



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID EL-TARF
جامعة الشادلي بن جديد-الطارف
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
كلية علوم الطبيعة والحياة
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES
قسم العلوم البيولوجية



Thèse

Présentée pour l'obtention du diplôme
De Doctorat 3^{ième} cycle L.M.D
(Option : Biodiversité et valorisation des ressources naturelles)

THÈME

**Utilisation des champignons ectomycorhiziens comme
bio-indicateurs des milieux: cas des forêts de chêne
vert, wilaya de Tebessa.**

Présentée par : Mlle Meriem HADFI

Devant Soutenue publiquement le 23 Janvier 2025 devant le jury composé de :

Mr. TIAR Ghoulem	Professeur Université Chadli Ben Djedid El-Tarf	Président
Mdm. DJELLOUL Radia	Professeur Université Chadli Ben Djedid El-Tarf	Promotrice
Mr. LOUCIF Lotfi	Professeur Université Chahid Mostapha Ben Bolaïd- Batna 2	Examinateur
Mdm. AZIZI Nadia Nawel	MCA Université Chadli Ben Djedid El-Tarf	Examinatrice
Mdm. BELBEL Zineb	MCA Université Chadli Ben Djedid El-Tarf	Examinatrice

REMERCIEMENTS

*Louange à ALLAH, seigneur de l'Univers, le tout Puissant et Miséricordieux, le très
Miséricordieux et prières et salut sur son Prophète.*

*Ce travail a été revu, certifié et approuvé par le Pr. DJELLOUL Radia, Je le remercie tout
d'abord pour m'avoir fait confiance, ensuite pour ces conseils précieux, ses orientations
judicieuses et ses directives efficaces. Qu'il trouve ici*

L'expression de notre profonde gratitude.

*Je remercie Mr TIAR Ghoulem professeur à l'Université d'El Tarf pour avoir bien voulu
présider le jury.*

*Je remercie Mme BELBEL Zineb MCA à l'Université d'El Tarf pour avoir accepté d'examiner
ce travail.*

*Je remercie Mr LOUCIF Lotfi professeur à l'Université de Batna pour avoir accepté
d'examiner ce travail.*

*Je remercie Mme AZIZI Nadia Nawel MCA à l'Université d'El Tarf pour avoir accepté
d'examiner ce travail.*

*Ma vive reconnaissance s'adresse également à monsieur BELABED Bilel, Pour son soutien,
mes côtés, et ses conseils, notamment concernant l'utilisation d'un microscope optique et
l'obtention d'une qualité photographique haute résolution.*

*Je tiens exprimer ma plus profonde gratitude aux professeurs de Centre de Recherche en
Analyses Physico-chimiques de l'Université Mohamed Khider de
Biskra.*

*J'exprime également ma gratitude à tous les travailleurs
de la conservation des forêts de Tebessa pour leur soutien et leurs efforts
Lors de sorties en terrain pour collecter et prélever des échantillons.*

*J'adresse également mes sincères remerciements et ma gratitude à mon père, le Pr. HADFI
Bachir, qui m'a soutenu dans toutes les étapes de la préparation de la thèse.*

DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail, fruit de mes années d'étude et de patience aux êtres les plus chers
à mon coeur :*

Mon père, ma mère, mes frères, toute ma famille HADFI.

*Je dédie également mon travail aux âmes de mes grands-mères, Fadjra et
LASBET Hadda, que le destin a voulu nous laisser derrière elles.*

RESUME

Notre étude vise à élargir les connaissances sur les macromycètes du Nord-Est algérien, à tester une démarche utilisant l'analyse anatomo-morphologique pour l'étude de la mycoflore Tebessienne, et à proposer des espèces candidates pour la mycorhization du chêne vert. On peut utiliser les champignons ectomycorhiziens comme bio-indicateurs de la bonne santé de ces milieux. Un total de 22 taxa a été identifié, réparti en 05 ordres, 16 familles et 21 genres. Les familles les plus représentées sont les Agaricaceae, les Tricholomataceae et les Boletaceae. Les espèces ectomycorhiziens sont les plus dominants. Les espèces en relation avec *Q.ilex* sont *Leccinum lepidum*, *Astraeus hygrometricus*, *Cortinarius orellanus*. La description de la caractéristique macro et micro morphologiques de ces ectomycorhizes a permis d'identifier 02 morphotypes; ectomycorhize de *Tomentella sp.* et l'ectomycorhize de *Sebacina épigeae*. Les analyse physico-chimique du sol a été réalisée et a permis d'obtenir un sol de nature calcaire léger à texture sablo- limoneuse avec une faible proportion de l'argile dans tous les sites d'étude. Les relevés mycologiques par espèce ont été analysés (myco-écologie) en corrélation avec diverses caractéristiques biotiques et abiotiques. Les facteurs influençant la répartition des champignons sont principalement l'altitude, le pH, la teneur en magnesium. La végétation n'a pas donné une corrélation significative malgré son importance dans l'écologie des champignons.

