

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département d'Ecologie et Environnement



Filière : Ecologie et Environnement
Spécialité : Biodiversité et Ecologie Végétale

Mémoire de fin d'étude En Vue de l'Obtention Du Diplôme de Master

Thème

**Contribution à l'étude de la diversité fongique dans un sol
sous arganier de la région de Touiref Bouam (Tindouf) En
Algérie**

Présenté par : HARANI Randa et ZATOOUT Zakia

Le : 28/09/2025

Devant le jury :

Présidente : Mme METNA F.

MCA UMMTO

Promotrice : Mme SAADOUN N.

Pr UMMTO

Co-promotrice : Melle MECHIAH F.

Docteur

Examinatrice : Melle BERRACHED R.

MCA UMMTO

Année universitaire : 2024/2025

Remerciement



Avant toute chose, nous souhaitons adresser notre profonde reconnaissance à Dieu, le Tout-Puissant, qui nous a accordé la santé, la force et la détermination nécessaires pour entreprendre et achever ce mémoire. Sans Sa grâce, ce projet n'aurait pu aboutir.

Nous exprimons notre gratitude sincère à notre encadrante, Madame Saadoun N, pour son soutien constant, sa patience inébranlable et ses conseils éclairés tout au long de ce travail.

Nous remercions également Madame Berrached R, notre examinatrice, pour le temps qu'elle a consacré à l'évaluation de ce travail.

Nos remerciements vont aussi à Madame Metna F, Présidente du jury, pour sa présence honorable et son rôle déterminant lors de la soutenance.

Enfin, nous tenons à remercier chaleureusement toutes les personnes qui nous ont soutenus, directement ou indirectement, durant cette étape importante. À nos familles, amis et collègues, merci pour votre patience, votre encouragement et votre compréhension, qui ont été des piliers indispensables tout au long de ce parcours.

À tous, nous adressons notre plus profonde gratitude.



Dédicace



À mes chers parents, pour leur amour inébranlable, leur soutien sans faille et les sacrifices qu'ils ont consentis afin de m'offrir les meilleures conditions pour avancer dans mes études. Leur confiance et leurs encouragements ont été un pilier fondamental dans la réalisation de ce mémoire.

À mon mari, pour sa patience, son appui constant et son accompagnement précieux dans les moments de doute comme dans les instants de réussite. Sa présence a été une source de motivation et de sérénité tout au long de ce parcours.

À ma sœur et à mes frères pour leur affection sincère et leur soutien moral qui m'ont toujours portée et encouragée à persévérer.

À mon cher binôme Zakia, pour sa collaboration loyale, son esprit d'entraide et sa disponibilité, qui ont enrichi cette expérience de travail en commun.

*À ma cousine **Katia**, pour ses encouragements chaleureux et son soutien fidèle, qui m'ont grandement aidée à garder confiance en moi.*

Enfin, à toute la famille Oudjebara, pour leur présence bienveillante et leur solidarité, qui ont contribué à créer un environnement propice à la réussite.

À vous tous, j'adresse ma profonde gratitude et je dédie ce mémoire avec tout mon respect et mon affection.



Randa.

Dédicace



Je dédie ce travail, fruit de plusieurs années d'efforts et de persévérance, à mes parents bien-aimés.

*À ma mère, source infinie d'amour de tendresse et de prières silencieuses.
À mon père, pilier de sagesse et de force, qui n'a jamais cessé de croire en moi.
Votre soutien, vos sacrifices et vos encouragements m'ont porté jusqu'ici. Ce mémoire est le reflet de votre dévouement et de tout ce que vous m'avez transmis. Merci pour l'éducation, les valeurs et l'amour inconditionnel.*

Je dédie également ce mémoire :

À ma grande sœur, ma confidente, mon modèle. Ton amour et ta présence m'ont toujours guidée. Merci d'avoir été là dans les moments de doute comme dans ceux de joie.

À ma deuxième sœur, pour ta tendresse, ton humour, et ton soutien discret mais essentiel.

À mes chers frères, pour vos mots simples, votre affection sincère et votre présence rassurante.

À mon précieux binôme, pour cette complicité, cette entraide et cette belle aventure partagée. Merci pour ta bienveillance et ta détermination.

À tous mes amis, pour leur amitié sincère, leurs encouragements, leurs conseils, et leur soutien tout au long de ce parcours.

À toutes celles et ceux qui ont cru en moi, de près ou de loin ; ce mémoire vous est dédié.



Zakia.

Liste des figures

Figure 1 : schéma illustrant les trois zones de la rhizosphère (Lynch, 1983 ; Lepinay, 2015)..	5
Figure 2 : structure de l'hyphe. (A) hyphe coenocytique, (B) hyphe cloisonné	9
Figure 3 : reproduction sexuée et asexuée chez les Mycètes (Deacon, 2005).	10
Figure 4 : morphologie générale des chytrides. A, schéma d'un thalle de chytride B, microphotographie à contraste de phase d'un thalle du chytride du rumen, <i>Neocallimastix</i> sp, C, le même champ de vision qu'en B, mais cette fois avec coloration par fluorescence au DAPI (4'-6-diamidino-2-phénylindole).....	14
Figure 5 : caractéristiques macroscopiques et microscopiques de l'isolat <i>Mucor hiemalis</i> f. <i>luteus</i> (França, 2022).....	15
Figure 6 : Observation microscopique de spores de Glomeromycota associées à des hyphes (Smith, S.E. et Read, D.J.,2008)	16
Figure 7: cycle de développement de <i>Morchella esculenta</i> (Raven et al., 2007).	17
Figure 8 : <i>Penicillium brevicompactum</i> . (A) : Micrographie d'un conidiophore mûr coloré avec du bleu de coton ; (B) : Dessin de conidiophore et de conidies) (Peterson et al., 2004).	18
Figure 9 : observation microscopique des conidiophores d' <i>Aspergillus</i> ; (L, O) : <i>Aspergillus sloanii</i> (10 µm) ; (M, N) : <i>Aspergillus ochraceus</i> (10 µm) (Samsone et al., 2014).	18
Figure 10: cycle de développement d'un Basidiomycota (Raven et al., 2017).....	19
Figure 11: Aspect général de l'arganier (A) et de ses tiges entrelacées (B) (Ziani, 2014).	23
Figure 12: Feuille de l'arganier (Kechebar, 2016).....	24
Figure 13: fleur de l'arganier (Kechebar, 2016).....	25
Figure 14: fruits de l'arganier (El Monfaloutia et al., 2013).....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 15: localisation de l'Arganeraie algérienne (Kaabeche et al., 2010).....	26
Figure 16 : aire de répartition de l'arganier de Tindouf (Kechairi, 2009).....	26
Figure 17: situation géographique de la wilaya de Tindouf (Ould Safi, 2013).....	30
Figure 18: diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1991-2021).	32
Figure 19 : sol sous arganier de la station d'étude Touref Bou-Âam.	33
Figure 20 : technique des suspension-dilutions (Rapilly, 1968).	37
Figure 21: histogramme des abondances (%) des genres fongiques recensés pour chaque sujet.	43

Figure 22: observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) du genre <i>Penicillium</i>	44
Figure 23: observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) du genre <i>Cladosporium</i>	45
Figure 24: observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) du genre <i>Neoscytalidium</i>	46
Figure 25: observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) d' <i>Aspergillus nidulans</i>	46
Figure 26: observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) de <i>Curvularia</i>	47
Figure 27: Observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) du genre <i>Eupenicillium</i>	48
Figure 28: Analyse en composantes principales du cortège fongique du sol sous arganier. ...	53
Figure 29: Analyse en composantes principales des relations entre communautés fongiques et paramètres physicochimiques des sols sous arganier.....	54
Figure 30: Distribution comparative de la dominance de <i>Penicillium</i> et de la diversité des genres fongiques dans différents écosystèmes méditerranéens.....	56

Liste des tableaux

Tableau 1 : nombre de microorganismes du sol sur une profondeur de 0 à 15 cm (Hoorman et Islam, 2010).....	7
Tableau 2 : Systématique de l'arganier (APG IV, 2016).	22
Tableau 3: Températures moyennes mensuelles (en °C) enregistrées dans la région de Tindouf durant la période 1991-2021 (https://fr.climate-data.org/).....	31
Tableau 4: précipitations mensuelles moyennes dans pour la région de Tindouf pendant la période allant de 1991 à 2021 (https://fr.climate-data.org/).....	31
Tableau 5: positionnement des sujets étudiées (Aci, 2014).	33
Tableau 6: texture des sols étudiés (Aci, 2014).	34
Tableau 7 : pH, taux de matière organique (MO) et de calcaire total des sols sous arganiers (Aci, 2014).	35
Tableau 8: abondance des genres fongiques isolés à partir des sols sous arganier.....	41
Tableau 9 : abondances (%) des genres fongiques recensés au niveau des différents sujets... ..	42
Tableau 10: analyse de la variance des champignons du sol sous arganier.	48
Tableau 11: Matrice de corrélation des genres fongiques présents au niveau du sol sous arganier.....	49
Tableau 12 : Matrice de corrélation entre l'abondance des genres fongiques et les paramètres physico-chimiques du sol	51
Tableau 13: Variation de l'abondance de genre <i>Penicillium</i> et la diversité fongique en fonction des espèces végétales.	56

Sommaire

Introduction	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre I : Les champignons du sol	3
1. Sols des zones arides.....	4
2. Rhizosphère dans les zones arides	4
3. Champignons de la rhizosphère	8
3.1. Thalle des champignons	9
3.2. Reproduction des champignons	9
3.2.1. Reproduction asexuée	10
3.2.2. Reproduction sexuée	10
3.3. Conditions de croissance des champignons.....	11
3.3.1. Influence du pH.....	11
3.3.2. Importance de l'oxygène	11
3.3.4. Rôle de l'humidité	12
3.4. Classification	13
3.4.1. Chytridiomycota.....	13
3.4.2. Mucoromycota	14
3.4.3. Glomeromycota.....	15
3.4.4. Ascomycota.....	16
3.4.5. Basidiomycota.....	18
3.5. Rôles des champignons dans le sol.....	20
Chapitre II : Présentation d'Argania spinosa (L.) Skeels	21
1. Introduction	22
2. Classification.....	22
3. Description botanique de l'arganier	23
3.1. Système racinaire.....	23
3.2. Tronc.....	23
3.3. Feuilles.....	24
3.4. Fleurs	24
3.5. Fruits	Erreur ! Signet non défini.
4. Distribution géographique de l'arganier en Algérie.....	26
5. Ecologie de l'arganier	27
5.1. Exigences bioclimatiques	27
5.2. Exigences édaphiques.....	27
6. Utilisation de l'arganier.....	27
6.1. Utilisation du bois.....	27
6.2. Utilisation en médecine traditionnelle	28
6.3. Utilisation en cosmétique	28
6.4. Utilisation en élevage	28
6.5. Utilisation alimentaire	28
Chapitre III: Matériels et Méthodes	29
1. Description de la zone d'étude.....	30

2. Bioclimat de la zone d'étude.....	30
2.1. Température.....	31
2.2. Pluviométrie.....	31
2.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson	32
3. Echantillonnage.....	33
4.1. Texture.....	34
4.2. Caractéristiques chimiques des sols sous-arganiers	34
5. Manipulations au laboratoire	35
5.1. Préparation du milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar)	35
5.1.1. Composition	35
5.1.2. Préparation	36
5.2. Technique de suspension-dilutions.....	36
5.3. Prélèvement des isolats fongiques	37
5.4. Identification des isolats fongiques	37
5.4.1. Identification macroscopique.....	37
5.4.2. Identification microscopique	38
6. Analyse statistique.....	38
Chapitre IV: Résultats et discussios	40
1. Diversité et abondance des genres fongiques présents dans les sols sous arganier	41
2. Abondance des genres fongiques recensés par sujet échantillonné	42
3. Description des genres recensés	43
3.1. Penicillium.....	43
3.2. Cladosporium.....	44
3.3. Neoscytalidium	45
3.4. Aspergillus nidulans	46
3.5. Curvularia	47
3.6. Eupenicillium.....	47
4. Analyse statistique.....	48
4.1. Analyse de la variance	48
4.2 Matrice de corrélation des genres fongiques recensés dans le sol sous arganiers de la région de Touiref Bou Aam.....	49
4.2. Analyse en composantes principales (ACP).....	52
5. Comparaison de la corrélation entre l'abondance du genre Penicillium et la diversité fongique associées à différentes espèces végétales.....	55
Conclusion Générale	58
Références Bibliographiques.....	61
résumé	82

Introduction

L'aridité constitue l'un des défis majeurs pour les écosystèmes en Afrique du Nord, en particulier en Algérie, où environ 95 % du territoire est classé comme zone aride ou hyperaride (Halitim, 1988). Dans ces régions extrêmes, le sol se caractérise par une pauvreté en matière organique, une texture souvent sableuse et une faible capacité de rétention d'eau et de nutriments (Aubert, 1960 ; Aci, 2020). Malgré ces conditions contraignantes, certaines espèces végétales ont développé des stratégies d'adaptation remarquables.

Parmi les espèces les plus emblématiques de ces milieux figure *Argania spinosa* (L.) Skeels, arbre endémique du sud-ouest algérien, notamment dans la wilaya de Tindouf. L'arganier est reconnu non seulement pour son intérêt écologique et économique, mais aussi pour sa résilience exceptionnelle face à la sécheresse, notamment grâce à un système racinaire profond et une plasticité morphologique et physiologique (Msanda et al., 2007 ; Kechairi, 2018). Outre ses nombreux usages traditionnels, l'arganier joue un rôle central dans la lutte contre la désertification, en stabilisant les sols et en soutenant la biodiversité locale.

Dans ce contexte écologique fragile, les champignons du sol et plus précisément ceux de la rhizosphère, jouent un rôle fondamental. Ces organismes assurent des fonctions écologiques majeures telles que la dégradation de la matière organique, la structuration du sol et surtout la mise à disposition des éléments nutritifs, via les symbioses mycorhiziennes (Smith & Read, 2008). Dans les zones arides, ces interactions souterraines sont souvent déterminantes pour la survie des plantes (Tifoura, 2023), notamment en compensant les déficits nutritionnels et hydriques.

Les travaux menés dans le cadre de la thèse de doctorat de Aci (2020) ont permis de caractériser pour la première fois les sols rhizosphériques sous arganiers dans la région de Touiref Bou Aam (Tindouf), mettant en évidence une texture sableuse à sablo-limoneuse, un pH généralement basique et un taux de matière organique très faible.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail, mené au sein du laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. L'étude a consisté à isoler, cultiver et identifier les champignons présents dans les sols rhizosphériques d'arganiers de Touiref Bou Aam. Une approche culturale et morphologique (macro et microscopique) a été adoptée, permettant de mieux comprendre la diversité fongique dans ce milieu extrême et de discuter son implication possible dans l'adaptation de l'arganier.

Le contenu de ce mémoire est structuré en quatre chapitres principaux.

- Le chapitre 1 présente une revue bibliographique concernant le contexte écologique, biologique et fonctionnel des champignons dans les sols arides, en insistant sur leur diversité, leurs modes de vie (saprophyte, symbiotique) et leur importance dans la rhizosphère.
- Le chapitre 2 est consacré à une synthèse bibliographique concernant les aspects botanique et écologique de l'arganier, mettant en lumière ses adaptations morphologiques, physiologiques et racinaires qui lui permettent de survivre dans les zones sèches.
- Le chapitre 3 décrit la zone d'étude, à savoir : Touiref Bou Aam, avec les caractéristiques climatiques et édaphiques locales, ainsi que les techniques d'isolement, de culture et d'identification des champignons utilisées dans ce travail.
- Le chapitre 4 présente et interprète les résultats obtenus, en mettant en relation la diversité observée avec les conditions édaphiques et climatiques de la région.

Chapitre 1

Les champignons du sol

1. Sols des zones arides

En Algérie, la surface aride est de 95% de notre territoire national, 89,5% correspondant au domaine hyperaride (saharien) (Halitim, 1988). Selon Mathieu (2009), l'aridité peut être définie comme un manque de pluie structurelle, par rapport aux besoins en eau nécessaires pour soutenir la végétation potentielle, en tenant compte des conditions thermiques de la latitude concernée.

Elle est également influencée par d'autres paramètres climatiques, tels qu'une forte insolation, des températures élevées, une faible humidité de l'air et une évapotranspiration élevée. Plus le déficit en eau est important, plus l'aridité est marquée (Middleton & Thomas, 1997).

Selon Halitim (1985), le développement des sols est en grande partie dépendant des conditions climatiques, principalement dans les zones arides. Dans les Hautes Plaines steppiques algériennes, le climat est sec, ce qui limite les processus pédogénétiques tels que l'hydrolyse et la décomposition des roches mères. Cela entraîne une évolution lente des sols, caractérisée par une forte concentration de sels solubles, qui influencent leur morphologie et leur comportement. Selon Aubert (1960), ces sols montrent une profondeur généralement réduite. La matière organique y est soit très peu abondante et concentrée en surface, soit légèrement plus présente, mais répartie de manière diffuse dans le profil. La structure du sol y est peu marquée, avec des éléments minéraux faiblement altérés et des colloïdes argileux relativement stables. Les éléments solubles, quant à eux, ont tendance à se concentrer en surface ou à être partiellement lessivés, formant des accumulations à divers niveaux du profil, parfois sous forme de nodules ou de croûtes calcaires, gypseuses ou salines. Ces sols sont très souvent calcaires et fréquemment salés, ce qui reflète les conditions extrêmes et la faible dynamique de renouvellement des éléments nutritifs dans ces environnements.

2. Rhizosphère dans les zones arides

Elle correspond à la fine couche de terre entourant les racines absorbantes, dont les caractéristiques sont profondément modifiées par l'activité racinaire. Elle se distingue du sol environnant par des écarts sensibles de pH et de potentiel redox, d'une matière organique plus riche et diversifiée et enfin d'une activité biologique intense, se traduisant en particulier par une teneur élevée en CO₂ (Darrach, 1993 *in* Duchaufour, 2001). La rhizosphère est une zone vitale et dynamique, caractérisée par les interactions entre les exsudats racinaires et les

microorganismes. Elle abrite une grande diversité de microorganismes tels que des bactéries, des champignons, des protozoaires et des algues, qui cohabitent et interagissent dans cet environnement (Bell-Perkins & Lynch, 2002 ; Mwajita *et al.*, 2013).

La rhizosphère peut être divisée en trois zones distinctes (Figure 1). L'endorhizosphère englobe certaines parties du cortex et de l'endoderme, où les microbes et les cations peuvent occuper les espaces intercellulaires. Ainsi, les interactions entre la plante et les microorganismes se produisent à l'intérieur des racines. Le rhizoplan correspond à la zone médiane, directement adjacente à la racine, comprenant le revêtement racinaire et le mucilage (Limam, 2015). Elle se caractérise par une activité bactérienne élevée, souvent 10 à 1 000 fois supérieure à celle du sol environnant, due aux exsudats racinaires qui fournissent des nutriments aux microbes (Lugtenberg & Bloemberg, 2004 ; Poole, 2017). Le rhizoplan joue un rôle crucial dans le cycle des nutriments et les interactions entre les plantes et les microorganismes. Certains taxons microbiens y sont spécifiquement présents, contribuant ainsi à améliorer la santé des plantes (Zhang *et al.*, 2017). L'ectorhizosphère est la zone du sol située autour de la surface des racines (Lugtenberg & Bloemberg, 2004). Elle est chargée de l'échange de nutriments et de la colonisation par les microorganismes et elle contribue de manière significative à la croissance des plantes et à la qualité du sol (Bashir *et al.*, 2016).

