystems and human well-being : Biodiversity synthesis. Washington (D.C) : World Resources Institute. 86p.

- **Miller DD, Domoto PA, Walker C** (1985) Colonization and efficacy of different endomycorrhizal fungi with Apple seedlings at two phosphorus levels. *New Phytologist* 100: 393-402.

- **Moora M, Zobel M** (1996) Effect of arbuscular mycorrhiza and inter- and intraspecific competition of two grassland species. *Oecologia* 108: 79-84.

- **Morère J.L. & Pujol R & jean M** *(2003) Dictionnaire raisonné de biologie*. Paris : Frison-Roche.

- **Morton B. et Benny, G. L** (2005) Revised classification of arbusculars mycorrhizal fungi (Zygomycètes): New order, Glomales, two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an amendation of Glomaceae *Mycotaxon* 37:471-491.

- **Mosse B** (1986) Mycorrhiza in a sustainable agriculture. *Biological Agriculture & Horticulture* 3: 191-209.

N

- **Navratil S.** (1988) The state of the art in mycorrhizal research in Alberta and Saskatchewan. In Proceedings of the Canadian Workshop on Mycorrhizae in Forestry, May 1-4, 1988. M. Lalonde & Y. Piché (Ed). Centre de recherche en biologie forestière, Faculté de foresterie et géodésie, Université Laval, Ste-Foy, Qc.

- **Nedjma, M, Petersen, C., Bledsoe, C.S., Rizzo, D.M** (2005) Contrasting root associated fungi of three common oak-woodland plant species based on molecular identification: host specificity or non-specific amplification? Mycorrhiza 15, 365–372.

- **Newman EI** (1988) Mycorrhizal links between plants: their functioning and ecological significance. *Advances in Ecological Research* 18: 243-270.

- **Newsham KK, Fitter AH, Watkinson AR** (1995) Arbuscular mycorrhiza protect an annual grass from root pathogenic fungi in the field. *Journal of Ecology* 83: 991-1000.

- **Nicolson T.H.; Johnston C.** (1979) Mycorrhiza in the gramineae. III. Glomus fasciculatum as the endophyte of pioner grasses in a maritime sand dune. Trans. BR. Mycol. Soc., 72:261-268.

- **Norman MJT, Pearson CJ, Searle PGE** (1995) The Ecology of Tropical Food Crops. Cambridge University Press, Cambridge. 436 p.

- **Noss R** (1990) Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4 : 355-364.

O

- **Oihabi A., Meddich A. (**1996) Effet des mycorhizes à arbuscules (MA) sur la croissance et la composition minérale du trèfle. Cahiers Agricultures, 5: 382-386.

- **Oihabi A.; Hatimi A.; Amir H.** (1992) Etude de la réceptivité au Bayoud de deux sols de palmeraies marocains. *Phytopath. medit., 31: 19-27.*

- **Olsen S.R**.(1954) Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. *Cir. U.S. Dep. Agr* ., n° 939, 1-19 p.

- **Ontario.M R** (2011) Endomycorhizes: http://www4.inra.fr/sante-plantes-environnement/Les-recherches/Principaux-resultats/Resultats-2010/Champignon-endomycorhizien.

- **Ouahmane L., Hafidi M., Kisa M., Boumezouch A., Thioulouse J., Duponnois R. (**2006**)** Lavandula species as accompanying plants in Cupressus replanting strategies: effect on plant growth, mycorrhizal soil infectivity and soil microbial catabolic diversity. Appl. Soil Ecol. 34: 190–199 p.

- **Ouahmane L., Hafidi M., Thioulouse J., Ducousso M., Kisa M., Prin Y., Galiana A., Boumezzough A., Duponnois R**.(2007) Improvement of *Cupressus atlantica* Gaussen growth by inoculation with native arbuscular mycorrhizal fungi. Journal of Applied Microbiology. Sous presse.

P

- **Pare T, Gregorich EG, Nelson SD** (2000) Mineralization of nitrogen from crop residues and N recovery by maize inoculated with vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant & Soil* 218: 11-20.

- **Perez-Naranjo J C** (2009): DARK SEPTATE AND ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGAL ENDOPHYTES IN ROOTS OF PRAIRIE GRASSES University of Saskatchewa. Saskatoon: 117: 61-80.

- **Perry P.D**. (1995) Self-organizing systems across scales. Trends in Ecology and Evolution 10: 241-244.

- **Perry P.D., Molina R. & Amaranthus M.P.** (1987). Mycorrhizae, mycorrhirospheres and reforestation. Canadian Journal of Forest Research 17: 929-940.

- **Peter M., Ayer F. & Egli S.** (1995) Nitrogen addition in a Norway spruce stand altered macromycete sporocarp production and below-ground ectomycorrhizal species composition. New Phytologist 149: 311-325.

- **Phillips J.M., Hayman D.S.** (1970) Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular fungi for rapid assessment of infection, Trans. Brit. Mycol. Soc. 55 158–160.

- **Piéri C** (1989) Fertilité des terres de savane. Bilan de trente années de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Ministère de la Coopération et du Développement. Cirad, Paris. 444p.

- **Plenchette C, Fortin JA, Furlan V** (1982) Effects of different endomycorrhizal fungi on five host plants grown on calcined montmorillonite clay. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107: 535-538.

- **Plenchette C, Fortin JA, Furlan V** (1983) Growth response of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant & Soil* 70: 199-209.

- **Plenchette C, Perrin R, Duvert P** (1989) The concept of soil infectivity and a method for its determination as applied to endomycorrhizas. *Canadian Journal of Botany* 67: 112-115.
- **Plenchette C. (**2005) Mycorhizes et nutrition phosphatée des plantes. Journées techniques fruits et légumes et viticulture biologiques, p 103-109.
- **Pochon J.; De Barjac H.; Lajudie J. (**1957) Recherches sur la microflore des sols sahariens. *Ann. Inst. Pasteur, 92:833-836*.