Mots clés : Macromycètes, mycorhization, Nord-Est algérien, champignons ectomycorhiziens, bio-indicateurs, chêne vert.

ABSTRACT

Our study aims to expand knowledge on macromycetes of Northeastern Algeria, to test an approach using anatomo-morphological analysis for the study of the Tebessienne mycoflora, and to propose candidate species for the mycorrhization of holm oak. Ectomycorrhizal fungi can be used as bioindicators of the good health of these environments. A total of 22 taxa have been identified, divided into 05 orders, 16 families and 21 genera. The most represented families are Agaricaceae, Tricholomataceae and Boletaceae. The ectomycorrhizal species are the most dominant. The species related to *Q.ilex* are *Leccinum lepidum*, *Astraeus hygrometricus*, *Cortinarius orellanus*. The description of the macro and micro morphological characteristics of these ectomycorrhizas made it possible to identify 02 morphotypes; ectomycorrhiza of *Tomentella sp.* and the ectomycorrhiza of *Sebacina epigeae*. The physicochemical analysis of the soil was carried out and allowed to obtain a light calcareous soil with a sandy-silty texture with a low proportion of clay in all the study sites. The mycological record by species were analyzed (myco-ecology) in correlation with various biotic and abiotic characteristics. The factors influencing the distribution of fungi are mainly altitude, pH, magnesium content. Vegetation did not yield a significant correlation despite its importance in fungal ecology.

Keywords: Macromycetes, mycorrhization, North-East Algeria, ectomycorrhizal fungi, bio-indicators, holm oak.

ملخص

تهدف دراستنا إلى توسيع المعرفة حول الفطريات الكبيرة في شمال شرق الجزائر، لاختبار النهج باستخدام التحليل التشريحي المورفولوجي لدراسة النباتات الفطرية التبسية، واقتراح الأنواع المرشحة لعملية تكوين الفطريات الجذرية في شجر البلوط الأخضر. كما تم استخدام الفطريات الجذرية الخارجية كمؤشرات حيوية للصحة الجيدة لهذه البيئات. وقد تم التعرف على إجمالي 22 صنفاً، مقسمة إلى 05 رتب و 16 عائلة و 21 جنساً. العائلات الأكثر تمثيلاً هي Agaricaceae و Tricholomataceae و Boletaceae. الأنواع الفطرية الجذرية هي الأكثر هيمنة. الأنواع المرتبطة بـ *Q. ilex* هي *Leccinum lepidum* و *Astraeus hygrometricus* و *Cortinarius orellanus*. سمح وصف الخصائص المورفولوجية الكبيرة والصغيرة لهذه الفطريات الجذرية بتحديد 02 من الأنماط الشكلية؛ الفطريات الجذرية الخارجية من نوع *Tomentella sp*. والفطريات الجذرية الخارجية لـ *Sebacina epigeae*. تم إجراء التحليل الفيزيائي الكيميائي للتربة وتم الحصول على تربة كلسية خفيفة ذات ملمس رملي طيني مع نسبة منخفضة من الطين في جميع مواقع الدراسة. تم تحليل السجلات الفطرية حسب الأنواع (علم البيئة الفطرية) بالارتباط مع مختلف الخصائص الحيوية وغير الحيوية. العوامل المؤثرة على توزيع الفطريات هي الارتفاع، ودرجة الحموضة (pH)، ومحتوى المغنيسيوم. لم يُظهر الغطاء النباتي ارتباطاً يُذكر، رغم أهميته في بيئة الفطريات.