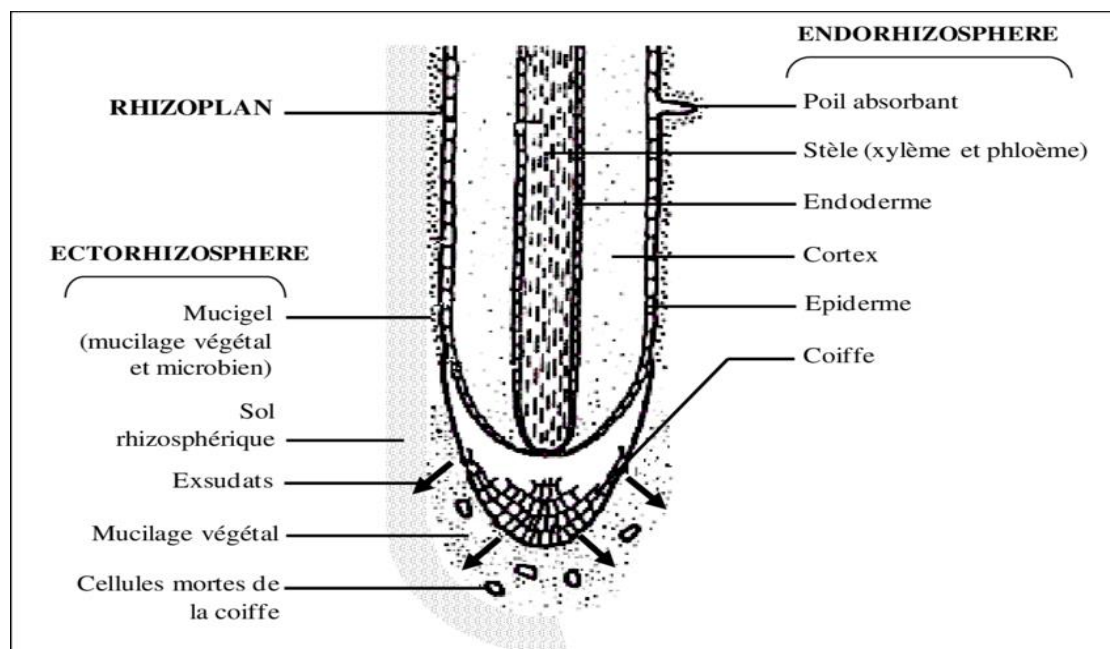


Figure 1 : schéma illustrant les trois zones de la rhizosphère (Lynch, 1983 ; Lepinay, 2015).

Les recherches effectuées au laboratoire "Ressources Naturelles" de l'Université Mouloud Mammeri sur les sols rhizosphériques des dayas à pistachiers de l'Atlas ont permis de décrire plusieurs caractéristiques physicochimiques de ces sols présents en zones arides.

Les échantillons ont été prélevés dans diverses stations réparties sur six régions d'étude : Deguiche (2008) et Bounceur (2009) ont étudié respectivement les dayas de Timzerth et Tilrhent (Laghouat), Limane (2009) la daya d'El Mergueb (M'sila), Bentaleb (2011) la daya de Boucédraia (Djelfa), Amroun (2013) la daya de Timzerth (Laghouat), Boubrima (2014) les dayas de Aiat et Saadi (Laghouat) et enfin Hamitouche (2016), la daya d'El Gouffa (Laghouat). Pour l'ensemble de ces travaux, la texture des sols rhizosphériques est presque entièrement limoneuse, avec des variantes limono-argileuses et sablo-limoneuses. Le pH des sols est généralement basique. En ce qui concerne la teneur en calcaire, les sols sont en général, modérément calcaires. Les sols présentent des teneurs en matière organique faibles.

Pour les sols sous arganiers du périmètre de Touiref Bou Aam à Tindouf, les résultats des caractéristiques physicochimiques des sols sont rapportés par Aci (2020). L'analyse granulométrique des sols sous arganiers révèle une texture allant de sablo-limoneuse à sableuse, dominée par la présence de sables fins avec un pourcentage maximal de 84,92%. Les sables grossiers occupent la deuxième position, avec 30,61%, suivis par les limons grossiers à 7,03%, tandis que les limons fins sont les moins représentés. Cette texture sablo-limoneuse peut s'expliquer par la localisation des échantillons dans les lits d'oueds, où les décantations successives ont favorisé une telle stratification des particules. Les sols sableux se caractérisent par une forte porosité texturale, permettant une excellente perméabilité à l'eau et à l'air. Les sols échantillonnés présentent une très faible teneur en matière organique. Ils se caractérisent également par une teneur en calcaire allant de faiblement à modérément calcaire, avec des valeurs comprises entre 5,62% et 11,87%. L'analyse du pH révèle des valeurs comprises entre 7,39 et 8,11, ce qui indique que l'ensemble des sols étudiés est de nature basique.

D'un point de vue biologique, les bactéries et les champignons sont les organismes les plus prédominants dans la rhizosphère (Tableau 1) (Hoorman & Islam, 2010). Leur répartition dans le sol est inégale et dépend de divers facteurs nutritionnels, ainsi que de conditions physicochimiques (Prescott et *al.*, 2003). En effet, les plantes déposent dans la rhizosphère une diversité de composés carbonés, la plupart issus de la photosynthèse, ensemble appelés de

rhizodépôts. Les rhizodépôts qui comprennent notamment les exsudats racinaires formés de photosynthétats tels que les sucres, acides aminés, acides organiques, hormones et vitamines, les sécrétions de mucilage en sucres polymérisés et enzymes et des cellules en sénescence (issues de la coiffe racinaire, du cortex et de l'épiderme), à ajouter à cela tout l'environnement racinaire après mort de la plante (Lépinay, 2013). Des travaux ont mis en évidence une variation spatiale de la composition des exsudats racinaires le long de la racine (Plassard, 2015).

Tableau 1 : nombre de microorganismes du sol sur une profondeur de 0 à 15 cm (Hoorman & Islam, 2010).

Microorganismes	Nombre (g/sol)	Biomasse (g/m²)
Bactéries	108 -109	40-500
Champignons	105 -106	100-1500
Algues	104 -105	1-50
Protozoaires	103 -104	Variée

Les racines des plantes jouent un rôle crucial dans les systèmes souterrains, étant un élément essentiel du développement de la plante. L'exsudation, l'absorption d'eau, la mobilisation des nutriments, la dégradation de la matière organique du sol associée à la rhizosphère et la respiration de ladite zone en font partie (Cheng, 2008). L'absorption d'eau et de nutriments par les racines est le principal moteur des flux de matière dans la rhizosphère, entraînant une diminution de la concentration des ions nutritifs (nitrate, ammonium, phosphate, potassium, etc...). En plus de ce processus d'abaissement de la concentration en ions, la disponibilité des nutriments peut également être accrue dans la rhizosphère grâce à divers mécanismes, impliquant les activités des racines et des communautés microbiennes du sol. L'humidité et la température sont des agents essentiels qui réglementent l'intensité périodique de l'activité microbienne. Dans les écosystèmes arides, la densité microbienne est maximale en automne. Les relations climatiques modifient la composition, ainsi que la répartition des divers groupes microbiens. Les champignons sont les plus sensibles aux variations saisonnières, suivies par les algues, puis les bactéries et les actinomycètes (Karabi *et al.*, 2015).

3. Champignons de la rhizosphère

Les champignons ou Mycota constituent un groupe très large et diversifié d'organismes, un règne distinct appelé Fungi (du latin fungus : champignon). Initialement classés parmi les végétaux, les champignons ont été séparés dans un règne à part, en raison de leur mode de vie particulier et de leur système de reproduction unique, qui les distingue des autres groupes biologiques, tels que les végétaux, les animaux, les protistes et les bactéries (Pillo, 2017).

Les champignons sont eucaryotes, hétérotrophes et thallophytes. Ils ne produisent pas leur propre nourriture par photosynthèse, mais dépendent de sources externes d'énergie. Leur organisme végétatif souvent filamenteux se caractérise par un simple thalle. La paroi cellulaire est constituée de β -glucanes et de chitine, qui les distinguent des plantes dont la paroi cellulaire est composée de cellulose. En raison de leurs caractéristiques communes avec les plantes et les animaux, ils ne peuvent être rattachés à l'un ou l'autre de ces règnes, raison qui justifie leur classement dans un règne biologique distinct (Bouchet et *al.*, 1999 ; Senequeir-Crozet et Canard, 2016).

À travers l'évolution, les champignons ont varié leurs comportements de vie, leur permettant de coloniser efficacement une diversité d'environnements. En développant des stratégies symbiotiques, saprophytes ou parasitaires, ils ont acquis une grande adaptation et une excellente capacité à utiliser les ressources disponibles (Lillo La Chiussa, 2002). Les espèces saprophytes se nourrissent de déchets d'origine animale ou végétale, jouant ainsi un rôle essentiel dans la décomposition des matières organiques. Le parasitisme, quant à lui, consiste à vivre aux dépens d'un organisme vivant, pouvant causer des affections variées chez les plantes, les animaux et les êtres humains (Bouchet et *al.*, 2005). À l'inverse, la symbiose désigne une relation étroite et avantageuse entre deux organismes disparates (Moulinier, 2003). L'illustration la plus remarquable de symbiose est la mycorhize, association entre racines de plantes et mycéliums fongiques, présente dans près de 95% des plantes vasculaires. De plus, les champignons endophytes qui infectent les tissus internes de leurs hôtes sans provoquer de symptômes, constituent également un cas de symbiose (Garbaye, 2013).

En plus de leurs modes de vie variés, les champignons interagissent activement avec leur environnement et y remplissent de nombreuses fonctions, grâce à leurs activités biochimiques, physiologiques et écologiques. Ils constituent par ailleurs la moitié de l'ensemble des microorganismes présents dans le sol (Després, 2012).

3.1. Thalle des champignons

Le thalle des champignons est généralement microscopique et peut être de type coenocytique ou cloisonné (Figure 2) (Bouchet et *al.*, 1999 ; Boiron, 2005). Le thalle coenocytique est constitué des filaments non cloisonnés, d'un diamètre inégal (5 à 20 μm) et de ramifications à angle droit. Des cloisons sans ouverture de communication peuvent s'organiser ultérieurement, séparant les domaines morts de ceux en croissance. Le thalle septé ou articulé se compose de filaments d'épaisseur uniforme (de 2 à 10 μm) et cloisonnés par des « septa » dotés de pores. Les cloisons séparent un ou deux noyaux, voire davantage (Moulinier, 2003).

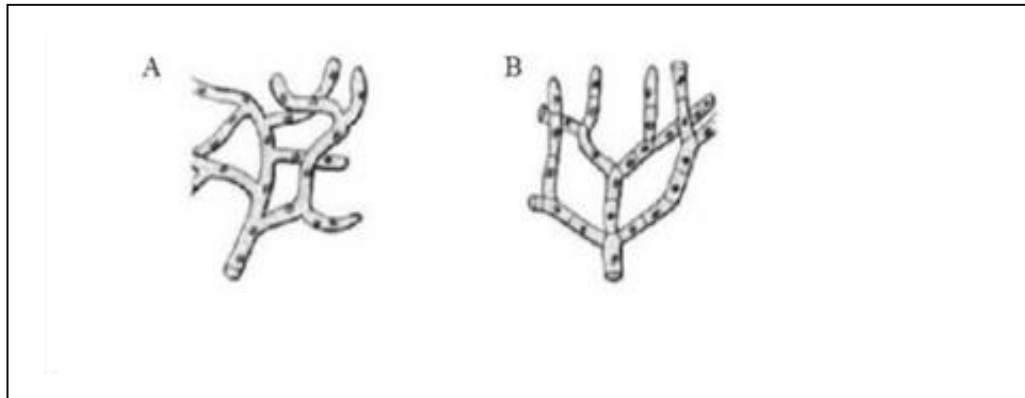


Figure 2 : structure de l'hyphe. (A) hyphe coenocytique, (B) hyphe cloisonné
(Lecellier, 2013).

Le thalle peut se présenter sous deux formes principales :

- unicellulaire : il correspond à une structure simple, généralement sphérique ou subsphérique (Moulinier, 2003), ce type est illustré par les levures (Dufresne, 2018) ;
- pluricellulaire : il peut prendre une structure siphonnée ou septée.

3.2. Reproduction des champignons

La reproduction est le processus biologique par lequel de nouveaux descendants sont produits à partir des parents. Elle se fait sous deux formes : la reproduction sexuée et la reproduction asexuée (Moore, 2011) (Figure 3).

3.2.1. Reproduction asexuée

Elle se déroule sans la fusion des gamètes et se manifeste par plusieurs mécanismes, tels que le bourgeonnement, la mitose, la fragmentation ou la production de spores (Carip et *al.*, 2015). Une fois relâchées, les spores se dispersent par divers moyens, comme le vent, les animaux, notamment les insectes et même les graines des plantes colonisées (Dube, 2013).

3.2.2. Reproduction sexuée

La reproduction sexuée chez les champignons intervient principalement lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables, ou que les ressources nutritives s'appauvrissent (Moulinier, 2003). Ce processus commence par la plasmogamie, c'est-à-dire la fusion de deux cellules haploïdes, donnant naissance à une cellule dicaryotique contenant deux noyaux haploïdes distincts (Dube, 2013). Ces noyaux fusionnent ensuite lors de la caryogamie, formant une cellule diploïde. Cette dernière subit alors une méiose, produisant quatre cellules haploïdes. Selon les espèces, cette reproduction aboutit à la formation de différents types de méiospores : oospore, zygosporé, ascospore ou basidiospore (Moulinier, 2003).



Figure 3 : reproduction sexuée et asexuée chez les Mycètes (Deacon, 2005).

3.3. Conditions de croissance des champignons

Le développement et la croissance des champignons, ainsi que la germination de leurs spores, dépendent fortement de divers facteurs physicochimiques (Botton et *al.*, 1999). Ces paramètres incluent le pH, l'oxygène, la lumière, la température et l'humidité.

3.3.1. Influence du pH

La majorité des champignons filamenteux se développent dans une plage de pH comprise entre 4,5 et 8,0, avec une préférence pour des environnements légèrement acides. Toutefois, leur capacité d'adaptation leur permet de croître dans des milieux à pH varié. Par ailleurs, les enzymes extracellulaires qu'ils produisent présentent des optima de pH d'activité pouvant être plus acides ou plus alcalins, en fonction de la complexité du milieu (Botton et *al.*, 1999). Le pH de l'environnement affecte également la capacité des champignons à dégrader des substrats organiques complexes, comme la lignocellulose. En milieu acide, l'activité catalytique des enzymes d'hydrolyse est également renforcée, ce qui favorise la biodégradation des composés végétaux. Cette capacité est particulièrement bénéfique dans les sols forestiers, où les conditions acides prédominent (Smith & Jones, 2005 ; Zhang et *al.*, 2010).

Les champignons filamenteux peuvent moduler le pH extracellulaire par la sécrétion d'acides organiques ou de composés alcalins. Par ailleurs, des ajustements au niveau des membranes cellulaires et de l'expression génique leur permettent de maintenir une homéostasie interne, même dans des conditions environnementales stressantes (Zhang et *al.*, 2010).

3.3.2. Importance de l'oxygène

L'oxygène est un facteur clé pour le développement et l'activité métabolique des champignons. En effet, la plupart sont aérobies. Les espèces les plus exigeantes se développent dans les zones superficielles des substrats, où l'oxygène est abondant, tandis que des espèces moins exigeantes, telles que *Fusarium* et *Aspergillus fumigatus*, peuvent croître en profondeur (Bourgeois, 1989 ; Botton et *al.*, 1999).

Les champignons filamenteux utilisent diverses voies métaboliques pour survivre dans des environnements limités en oxygène. Par exemple, la dénitrification et la fermentation à l'ammoniac sont des processus essentiels qui permettent à des champignons tels que *Fusarium*

oxysporum et *Aspergillus nidulans* de prospérer dans des conditions hypoxiques. Ces adaptations métaboliques favorisent non seulement la croissance des champignons, mais contribuent également au cycle des nutriments dans les sols arides, améliorant ainsi la santé et la fertilité des sols (Takaya, 2009).

3.3.3. Rôle de la température

La température constitue un facteur clé pour la croissance mycélienne, ainsi que pour la sporulation et la germination des spores. Certaines espèces de champignons, qualifiées de psychrophiles ou psychrotolérantes, peuvent se développer à des températures basses, allant de -5 à 10°C. Des espèces telles que *Helicostylum pulchrum*, *Chrysosporium pannorum* et *Cladosporium herbarum* peuvent même survivre à des températures extrêmes atteignant -60°C. On les retrouve fréquemment dans des environnements tels que les entrepôts frigorifiques (Davet, 1996 ; Botton et al., 1999).

Les températures élevées peuvent augmenter la complexité des communautés fongiques, favorisant les interactions entre les différents taxons, ce qui peut avoir un impact sur le cycle biogéochimique des écosystèmes (Yu et al., 2024). Les champignons peuvent se développer dans une plage de température comprise entre 20°C et 40°C et présentent une tolérance aux températures élevées, qui repousse d'autres communautés microbiennes (Xu et al., 2017).

3.3.4. Rôle de l'humidité

Les champignons ont généralement besoin de moins d'eau par rapport aux autres microorganismes (Davet & Rouxel, 1997). L'humidité influence non seulement le développement, mais également la croissance du mycélium, la sporulation et surtout la germination des spores (Bourgeois et al., 1996). Les champignons possédant un mycélium non cloisonné sont particulièrement sensibles à la dessiccation, leur croissance s'arrêtant lorsque le potentiel hydrique tombe en dessous de 4 MPa. En revanche, celles à mycélium cloisonné peuvent généralement tolérer des potentiels hydriques allant jusqu'à 10 MPa. Certaines espèces, comme les *Aspergillus* et les *Penicillium* sont encore plus résistantes et peuvent se développer à des potentiels hydriques avoisinant les -20 MPa (Davet & Rouxel, 1997).

3.4. Classification

La classification des champignons s'est initialement appuyée sur des critères morphologiques, notamment la structure du thalle et les organes de reproduction sexuée (Abdelkader, 2012). Toutefois, à la fin des années 1990, grâce aux avancées des recherches et aux techniques moléculaires, une révision a été opérée : le règne des Fungi a alors été scindé en deux grands ensembles. D'un côté, les vrais champignons appartenant au règne des Fungi et de l'autre, les pseudo-champignons (Nasraoui, 2008).

Les « vrais » champignons ou Eumycètes constituent un règne distinct au sein du monde vivant, qui suscite depuis longtemps l'intérêt et la curiosité des chercheurs. Leur diversité à l'échelle de la biosphère est estimée à environ un million et demi d'espèces, bien que seulement 74 000 à 120 000 d'entre elles aient été identifiées à ce jour (Jobard-Portas, 2010).

3.4.1. Chytridiomycota

Environ 800 espèces ont été identifiées à ce jour et réparties en 4 à 5 ordres. Parmi ceux-ci, les Chytridiales représentent l'ordre le plus important, rassemblant de nombreux parasites d'algues, de protozoaires et de champignons microscopiques (Otmane, 2020) (Figure 4). Le phylum des Chytridiomycota regroupe des champignons considérés comme parmi les plus primitifs, notamment en raison de la présence de spores mobiles uniflagellées, appelées zoospores. Ce groupe constitue l'une des lignées les plus anciennes du règne fongique et, selon plusieurs études, forme un ensemble polyphylétique (James et *al.*, 2000 ; James et *al.*, 2006 ; Bar-Hen et *al.*, 2008). La présence de spores flagellées confine généralement ces organismes à des habitats aquatiques ou à des sols humides (James et *al.*, 2000). Bien qu'ils soient principalement microscopiques, certains membres de ce groupe sont capables de produire un mycélium. La majorité des Chytridiomycota sont saprophytes, qu'ils soient aérobies ou anaérobies. Ils peuvent dégrader une grande variété de substrats (Longcore et *al.*, 1999).

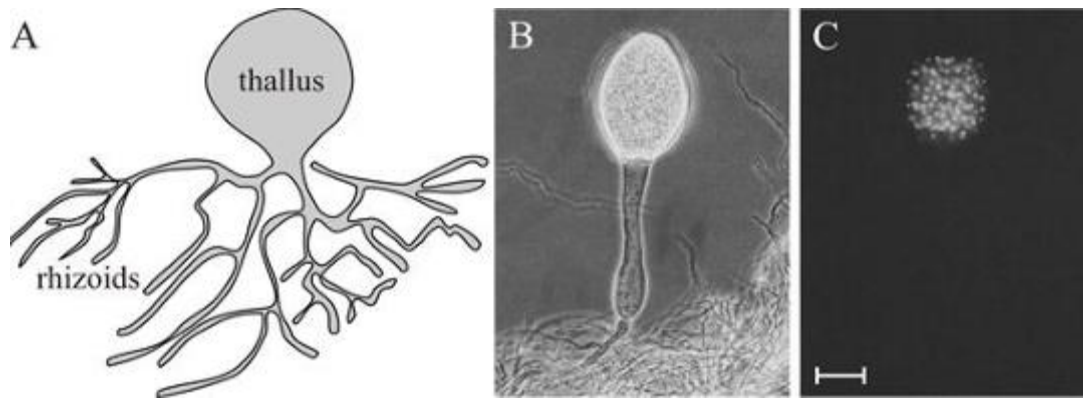


Figure 4 : morphologie générale des chytrides. A, schéma d'un thalle de chytride B, microphotographie à contraste de phase d'un thalle du chytride du rumen, *Neocallimastix* sp, C, le même champ de vision qu'en B, mais cette fois avec coloration par fluorescence au DAPI (4'-6-diamidino-2-phénylindole).

3.4.2. Mucoromycota

La classification des Mucoromycota au sein du règne des Fungi a été entièrement révisée à la lumière des études phylogénétiques les plus récentes, qui ont prouvé le polyphylétisme de l'ensemble. La division Zygomycota a donc été abandonnée (Garcia-Hermoso, 2013). Le phylum des Mucoromycota compte désormais six divisions. La classification a été ajustée pour compter 15 ordres et 41 familles, avec la description de 73 nouvelles espèces, mettant en évidence ainsi la vaste diversité de ce groupe fongique (Zhao et *al.*, 2022).