R

- **R. Duponnois · C. Plenchette** (2003) A mycorrhiza helper bacterium enhances ectomycorrhizal and endomycorrhizal symbiosis of Australian Acacia species; Mycorrhiza 13:85–91.
- **Rambelli A** (1973) The Rhizosphere of Mycorrhizae. in: Marks GL, Koslowski TT (eds): Ectomycorrhizae, their ecology and physiology. Academic Press, New York. pp 299-343.
- **Ratnayake M, Leonard RT, Menge JA** (1978) Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhizal formation. *New Phytologist* 1978: 543-552.
- **Ravolanirina F**. (1986) Etude de l'influence de quelques facteurs sur la croissance mycélienne des terfez *in vitro* et synthèse des mycorhizes. D.E.A de biologie et de physiologie végétale. Univ. de Clermont-Ferrand, 70 p.
- **Read DJ** (1991) Mycorrhiza in ecosystems. *Experientia* 47: 376-391.
- **Reever-Morghan K, Seastedt TR** (1999) Effects of soil nitrogen reduction on nonnative plants in restored grasslands. *Restoration Ecology* 7: 51-55.
- **Reeves FB, Wagner D, Moorman T, Kiel J** (1979) The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semi-arid Est. I. A comparison of incidence of mycorrhizae in severely disturbed vs. natural environments. *American Journal of Botany* 66: 6-13.
- **Requena N, Jeffries P, Barea JM** (1996) Assessment of Natural Mycorrhizal Potential in a Desertified Semiarid Ecosystem. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 842-847.

- **Requena N, Perez-Solis E, Azcon-Aguilar C, Jeffries P, Barea JM** (2001) Management of Indigenous Plant-Microbe Symbioses aids Restoration of Desertified Ecosystems. *Applied & Environmental Microbiology* 67: 495-498.

- **Rhodes LH, Gerdemann JW** (1975) Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. *New Phytologist* 75: 555-561.

- **Richter, D.L. et Bruhn, J.N.** (1993). Mycorrhizal fungus colonization of *Pinus resinosa* Ait transplanted on northern hardwood clearcuts. *Soil Bio/. Biochem.*, 25(3) : 355-369.

- **Ricklefs RW** (1977) Environmental heterogeneity and plant species diversity: a hypothesis. *American Naturalist* 111: 376-381.

- **Rillig MC, Mummey DL** (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist* 171, 41-53.

- **Rillig MC, Steinberg PD** (2002) Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1371-1374.

- **Rillig MC, Wright SF, Eviner VT** (2002) The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant & Soil* 238: 325-333.

- **Roberts KJ, Anderson RC** (2001) Effect of garlic mustard [*Alliaria petiolata* (Beib. Cavara and Grande)] extracts on plants and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. *American Midland Naturalist* 146: 146-152.

- **Robinson D, Fitter A** (1999) The magnitude and control of carbon transfer between plants linked by a common mycorrhizal network. *Journal of Experimental Botany* 50: 9-13.

- **Rouiller J., Souchier B., Bruckert S., Feller C., Toutain F. et Védy J. C.(**1994**)** Méthodes d'analyses des sols. *Masson*, 619–652 p.

- **Rufyikiri GS, Declerck S, Dufey JE, Delvaux B** (2000) Arbuscular mycorrhizal fungi might alleviate aluminium toxicity in banana plants. *New Phytologist* 148: 343-352.

- **Ruiz-Lozano J.M. (**2003) Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. Mycorrhiza, 13: 309-317.

S

- **Sala OE, Chapin FS III, Armesto JJ, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Huenneke LF, Jackson RB, Kinzing A, Leemans R, Lodge DM, Mooney HA, Oesterheld M, Poff NL, Sykes MT, Walker BH, Walker M, Wall DH** (2000) Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.

- **Sanchez PA, Palm CA, Buol SW** (2003) Fertility capability soil classification, a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 114: 157-185.

- **Sanders IR** (2003) Preference, specificity and cheating in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Trends in Plant Science* 8: 143-145.

- **Sanon A, Martin P, Thioulouse J, Plenchette C, Spichiger R, Lepage M, Duponnois R** (2009). Displacement of an herbaceous plant species community by Mycorrhizal and non-mycorrhizal *Gmelina arborea*, an exotic tree, grown in a microcosm experiment. *Mycorrhiza* 16: 125-132.

- **Sanon KB, Bâ AM, Dexheimer J** (1997) Mycorrhizal status of some fungi fruiting beneath indigenous trees in Burkina Faso. *Forest Ecology Management* 98: 61-69.

- **SBSTTA** (Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice) (2001): Soil biodiversity and sustainable agriculture; paper submitted by the Food and Agriculture Organization of the United Nations to the Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 28p. Site web: http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-07/information/sbstta-07-inf-11-en.doc.

- **Schüpller, A., Schwarzott, D. and Walker, C.** (2001) A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycol Res, 105, 1413-1421.

- **Selosse M-A, Richard F, He X, Simard SW** (2006) Mycorrhizal networks: des liaisons dangereuses? *Trends in Ecology & Evolution* 21 : 621-628.

- **Sieverding E**. (1991) VAM management in tropical agrosystems, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn; Germany.

- **Silvertown J** (2004) Plant coexistence and the niche. *Trends in Ecology & Evolution* 19: 605-611.

- **Simard SW, Durall DM** (2004) Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany* 82: 1140-1165.

- **Slama A., Neffati M**. (2004) Les mycorhizes de la Tunisie méridionale: Etude écologique et mycologique. Revue des régions arides, 15 : 3-52.

- **SMHV.** (2010) Ectomycorhizes: http://www4.inra.fr/sante-plantes-environnement/Les-recherches/Principaux-resultats/Resultats-2010/Champignon-ectomycorhizien.

- **Smith SD, Strain BR, Sharkey TD** (1987) Effects of carbon dioxide enrichment on four Great Bassin [USA] grasses. *Functional Ecology* 1: 139-144.