Ces champignons se distinguent morphologiquement par une reproduction asexuée. Ils présentent également une reproduction sexuée caractérisée par la production d'une zygospore, issue d'un zygosporangium formé après la fusion de deux gamétanges (Spatafora et *al.*, 2016 ; Tedersoo et *al.*, 2018). Les espèces appartenant au phylum des Mucoromycota jouent un rôle clé dans le cycle des nutriments et le maintien de la santé des sols. Elles sont fréquemment isolées à partir de déjections d'herbivores, ainsi que de divers types de substrats (Lima et *al.*, 2018) (Figure 5).

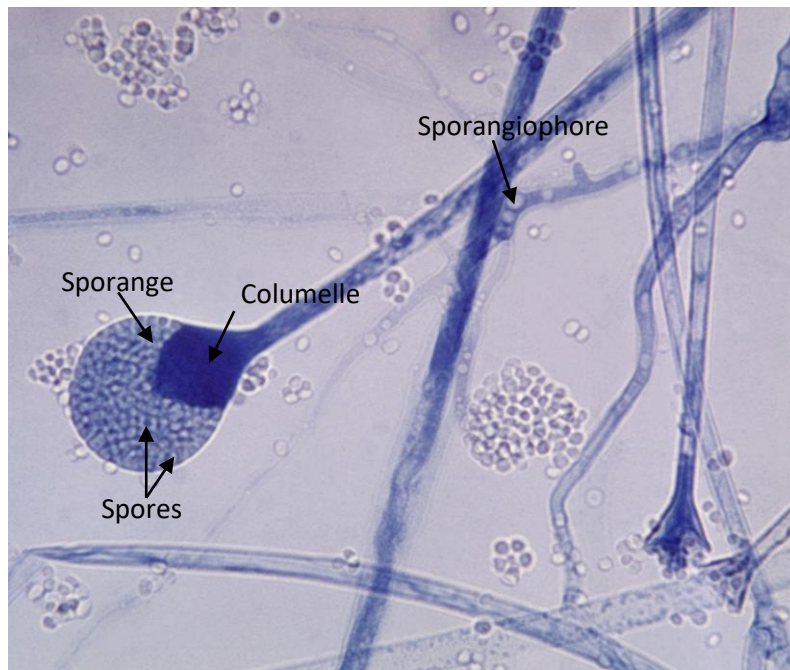


Figure 5 : caractéristiques macroscopiques et microscopiques de l'isolat *Mucor hiemalis* f. *luteus* (França, 2022).

3.4.3. Glomeromycota

Les organismes appartenant au phylum des Glomeromycota étaient initialement classés au sein des Zygomycota, plus précisément dans l'ordre des Glomérales, qui regroupait les champignons mycorhiziens à arbuscules (Morton & Benny, 1990). Cependant, des analyses phylogénétiques ont confirmé la monophylie de ces champignons, conduisant à la création d'un phylum distinct : les Glomeromycota (Schüßler et al., 2001).

Ces champignons jouent un rôle fondamental dans les écosystèmes terrestres, notamment en facilitant l'approvisionnement en eau et en nutriments de près de 90% des plantes terrestres, grâce à leur association mycorhizienne. Les Glomeromycota sont divisés en trois classes principales : Archaeosporomycètes, Glomeromycètes et Paraglomeromycètes, regroupant cinq ordres : Archaeosporales, Diversisporales, Gigasporales, Glomérales et Paraglomerales. Ce phylum comprend également 15 familles, 38 genres et 343 espèces officiellement décrites. Parmi les espèces les plus étudiées, celles appartenant à la famille des Glomeraceae et particulièrement au genre *Glomus*, sont fréquemment utilisées dans les expérimentations scientifiques en raison de leur importance écologique et agronomique (Mechiah, 2015) (Figure 6).

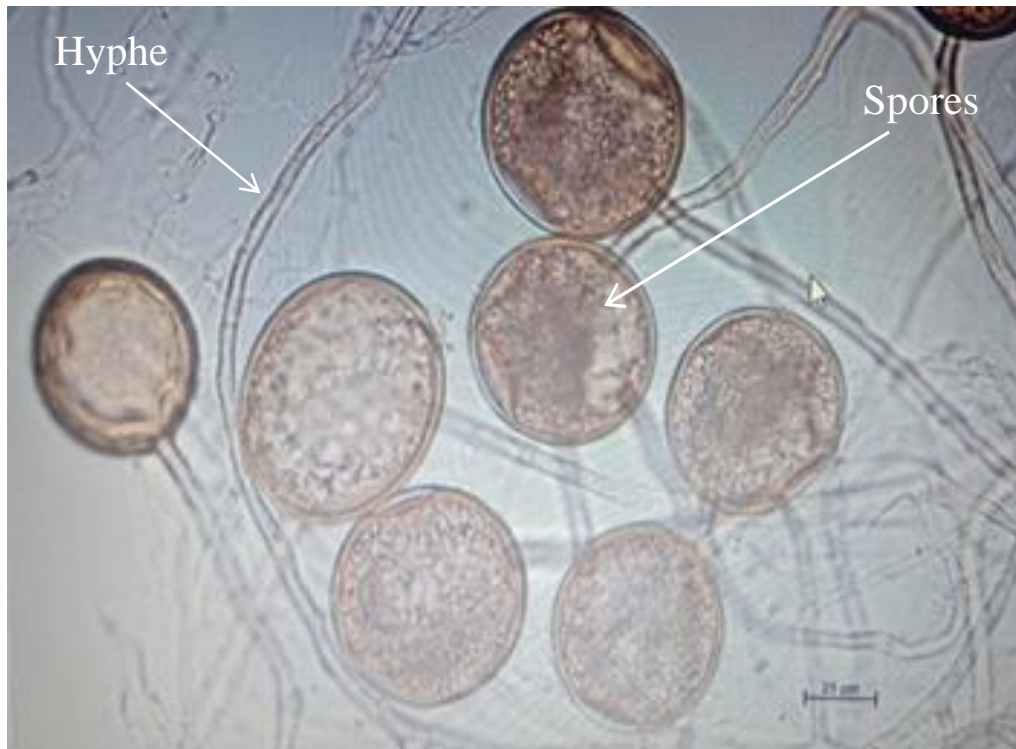


Figure 6 : observation microscopique de spores de Glomeromycota associées à des hyphes (Smith & Read, 2008).

3.4.4. Ascomycota

Le phylum des Ascomycota se distingue par un mode de reproduction sexuée caractérisé par la formation de structures spécialisées appelées asques (du grec askos, signifiant sac). Ces asques, où se développent les ascospores à la suite d'un processus de méiose, sont parfois regroupés (Bouchet et *al.*, 2005) (Figure 7).

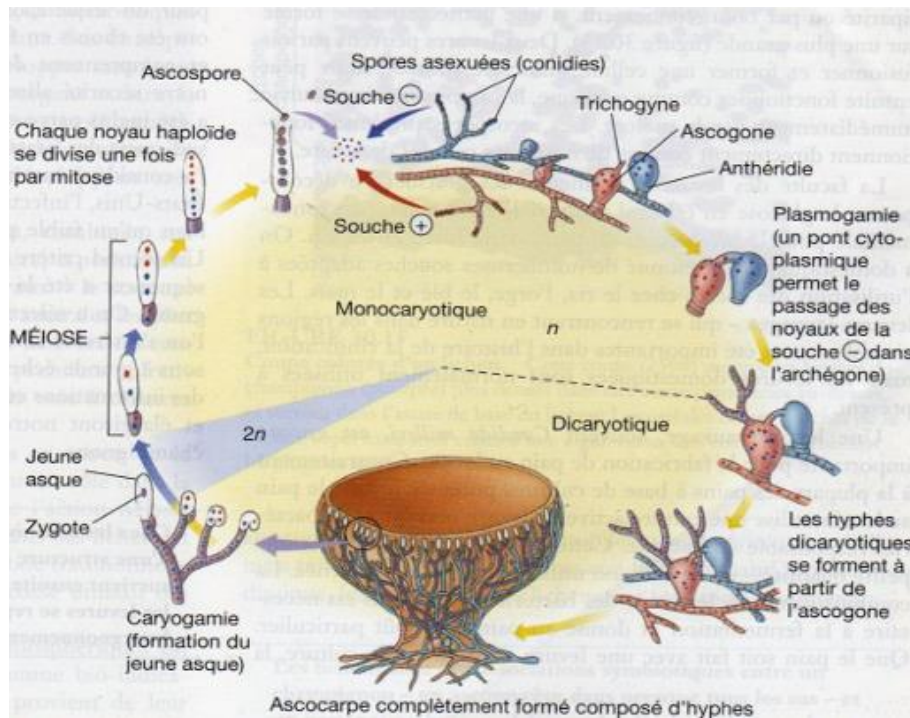


Figure 7 : cycle de développement de *Morbella esculenta* (Raven et al., 2007).

Ce phylum comprend une large gamme d'espèces, allant des formes microscopiques telles que les levures, les genres *Penicillium* et *Aspergillus*, jusqu'à des champignons macroscopiques comme les truffes et les morilles. Ces dernières se distinguent par leur variété en termes de morphologie, de taille et de modes de vie. Les Ascomycota sont structurés en quatre classes principales, trois sous-classes et huit ordres (Rapior & Fons, 2015).

Concernant *Penicillium*, c'est un champignon filamenteux (Figure 8). Le genre comprend environ 227 espèces, qui sont définies principalement sur la base des caractéristiques morphologiques du thalle, des structures reproductives (pénicilles) et des spores (Pitt, 1988). Les membres du genre *Penicillium* présentent une morphologie typique en brosse. Le thalle est constitué de filaments mycéliens septés et hyalins, portant des conidiophores lisses ou granuleux, simples ou ramifiés, se terminant par une pénicille. Ces conidiophores peuvent être isolés, en fascicules lâches ou en corémies bien définies. Les phialides sont verticillées à leur extrémité et donnent naissance aux conidies, spores unicellulaires de formes variées (globulaires, elliptiques, cylindriques ou fusiformes) et de surfaces lisses ou rugueuses. Ils sont de couleur hyaline à grisâtre ou verdâtre (Botton et al., 1990).

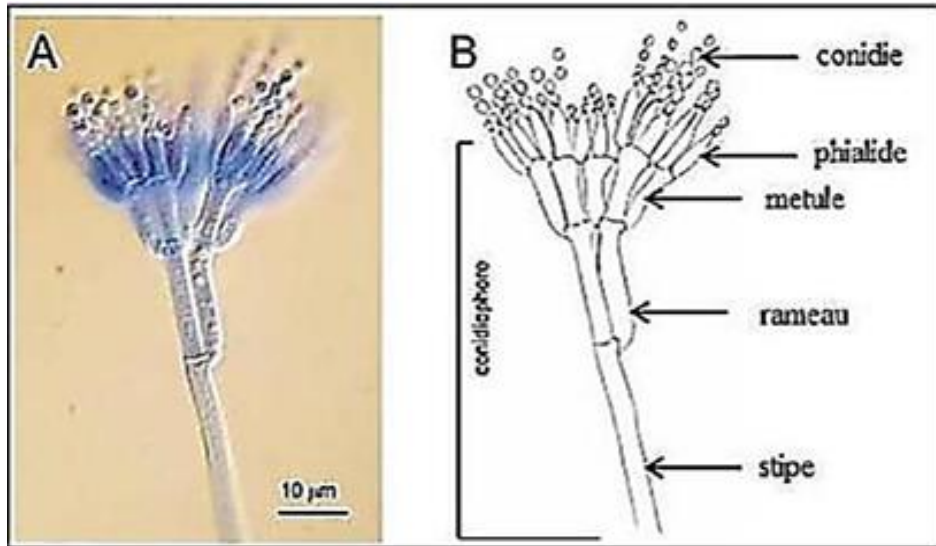


Figure 8 : *Penicillium brevicompactum*. (A) : micrographie d'un conidiophore mûr coloré avec du bleu de coton ; (B) : dessin de conidiophore et de conidies) (Peterson et *al.*, 200).

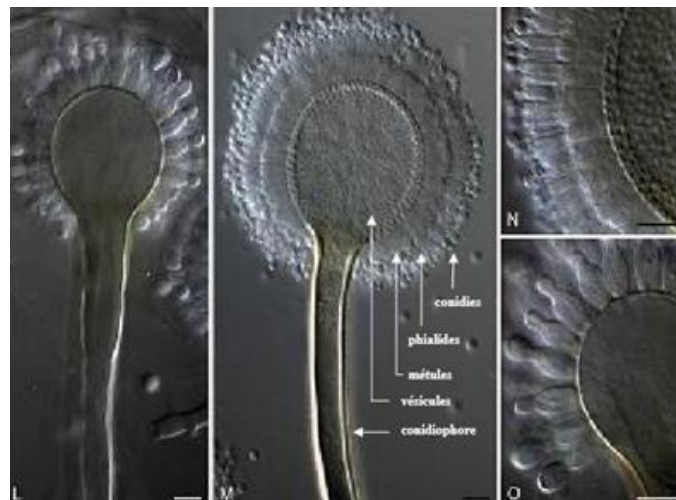


Figure 9 : observation microscopique des conidiophores d'*Aspergillus* ; (L, O) : *Aspergillus sloanii* (10 µm) ; (M, N) : *Aspergillus ochraceus* (10 µm) (Samson et *al.*, 2014).

3.4.5. Basidiomycota

Le phylum des Basidiomycota se distingue par la présence d'une structure spécialisée la baside (du grec basis), qui produit des spores sexuées externes, appelées basidiospores. Avec environ 14 000 espèces répertoriées, les Basidiomycota figurent parmi les champignons les plus évolués. Leur mycélium est cloisonné et comprend de nombreuses espèces avec des sporophores (ou basidiophores) de grande taille (Bouchet et *al.*, 2005).

Ces champignons peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires, avec des thalles septés filamenteux. Lors de la reproduction sexuée, des basides spécialisées produisent des basidiospores après une caryogamie et une méiose. Ces spores se forment par bourgeonnement et sont expulsées à l'extérieur de la baside par des structures appelées stérigmates (Sénéquier-Crozet & Canard, 2016). Le cycle de développement des Basidiomycètes est caractérisé par la synthèse d'hyphes monocaryotiques à la suite de la germination des spores. Les hyphes peuvent fusionner pour donner un mycélium dicaryotique (ou mycélium secondaire). Les basidiocarpes, composés uniquement de mycéliums secondaires, hébergent des basides localisées dans les lamelles du chapeau. À l'intérieur, une caryogamie se fait, donnant une cellule diploïde, suivie d'une méiose. Chez les Basidiomycètes, les quatre noyaux résultant de la méiose sont incorporés dans des basidiospores, qui se créent à l'extrémité de la baside (Raven et *al.*, 2017) (Figure 10).

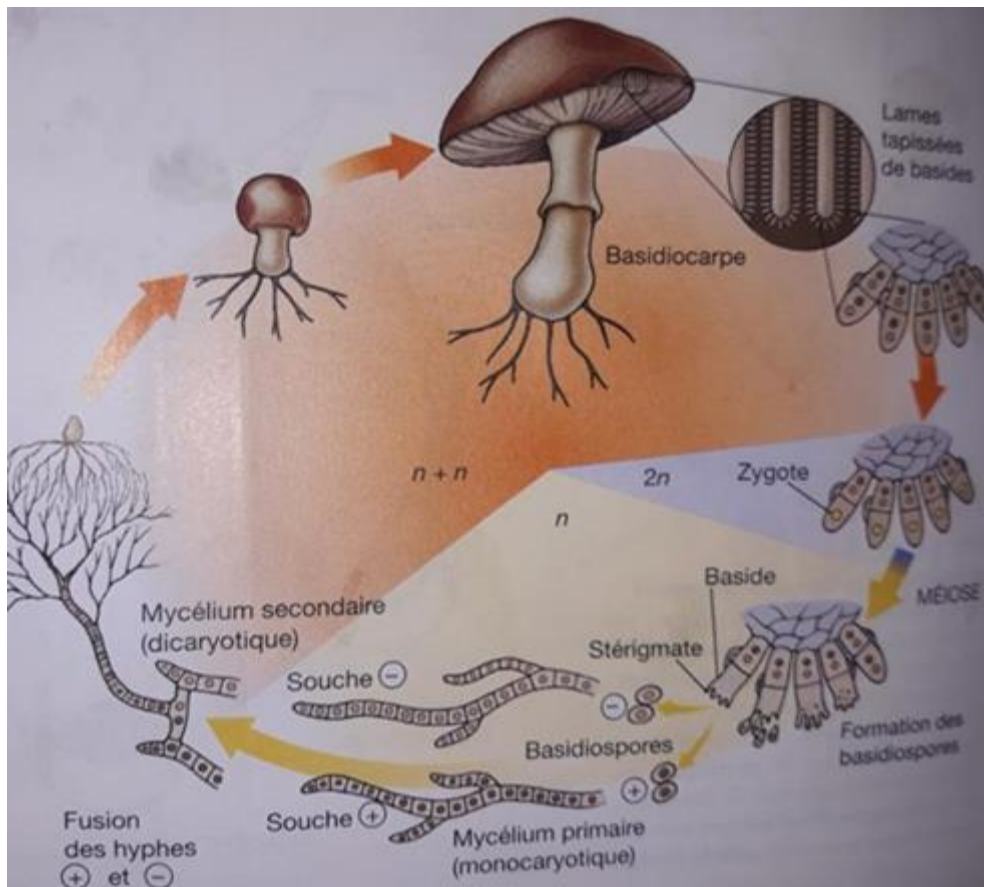


Figure 10 : cycle de développement d'un Basidiomycota (Raven et *al.*, 2017).

3.5. Rôles des champignons dans le sol

Les champignons du sol ont des rôles fondamentaux dans les écosystèmes, tels que la pédogenèse et les cycles des éléments nutritifs. En raison de leur rôle essentiel dans les processus terrestres fondamentaux, il est crucial de disposer d'informations sur leur écologie et leur biogéographie, afin de prioriser les efforts de conservation et de gestion des écosystèmes (Egidi et *al.*, 2019).

Les champignons jouent un rôle essentiel dans la nutrition phosphatée des plantes. Leurs hyphes agissent comme une pompe, transportant un mélange riche en eau et en minéraux du sol (azote et phosphore) à la plante, qu'ils récupèrent de leur environnement immédiat. En retour, ils obtiennent les sucres et les métabolites carbonés produits par la plante hôte lors de la photosynthèse (Smith & Read, 2008).

Les champignons sont les agents les plus importants dans la décomposition du bois (Henry, 2013). Ils jouent également un rôle essentiel de production d'humus stable, principalement dans les forêts. En effet, comme la plus grande partie des organismes vivants, les champignons sont des usines enzymatiques à part entière. Par ailleurs, grâce à leur réseau de mycélium presque infini, l'ensemble de ces filaments fongiques permet de renforcer la cohésion du sol (Staepli, 2016).

Les champignons représentent 50% de la biomasse microbienne des sols (Després, 2012). Ils peuvent aider les plantes à tolérer et à résister à des facteurs de stress biotiques et abiotiques (tels que le stress hydrique, la salinité, les températures élevées, etc...), essentiellement en renforçant la réponse défensive de l'hôte contre les agents phytopathogènes (Herre et *al.*, 2007).

Chapitre 2
Présentation d'*Argania*
***spinosa* (L.) Skeels**

1. Introduction

L'arganier est endémique du Maroc et de l'Algérie. Son aire aurait diminué au cours des périodes des glaciations quaternaires (El Mousadik & Petit, 1996), avant de montrer une adaptation remarquable à cette partie du monde (Peyerimhoff, 1944 ; De Pontevès et *al.*, 1990). Le nom *Argania spinosa* se rapporte au village d'Argana, qui est situé dans les collines entre Marrakech et Agadir. Quant au terme "*spinosa*", qui signifie "épineux", il désigne l'extrémité de certaines branches qui deviennent épineuses (Lewalle, 1991).

En Algérie, l'arganier se trouve à l'état sauvage au nord-ouest de la wilaya de Tindouf (Kechairi et *al.*, 2016). Il tolère les conditions climatiques arides. L'arganier contribue à prévenir l'érosion et la désertification (Weisgerber & Weisgerber, 2014), grâce à son système racinaire profond (Msanda et *al.*, 2007). Il est même caractérisé par une grande plasticité écologique (Simenel, 2009).