- **Smith SE, Read DJ (**1997) Mycorrhizal Symbiosis, 2nd edition. Academic Press, San Diego. 605p.

- **Smith T.F**. (1980) The effect of saison and crop relation with abundance of spores of vesicular-arbuscular(VA) mycorrhizal endophytes.*Plant and soil,57: 475-479.*

- **Smith, S.S. and Read, D.J**. (2008) Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press.

- **St-Arnaud M, Hamel C, Vimard B, Caron M, Fortin JA** (1997) Inhibition of *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* in the non-VAM species *Dianthus caryophyllus* by co-culture with *Tagetes patula* companion plants colonized by *Glomus intraradices*. *Canadian Journal of Botany* 75: 998-1005.

- **Stinson KA, Campbell SA, Powell JR, Wolfe BE, Callaway RM, Thelen GC, Hallett SG, Prati D, Klironomos JN** (2006) Invasive plant suppresses the growth of native tree seedling by disrupting belowground mutualisms. *PLOS Biology* 4: 727-731.

- **Strullu D.G. (**1991) Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées. Ed. Lavoisier, Paris, 250 p.

- **Strullu DG** (1991) Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées. Techniques et Documentation. Lavoisier. Paris. 242 p.

- **Swift MJ, Shepherd KD** (2007) Saving Africa's Soils: Science and Technology for Improved Soil Management in Africa. World Agroforestry Centre, Nairobi. 18 p.

- **Sylvia D.M.; Will M.E.** (1988) Establishment of vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi and othr microorganisms on a beach replenishment site in Florida. *Appl. Environ. Microbiol. 54(2): 348-352*.

- **Sylvia DM** (1990) Inoculation of native woody plants with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for phosphate mine lands reclamation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 31: 253-261.

T

- **Tadja A**. (1996) Etude écologique de deux espèces de terfez du sud-ouest algérien. Essai de leur mycorhization sur trois espèces céréalières. Thèse de Magister, E.N.S.A, El-Harrach, Alger, 110 p.

- **Takacs T., Voros I. (**2003) Role of arbuscular mycorrhizal fungi in the water and nutrient supplies of the host plant. Novenytermeles, 52: 583-593.

- **Tarafdar JC, Rao AV** (1997) Response of arid legumes to VAM fungal inoculation. *Symbiosis* 22: 265- 274.

- **Theodore M**. (2004) "Ted" Barkley:The Flora of North America Board.

- **Thoen D, Bâ AM** (1989) Ectomycorrhizas and putative ectomycorrhizal fungi of *Afzelia africana* Sm. And *Uapaca guineensis* Müll Arg. in southern Senegal. *New Phytologist* 113: 549-559.

- **Thoen D, Ducousso M** (1989) Champignons et ectomycorhizes du Fouta Djalon. *Bois et Forêts des Tropiques* 221: 45-63.

- **Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S** (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.

- **Tilman D, Wedin D, Knops J** (1996) Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379: 718-720.

- **Tisdall JM, Oades JM** (1979) Stabilization of soil aggregates by the root systems of rye grass. *Australian Journal of Soil Research* 17: 429-441.

- **Trappe J.M.** (1977) Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation nurseries. Annual Review of Phytopathology 15: 203-222.

- **Trouvelot A., Kouch J., Gianinazzi-Pearson V**. (1986) Les mycorhizes, physiologie et génétique, INRA, pp. 217–221.

- **Trouvelot S, van Tuinen D, Hijri M, Gianinazzi-Pearson V** (1999) Visualization of ribosomal DNA loci in spore interphasic nuclei of glomalean fungi by fluorescence in situ hybridization. Mycorrhiza 8:203–206.

U

- **Urcelay C, Diaz S** (2003) The mycorrhizal dependence of subordinates determines the effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant diversity. *Ecology Letters* 6: 388-391.

- **Vainio, E.J., Hantula, J**.(2000) Direct analysis of wood-inhabiting fungi using denaturing gradient gel electrophoresis of amplified ribosomal DNA. Mycological Research 104, 927–936.

V

- **Van der Heijden MGA, Boller T, Wiemken A, Sanders IR** (1998) Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology* 79: 2082-2091, 396, 69-72.

- **Van Tuinen D, Jacquot E, Zhao B, Gianinazzi-Pearson V** (1998b) Characterization of root colonization profiles by a microcosm community of arbuscular mycorrhizal fungi using 25 S rDNAtargeted nested PCR. Mol Ecol 7 :879–887.

- **Van Tuinen D, Zhao B, Gianinazzi-Pearson V** (1998a) PCR in studies of AM fungi: from primers to application. In: Varma A (ed) Mycorrhiza manual, Springer, Heidelberg, pp 387–399.

- **Vandenkoornhuye P, Husband R, Daniell TJ, Watson IJ, Duck JM, Fitter AH, Young JPW** (2002) Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem. *Molecular Ecology* 11: 1555-1564.

W

- **Walker, C.,** 1983 Taxonomic concepts in the Endogonaceae. I. Spore wall characteristics in species description. Mycotaxon 18: 443-455.

- **Warren A, Sud YC, Rozanov B** (1996) The future of deserts. *Journal of Arid Environments* 32: 75-89.

- **Waters J.R., McKelvey K.S., Zabel C.J. & Oliver W.W.** (1995) The effects of thinning and broadcast burning on sporocarp production of hypogeous fungi. Canadian Journal of Forest Research 24: 1516-1522.

- **West HM** (1996) Influence of arbuscular mycorrhizal infection on competition between *Holcus lanatus* and *Dactylis glomerata*. *Journal of Ecology* 84:429-438.

- **Wetzel P.R.; Vandervalk A.G.(**1996) Vesicular-arbuscular mycorrhizae in prairie pothole wetland vegetation in Iowa and north Dacota. Can.J. Bot., 74(6): 883-890.