2. Classification

Argania spinosa (L.) Skeels est une espèce classée dans la famille des Sapotaceae (APG IV, 2016) (Tableau 2). Les recherches actuelles démontrent que cette espèce xérophytique possède une remarquable diversité génétique (Ait Abd et *al.*, 2020) et des adaptations morphologiques uniques (feuilles épineuses, système racinaire profond), qui reflètent son histoire évolutive complexe dans les écosystèmes arides (Mhirit et *al.*, 2022).

Tableau 2 : systématique de l'arganier (APG IV, 2016).

Règne	Plantes
Embranchement	Tracheophyta
Sous-embranchement	Spermatophytina
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Ericales
Famille	Sapotaceae
Genre	<i>Argania</i>
Espèce	<i>Argania spinosa</i> (L.) Skeels

3. Description botanique de l'arganier

Argania spinosa (L.) Skeels (Figure 11) est un arbre de taille moyenne, mesurant généralement entre 8 et 12 m de hauteur, bien que certaines conditions optimales lui permettent d'atteindre jusqu'à 20 m (Bani-Aameur, 2002). Son tronc peut dépasser 1 m de diamètre et soutient une couronne dense et étendue, atteignant jusqu'à 14 m de diamètre. Les branches, inclinées vers le sol, sont garnies d'épines protectrices (Nouaim, 2005).



Figure 11 : aspect général de l'arganier (A) et de ses tiges entrelacées (B) (Ziani, 2014).

3.1. Système racinaire

L'arganier présente une racine pivotante prononcée atteignant les couches profondes du sol ainsi qu'un système dense de racines latérales et fines près de la surface, produisant une architecture très ramifiée qui favorise l'absorption des ressources à la fois profondes et superficielles (Zunzunegui, M., Díaz-Barradas. 2018) (A. Chakhchar et al., 2020).

Les racines latérales génèrent de nombreuses racines fines ainsi que des pointes racinaires qui permettent de maintenir la croissance en longueur même sous pression, ce qui favorise une exploration continue du sol malgré une diminution de la biomasse racinaire (A. Chakhchar., 2018) (A. Bezzalla et S. Boudjabi., 2016).

3.2. Tronc

Le tronc de l'arganier est court, robuste et fréquemment noueux (Nouaim, 2005). Son écorce, épaisse et rugueuse, agit comme une barrière protectrice contre les conditions climatiques difficiles, notamment la sécheresse et les vents violents (Bani-Aameur, 2002).

Cette configuration confère à l'arbre une remarquable solidité mécanique ainsi qu'une longévité exceptionnelle, souvent supérieure à 150 ans (M'Hirit, 1999).

3.3. Feuilles

Les feuilles de l'arganier (Figure 12) constituent une morphologie simple. Elles présentent une structure coriace et une cuticule cireuse épaisse (15-20 μm), caractéristiques typiques des plantes xérophytes (Boussaid et *al.*, 2020). Leur disposition alterne-spiralée et leur pétiole court (3-5 mm) optimisent l'exposition au soleil, tout en réduisant la surface transpirante (Kassout et *al.*, 2021). La face abaxiale, densément pubescente joue un rôle clé dans la rétention de l'humidité atmosphérique (Moukhli et *al.*, 2022). Les études histologiques ont révélé la présence de cellules palissadiques nombreuses et d'un parenchyme lacuneux réduit, reflétant une spécialisation poussée pour la résistance à la sécheresse (El Alaoui-Talibi et *al.*, 2023). Ces adaptations foliaires, combinées à un contenu élevé en composés osmoprotecteurs expliquent la capacité de l'espèce à maintenir son activité photosynthétique, même en conditions de stress hydrique sévère (Anli et *al.*, 2021). La plasticité phénotypique des feuilles témoigne de la remarquable capacité d'acclimatation de cette espèce endémique (Fakkah et *al.*, 2022).



Figure 12 : feuille de l'arganier (Kechebar, 2016).

3.4. Fleurs

Les fleurs de l'arganier (Figure 13) sont petites (4-5 mm), regroupées en inflorescences axillaires denses et arborent une teinte blanc-jaunâtre caractéristique. Leur structure florale comprend cinq sépales, cinq pétales soudés formant une corolle tubulaire, entourant cinq étamines saillantes ; l'ovaire est supère ; il est constitué de 2 carpelles (Mabberley, 2017). La floraison survient principalement entre avril et juin (El Alami et *al.*, 2023). Cette période

coïncide avec l'activité maximale des principaux pollinisateurs de l'espèce, notamment les abeilles domestiques (*Apis mellifera*) et les xylocoptes (*Xylocopa violacea*), attirés par un nectar particulièrement riche en sucres simples (Mouhssine et *al.*, 2020).



Figure 13 : fleur de l'arganier (Kechabar, 2016).

3.6. Fruits

Le fruit de l'arganier est une drupe contenant un noyau dur (Figure 14). Le mésocarpe et l'endocarpe sont séparés par un cartilage ligneux. Le noyau central est particulièrement dur et la graine, riche en huile, est albuminée (Nouaim et *al.*, 1991). La productivité des branches fructifères varie en fonction des conditions saisonnières (Zahidi et *al.*, 2013).



Figure 14 : fruits de l'arganier (El Monfaloutia et *al.*, 2013).

4. Distribution géographique de l'arganier en Algérie

En Algérie, *Argania spinosa* (L.) Skeels se trouve à l'état sauvage au nord-ouest de la wilaya de Tindouf, sur une superficie d'environ 56.000 ha (Kechairi, 2018). Les peuplements d'arganier sont localisés essentiellement dans les lits de certains oueds, notamment à Oued El-Ma, Oued Gahouene, Oued Bouyadhine, Oued El Khebi, Oued Merkala et Oued Targant (Figures 15 et 16) (Kechairi, 2009).



Figure 15 : localisation de l'Arganeraie algérienne (Kaabeche et *al.*, 2010).

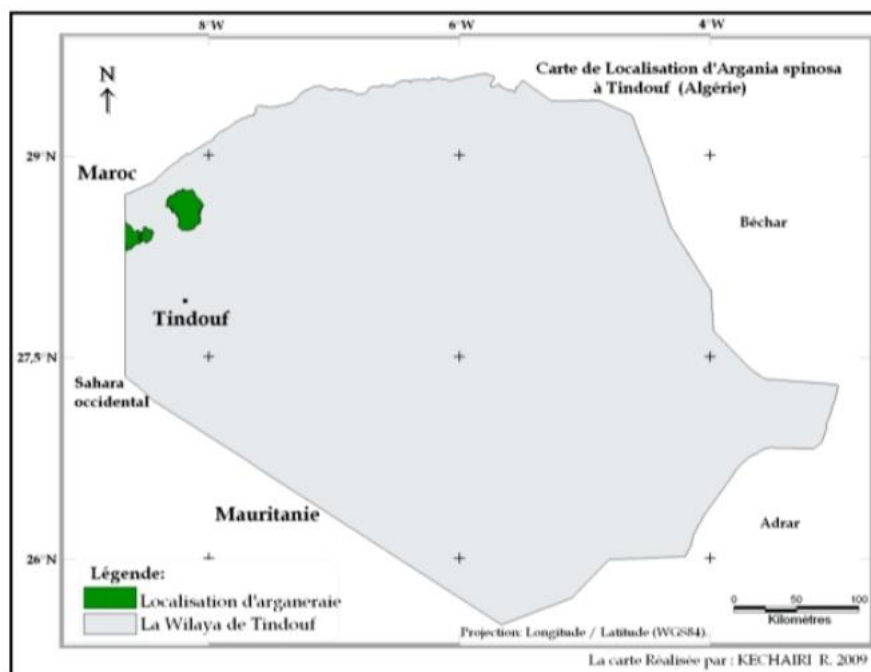


Figure 16 : aire de répartition de l'arganier de Tindouf (Kechairi, 2009).

5. Ecologie de l'arganier

5.1. Exigences bioclimatiques

L'arganier est une espèce végétale bien adaptée aux longues périodes de sécheresse, ainsi qu'aux vents desséchants. Sa remarquable faculté d'adaptation ne réside pas tant dans une économie d'eau que dans sa capacité à puiser l'humidité en profondeur dans le sol (Mokhtari, 2002).

Le bioclimat de l'arganier s'étend des zones arides et tempérées (littoral et plaines) aux étages semi-arides du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas, voire jusqu'à la zone saharienne au sud. Son optimum pluviométrique se situe autour de 250 mm, tandis que sa limite de tolérance pour la température est marquée par l'isotherme de 3°C en janvier. Dans les milieux désertiques où les précipitations annuelles tombent en dessous de 100 mm, l'arganier ne subsiste que le long des oueds temporaires, exploitant les eaux de ruissellement. D'après Benkheira (2009), l'arganeraie de Tindouf se trouve dans l'étage infra-méditerranéen, aussi qualifié de « type océanique de l'étage thermo-méditerranéen inférieur ». Bien que peu exigeant en termes de précipitations (Boudy, 1952), l'arganier requiert toutefois un certain degré d'humidité atmosphérique (Alcan & Louis, 1912 ; Victor, 1917). Nouaim & Chaussod (1992) indiquent d'ailleurs que cette espèce peine à s'implanter au-delà de 150 km à l'intérieur des terres, ce qui souligne l'importance de l'humidité de l'air dans son écologie.

5.2. Exigences édaphiques

L'arganier ne présente aucune exigence particulière quant à la nature du sol (Gentil, 1906). Il peut se développer sur une grande diversité de substrats, tels que les calcaires, les marnes ou encore les argiles rouges. Toutefois, il redoute les sables mobiles, qui peuvent entraîner une mise à nu et un endommagement de ses racines (Boudy, 1950 ; Rieuf, 1962).

6. Utilisation de l'arganier

6.1. Utilisation du bois

Le bois de l'arganier est très dur et résistant (Charrouf, 1999), il est utilisé pour :

- La fabrication de meubles (chaises, tables, lits, etc...) ;
- La construction de bâtiments traditionnels (maisons, mosquées, etc...) ;

- La fabrication de porte, de fenêtres, de planchers, etc... ;
- La production de charbon de bois.

6.2. Utilisation en médecine traditionnelle

D'après Benkirane (2007), les feuilles, les écorces, les fruits et les graines de l'arganier sont utilisés en médecine traditionnelle pour :

- Le traitement des problèmes digestifs (constipation, diarrhée, etc...)
- Le soulagement des maux de tête et les migraines ;
- Le traitement des affections cutanées (acné, eczéma, etc...)
- La réduction des inflammations et les douleurs articulaires.

6.3. Utilisation en cosmétique

D'après Charrouf (1999), l'huile d'argan est utilisée en cosmétique pour :

- L'hydratation et soins de la peau ;
- La réduction des rides et les signes de l'âge ;
- La protection de la peau contre les dommages causés par le soleil ;
- Le traitement des cheveux (hydratation, brillance, etc...).

6.4. Utilisation en élevage

Les feuilles et les fruits de l'arganier sont utilisés comme aliment pour les animaux, notamment, les chèvres, les moutons et les bovins (Benkirane, 2007).

6.5. Utilisation alimentaire

Les fruits de l'arganier sont comestibles et peuvent être consommés frais ou utilisés pour préparer les confitures, les jus, les boissons et les plats traditionnels (tagines, couscous, etc...). Son huile est également utilisée dans la cuisine (Charrouf, 1999).

Chapitre 3

Matériel et méthodes

1. Description de la zone d'étude

La station d'étude de Touïref Bou-Âam est située à environ 100 km de la ville de Tindouf, à l'extrême sud-ouest algérien (Figure 17). Cette dernière couvre une superficie de 158 874 km². Elle est limitée au nord par l'oued Drâa, qui constitue la frontière avec le Maroc, à l'est par la wilaya de Béchar, au sud-est par celle d'Adrar, au sud par la Mauritanie et à l'ouest par le territoire du Sahara occidental et le Maroc (Despois & Raynal, 1972). Touaref Bou-Âam abrite le siège de la réserve naturelle et du triage forestier. C'est dans cette zone que se concentrent les principaux oueds de la région, à savoir Oued El-Ma, Oued El-Ghahouane et Oued Bouyadhine (Kechairi, 2009).

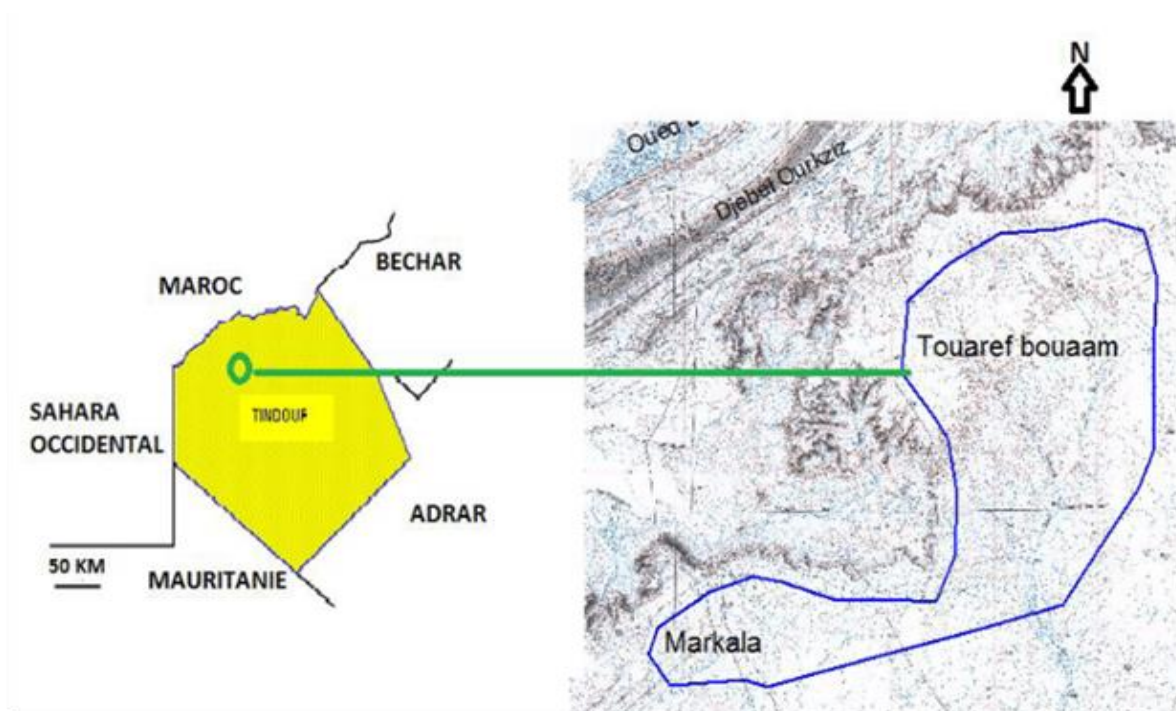


Figure 17 : situation géographique de la wilaya de Tindouf (Ould Safi, 2013).

2. Bioclimat de la zone d'étude

Le climat de Touaref Bou-Âam, situé dans la wilaya de Tindouf, est de type désertique (Aci, 2020). Il est caractérisé par une longue saison estivale extrêmement chaude et sèche, ainsi qu'une saison hivernale douce et très peu pluvieuse. Les données de Touaref Bou-Âam n'étant pas disponibles, nous avons considéré par défaut les données de Tindouf.

2.1. Température

Les valeurs des températures mensuelles enregistrées dans la région pour la période allant de 1991 à 2021 sont rassemblées dans le tableau 3.

Tableau 3 : températures moyennes mensuelles (en °C) enregistrées dans la région de Tindouf durant la période 1991-2021 (<https://fr.climate-data.org/>).

Paramètre	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Température moyenne (°C)	12,6	15,1	19,5	22,6	25,7	29,4	34,7	34,3	29,5	24,5	18,1	13,7
Température minimale (°C)	6	8,1	11,7	14,3	17	20,3	25,5	25,8	21,8	17,5	11,5	7,7
Température maximale (°C)	19,2	22,1	26,7	30,3	33,7	37,9	42,6	41,7	36,7	31,1	24,7	20

L’analyse du tableau 3 indique que température minimale la plus basse est enregistrée en janvier, avec 6°C. Cela indique que c’est le mois le plus froid de l’année. La température maximale la plus élevée est atteinte en juillet, avec 42,6°C, ce qui en fait le mois le plus chaud.

2.2. Pluviométrie

Le tableau 4 répertorie les précipitations, exprimées en millimètres, enregistrées à Tindouf entre 1991 et 2021.

Tableau 4 : précipitations mensuelles et annuelle de Tindouf pendant la période allant de 1991 à 2021 (<https://fr.climate-data.org/>).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	2	5	2	0	0	0	0	1	2	9	2	4	27

D’après le tableau 4, la période 1991-2021 révèle une pluviométrie totale annuelle extrêmement faible de 27 mm. Les précipitations maximales ont été enregistrées en octobre

avec 9 mm. En avril, mai, juin et juillet, aucune précipitation n'a été enregistrée. Ces données mettent en évidence la sécheresse du climat de Tindouf, avec une répartition très inégale et dispersée des précipitations tout au long de l'année.

2.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme ombrothermique Bagnouls et Gaussen (1953) établit une relation entre les moyennes mensuelles des précipitations et de la température moyenne d'un site donné. Selon leur approche, un mois sera classé sec lorsque le volume total des précipitations en millimètres (mm) est inférieur ou égal à deux fois la température moyenne du mois, en degrés Celsius (°C), c'est-à-dire qu'un mois sera considéré comme sec si le rapport suivant est rencontré : $P \leq 2T$.

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen établi pour la région de Tindouf montre une longue période sèche durant toute l'année (Figure 18).

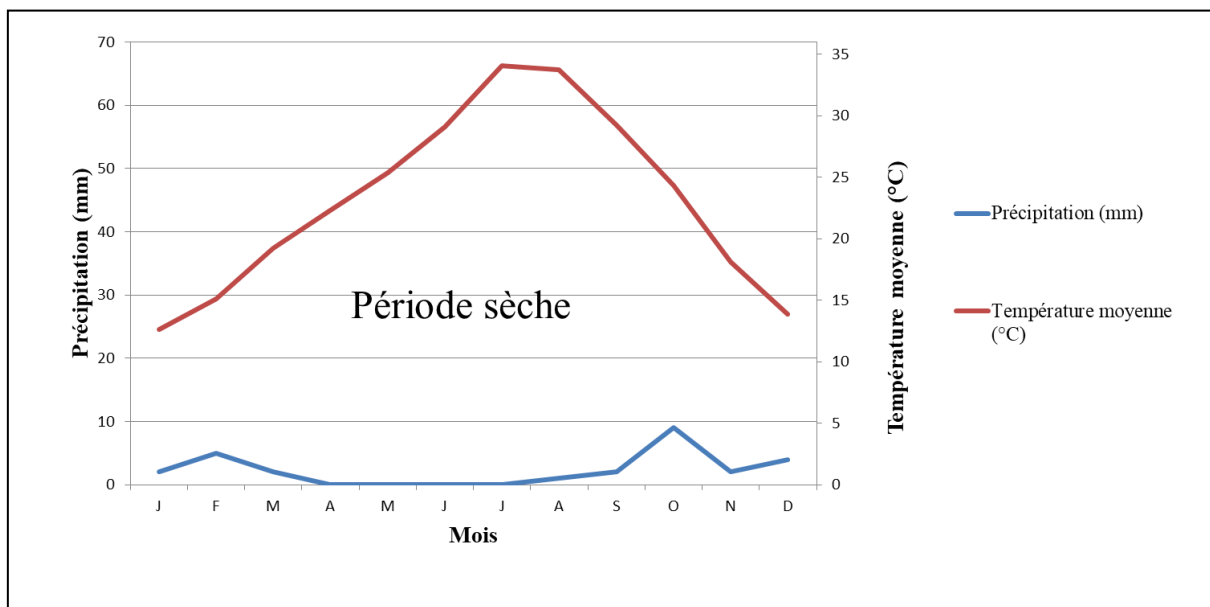


Figure 18 : diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1991-2021).

3. Echantillonnage

L'échantillonnage des sols a été réalisé en avril 2014 par Mme Aci Louiza sous six sujets d'*Argania spinosa*, sélectionnés de manière aussi aléatoire que possible dans trois oueds étudiés du périmètre de Touiref Bou Aam. Dans chaque oued (oued el Ma : OM, oued Bouyadhine : OB et oued Gahouane : OG), deux arbres ont été choisis. Notre travail a concerné les prélèvements qui ont porté sur les 20 premiers centimètres du sol (Figure 19). Les coordonnées GPS des sujets concernés par notre travail sont données dans le tableau 5.

Tableau 5 : positionnement des sujets étudiées (Aci, 2020).

Sujets concernés	Coordonnées GPS
OB1	Alt : 542 m ; N 28°27' 31.8" ; W 008° 09' 20.1"
OB2	Alt : 539 m ; N 28°27' 31.8" ; W 008° 09' 20.1"
OM1	Alt : 556 m ; N 28°29' 36.5" ; W 008° 10' 08.0"
OM2	Alt : 557 m ; N 28°29' 35.5" ; W 008° 10' 08.1"
OG1	Alt : 561 m ; N 28°28' 24.9" ; W 008° 13' 36.3"
OG2	Alt : 560 m ; N 28°26' 58.6" ; W 008° 12' 25.6"



Figure 19 : sol sous arganier de la station d'étude Touiref Bou-Âam.