- **Wilson SD, Gerry AK** (1995) Strategies for mixed-grass prairie restoration: herbicide, tilling, and nitrogen manipulation. *Restoration Ecology* 3: 290-298.

- **Wolfe BE, Klironomos JN** (2005) Breaking New Ground: Soil Communities and Exotic Plant Invasion. *BioScience* 55: 477-487.

- **Wright SF, Upadhyaya A** (1998) A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant & Soil* 198: 97-107.

Y

- **Yao Q, Li XL, Ai WD, Christie, P** (2003) Bi-directional transfer of phosphorus between red clover and perennial ryegrass via arbuscular mycorrhizal hyphal links. *European Journal of Soil Biology* 39: 47-54.

Z

- **Zapata F, Roy RN** (2004) Utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable. Bulletin FAO Engrais et Nutrition Végétale N° 13. 151p.

- **Zhanbei Liang, Rhae A. Drijber, Donald J. Lee, Ismail M. Dwiekat, Steven D. Harris, David A. Wedin** (2008) A DGGE-cloning method to characterize arbuscular mycorrhizal community structure in soil: Soil Biology & Biochemistry 40: 956–966.

- **Zobel M, Moora M** (1995) Interspecific competition and arbuscular mycorrhiza : importance for the coexistence of two calcareous grassland species. *Folia Geobotanica Phytotaxon* 30: 223-230.

Annexe n°1 :

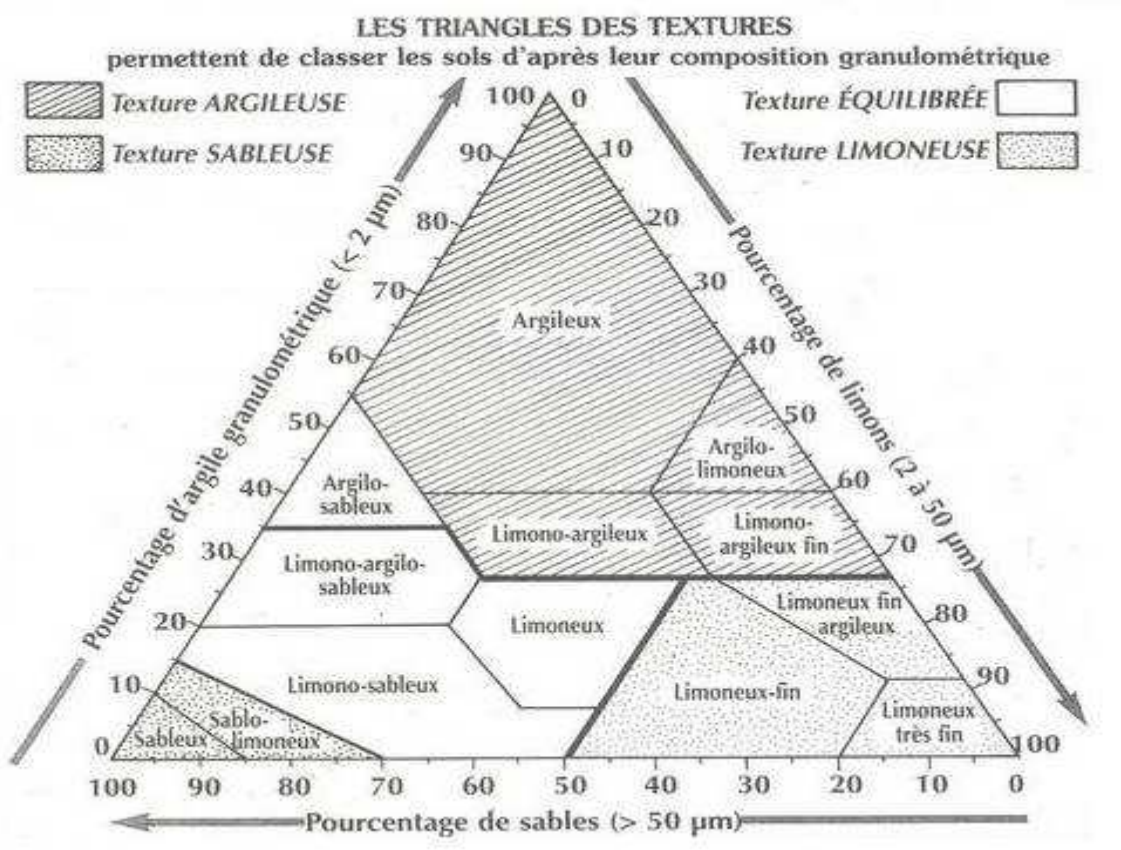
Données GPS de chaque parcelle de la forêt de stidia

Parcelles	Données GPS
1	30 °765056 E 39 66O84 N F ALT 116 T
2	30 °765062 E 39 66144 N F ALT 99 T
3	30 °765016 E 39 66183 N F ALT 70 T
4	30 °765040 E 39 66234 N F ALT 74 T
5	30 °765100 E 39 66248 N F ALT 55 T
6	30 °765125 E 39 66421 N F ALT 91 T
7	30 °765117 E 39 66459 N F ALT 88 T
8	30 °765109 E 39 66483 N F ALT 103 T
9	30 °765086 E 39 66518 N F ALT 95 T
10	30 °765086 E 39 66518 N F ALT 15 T

Annexe n°2

- **Le triangle de texture**

Permet de classer les sols d'après leur composition granulométrique



Annexe n°3

Les normes du pH du sol :(INRA, 1995)

pH	Type de sol
< 3.5	Hyper-acide
3.5 - 5	Très acide
5.0 - 6.5	Acide
6.5 - 7.5	Neutre
7.5 - 8.7	Basique
> 8.7	Très basique

Annexe n°4

Dosage du calcaire actif

Peser 10g de sol séché à l'air, les introduire dans un flacon de 500ml et y ajouter 250ml de la solution d'oxalates d'ammonium (NH4)2 C2O4 à 0.2 N, agiter durant 2h, ensuite filtrer la solution en rejetant les premiers ml du filtrat. Prélever 10ml du filtrat qui seront versés dans un bécher de 100ml, ajouter à ce dernier 10ml de H2SO4AU1/10, porter le contenu du bécher à une température de 60°C, puis placer le bécher sur un agitateur magnétique surmonté d'une burette graduée contenant le permanganate de potassiumKMnO4 en solution décimale, le titrage par le permanganate se fait jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante, soit **n** le nombre de ml de KMnO4 versé.

- Titrer de la même façon 10ml de la solution d'oxalate d'ammonium utilisée, soit N le nombre de KMnO4 versé pour le témoin.
- Dans les 10g de la prise d'essai la quantité de CaCO3 actif (%) est de :

$$CaCO_3 \text{ actif } \% = (N\text{-}n) \times 1.25$$

Annexe n°5

Dosage du carbone et de la matière organique

a- Le taux de carbone

- Utiliser un sol finement broyé et passé au tamis (0.2mm).
- Peser 0.25g de sol, introduire la prise dans un ballon pyrex avec réfrigérant ascendant, ajouter 10ml de solution de bichromate à 8% et 15ml d'acide sulfurique H2SO4 pure.
- Porter à ébullition douce pendant 5min après la chute de la première goutte de condensation.
- Laisser refroidir puis transvaser dans une fiole jaugée de 100ml et ajuster le volume à 100ml avec de l'eau de rinçage du ballon.
- Homogénéiser le contenu de la fiole qui doit être à une température de 20°C puis prélever 20ml de ce liquide.
- Mettre les 20ml dans un bécher en verre ordinaire de 400ml et y ajouter :

· 200 ml d'eau déminéralisée.

· 1.5 g de fluorure de sodium (FNa) en poudre.

· 3 à 4 gouttes de diphénylamine.

- Placer le bécher sur un agitateur magnétique surmonté d'une burette graduée au 1/20 du millilitre.
- Agiter puis titrer l'excès de bichromate avec une solution de Mohr à 0.2N (la couleur passe du bleu foncé au bleu-vert).

- Soit X le volume (ml) de la solution de Mohr versée.
- Le témoin est réalisé avec ou sans sable calcimé. Soit Y le volume de la solution de Mohr versée.
  - Le taux de carbone de l'échantillon est calculé par la formule suivante :

$$C\% = (Y-X) \times 0.615 \times 5 \times (5\times 100)/p$$

P : poids de la prise d'essai.

b- **Le taux de matière organique (MO%)**

Connaissant le taux de carbone, le taux de matière organique est calculé par la formule :

$$MO\% = C\% \times 1.72$$

b-1- **Les normes des taux de matière organique**

Teneur en MO%	Interprétation	
MO < 1,4	Sol très pauvre en matière organique	
1.4 ≤ MO < 2	Sol pauvre en matière organique	
2 ≤ MO < 3	Argile < 22 %	Sol bien pourvu en matière organique
	22 % < Argile< 30%	Sol moyennement pourvu en matière organique
	Argile > 30%	Sol pauvre en matière organique
3 ≤MO < 4	Sol bien pourvu en matière organique	
MO ≥ 4	Teneur élevée en matière organique	

Source : programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie
(http:// www.lano.asso.fr/web/matiere_organique.html)

Annexe n°6

Les normes de salinité du sol

1S/m = 10^4 µS/cm = 10 mS/cm = 10^3 mS/m (Normalisations françaises, AFNOR, 1986)

Salinité (ECe mS/CM)	Salinité du sol	Réponse des plantes
0 à 2	Non salé	Pas d'impact sur la croissance des plantes
2 à 4	Légèrement salé	La croissance des plantes sensibles peut être réduite
4 à 8	Moyennement salé	La croissance de plusieurs plantes est réduite
8 à 16	salé	Bonne croissance des plantes tolérantes au sel
>16	Très salé	Bonne croissance des plantes très tolérantes au sel

Annexe n°7

Interprétations des résultats du dosage selon Olsen, (1954):

La teneur du P assimilable (‰)	Interprétations
<0.05	**Pauvre**
0.05 à 0.08	**satisfaisant**
0.08	**Trop fort**

Annexe n°8

Interprétations des résultats du dosage selon Kjeldahl, 1882

La teneur de l'azote total (‰)	Interprétations
0.5 à1	Trop faible
1 à 1.5	satisfaisant
1.5 à 2.5	Un peu fort
>2.5	Trop fort

Annexe n°9

Prèparation du bleu de trypan à 0,01%

L'eau……1L

Bleu de trypan…… 0.05g

Acide Acétique …… 2 ml

Annexe n°10

Prèparation du Chelex à 20 %

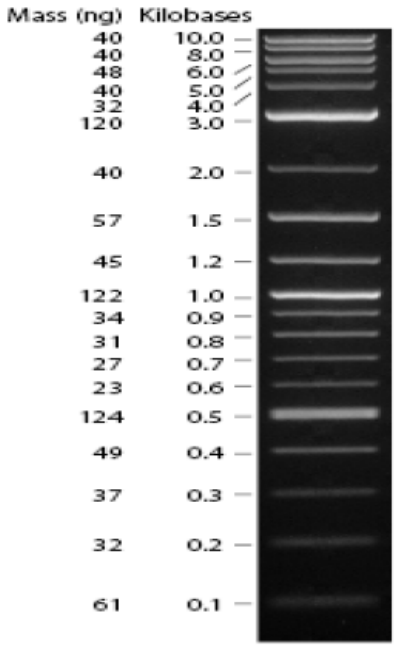
Chelex……..20g

TE buffer……100ml

Annexe n°11

Marqueur de taille de fragment d'ADN

Log DNA Ladder (0.1–10.0 kb)



Fragment	Size (bp)	Mass (ng)
1	10,002	40
2	8,001	40
3	6,001	48
4	5,001	40
5	4,001	32
6	**3,001**	**120**
7	2,017	40
8	1,517	57
9	1,200	45
10	**1,000**	**122**
11	900	34
12	800	31
13	700	27
14	600	23
15a	**517**	**62**
15b	**500**	**62**
16	400	49
17	300	37
18	200	32
19	100	61

Annexe n°12

Suspension de sol (1:10, V:V) : 1g de sol dans 10ml d'eau distillée stérile.