4. Caractéristiques physico-chimiques des sols sous-arganiers

4.1. Texture

Les différentes textures des sols concernés par notre travail sont données dans le tableau 6.

Tableau 6 : texture des sols étudiés (Aci, 2020).

Sols	A (%)	LF (%)	LG (%)	SF (%)	SG (%)	Texture
OB1	9,12	0,02	0,12	76,57	14,12	Sableuse fine
OB2	3,59	0,16	2,03	56,89	37,33	Sableuse
OM1	6,2	3,91	3,41	84,92	1,56	Sableuse fine
OM2	2,69	1,02	4,12	84,82	7,35	Sableuse fine
OG1	2,45	5,2	7,03	59,61	30,61	Sablo-limoneuse
OG2	6,16	0,83	2,02	82,92	8,07	Sableuse fine

Le tableau 6 présente l'analyse granulométrique des six échantillons de sol concernés (0-20 cm). La majorité des échantillons sont à texture sableuse fine ou sableuse, caractérisées par une forte proportion de sable et de faibles teneurs en argiles et limons, ce qui implique un bon drainage, mais une faible rétention d'eau et de nutriments. OG1 se distingue par une texture sablo-limoneuse due à une teneur en limons plus élevée, suggérant une meilleure capacité de rétention (Aci, 2020)

4.2. Caractéristiques chimiques des sols sous-arganiers

Le pH, ainsi que les taux de calcaire total et de matière organique sont donnés dans le tableau 7. Les sols d'oued El Ma et de l'oued Gahouane affichent un pH neutre, ce qui est généralement favorable à l'absorption des nutriments par les plantes. En revanche, les sols de l'oued Bouyadhine présentent un pH basique (moyenne de 7,71), susceptible d'affecter la disponibilité de certains éléments nutritifs (Aci, 2020).

Tableau 7 : pH, taux de matière organique (MO) et de calcaire total des sols sous arganiers (Aci, 2020).

Sujets	pH	MO (%)	CaCO ₃ total (%)
OB1	7,75	0,53	11,87
OB2	7,21	0,69	10,31
OM1	7,31	0,58	8,56
OM2	7,11	0,58	5,63
OG1	7,27	0,63	9,69
OG2	7,08	0,74	8,00

Les sols étudiés sous arganiers présentent des taux de matière organique extrêmement faibles. Parallèlement, tous les échantillons contiennent du calcaire total en proportions variables (5,63% à 11,87%) (Aci, 2020).

5. Manipulations au laboratoire

5.1. Préparation du milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar)

Pour la mise en culture des champignons du sol sous arganier, nous avons préparé un milieu de culture spécifique. Nous avons choisi un milieu semi-synthétique P.D.A (Potato-Dextrose-Agar).

5.1.1. Composition

- 200 g de pomme de terre coupée en petites carrés.
- 20 g de glucose.
- 20 g d'agar.
- 1l d'eau distillée.

5.1.2. Préparation

Les étapes de préparation du milieu de culture PDA sont les suivantes.

- ✓ On fait bouillir 200 g de pomme de terre coupé en petits dés dans l'eau pendant 20 minutes.
- ✓ On récupère le suc de pomme de terre avec un tissu filtrant.
- ✓ On ajoute 20 g d'agar et 20 g de glucose.
- ✓ On ajuste avec l'eau distillée pour atteindre un volume final de 1 l et on laisse le mélange s'homogénéiser sur un agitateur chauffant pendant 20 minutes.
- ✓ On verse le milieu dans des bouteilles préalablement stérilisées, puis on les place dans une étuve à 120 °C pendant 30 minutes par la stérilisation.

5.2. Technique de suspension-dilutions

Pour isoler les champignons du sol, la technique directe dite de suspension-dilution qui est présentée dans la figure 20 a été adoptée. Cette technique comprend plusieurs étapes, allant de la préparation des dilutions jusqu'à l'interprétation des résultats (Rapilly, 1968). La préparation des dilutions commence par l'ajout de 1 g de sol à 9 ml d'eau distillée stérile, suivi d'une agitation au vortex pendant 30 secondes. Pour chacun des six sujets étudiés, trois répétitions ont été prélevés, puis soumis à une série de trois dilutions décimales (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) dans des tubes à essai codifiés.

Les suspensions obtenues ont étéensemencées, entre deux bacs Bunsen, dans des boîtes de Pétri contenant le milieu PDA, enrichi d'un antibiotique afin d'inhiber la croissance bactérienne. Chaque boîte a été étiquetée en fonction de l'origine du sol et du niveau de dilution correspondant.

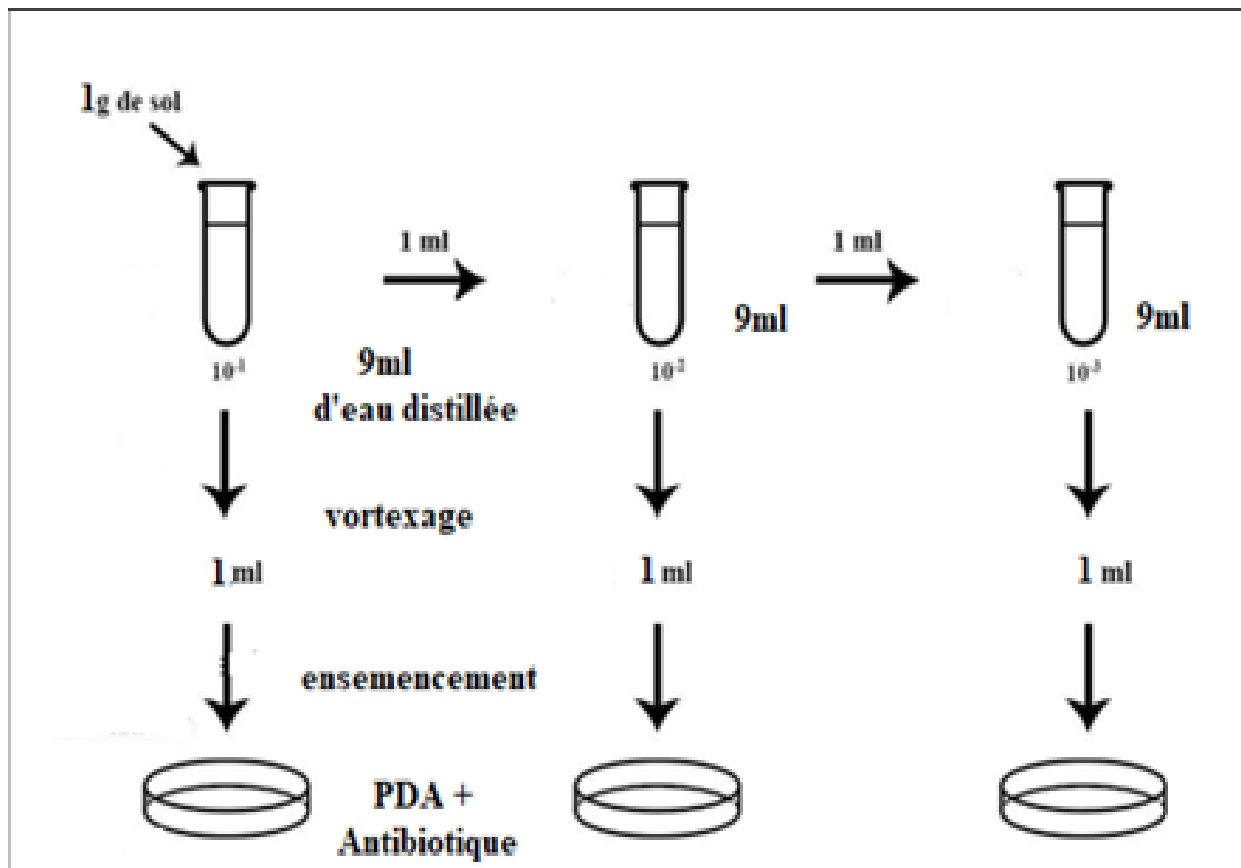


Figure 20 : technique des suspension-dilutions (Rapilly, 1968).

5.3. Prélèvement des isolats fongiques

Après prolifération des colonies fongiques, chaque colonie est notée selon son aspect macroscopique et des fragments ont été prélevés entre deux becs bunsen, avec un bistouri stérilisé à l'éthanol 70° et à la flamme après chaque prélèvement et conservés ensuite dans une goutte de gélatine glycinée, entre lame et lamelle. Ces dernières sont codifiées selon la colonie, la dilution et le sol correspondant.

5.4. Identification des isolats fongiques

L'identification s'est faite en s'appuyant sur deux types de critères (macroscopiques et microscopiques).

5.4.1. Identification macroscopique

L'observation des critères macroscopiques est basée sur plusieurs aspects distinctifs à l'œil nu, à savoir :

- * l'aspect des colonies : les champignons filamenteux forment des colonies duveteuses avec une texture épaisse, laineuses, floconneuses, ou veloutées ;
- * le relief des colonies : elle peut être plane, surélevée ou striée ;
- * la taille des colonies : elle peut varier en fonction des genres fongiques ;
- * la couleur des colonies : les couleurs les plus fréquentes sont vert-olive, brunes ou noires, blanches, jaunes ou rouges. Les pigments sont localisés soit au niveau du mycélium ou bien diffusés dans le milieu de culture.

5.4.2. Identification microscopique

La discrimination entre espèces fongiques a été réalisée à travers des ouvrages spécialisés, des articles scientifiques d'actualité et notamment la clé d'identification des Deutéromycètes de Morelet et Kiffer (1977). L'identification des genres fongiques a été réalisée selon des caractères suivants :

- hyphes : septés, non septés, larges ;
- conidiospores : absents, simples, ramifiés ;
- cellules conidiogènes : annélide, phialide ;
- conidies : uni- ou pluricellulaires, solitaires, en amas ou en chaînes, forme (ronde, Ovale, en massue...) ;
- organes de fructification : périthèces, cléistothèces (sexué), pycnides (asexué) (Dufresne et Germain, 2013).

6. Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été saisis sur Excel afin de calculer les moyennes d'abondance en appliquant la formule suivante :

$$A(\%) = (N_g / N_t) \cdot 100$$

- A représente l'abondance relative d'un genre en pourcentage.
- N_g est le nombre de fois où le genre est recensé dans un prélèvement donné.
- N_t est le nombre total de répétitions ayant fructifié.

Cette approche permet de quantifier et de visualiser la diversité des genres fongiques présents dans chaque échantillon de sol.

Dans le cadre de ce travail, deux types d'analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel StatBox 6.40 : une analyse de la variance (ANOVA) et une analyse en composantes principales (ACP).

- Analyse de la variance (ANOVA) a été appliquée aux abondances des genres fongiques recensés pour mettre en évidence la présence de différences significatives entre les différents champignons des sols échantillonnés. Les valeurs de p obtenues ont été comparées à un seuil de signification fixé à $\alpha = 0,05$. Une valeur de p inférieure à ce seuil indique une différence significative entre les échantillons de sol, tandis qu'une valeur de p supérieure à 0,05 indique l'absence de différence significative.

- Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée afin de mettre en évidence la distribution spatiale des différents genres fongiques en fonction des sujets échantillonnés, avec une matrice de corrélation pour illustrer les interactions entre les différents genres identifiés.

Chapitre 4

Résultats et discussion

1. Diversité et abondance des genres fongiques présents dans les sols sous arganier

Dans cette étude, nous avons identifié 6 genres fongiques (Tableau 8) appartenant à un seul phylum. Tous ces genres sont des Ascomycota, représentant ainsi 100% des isolats identifiés.

Tableau 8 : abondance des genres fongiques isolés à partir des sols sous arganier.

Genre	Phylum	Ordre	Famille	Abondance (%) ± Ecart-types
<i>Penicillium</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae	87,31±8,71
<i>Aspergillus nidulans</i>	Ascomycota	Eurotiales	Trichocomaceae	0,74±1,65
<i>Cladosporium</i>	Ascomycota	Capnodiales	Davidiellaceae	3,70±4,44
<i>Neoscytalidium</i>	Ascomycota	Botryosphaeriales	Botryosphaeriaceae	0,37±0,83
<i>Eupenicillium</i>	Ascomycota	Eurotiales	Trichocomaceae	3,79±3,91
<i>Curvularia</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae	4,07±5,80

Le phylum des Ascomycota représente le groupe le plus important et le plus diversifié parmi les champignons connus (Schoch et *al.*, 2009). La dominance mise en évidence dans nos résultats est aussi confirmée par les études menées par Ouali et Yaddaden (2019), concernant les sols sous pistachier de l'Atlas de la région de Laghouat. Dans ces sols, les Ascomycota prédominent notamment en raison de leur bonne adaptation aux conditions arides, grâce à leur tolérance au stress hydrique et à leur capacité à décomposer la matière organique (Smith et *al.*, 2015).

La diversité des champignons présents dans les sols sous arganier de Touiref Bou-Aam montre une répartition déséquilibrée entre les différents genres. *Penicillium* s'impose largement avec une part de 87,31%, suivi par *Curvularia* (4,07%), *Eupenicillium* (3,79%),

Cladosporium (3,70%), *Aspergillus* (0,74%) et enfin *Neoscytalidium* avec 0,37%. Cette répartition est influencée par divers facteurs écologiques et environnementaux.

2. Abondance des genres fongiques recensés par sujet échantillonné

Les abondances des genres fongiques isolés des sols correspondant aux différents sujets échantillonnés sont reportées dans le tableau 9 et la figure 21.

Tableau 9 : abondances (%) des genres fongiques recensés au niveau des différents sujets.

Sujets	<i>Penicillium</i> (%)	<i>Eupenicillium</i> (%)	<i>Neoscytalidium</i> (%)	<i>Aspergillus</i> <i>nidulans</i> (%)	<i>Curvularia</i> (%)	<i>Cladosporium</i> (%)
OM1	76,66	12,22	0	0	0	11,11
OM2	95	2,22	0	0	0	2,77
OB1	83,33	3,33	0	0	13,33	0
OB2	100	0	0	0	0	0
OG1	77,77	2,77	0	0	11,11	8,33
OG2	91,1	2,22	2,22	4,44	0	0

Selon les résultats obtenus, nous pouvons constater que *Penicillium* est clairement le genre le plus dominant, avec les pourcentages les plus élevés chez tous les sujets, allant de 76,66% pour OM1 à 100% pour OB2. *Eupenicillium* est présent chez 5 sujets sur les six étudiés, mais à des taux beaucoup plus faibles variant de 0% à 12,22%. En revanche, *Neoscytalidium*, *Aspergillus nidulans*, *Curvularia* et *Cladosporium* montrent des distributions plus spécifiques. *Neoscytalidium* est uniquement présent chez OG2 à un faible taux de 2,22%, tandis que *Curvularia* se retrouve chez OB1 (13,33%) et OG1 (11,11%). *Aspergillus nidulans*

est observé uniquement chez OG2, avec un taux de 4,44%. Enfin, *Cladosporium* est présent chez OM1 (11,11%), OG1 (8,33%) et OM2 (2,77%), mais absent chez OB1, OB2 et OG2.

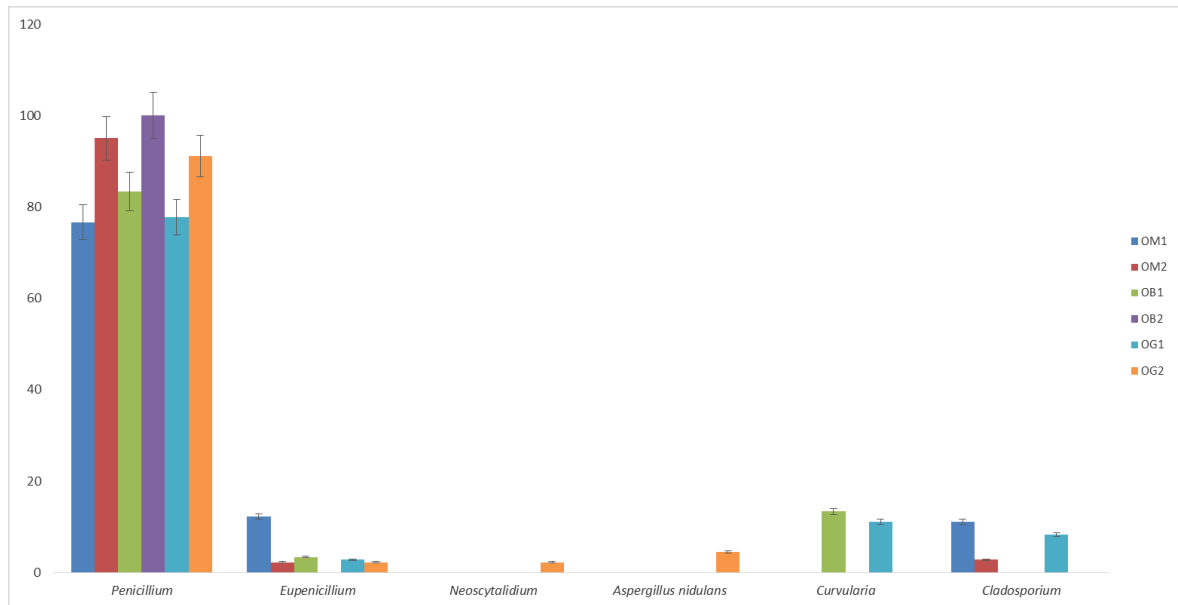


Figure 21 : histogramme des abondances (%) des genres fongiques recensés pour chaque sujet.

Le genre *Penicillium* est cosmopolite ; il est largement répandu dans divers environnements à travers le monde. Il est particulièrement bien adapté pour coloniser des milieux présentant une pression osmotique élevée (Bouchet et *al.*, 2000). Son habitat naturel inclut principalement les sols, ainsi que les matières organiques en décomposition, ce qui en fait un acteur important dans les processus de dégradation (Tabuc, 2007).

3. Description des genres recensés

3.1. *Penicillium*

Ce genre regroupe plus de 200 espèces. Ces dernières montrent une croissance rapide, des teintes variées (généralement vertes) et des conidiophores ramifiés ou non, supportant des phialides produisant des chaînes de spores rondes ou ovales (Figure 22) (Samson et *al.*, 2004).

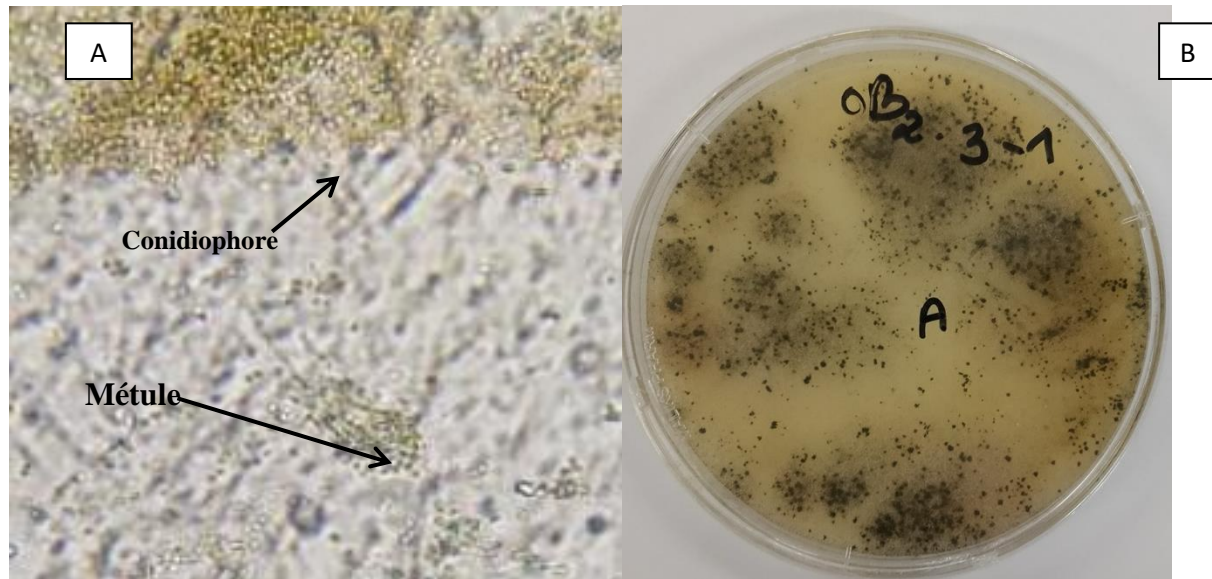


Figure 22 : observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) du genre *Penicillium*.