Annexe n°13

Mesure des paramètres de croissance des plants en conditions gnotoxéniques

- ***Traitement de Retama monosperma***

Inc	H (cm)	PF (g)	PS (g)	Nbr F	L GF (cm)
Inc	16,4	0,295	0,078	20	2,2
Inc	10,3	0,125	0,032	15	2,1
Inc	13	0,197	0,054	18	2,7
Inc	8,5	0,108	0,025	14	2
Inc	8,5	0,078	0,017	12	1,9
Inc	7,2	0,056	0,008	10	1,5
Inc	13,7	0,19	0,047	17	2,8
Inc	11,3	0,145	0,044	15	2,4
Inc	9,7	0,094	0,014	14	1,5
Inc	18,7	0,53	0,084	29	2
Inc	15,5	0,297	0,073	23	2,1
Inc	16,5	0,283	0,061	22	2,1
Inc	8,6	0,102	0,022	12	2
Inc	12,5	0,189	0,05	22	1,8
Inc	15,3	0,268	0,069	18	2,5
Inc	10,1	0,132	0,046	20	2,1
Inc	20	0,482	0,084	26	2
Inc	10,4	0,111	0,029	13	2,2
Inc	13,4	0,149	0,051	20	2,1
Inc	6,5	0,086	0,014	12	1,4
Inc	10,7	0,11	0,025	16	1,9
Inc	10,9	0,127	0,042	20	1,7
Inc	11,8	0,095	0,03	14	2
Inc	10,2	0,08	0,025	16	1,8
Inc	7,1	0,056	0,005	14	1,5
Inc	8,7	0,071	0,015	8	1,7

Tém	H (cm)	PF (g)	PS (g)	Nbr F	L GF (cm)
Tém	2,8	0,012	0,002	8	0,7
Tém	4,5	0,022	0,006	14	0,8
Tém	2,9	0,016	0,003	10	0,8
Tém	3,9	0,026	0,005	10	1,2
Tém	3	0,009	0,002	10	0,6
Tém	3,7	0,016	0,004	10	1,2
Tém	2,2	0,015	0,002	10	0,8
Tém	5	0,043	0,011	14	1,5
Tém	2,8	0,025	0,006	10	1,1
Tém	1,9	0,01	0,005	6	0,8
Tém	2	0,012	0,003	6	1,1
Tém	1,7	0,008	0,003	6	0,7
Tém	2	0,01	0,002	10	0,7
Tém	2,6	0,014	0,003	10	0,8
Tém	0,7	0,009	0,002	7	0,7
Tém	2,6	0,014	0,004	10	0,9
Tém	1	0,006	0,001	8	0,6
Tém	4,5	0,022	0,005	12	0,9
Tém	3,3	0,016	0,002	12	0,9
Tém	2,7	0,01	0,002	10	0,8
Tém	1,9	0,015	0,003	8	1
Tém	2,4	0,019	0,004	10	1,2
Tém	2	0,009	0,003	10	0,9
Tém	1,8	0,013	0,004	8	0,8
Tém	1,5	0,009	0,002	8	0,8
Tém	1,6	0,006	0,001	10	0,5

- ***Traitement du Titraclinis articulata***

Tém	H (cm)	PF (g)	PS (g)	Nbr F	L GF (cm)
Tém	2,4	0,048	0,014	12	1,5
Tém	3,1	0,034	0,011	12	1,2
Tém	2,1	0,032	0,012	12	1,6
Tém	3,2	0,029	0,01	12	1,1
Tém	2,9	0,075	0,024	14	1,7
Tém	1,6	0,035	0,014	10	1,6
Tém	2,5	0,045	0,016	10	1,6
Tém	3,2	0,019	0,004	11	1,2
Tém	2,4	0,029	0,009	11	1
Tém	1,6	0,021	0,007	8	1,2
Tém	2,5	0,036	0,01	12	1,4
Tém	1,3	0,009	0,005	10	0,8
Tém	2	0,021	0,01	10	0,8
Tém	0,9	0,017	0,007	10	1
Tém	2,2	0,05	0,013	12	1,4
Tém	1,9	0,009	0,006	8	1,8
Tém	2	0,005	0,002	11	0,5
Tém	1,1	0,019	0,009	12	0,6
Tém	2,2	0,006	0,003	8	0,7
Tém	0,8	0,018	0,006	10	0,8
Tém	2	0,007	0,004	10	0,7
Tém	2,8	0,007	0,005	8	1
Tém	2	0,004	0,001	8	0,7
Tém	2,2	0,008	0,003	10	0,8
Tém	2,1	0,02	0,01	12	0,8
Tém	2,7	0,031	0,018	11	1,2
Tém	2,2	0,02	0,007	11	0,8
Tém	3,2	0,029	0,01	12	1,1
Tém	2	0,017	0,006	14	0,8
Tém	2	0,018	0,01	6	1

Inc	H (cm)	PF (g)	PS (g)	Nbr F	L GF (cm)
Inc	4,4	0,166	0,054	16	2,7
Inc	5,1	0,19	0,058	14	3,7
Inc	5	0,245	0,074	20	3,3
Inc	5,2	0,219	0,071	18	2,8
Inc	4,5	0,12	0,037	14	2,8
Inc	4	0,098	0,031	12	3
Inc	3,1	0,093	0,028	16	1,9
Inc	4	0,089	0,029	14	2,1
Inc	4,4	0,072	0,021	14	2
Inc	4,5	0,1	0,03	16	2,7
Inc	3,1	0,074	0,02	14	2,5
Inc	2,8	0,109	0,032	14	3
Inc	3,6	0,068	0,023	14	3,7
Inc	4,7	0,041	0,013	14	1,9
Inc	3,4	0,05	0,017	14	1,8
Inc	2,5	0,035	0,01	10	1,6
Inc	3,4	0,033	0,013	14	1,7
Inc	2,5	0,03	0,011	12	1,5
Inc	2,8	0,03	0,008	10	2
Inc	2,3	0,043	0,011	12	1,3
Inc	3,3	0,025	0,009	12	1,4
Inc	2,8	0,033	0,009	10	1,3
Inc	3,4	0,096	0,027	14	2,4
Inc	3,2	0,044	0,017	14	1,3
Inc	2,7	0,057	0,018	14	1,6
Inc	3,4	0,044	0,017	14	1,6
Inc	3,3	0,054	0,016	12	1,7
Inc	2,2	0,035	0,011	12	1,1
Inc	3,5	0,065	0,02	14	2,2
Inc	3,2	0,052	0,016	14	1,4

- Inc : Inoculé.

-Tém : Témoin.

ANALYSES DE VARIANCE (ANOVA)

Analyse de variance à un facteur de développement (inoculation) pour la variable **: Hauteur de la partie aérienne des plants (cm).**

Effet	SC	dl	MC	F	P	Valeur critique pour F	Signification
Inter groupes	62.25	1	62.25	10.2548999	0.000002358	2.00002548	S
Intra groupe	124.12	29	2.536587412				
Total	186.37	30					

Analyse de variance à un facteur de développement (inoculation) pour la variable **: Nombre de feuilles.**

Effet	SC	dl	MC	F	P	Valeur critique pour F	Signification
Inter groupes	72.85	1	72.85	10.2154878	0.00000452187	2.00004589312	S
Intra groupe	145.58	29	2.895744212				
Total	218.43	30					

Analyse de variance à un facteur de développement (inoculation) pour la variable **: Poids frais de la partie aérienne (g).**

Effet	SC	dl	MC	F	P	Valeur critique pour F	Signification
Inter groupes	89.32	1	89.32	12.5822211	0.0000058778	3.0000688894	S
Intra groupe	254.10	29	3.25482111				
Total	343.42	30					

Analyse de variance à un facteur de développement (inoculation) pour la variable **: Poids sec de la partie aérienne (g).**

Effet	SC	dl	MC	F	P	Valeur critique pour F	Signification
Inter groupes	75.213	1	75.213	11.5021541	0.00008744512	2.0000654888	S
Intra groupe	174.21	29	2.58422212				
Total	249.42	30					

Résumé

Les régions du pourtour méditerranéen en Algérie sont assujetties à de fortes pressions anthropiques, qui se traduisent par une surexploitation des ressources naturelles et une régression significative des surfaces boisées. Ces altérations du couvert forestier aggravent les processus d'érosion hydrique et éolienne des sols, qui entraînent une dégradation des caractéristiques physico-chimiques et biologiques des horizons superficiels.

Parmi les composantes microbiennes du sol impliquées dans le fonctionnement des principaux cycles biogéochimiques, figurent les champignons mycorhiziens qui sont des microorganismes symbiotiques, ces derniers ont un rôle clé dans l'évolution des écosystèmes terrestres en assurant principalement la pérennité du couvert végétal.

La présence des champignons mycorhiziens a été étudiée sur une formation forestière composée par le pin pignon, le thuya et le genévrier, ce site se trouve en étage semi aride au niveau du littoral de l'Ouest Algérien.

Les examens microscopiques des racines de ces différentes espèces vègètales ont révélés la présence, dans tous les échantillons, des endomycorhizes arbusculaires avec un taux d'infection de 80 %. Le nombre de spores de CMA isolées à partir des différents sols était relativement élevé dans les dix parcelles de dégradation. Toutes les spores appartiennent à l'ordre des glomineae. Les caractères morphologiques indiquent que les populations de spores comportent 10 morphotypes de petites et de grandes tailles, du genre *Glomus*, et quelques *accaulosporas et gigasporas* sont détectés

Le taux de mycorhization des plants inoculés par le complexe mycorhizien est élevé ; les endomycorhizes récoltés à partir de la forêt de stidia possèdent un fort pouvoir mycorhizogène qui leur permet de coloniser facilement les racines de leurs plantes hôtes.

Des hyphes et des cordons mycéliens des ectomycorhizes sur les racines du Pin, ont été détectées après une bonne période pluvieuse, et le taux d'infection été de 40%. Les fructifications de ces ectomycorhizes sous cet arbre, ont révélés trois espèces: ***Suillus granulatus, Russula. sp, Lactarius sp.***

Mots clés *: Sols dégradés, symbiose mycorhizienne, mycorhizes à arbuscules, Glomus, ectomycorhizes, carpophores.*

ملخص

إن مناطق دائرة البحر الأبيض المتوسط الساحلية في الجزائر, خاضعة لضغط قوي في التضاؤل(تأثير الإنسان السلبي في هده المناطق) يتمثل دلك في الاستغلال المفرط للموارد الطبيعية، مما يؤدي إلى تراجع ملحوظ في المساحات المكسوة بالغابات.

هدا التغيير السلبي في الغطاء النباتي يشدد بروز حث و انجراف التربة بواسطة الماء و الرياح. مما يؤدي إلى تضاؤل متميز للعناصر الفزيوكميائية و البيولوجية للأفاق السطحية.

من بين المركبات الميكروبية للتربة المحصورة في توظيف الحلقات البيوجيوكميائية الأساسية، توجد الفطريات الممكرزة التي هي بدورها مجهريات عضوية متعايشة. هده الأخيرة لها دور هام في تطور الأنظمة البيئية حيت تؤمن أساسا لبقاء الغطاء النباتي.

وجود الفطريات الممركزة درست في تشكل غابي مركب من الصنوبر المظلي و التويا و العرعار، هدا الموقع يتواجد في طبقات أرضية أو ترابية شبه قاحلة على مستوى الساحل الغربي الجزائري.