3.2. *Cladosporium*

C'est un champignon qui présente une croissance allant de lente à modérément rapide, sur divers milieux. Il est couramment retrouvé dans le sol, ainsi que sur de nombreuses plantes. Ce genre est fréquemment isolé de l'air ambiant. En général, il croît entre 20 et 25°C, bien que certaines espèces, telles que *Cladosporium carrionii* et *Cladosporium bantianium*, soient thermophiles (Lyatim, 2008). Les colonies présentent une texture veloutée ou floconneuse, parfois même poudreuse. Elles apparaissent dans une large gamme de vert olive à brun noir très foncé, tandis que le revers est de couleur brun noir (Chabasse et *al.*, 2002) (Figure 23B). Les hyphes de ces champignons sont rampants, septés et peuvent se trouver soit à la surface, soit dans le substrat. Les conidiophores, presque dressés, sont ramifiés et floconneux, formant souvent un gazon de couleur olive (Ogórek et *al.*, 2012). Les conidies sont de couleur foncée et leur forme varie de l'ellipsoïde au cylindrique (Tasic et *al.*, 2007) (Figure 23A).

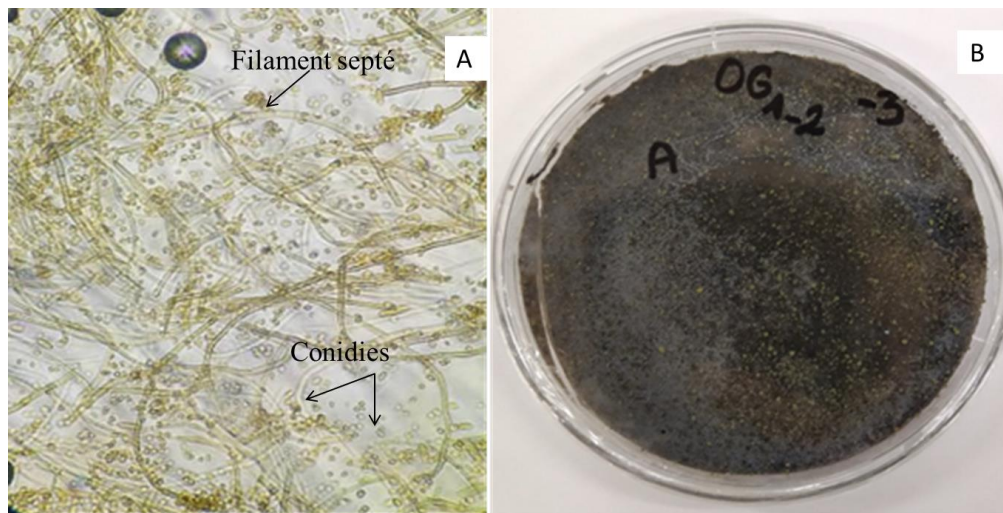


Figure 23 : observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) du genre *Cladosporium*.

3.3. *Neoscytalidium*

Ils sont largement répartis sur le globe terrestre (Ahmadpour et *al.*, 2023). Les colonies semblent d'abord incolores, puis passent en sept jours d'une couleur olivacée brun clair ou verdâtre à des teintes citrines au centre. Elles noircissent avec le temps à la surface ainsi qu'en dessous, associées à un mycélium légèrement pelucheux, aux bords lisses (Figure 24B). Leur morphologie génère des conidies poudreuses et texturées au toucher, organisées en chaînes arthriques par fragmentation des hyphes. Ces conidies adoptent diverses formes, allant de cylindriques tronquées à oblongues-obtuses et doliformes. Elles possèdent des parois épaisses qui évoluent d'un état hyalin au départ, à une couleur brun foncé en vieillissant (Figure 24A). La croissance optimale du mycélium de ce champignon se déroule à des températures comprises entre 33 et 35°C, tandis que la germination des conidies atteint son maximum entre 38 et 40°C (Dervis et *al.*, 2023).

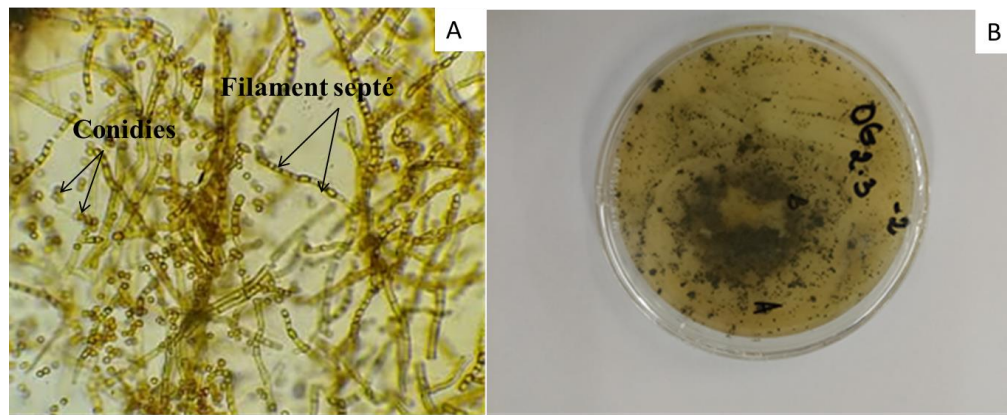


Figure 24 : observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) du genre *Neoscytalidium*.

3.4. *Aspergillus nidulans*

C'est un champignon filamenteux, saprophyte, ubiquitaire, considéré comme l'organisme modèle pour un large groupe de plus de 185 espèces d'*Aspergillus* (Samson, 1992). Les conidiophores d'*Aspergillus nidulans* sont courts, dressés et se terminent par une vésicule sphérique portant des phialides disposées en deux couches, formant ainsi une structure bisériée (Klich, 2002 ; Samson et al., 2014). Les conidies, de forme sphérique à subsphérique, sont rugueuses et organisées en chaînes (Figure 25A) (Pitt & Hocking, 2009). Ce champignon se développe préférentiellement dans les sols riches en matière organique, souvent sableux et bien aérés et il tolère des températures élevées, pouvant atteindre jusqu'à 45°C (Pitt & Hocking, 2009 ; Samson et al., 2014).

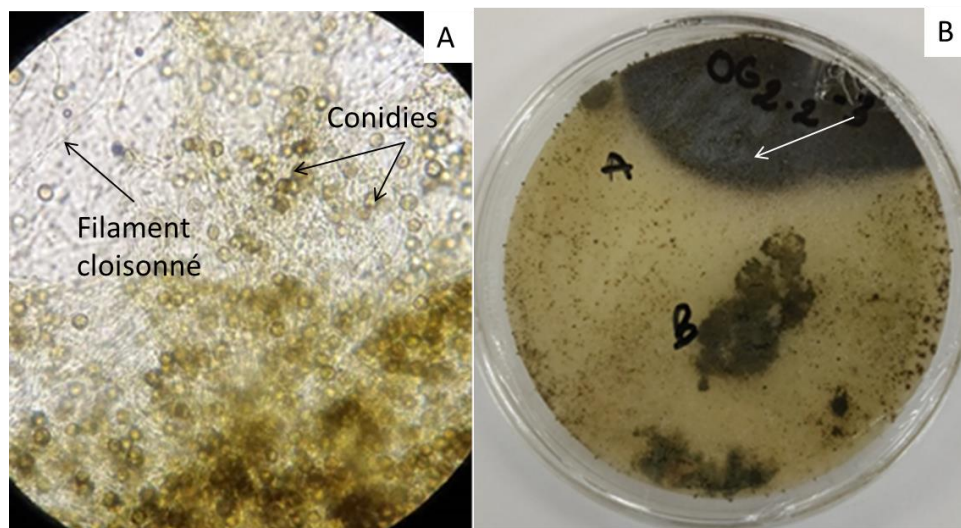


Figure 25 : observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) d'*Aspergillus nidulans*.

3.5. *Curvularia*

Les colonies de *Curvularia* présentent une croissance rapide et une pigmentation brune à brun-noir (Figure 26B), typique des champignons dématiés. Les conidies sont courbées ou en forme de croissant, avec des extrémités arrondies et comportent généralement de trois à cinq cloisons (septa) (Jeon et al., 2015) (Figure 26A). Ces champignons se développent dans des environnements chauds et humides, conditions favorisant leur propagation rapide (Tan et al., 2018).

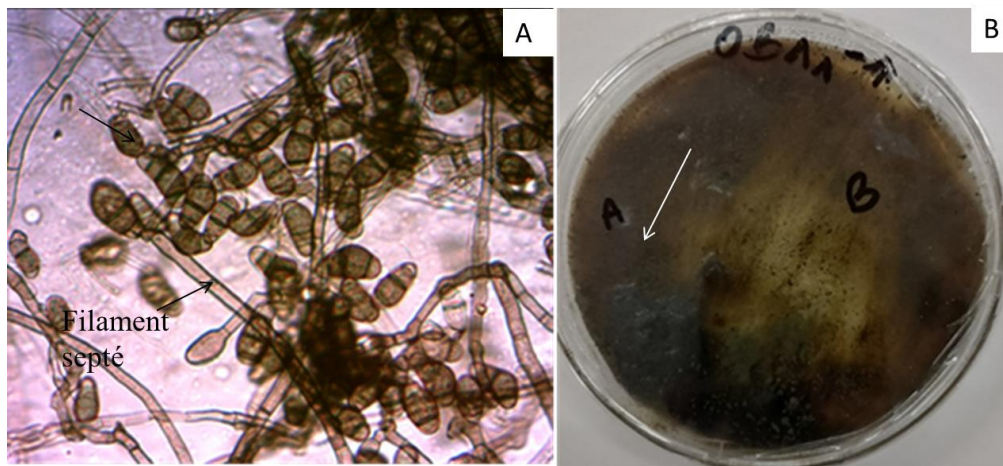


Figure 26 : observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) de *Curvularia*.

3.6. *Eupenicillium*

Les colonies des espèces du genre *Eupenicillium* peuvent présenter une large gamme de couleurs, allant du blanc à différentes nuances de brun clair à beige (Figure 27A), selon les espèces et les conditions de croissance (Wang et al., 2016). Cette diversité chromatique peut refléter des caractéristiques spécifiques, ainsi que des adaptations environnementales. Par exemple, *Eupenicillium tropicum* développe des cléistothèces brunâtres, qui s'assombrissent avec l'âge, traduisant une évolution progressive de la pigmentation au cours du développement. Par ailleurs, la structure des hyphes peut également varier : certaines espèces, comme *Eupenicillium bovisimosum* présentent des hyphes robustes et denses, formant de longues et larges colonnes de conidies (Tuthill & Frisvad, 2002).

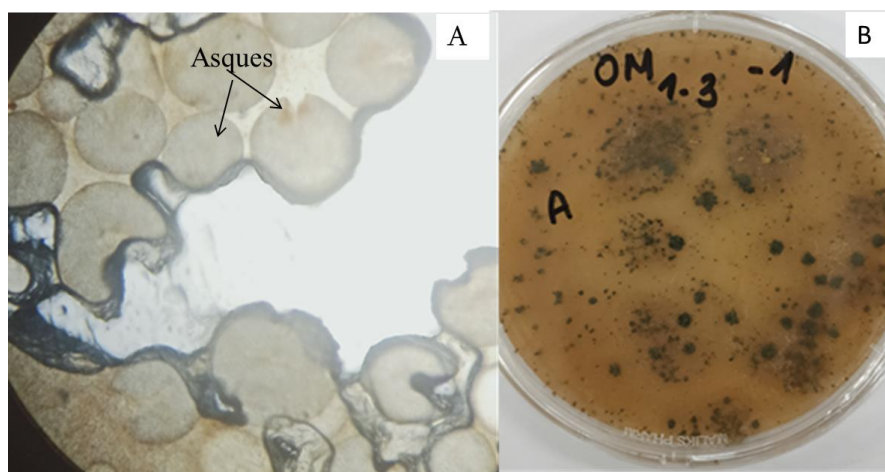


Figure 27 : observations microscopique (x400) (A) et macroscopique (B) du genre *Eupenicillium*.

4. Analyse statistique

4.1. Analyse de la variance

Le test ANOVA (Tableau 10) révèle que les probabilités (p) associées à chaque genre fongique étudié sont toutes supérieures au seuil de signification fixé à $\alpha = 0,05$. Plus précisément, *Penicillium* (p = 0,54), *Eupenicillium* (p = 0,35), *Aspergillus nidulans* (p = 0,46), *Cladosporium* (p = 0,63), *Neoscytalidium* (p = 0,46) et *Curvularia* (p = 0,57) n'affichent aucune différence statistiquement significative dans leur distribution au sein des échantillons de sol sous arganier.

Tableau 10 : analyse de la variance concernant les genres fongiques recensés.

Genres	Proba (p)	Comparaison	Conclusion
<i>Penicillium</i>	0,54	0,54 > 0,05	Non significative
<i>Eupenicillium</i>	0,35	0,35 > 0,05	Non significative
<i>Aspergillus nidulans</i>	0,46	0,46 > 0,05	Non significative
<i>Cladosporium</i>	0,63	0,63 > 0,05	Non significative
<i>Neoscytalidium</i>	0,46	0,46 > 0,05	Non significative
<i>Curvularia</i>	0,57	0,57 > 0,05	Non significative

4.2. Matrice de corrélation des genres fongiques recensés dans les sols sous arganiers de la région de Touiref Bou Aam

Des interactions significatives ont été observées entre les différents taxons fongiques. Ces interactions peuvent être positives favorisant la croissance ou la coexistence des espèces ou négatives inhibant leur développement ou leur présence mutuelle. Afin d'explorer ces relations, deux matrices de corrélation ont été établies : une matrice de corrélation concernant uniquement les genres fongiques recensés et une autre afin de montrer l'interaction éventuelle entre l'abondance des genres fongiques et les paramètres physicochimiques du sol (Tableaux 11 et 12).

Tableau 11 : matrice de corrélation des genres fongiques présents au niveau des sols sous arganier.

	<i>Penicillium</i>	<i>Eupenicillium</i>	<i>Neoscytalidium</i>	<i>Aspergillus nidulans</i>	<i>Curvularia</i>	<i>Cladosporium</i>
<i>Penicillium</i>	1					
<i>Eupenicillium</i>	-0,71	1				
<i>Neoscytalidium</i>	0,19	-0,18	1			
<i>Aspergillus nidulans</i>	0,19	-0,18	1,00	1		
<i>Curvularia</i>	-0,53	-0,13	-0,31	-0,31	1	
<i>Cladosporium</i>	-0,76	0,78	-0,37	-0,37	0,01	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)

Le tableau 11 nous a permis de mieux comprendre les relations entre les différents genres de champignons retrouvés dans le sol sous arganiers. On observe une forte opposition entre *Penicillium* et *Eupenicillium*. Quand l'un est abondant dans un échantillon de sol l'autre est presque toujours peu présent. Une autre relation négative a été observée entre *Penicillium* et *Cladosporium*. Là encore, il semble y avoir une forme de compétition : *Penicillium* est souvent associé à des sols secs et pauvres, tandis que *Cladosporium* préfère des conditions plus humides et riches (Griffin, 1994 ; Bensch et al., 2012). À l'inverse, *Eupenicillium* et *Cladosporium* ont montré une forte corrélation positive, ce qui veut dire qu'ils se retrouvent souvent ensemble dans les mêmes sols. Cela suggère qu'ils partagent des besoins écologiques similaires, comme une certaine humidité ou un pH légèrement basique (Rousk et al., 2010). Enfin, *Neoscytalidium* et *Aspergillus nidulans* présentent une corrélation parfaite ($r = 1,00$) ; ce qui signifie que leurs abondances évoluent exactement de la même façon. Cela montre qu'ils ont probablement des exigences écologiques proches, puisqu'ils sont tous deux

capables de vivre dans des milieux secs souvent pauvres comme ceux qu'on trouve dans la région étudiée (van der Heijden et *al.*, 2008).

	<i>Penicillium</i>	<i>Eupenicillium</i>	<i>Neoscytalidium</i>	<i>Aspergillus nidulans</i>	<i>Curvularia</i>	<i>Cladosporium</i>	A	LF	LG	SF	SG	CaCO ₃	MO	pH
<i>Penicillium</i>	1													
<i>Eupenicillium</i>	-0,71	1												
<i>Neoscytalidium</i>	0,19	-0,18	1											
<i>Aspergillus nidulans</i>	0,19	-0,18	1,00	1										
<i>Curvularia</i>	-0,53	-0,13	-0,31	-0,31	1									
<i>Cladosporium</i>	-0,76	0,78	-0,37	-0,37	0,01	1								
A	-0,29	0,32	0,21	0,21	0,31	-0,24	1							
LF	-0,76	0,52	-0,23	-0,23	0,18	0,92	-0,37	1						
LG	-0,34	0,08	-0,23	-0,23	0,05	0,67	-0,79	0,84	1					
SF	-0,15	0,51	0,33	0,33	-0,33	0,08	0,42	-0,14	-0,27	1				
SG	0,29	-0,62	-0,29	-0,29	0,28	-0,21	-0,44	0,01	0,21	-0,99	1			
CaCO ₃	-0,26	-0,08	-0,23	-0,23	0,67	-0,17	0,52	-0,10	-0,39	-0,55	0,50	1		
MO	0,46	-0,42	0,72	0,72	-0,49	-0,31	-0,31	-0,11	0,05	-0,28	0,32	-0,15	1	
pH	-0,45	0,19	-0,43	-0,43	0,77	-0,05	0,71	-0,12	-0,44	-0,06	0,01	0,78	0,70	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)

Tableau 12 : Matrice de corrélation entre l'abondance des genres fongiques et les paramètres physicochimiques du sol.

D'après le tableau 12, l'analyse de la matrice de corrélation entre les genres fongiques et les propriétés du sol sous arganier met en évidence des préférences écologiques bien distinctes. *Penicillium* est associé à des sols pauvres en limons fins (-0,76) et à pH bas (-0,45). À l'inverse, *Eupenicillium* et *Cladosporium* montrent des corrélations positives avec les limons fins (0,52 et 0,92 respectivement) ; ce qui suggère qu'ils préfèrent des sols plus fins. *Cladosporium* est également corrélé au limons grossiers (0,67), ce qui confirme sa préférence pour des sols limoneux. De son côté, *Curvularia* présente une forte affinité pour les sols calcaires et basiques, avec une corrélation élevée avec le pH (0,77) et le CaCO₃ (0,67). Enfin, *Aspergillus nidulans* et *Neoscytalidium* sont fortement liés à la matière organique (0,72 chacun), mais négativement corrélés au pH (-0,43), ce qui indique une préférence pour des sols riches, mais légèrement acides. Ces résultats montrent que la texture, le pH, le taux de calcaire et la matière organique sont des facteurs clés qui influencent la distribution des champignons dans le sol sous arganier.

4.2. Analyse en composantes principales (ACP)

Une première analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les genres fongiques présents sous arganiers explique 78% de l'inertie totale. Les deux premiers axes principaux, F1 et F2, expliquent respectivement 50% et 28% de la variance (Figure 28).

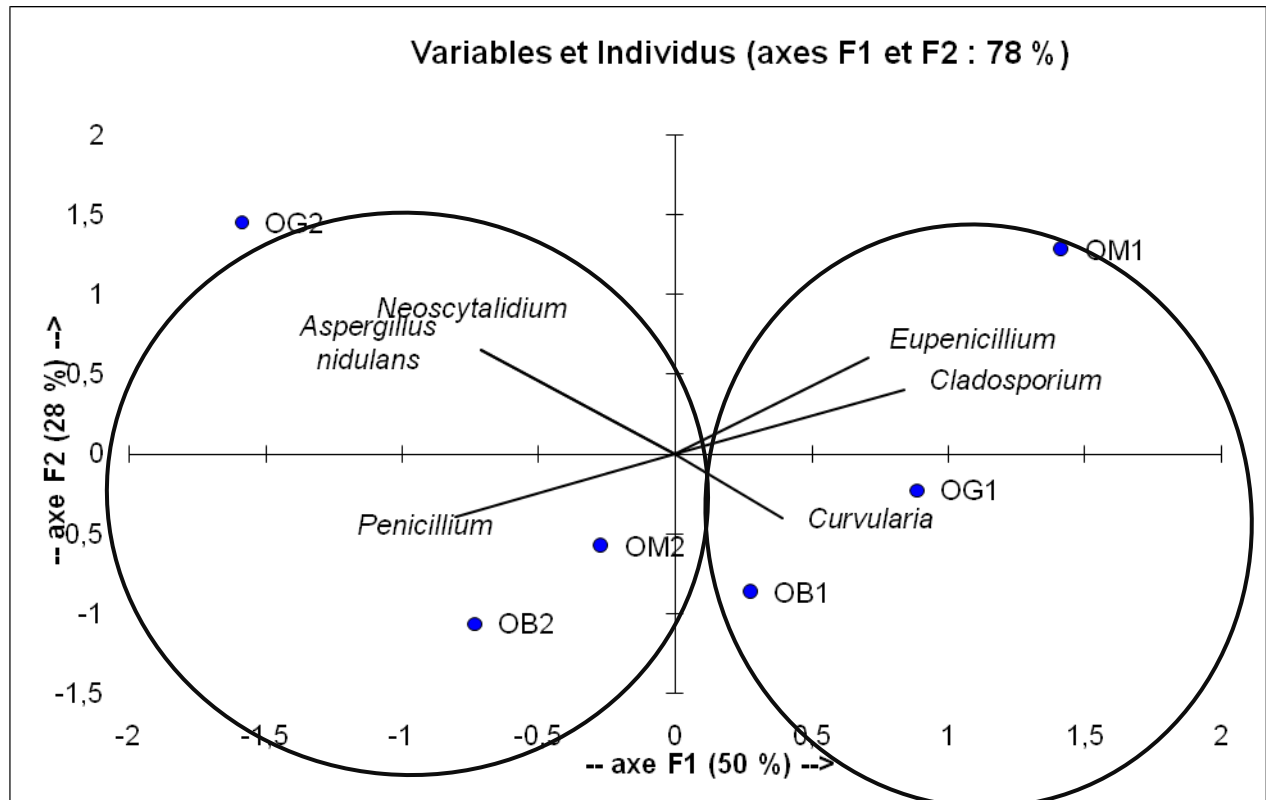


Figure 28 : analyse en composantes principales du cortège fongique des sols sous arganier.