الفحوصات المجهرية لعينات من الجذور لمختلف هده الأنواع النباتية، أعلنت عن وجود مكرزة داخلية شجيرية وعائية بنسبة تقدر ب 80 بالمائة. عدد الابواغ (ف م ش) المعزولة من مختلف الاتربة كان نسبيا مرتفعا في القطع المتضائلة العشرة لغابة ستيديا. أغلبية هده الابواغ تنتمي إلى صنف الغلومنيا.

التصاميم المرفولوجية تبين تجمعات الابواغ التي تشتمل على عشر تشكيلات نوعية كبيرة و صغيرة من صنف *الغلوميس* ، و بعض الاكولوسبورا و الجيغاسبورا.

المكرزة الداخلية المقتطفة من غابة ستيديا تملك قدرة كبيرة في الإصابة التمكرزية، مما يسمح لها بسهولة استعمار جذور النباتات المضيفة.

هيفات و جبال الميسليوم للمكرزات الخارجية حول جذور الصنوبر اكتشفت بعد مدة ممطرة جد معتبرة و نسبة دلك كانت 40 بالمائة. إن إثمار المكرزة الخارجية تحت هده الشجرة (الصنوبر) بينت لنا ثلاث أنواع ؛

Suillus granulatus, Russula. sp, Lactarius

الكلمات المفتاحية؛ أراضي متضائلة ، تعايش ممكرزي ، مكرزة داخلية شجيرية ، *الغلوميس*، مكرزة خارجية، فطر.

Management and valorization of telluric symbiotic community for the long standing rehabilitation of sand career in the west of Algeria

Summary

The regions surrounding the Mediterranean sea are subjected to severe human pressures that have resulted in overexploitation of natural resources and a significant decline in wooded areas. Diminishing woodland cover is worsening soil erosion processes, which in turn are degrading the physical, chemical and biological characteristics of the upper soil horizons.

This process of erosion and degradation of vegetable cover reduced the composition and the functional diversity of the telluric microorganisms (mycorrhizal fungi and bacteria). The symbiotic micro-organisms arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are among the microbial soil components implied in the principal biogeochemical cycles,. On the other hand they have a key role in the evolution of the terrestrial ecosystems by ensuring mainly the perennial vegetable cover.

A survey of arbuscular mycorrhizal fungi (AM) was conducted on a forest formation composed by ***Pinus pinea***, ***Titraclinis articulata***, and ***Juniperus thurifera***, this formation is situated in a semi arid region, in the area of Mostaganem, in wetern Algeria.

Microscopic analysis of the mycorrhizal status of woodlands roots revealed that all samples formed only AM with 80% infection level, the number of AM fungal spores detected in field-collected soils was relatively high. All recovered spores belonged to the Glomineae order, represented by *Glomacea*e families. The morphological characters indicated that the spore populations consisted in 10 morphotypes, included small and large spores of *Glomus* genus, and some accaulosporas gigasporas are detected.

The mycorrhization rate of plant inoculated with mycorrhizal complex is high; endomycorrhizae harvested from the forest have a strong Stidia mycorrhizal power that allows them to easily colonize the roots of their host plants.

Hyphae and mycelial strands of ectomycorrhizal roots of pine, were detected after a good rainy season, and the infection rate was 40%. The fruiting bodies of the ectomycorrhizal under this tree have revealed three species: Suillus granulatus, Russula. sp, Lactarius sp.

Key words: Degraded soils, mycorrhizal symbiosis, arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus*, ectomycorrhizae.

Résumé

Les régions du pourtour méditerranéen en Algérie sont assujetties à de fortes pressions anthropiques, qui se traduisent par une surexploitation des ressources naturelles et une régression significative des surfaces boisées. Ces altérations du couvert forestier aggravent les processus d'érosion hydrique et éolienne des sols, qui entraînent une dégradation des caractéristiques physico-chimiques et biologiques des horizons superficiels. Parmi les composantes microbiennes du sol impliquées dans le fonctionnement des principaux cycles biogéochimiques, figurent les champignons mycorhiziens qui sont des microorganismes symbiotiques, ces derniers ont un rôle clé dans l'évolution des écosystèmes terrestres en assurant principalement la pérennité du couvert végétal. La présence des champignons mycorhiziens a été étudiée sur une formation forestière composée par le pin pignon, le thuya et le genévrier, ce site se trouve en étage semi aride au niveau du littoral de l'Ouest Algérien.Les examens microscopiques des racines de ces différentes espèces vègètales ont révélés la présence, dans tous les échantillons, des endomycorhizes arbusculaires avec un taux d'infection de 80 %. Le nombre de spores de CMA isolées à partir des différents sols était relativement élevé dans les dix parcelles de dégradation. Toutes les spores appartiennent à l'ordre des glomineae. Les caractères morphologiques indiquent que les populations de spores comportent 10 morphotypes de petites et de grandes tailles, du genre *Glomus*, et quelques *accaulosporas et gigasporas* sont détectés Le taux de mycorhization des plants inoculés par le complexe mycorhizien est élevé ; les endomycorhizes récoltés à partir de la forêt de stidia possèdent un fort pouvoir mycorhizogène qui leur permet de coloniser facilement les racines de leurs plantes hôtes. Des hyphes et des cordons mycéliens des ectomycorhizes sur les racines du Pin, ont été détectées après une bonne période pluvieuse, et le taux d'infection été de 40%. Les fructifications de ces ectomycorhizes sous cet arbre, ont révélés trois espèces: ***Suillus granulatus, Russula. sp, Lactarius sp.***

Mots clés *:*

Sols Dégradés; Symbiose Mycorhizienne; Mycorhizes A Arbuscules; Glomus; Glomèromycètes; Réhabilitation Revègétalisation ; Ectomycorhizes; Carpophores; Hyphes; PCR Nested .