L'analyse en composantes principales (ACP) appliquée à la diversité fongique des sols, met en évidence une séparation nette des échantillons le long de l'axe F1 traduisant une structuration marquée des communautés fongiques.

Le premier groupe, constitué des échantillons OM1, OG1 et OB1 se positionne du côté positif de l'axe F1. Il se distingue par une abondance notable des genres *Eupenicillium*, *Cladosporium* et *Curvularia*. À l'inverse, le second groupe composé des échantillons OM2, OG2 et OB2, se situe du côté négatif de l'axe F1. Il se caractérise par une dominance de *Penicillium*, *Aspergillus nidulans* et *Neoscytalidium*.

Une deuxième ACP a été faite en ajoutant aux abondances des genres fongiques les caractéristiques des sols correspondant données par Aci (2020) (Figure 29).

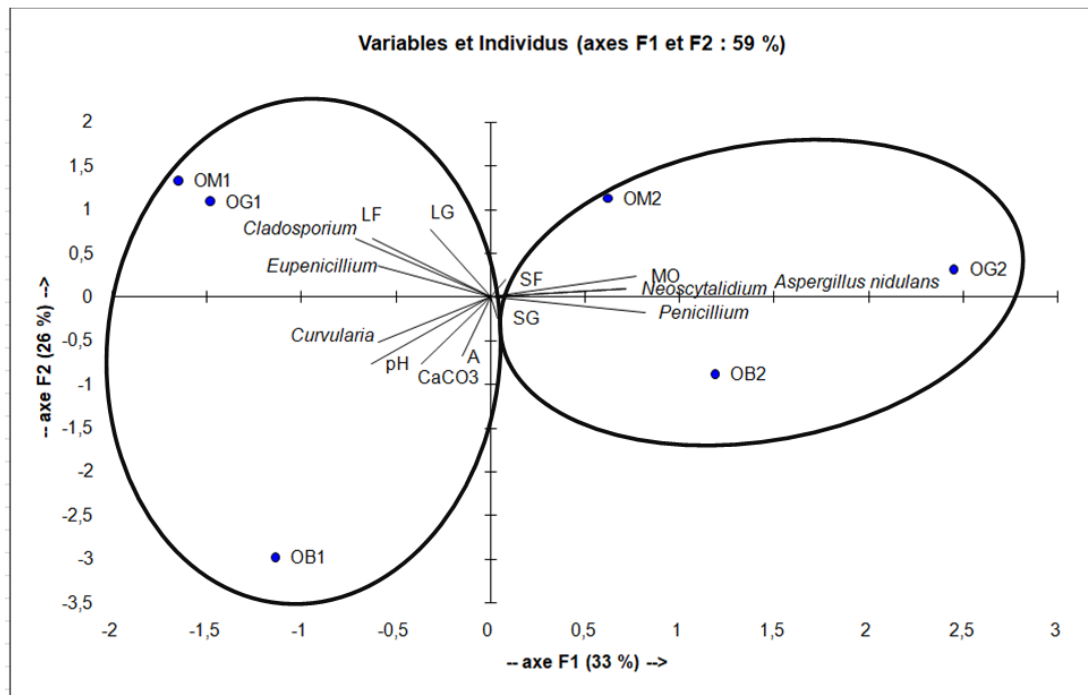


Figure 29 : analyse en composantes principales des relations entre communautés fongiques et paramètres physicochimiques des sols sous arganier.

Les deux premiers axes principaux expliquent ensemble 59% de la variance totale, avec pour l'axe F1, 33,3% et pour l'axe F2, 25,7. Sur le plan factoriel, deux groupes d'individus se dégagent clairement. Le groupe 1, constitué des individus OM1, OG1 et OG1, se positionne dans la partie gauche du graphique et montre une forte association avec les genres *Cladosporium*, *Eupenicillium* et *Curvularia*, ainsi qu'avec certains paramètres, à savoir le pH, le calcaire total, les argiles, les limons fins et grossiers. Le groupe 2, composé des individus OM2, OG2 et OB2, se situe dans la partie droite du graphique et présente une forte corrélation avec les genres *Penicillium*, *Aspergillus nidulans* et *Neoscytalidium*, ainsi qu'avec des paramètres du sol, à savoir la matière organique, les sables fins et grossiers. La présence de ces deux groupes reflète l'influence des conditions édaphiques : les sols riches en calcaire et limons, souvent plus basiques et pauvres en matière organique, favorisent des genres comme *Cladosporium* et *Eupenicillium* (Domsch et al., 2007). À l'inverse, des sols sableux et organiques, mieux aérés, créent un environnement favorable à des genres opportunistes comme *Penicillium* et *Aspergillus nidulans* et *Neoscytalidium*, bien connus pour leur tolérance aux milieux riches en nutriments (Pitt & Hocking, 2009).

5. Comparaison de la corrélation entre l'abondance du genre *Penicillium* et la diversité fongique associées à différentes espèces végétales

Les données présentées dans le tableau 13 et la figure 30 mettent en évidence des variations dans l'abondance de *Penicillium* et la diversité des genres fongiques selon les espèces végétales et leurs habitats spécifiques. Ces recherches ont été menées par des étudiants du laboratoire Ressources Naturelles de l'UMMTO, qui ont exploré la diversité fongique dans divers contextes écologiques en Algérie.

L'abondance du genre *Penicillium* ne semble pas liée au climat de la région. En effet, l'arganier qui se retrouve dans une zone où la saison sèche dure toute l'année montre l'abondance la plus importante. L'armoise champêtre et le pistachier de l'Atlas se retrouvent aussi en climat aride, où la saison sèche peut durer toute l'année. *Penicillium* est beaucoup moins abondant. Il y a lieu de noter aussi que ce genre fongique n'est ni thermophile, ni thermotolérant. Cela semble lier à la perturbation du milieu. Les milieux steppiques où l'armoise champêtre et le pistachier de l'Atlas sont recensés subissent une activité anthropique très importante : élevage et labour des dayas essentiellement. Les zones où l'arganier prolifère ne subissent pas les mêmes contraintes. Ce sont des zones où l'élevage est plus extensif et où aucun labour n'est pratiqué.

Cette explication est confirmée par les abondances du genre *Penicillium* dans les forêts de chêne liège de Larbâa Nath Irathen, Tizi Ouzou, qui se caractérisent par un climat humide. Ces forêts ont subi un incendie dévastateur en 2021. Les résultats montrent que dans ce cas, l'abondance de ce genre fongique augmente de 2023 à 2024 de 13,68 à 64,26%. L'écosystème au fil du temps retrouve son état climacique aussi bien au niveau végétation, qu'au niveau champignons de la rhizosphère. La succession écologique ne concerne pas uniquement le couvert végétal présent sur le sol, mais elle commence par les êtres vivants présents dans les sols sous-jacents à cette végétation et qui semble préparer le retour à l'état forêt de chêne liège : climax de la région de Larbâa Nath Irathen.

Tableau 13 : variation de l'abondance de genre *Penicillium* et la diversité fongique en fonction des espèces végétales.

Espèce végétale	Abondance de <i>Penicillium</i> (%)	Nombre de genres recensés	Références
Arganier	87,31	6	(Touiref Bou Aam, 2025)
Pistachier de l'atlas	28,84	35	(Ouali et Yaddaden, 2019)
Armoise champêtre	15,22	22	(Ainouz et Ait Amara, 2022)
Chêne liège 2023	13,68	23	(Ait Benali et Moussaoui, 2023)
Chêne liège 2024	64,26	21	(Hadj Kaci et Zellal, 2024)

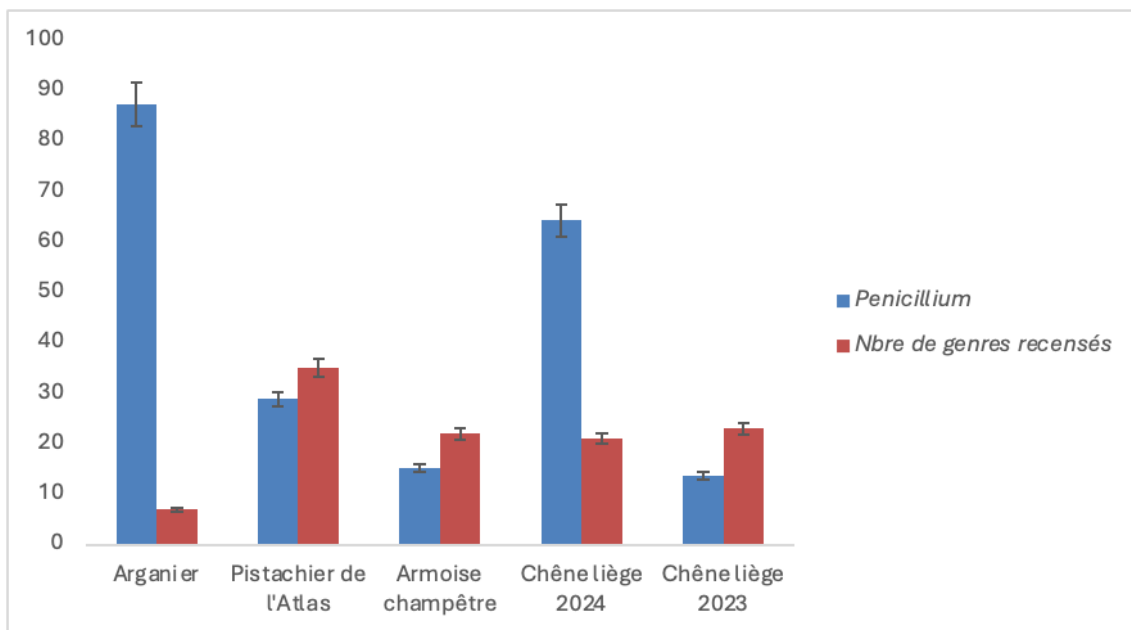


Figure 30 : Distribution comparative de la dominance de *Penicillium* et de la diversité des genres fongiques dans différents écosystèmes méditerranéens.

Ces observations illustrent clairement que la présence dominante de *Penicillium* est inversement corrélée à la diversité des genres fongiques recensés. Ce phénomène peut être expliqué par la forte compétitivité de *Penicillium*, qui produit des métabolites antifongiques et colonise rapidement les substrats, limitant ainsi l'installation d'autres champignons (Kim et al., 2019). Cette compétitivité est un facteur clé dans la structuration des communautés fongiques, particulièrement dans des environnements où la ressource est limitée ou dans des stades avancés de succession écologique. En effet, lors de la succession écologique, la diversité fongique tend à augmenter dans les premiers stades, avec une colonisation progressive de multiples genres. Cependant, à l'état climacique, considéré comme un état d'équilibre stable, certaines espèces ou genres dominants émergent, souvent au détriment de la diversité globale (Pandey et al., 2023). La dominance de *Penicillium* dans ces stades reflète ce phénomène, où la compétition intense réduit la richesse spécifique, stabilisant ainsi la communauté fongique.

Conclusion

Ce mémoire s'inscrit dans la continuité des recherches menées par le laboratoire «Ressources Naturelles» de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, prolongeant notamment les travaux initiés par Madame Aci Louiza en 2020 sur la structure racinaire de l'arganier.

L'objectif principal de cette étude était de contribuer à l'inventaire des champignons des sols sous *Argania spinosa* (L.) Skeels, un arbre emblématique et vital pour les écosystèmes arides algériens et de mettre en évidence les éventuelles abondances et dominances des genres fongiques. Notre travail s'est concentré sur l'isolement et l'identification des souches fongiques des sols sous arganier de la station de Touiref Bou-Aam, wilaya de Tindouf.

Nos résultats ont mis en évidence les points suivants concernant les communautés fongiques associées à ces sols.

- Dominance d'un seul phylum : les Ascomycota. Sur les six genres fongiques identifiés à partir des prélèvements de sols sous arganier, tous appartiennent exclusivement au phylum des Ascomycota, représentant 100% des isolats.
- Abondance écrasante de *Penicillium* : le genre *Penicillium* est le plus abondant parmi tous les genres recensés, constituant une part très significative des isolats (87,31%).
- D'autres genres ont également été identifiés, tels que *Curvularia* (4,07%), *Eupenicillium* (3,79%), *Cladosporium* (3,70%), *Aspergillus nidulans* (0,74%), et *Neosytalidium* (0,37%).
- Adaptation aux conditions arides : la prédominance des Ascomycota et en particulier de *Penicillium* et *Aspergillus*, est cohérente avec leur réputation de tolérance aux conditions environnementales extrêmes, telles que la xérophilie et les fortes températures, caractéristiques des sols arides de la région. Ces champignons jouent un rôle crucial dans le recyclage des nutriments et la stabilité du sol.

Cette étude apporte une contribution significative à la connaissance des communautés fongiques des sols sous arganier en Algérie. La dominance quasi exclusive des Ascomycota, avec *Penicillium* en tête, suggère une forte spécialisation et une adaptation de ces microorganismes aux contraintes environnementales des zones arides. Ces champignons sont

des acteurs essentiels dans le maintien de la fertilité des sols et, par extension, dans la survie et la résilience de l'arganier.

Enfin, pour une meilleure connaissance et une compréhension plus approfondie de la diversité et du rôle des champignons dans les sols sous arganier, ce travail peut être poursuivi par :

- Une caractérisation plus fine de la diversité : mener des analyses moléculaires pour identifier les espèces non cultivables et obtenir une vision exhaustive de la richesse spécifique fongique, incluant les champignons mycorhiziens à arbuscules dont le rôle symbiotique est primordial en milieu aride.
- Une étude des fonctions écologiques : approfondir la caractérisation des rôles fonctionnels des genres dominants, notamment leurs capacités à tolérer le stress hydrique, à solubiliser les nutriments, et à interagir avec les racines de l'arganier.
- Une extension spatio-temporelle de l'étude : étendre l'étude à d'autres populations d'arganiers présentes dans d'autres bioclimats et multiplier les prélèvements sur plusieurs années, afin d'appréhender la variabilité saisonnière et annuelle de cette diversité fongique en réponse aux changements édaphiques et climatiques.
- Évaluation du potentiel biotechnologique : évaluer le potentiel des souches isolées pour des applications en bio-inoculation ou en phytoremédiation afin d'améliorer la santé des sols et la croissance de l'arganier.

Références Bibliographiques

1. **Abdelkader, F. (2012).** Étude comparative de l'infection des sols par quelques champignons pathogènes en conditions de semis direct et de travail conventionnel. Mémoire de Magister, Université de Sétif 1 - Ferhat Abbas, Sétif. 120 p.
2. **Abdelghani Chakhchar, Mouna Lamaoui, Youssef El Kharrassi, Thouria Bourhim, Abdelkarim Filali-Maltouf, Cherkaoui El Modafar. (2020)** « A Review on the Root System of *Argania spinosa* », *Current Agriculture Research Journal*, vol. 8, n° 1, pp. 7–17, 2020, doi : 10.12944/CARJ.8.1.03.
3. **A. Bezzalla et S. Boudjabi, (2016)** « Les semis d'Argan (*Argania spinosa*) de différentes provenances géographiques révèlent des réponses de croissance morphologiques variables au stress hydrique progressif dans des conditions de pépinière », *Agroforestry Systems*.
4. **Achour, O. S. (2020).** Mise en évidence de champignons du sol sous *Peganum harmala* L. de la région de Laghouat (Algérie) [Internet]. [Tizi Ouzou] : Mouloud Mammeri. Consulté le 2 avril 2023. Disponible sur :

<https://www.ummt0.dz/dspace/bitstream/handle/ummt0/13762/Achour%20Otmame%20Siham.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. **Ahmadpour, S. A., Mehrabi-Koushki, M., Farokhinejad, R., & Mirsoleymani, Z. (2023).** Characterization and pathogenicity of *Neoscytalidium novaehollandiae* causing dieback and sooty canker in Iran. *Tropical Plant Pathology*, 48, 493-507.
6. **Agence de Coordination Interrégionale. (2018).** Systèmes racinaires des espèces arborées en zones arides : cas de l'arganier. Rapport technique, 45 p.
7. **ACI, Louiza. (2019).** Etudes écologiques des Arganeries de Tindouf. Thèse de doctorat. Université Ziane Achour - Djelfa - .
8. **APG IV (Angiosperm Phylogeny Group IV). (2016).** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1-20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
9. **Ait Aabd, A., El Mousadik, A., & Msanda, F. (2020).** Diversité génétique de l'arganier marocain : implications pour la conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67(8), 2145-2156. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-01011-5>

10. **Aubert, G. (1970).** Les sols arides : étude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. 24 p.
11. **Bani-Aameur, F. (2002).** Morphologie et croissance de l'arganier (*Argania spinosa*) en conditions naturelles. *Annals of Forest Science*, 59(5), 601-610.
12. **Bar Hen, A., Fortunato, S., Heymann, S., & Jost, J. (2008).** Current status on diversity, ecology, evolution, and taxonomy of basal fungi. *Biologia*, 63(2), 121-128.
13. **Beare, M. H., Hendrix, P. F., & Coleman, D. C. (1997).** Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 29(11-12), 1541-1549.
14. **Benfoddil, O. (2015).** Inventaire des champignons endophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. de Dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 102 p.
15. **Benkheira, K. (2009).** Étagement bioclimatique de l'arganeraie de Tindouf (Algérie). *Ecologia Mediterranea*, 35(2), 45-53.
16. **Bell-Perkins, L., & Lynch, J. (2002).** Rhizosphere microbiology. In G. Bitton (Ed.), *Encyclopedia of Environmental Microbiology* (pp. 2713-2728). Wiley-Interscience.
17. **Ben J. J. Lugtenberg, & Guido V. (2004).** Life in the Rhizosphere. In Book Chapter, Springer, Boston, MA, pp. 403-430.
18. **Boudy, P. (1950).** Économie forestière nord-africaine : tome IV – Forêts marocaines. Éditions Larose.
19. **Bouchet, P., Guignard, J.-L., & Pouchus, Y.-F. (2005).** Les champignons : mycologie fondamentale et appliquée (2e éd.). Masson, 191 p.
20. **Bouchet, P., Giraud, J. L., & Vihard, J. (1999).** Les champignons : mycologie fondamentale et appliquée. Masson, 190 p.
21. **Bourgeois, C. M., Mescle, J. F., & Zucca, J. (1996).** Microbiologie alimentaire. Tome 1, Aspect Microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Tec & Doc-Lavoisier.
22. **Boiron, P. (1996).** Organisation et biologie des champignons. Nathan, 128 p.

23. **Boiron, P. (2005).** Organisation et biologie des champignons. Nathan, 128 p.
24. **Bonfante, P., & Genre, A. (2010).** Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications*, 1(4), 48.
25. **Boussaid, M., Ben Said, S., & Messaoud, C. (2020).** Adaptations foliaires de l'arganier à la sécheresse : études anatomiques et physiologiques. *Trees*, 34(3), 789-800. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01964-1>
26. **Botton, B., Breton, A., Fevre, M., Gauthier, S., Guy, P. H., Larpent, J. P., Reymond, P., Sanglier, J. J., Vayssier, Y., & Veau, P. (1990).** Moisissures utiles et nuisibles : importance industrielle (2e éd.). Masson, Collection Biotechnologies, pp. 34-428.
27. **Botton, B., et al. (1999).** Influence du pH sur la croissance et l'activité enzymatique de champignons filamenteux. *Journal of Fungal Biology*, 15(3), 123-130.
28. **Carip, C., Salavert, M.-H., & Tandeau, A. (2015).** Microbiologie, hygiène et droit alimentaire. Lavoisier - Tec & Doc.
29. **Catarina Letícia Ferreira de Lima, et al. (2018).** Description of *Mucor pernambucoensis* (Mucorales, Mucoromycota), a new species isolated from the Brazilian upland rainforest. *Phytotaxa*, 350(3), 274–282.
30. **Chang, F. T., Tao, W., Li, J. W., Tian, X. H., Wen, F. C., Chun, T. G., Jin, G., & Wen, X. C. (2008).** *Rhizobium fabae* sp. nov., a bacterium that nodulates *Vicia faba*. *Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58, 2871–2875.
31. **Chabasse, D., Bouchra, J. P., Gentile, L., Brun, S., & Penn, P. (2002).** Cahier de formation biofarma : les moisissures d'intérêt médical. Labo Anal. Biomédicale.
32. **Darrah, P. R. (1993).** The rhizosphere and plant nutrition: a quantitative approach. *Plant and Soil*, 155, 1-20.
33. **Davet, P., & Rouxel, F. (1997).** Détection et isolement des champignons du sol. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris.
34. **Despois, J. & Raynal, R. (1967).** Géographie de l'Afrique du Nord-Ouest. Paris : Payot, 570 p.

35. **Després, J. (2012).** L'univers des champignons. Presses de l'Université de Montréal, 373 p.
36. **Deroy. (2015).** Evolution et adaptation des champignons saprophytes : les systèmes impliqués dans la dégradation du bois chez *Trametes versicolor*. Doctorat en Biologie Végétale et Forestière, Université de Lorraine, France, pp. 10-14 et 172-175.
37. **Dervis, S., & Özer, G. (2023).** Plant-Associated *Neoscytalidium dimidiatum*: Taxonomy, Host Range, Epidemiology, Virulence, and Management Strategies: A Comprehensive Review. *Journal of Fungi*, 46 p.
38. **Dubé, A. (2013).** Le Monde Fabuleux des Champignons. Éditions Québec Amérique.
39. **Dufresne, P. & St-Germain, G. (2013).** Identification des champignons d'importance médicale. Rapport d'activités 2012-2013 du Laboratoire de santé publique du Québec. Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), Québec, Canada.
40. **Dufresne, P. H. (2018).** Identification des champignons d'importance médicale. Stage de laboratoire, laboratoire de santé publique du Québec. 64 p.
41. **Dorothy E. Tuthill & Jens Christian Frisvad. (2004).** A new species from tropical soils, *Eupenicillium tropicum*. *Mycological Progress*, 3(1), 13-18.
42. **Egidi E., Delgado-Baquerizo M., Jonathan M., Plett., Juntao., Wang., David J. Eldridge., Richard D., Bardgett Fernando T., Maestre et Brajesh K. Singh, 2019.** A few Ascomycota taxa dominate soil fungal communities worldwide. *Nature communication*. 10 :2369p.
43. **El Mousadik, A., & Petit, R. J. (1996).** Isozyme diversity of argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) in Morocco. *Heredity*, 76(3), 343-350. <https://doi.org/10.1038/hdy.1996.52>
44. **Emberger, L. (1938).** Sur les variations morphologiques des fruits d'*Argania spinosa*. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 29, 78-85.
45. **Garbaye, J. (2014).** La symbiose mycorhizienne : une association entre les plantes et les champignons. *Quae*, 2019 p.
46. **Gentil, P. (1906).** Note sur les sols de l'arganeraie marocaine. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 53(7), 112-118.

47. **Gherbawy, Y. A., & Gashgari, R. M. (2013).** Molecular characterization of fungal endophytes from *Calotropis procera* plants in Taif region (Saudi Arabia) and their antifungal activities. *Plant Biosystems*, 148(6), 37-41.
48. **Halitim, A. (1985).** Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes Plaines Steppiques d'Algérie). Thèse Doct. d'Etat, Université de Rennes, 383 p.
49. **Halitim, A. (1988).** Sols des régions arides d'Algérie. Office des publications Universitaires, Alger, 336 p.
50. **Henry, D. (2013).** Du couple lignine-champignons dans la vie du sol à l'utilisation du BRF en agriculture. Les journées des paysannes.
51. **Heng Zhao, Yu-Cheng Dai, Xiaoyong Liu. (2022).** Outline and divergence time of subkingdom Mucoromyceta : two new phyla, five new orders, six new families and seventy-three new species. Posted Content.
52. **Hoorman, J. J., & Islam, K. R. (2010).** Understanding soil microbes and nutrient recycling. FACT SHEET. Agriculture and Natural Resources. The Ohio State University, 1-5.
53. **James, T. Y., Porter, D., Leander, C. A., Vilgalys, R., & Longcore, J. E. (2000).** Molecular phylogenetics of the Chytridiomycota supports the utility of ultrastructural data in chytrid systematics. *Canadian Journal of Botany*, 78(3), 336-350.
54. **James, T. Y., Kauff, F., Schoch, C. L., Matheny, P. B., Hofstetter, V., Cox, C. J., & Vilgalys, R. (2006).** Reconstructing the early evolution of Fungi using a six-gene phylogeny. *Nature*, 443(7113), 818-822.
55. **Jobard-Portas, M. (2010).** Diversité phylogénétique et fonctionnelle des Eumycètes dans les écosystèmes pélagiques. Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II.
56. **Kaabeche, M., Adelkader benkheira et Bruno de Foucault (2010).** Cartographie de l'arganeraie algérienne par télédétection. *Sécheresse*, 21(4), 267-274.
57. **Kechairi, A., Kechairi, R., & Abdoun, F. (2016).** Distribution et écologie de l'arganier en Algérie : cas de la région de Tindouf. *Forêt Méditerranéenne*, 37(1), 23-34.

58. **Kiffer, E. & Morelet, M. (1997).** Les deutéromycètes : Classification et clés d'identification générique. Paris : INRA Éditions, Collection « Du labo au terrain », 306 pages, ISBN 978-2-7380-0729-2
59. **Lepinay, Clémentine. (2013).** Étude des interactions plantes-microbes et microbes-microbes au sein de la rhizosphère, sous un aspect coûts-bénéfices, dans un contexte de variation environnementale. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, p. 257.
60. **Lewalle, J. (1991).** Études sur la systématique et la morphologie de l'arganier. *Candollea*, 46(2), 327-335.
61. **Lillo La Chiussa, S. (2002).** The evolution of fungal life histories. In J. W. Kronstad, J. W. Taylor, & L. A. Casselton (Éd.), *Sex in fungi: a perspective from the fungal kingdom* (p. 25-45). American Society for Microbiology Press
62. **Lillo La Chiussa, S. (2002).** The evolution of fungal life histories. In J. W. Kronstad, J. W. Taylor, & L. A. Casselton (Éd.), *Sex in fungi: a perspective from the fungal kingdom* (p. 25-45). American Society for Microbiology Press.
63. **Longcore, J. E., Pessier, A. P., & Nichols, D. K. (1999).** *Batrachochytrium dendrobatidis* gen. et sp. nov., a chytrid pathogenic to amphibians. *Mycologia*, 91(2), 219-227.
64. **Lyatim, S. (2008).** Moisissures d'intérêt médical. Étude récente prospective au Laboratoire de parasitologie et mycologie. Thèse de Pharmacie, 3-45 p.
65. **Limane, A. (2018),** Thèse Doctorat, Réponses architecturales racinaires et stratégies d'absorption hydrominérale chez *Pistacia atlantica* en fonction d'un gradient d'aridité croissante : cas d'un transect Nord-Sud en Algérie, p
66. **Mabby, D. J. (2017).** *Mabberley's Plant-Book* (4e éd.). Cambridge University Press.
67. **Mandyam, K., & Jumpponen, A. (2005).** Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. *Studies in Mycology*, 53, 173-189.
68. **Manamgoda, D. S., Rossman, A. Y., Castlebury, L. A., Chukeatirote, E., & Hyde, K. D. (2015).** A taxonomic and phylogenetic re-appraisal of the genus *Curvularia*. *Phytotaxa*, 212(3), 175–198. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.212.3.1>

69. **Mathieu, C., & Pieltain. (2009).** Les principaux sols du monde. Voyage au centre de l'épiderme de la planète terre. Lavoisier, éditions tech et doc., 233 p.
70. **Mathieu. (2012).** Diversité écologique et fonctionnelle des champignons décomposeurs du bois : l'influence du substrat de la communauté à l'enzyme. Université de Lorraine, 300 p.
71. **Mechiah, F. (2023).** Diversité des symbiotes fongiques racinaires de *Pistacia atlantica* Desf. dans la région de Laghouat. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 243 p.
72. **Middleton, N., & Thomas, D. (1997).** World atlas of désertification (2e éd.). UNEP, 182 p.
73. **M'Hirit, O. (1999).** L'arganier : Un arbre patrimonial du Maroc. Éditions Mardaga.
74. **Moore, D., Robson, G. D., Trinci, A. P., & 12 collaborateurs. (2011).** 21st century guidebook to fungi. Cambridge University Press.
75. **Moulinier, C. (2003).** Parasitologie et mycologie médicale : éléments de morphologie et de biologie. Lavoisier, 796 p.
76. **Morton, J. B., & Benny, G. L. (1990).** Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon*, 37(2), 471-491.
77. **Msanda, F., El Mousadik, A., & Peltier, J.-P. (2007).** Architecture racinaire de l'arganier (*Argania spinosa*) dans les écosystèmes arides. *Journal of Arid Environments*, 68(2), 198-207. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.05.002>
78. M. Zunzunegui et MC Díaz-Barradas, « Dépendance à l'eau profonde du sol chez l'espèce d'arbre *Argania spinosa* », *Tree Physiology*, vol. 38, no. 5, pp. 678–689, 2018.
79. **Nasraoui, B. (2008).** Principales maladies fongiques des céréales et des légumineuses en Tunisie. Centre de Publication Universitaire, pp. 5-19.

80. **Takaya Naoki. (2009).** Response to hypoxia, reduction of electron acceptors, and subsequent survival by filamentous fungi. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 73(1), 1-8.
81. **Nouaim, R. (2005).** Structure des branches et stratégie de survie de l'arganier. *Flora*, 200(5), 456-463.
82. **Nouaim, R., & Chaussod, R. (1992).** Influence de l'humidité atmosphérique sur la distribution de l'arganier. *Oecologia*, 91(3), 393-399.
83. **Ogórek, R., Lejman, A., Pusz, W., Miluch, A., & Miodyńska, P. (2012).** Characteristics and taxonomy of *Cladosporium* fungi. *Mikologia Lekarska*, 19(2), 80-85.
84. **Owais Bashir, K. A. Khan, K. R. Hakeem, N. A. Mir, G. H. Rather, & R. Mohi-uddin. (2016).** Soil Microbe Diversity and Root Exudates as Important Aspects of Rhizosphere Ecosystem. Springer, Cham, pp. 337-357.
85. **Pandey, A., Singh, J. S., & Singh, D. P. (2023).** Successional dynamics of soil fungal communities across ecological gradients. *Ecological Indicators*, 149, 110176.
86. **Peterson, L. R., Massicotte, H., Melville, B., & Lewis, H. (2004).** Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology. NRC Research Press, Ottawa, 1(3), 147-153.
87. **Pillo, M., Dubois, L., & Martin, A. (2017).** Les champignons et le règne fongique : Une réévaluation de leur classification. *Revue Internationale de Mycologie*, 29(4), 215-230.
88. **Plassard, C., Robin, A., Le Cadre, E., Marsden, C., Trap, J., Herrmann, L., Waithaisong, K., Lesueur, D., Blanchart, E., Chapuis-Lardy, L., & Hinsinger, P. (2015).** Améliorer la biodisponibilité du phosphore : comment valoriser les compétences des plantes et les mécanismes biologiques du sol. *Innovations Agronomiques INRA*, 43, 115-138.
89. **Pitt, J. I., & Hocking, A. D. (2009).** *Fungi and food spoilage* (3e éd.). Springer.
90. **Prasad, R., & Zhang, S.-H. (2017).** Mycorrhizas as plant growth-promoting fungi: widespread colonization of endomycorrhizal fungi in over 90% of vascular plant families. In *Environmental and Microbial Biotechnology* (p. 54). Springer.

91. **Philip S. Poole. (2017).** Shining a light on the dark world of plant root–microbe interactions. Proceedings of the National Academy of Sciences USA.
92. **Raven, P., Johnson, B.-L., Jonathan, L., Jules, B., Susan, R.-S., Kenneth, A.-M., & Georges, B.-J. (2007).** Biologie végétale (7e éd.). Bruxelles, 1250 p.
93. **Rapilly, F., & Viennot-Bourgin, G. (1968).** Les techniques de mycologie en pathologie végétale. Annales des Épiphyties, numéro hors-série 19. Paris : INRA, 103 p.
94. **Raven, et al. (2018).** Report of a workshop IPGRI, 29-30 June 1995, Palermo, Italy.
95. **Rieuf, P. (1962).** Les substrats géologiques de l'arganeraie : relations sol-plante. Cahiers ORSTOM, 5(2), 89-102.
96. **Roehl, T. (2017).** Characteristics of Division Glomeromycota. Fungus Fact, 015.
97. **Samson, R. A., Visagie, C. M., Houbraeken, J., Hong, S. B., Hubka, V., Klaassen, C. H. W., ... & Frisvad, J. C. (2014).** Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. Studies in Mycology, 78, 141-173.
98. **Sénéquier-Crowet, & Canard, B. (2016).** Les champignons endophytes : impact sur les écosystèmes et production de molécules d'intérêt thérapeutique. Science pharmaceutique. Université Grenoble Alpes.
99. **Schüßler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001).** A new fungal phylum, the Glomeromycota: Phylogeny and evolution. Mycological Research, 105(12), 1413-1421.
100. **Schoch, C. L., Sung, G. H., López-Giráldez, F., Townsend, J. P., Miadlikowska, J., Hofstetter, V., ... Wingfield, M. J. (2009).** The Ascomycota tree of life: A phylum-wide phylogeny clarifies the origin and evolution of fundamental reproductive and ecological traits. Systematic Biology, 58(2), 224-239.
101. **Simenel, R. (2009).** Plasticité écologique de l'arganier : adaptations aux milieux arides. Belgian Journal of Botany, 142(1), 45-56.
102. **Spatafora, J. W., Chang, Y., Benny, G. L., Lazarus, K., Smith, M. E., Berbee, M. L., Bonito, G., Corradi, N., Grigoriev, I., O'Donnell, K., et al. (2016).** A phylum-level phylogenetic classification of Zygomycete fungi based on genome-scale data. Mycologia, 108(5), 1028-1046.

103. **Stahli. (2016).** Tout savoir sur les bactéries et les champignons du sol. Salamandre.
104. **Stürmer, S. L., Bever, J. D., & Morton, J. B. (2018).** Biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota): a phylogenetic perspective on species distribution patterns. *Mycorrhiza*, 28(7), 587–602.
105. **Tabuc, C. (2007).** Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, Université de Bucarest, 190 p.
106. **Tasic, S., Dimkić, I., Tančić, S., Balaj, I., & Stojanović, S. (2007).** Diversity and distribution of *Cladosporium* species from indoor and outdoor environments in Serbia. *Mycologia Balcanica*, 4(1-2), 75-82.
107. **Tedersoo, L., Sánchez-Ramírez, S., Koljalg, U., Bahram, M., Döring, M., Schigel, D., May, T. W., Ryberg, M., Abarenkov, K., Kõljalg, U., et al. (2018).** High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity*, 90(1), 135-159.
108. **Tan, Y. P., Marin-Félix, Y., Gené, J., et al. (2018).** Three new *Curvularia* species from clinical and environmental sources. *International Mycology Journals*.
109. **Xiaoya Xu, Xiaorui Liu, Yong Li, Yu Ran, Yapeng Liu, Qichun Zhang, Zheng Li, Yan He, Jianming Xu, Hongjie Di Zhejiang. (2017).** High temperatures inhibited the growth of soil bacteria and archaea but not that of fungi and altered nitrous oxide production mechanisms from different nitrogen sources in an acidic soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 107, 168-179.
110. **Yunzeng Zhang, Jin Xu, Nadia Riera, Tao Jin, Jinyun Li, Nian Wang. (2017).** *Microbiome*. *BioMed Central*, 5(1), 97.
111. **Zhang, Y., et al. (2010).** Adaptations physiologiques des champignons filamenteux à des conditions de pH variables. *Fungal Ecology*, 3(4), 215-222.

Résumé :

Cette étude, intitulée "Contribution à l'étude de la diversité fongique dans un sol sous arganier de la région de **Touiref Bouam** (Tindouf)", a pour objectif principal de caractériser les communautés de champignons présentes dans cet écosystème aride.

Les prélèvements de sol ont été effectués en avril 2014 sous six arganiers, répartis dans trois oueds de la région. L'isolement et l'identification des espèces fongiques ont été réalisés en laboratoire, combinant des observations macroscopiques et microscopiques pour classer les différents genres.

Les résultats ont révélé une diversité fongique dominée par certains genres, notamment *Penicillium* (47,5 %), *Cladosporium* (19,4 %) et *Neoscytalidium* (17,4 %). L'étude a également mis en évidence que les paramètres physico-chimiques du sol, tels que le pH et la teneur en calcaire total, sont des facteurs déterminants pour la composition et la répartition de ces communautés fongiques. Une corrélation a été observée entre la présence de certains genres et les caractéristiques du sol, notamment une plus grande diversité dans les sols à pH neutre et faible teneur en calcaire.

En conclusion, ce travail a permis un premier inventaire des champignons du sol sous arganier dans la région de Tindouf. Il a souligné l'adaptation de certaines espèces aux conditions désertiques et a mis en lumière l'influence des propriétés du sol sur la biodiversité fongique, ouvrant la voie à de futures recherches sur les interactions entre ces micro-organismes et l'arganier.

Mots Clés

Rhizosphère, biodiversité, champignons du sol, *Argania spinosa*, Tindouf (Algérie).

Abstract:

This study, titled "Contribution to the study of fungal diversity in a soil under argan tree in the Touiref Bouam region (Tindouf)", has as its main objective to characterize the communities of fungi present in this arid ecosystem.

Soil samples were taken in April 2014 from under six argan trees, distributed in three wadis of the region. The isolation and identification of fungal species were carried out in the laboratory, combining macroscopic and microscopic observations to classify the different genera.

The results revealed a fungal diversity dominated by certain genera, notably *Penicillium* (47.5%), *Cladosporium* (19.4%), and *Neoscytalidium* (17.4%). The study also highlighted that the physico-chemical parameters of the soil, such as pH and the total limestone content, are determining factors for the composition and distribution of these fungal communities. A correlation was observed between the presence of certain genera and the characteristics of the soil, particularly a greater diversity in soils with a neutral pH and low limestone content.

In conclusion, this work provided a first inventory of soil fungi under argan trees in the Tindouf region. It highlighted the adaptation of certain species to desert conditions and shed light on the influence of soil properties on fungal biodiversity, paving the way for future research on the interactions between these microorganisms and the argan tree.

ملخص:

هدف هذه الدراسة، التي تحمل عنوان "مساهمة في دراسة التنوع الفطري في تربة تحت شجرة الأركان بمنطقة تويرف بوعام (تندوف)"، إلى تحديد خصائص مجتمعات الفطريات الموجودة في هذا النظام البيئي القاحل.

تم أخذ عينات التربة في أبريل 2014 من تحت ست أشجار أركان، موزعة على ثلاثة أودية في المنطقة. وتم عزل وتحديد أنواع الفطريات في المختبر، بالجمع بين الملاحظات العيانية والمجهريّة لتصنيف الأجناس المختلفة.

كشفت النتائج عن تنوع فطري تهيمن عليه بعض الأجناس، أبرزها *Penicillium* (47.5%)، و *Cladosporium* (19.4%)، و *Neoscytalidium* (17.4%). كما أبرزت الدراسة أن الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، مثل درجة الحموضة (pH) ومحتوى الكلس الكلي، هي عوامل حاسمة في تكوين وتوزيع هذه المجتمعات الفطرية. لوحظ وجود ارتباط بين بعض الأجناس وخصائص التربة، لا سيما وجود تنوع أكبر في التربة ذات درجة حموضة محايدة ومحتوى كلس منخفض.

في الختام، قدم هذا العمل أول جرد للفطريات الموجودة في تربة تحت شجرة الأركان بمنطقة تندوف. وأكد على تكيف بعض الأنواع مع الظروف الصحراوية، وأبرز تأثير خصائص التربة على التنوع البيولوجي للفطريات، مما يفتح المجال للبحوث المستقبلية حول التفاعلات بين هذه الكائنات الدقيقة وشجرة الأركان.