الكلمات المفتاحية: الفطريات الكبيرة، تكوين الفطريات، شمال شرق الجزائر، الفطريات الجذرية الخارجية، المؤشرات الحيوية، شجرة البلوط الأخضر.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Répartition des superficies du chêne-vert (<i>Quercus ilex</i>) dans quelques pays méditerranéens en 1998 (Lavoir, 2008).....	12
Tableau 2: Tableau récapitulatif des superficies occupées par le chêne vert dans les Parcs Nationaux.....	13
Tableau 3: Moyennes mensuelles des températures maximales et minimales exprimées en °C durant la période 1972-2022 dans la wilaya de Tebessa (Les données de Google Earth Engine – Station météorologique de la région de Tebessa).....	22
Tableau 4: Moyennes annuelles des précipitations exprimées en (mm) durant la période de 1972-2022 de la wilaya de Tebessa (D’après les données de Google Earth Engine et Station météorologique de Tebessa).	23
Tableau 5: Moyennes de la vitesse du vent exprimées en (m/s) avec leur direction dominante durant la période 1972-2022 de la wilaya de Tebessa (D’après les données de Google Earth Engine et Station météorologique de Tebessa).....	25
Tableau 6: Les caractéristiques des 13 sites étudiés (Forêts domaniales de la wilaya de Tebessa, Nord-Est algérien).....	29
Tableau 7: Correspondances classes d’abondance / Indice d’abondance de Barkmann / Nombre maximale de carpophores observés (Barkmann, 1976).	40
Tableau 8: les valeurs d’indice d’aridité I de DE-Martonne dans les 13 sites d’étude de la région de Tebessa.....	45
Tableau 9: Caractéristiques physico-chimiques du sol dans les 13 sites s’étude des forêts de chêne vert de la wilaya de Tebessa.	49
Tableau 10: Nombre de visites par parcelle pendant la période 2020-2022	50
Tableau 11: Les espèces fongiques récoltées avec leurs codes pendant la période 2020-2022	52
Tableau 12: Richesse des groupes taxonomiques enregistrés pour le mycobiote dans 13 sites sélectionnés des forêts domaniales de la wilaya de Tebessa, Algérie.	52
Tableau 13: Corrélation de Spearman	57
Tableau 14: Indice de KMO et test de Bartlett.....	57

LISTE DES FIGURES

- Figure 1:** Les principaux types de mycorhizes (Selosse et Le Tacon, 1995); a–Racine sans symbiote; b– Endomycorhize AM; c– Endomycorhizes à pelotons; d– Ectendomycorhizes; e– Ectomycorhizes chez les Angiospermes; f– Ectomycorhizes chez les Gymnospermes. 5
- Figure 2:** L'échange réciproque entre l'arbre et le champignon mycorhizogène (Krioui & Akroum, 2010). 7
- Figure 3:** Distribution géographique du Chêne vert en Algérie (Barry et al., 1976). 14
- Figure 4:** Localisation géographique et les types de climat de la wilaya de Tebessa (Carte adaptée selon UNESCO 1996). 19
- Figure 5:** Variations annuelles des précipitations exprimées en (mm) de la wilaya de Tebessa durant la période (1972 /2022) (D'après les données de Google Earth Engine et Station météorologique de Tebessa). 23
- Figure 6:** Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air exprimée en (%) dans la wilaya de Tebessa durant la période 1972-2022 (D'après les données de Google Earth Engine et Station météorologique de Tebessa). 24
- Figure 7:** Climagramme pluviothermique d'Emberger (Q2) montrant l'évolution du climat 26
- Figure 8:** Diagramme ombrothermique de Banouls et Gaussen (1953) de la wilaya de Tebessa durant la période (1972-2022). (Station météorologique de Tebessa ,2023). 27
- Figure 9:** Photo d'arbre de *Quercus ilex* dans la forêt domaniale d'El Annba; Tebessa; Nord-Est Algerien. 28
- Figure 10:** Présentation des sites d'étude; 1– Forêt du chêne vert du site Bourabaïa; 2– Forêt du chêne vert du site Gourigneur; 3– Forêt du chêne vert du site Mouctoua; 4– Forêt du chêne vert du site Zitouna; 5– Forêt du chêne vert du site Gagaà; 6– Forêt du chêne vert du site El Annba; 7– Forêt du chêne vert du site Mestiri. 30
- Figure 11:** Localisation des parcelles d'étude où ont été collectés les macromycètes dans les forêts domaniale de la wilaya de Tebessa, Algerie. 31
- Figure 12:** Prélèvement de sol à différents horizons; A– carottage; B– mélange du sol; C– placer les échantillons prélevés dans des sacs en plastique; D– transporter les échantillons prélevés au laboratoire afin de réaliser des analyses de sol. 34
- Figure 13:** Modèle de fiche signalétique utilisée au laboratoire MycSA de Bordeaux. 38
- Figure 14:** Caractérisation morphologique des ectomycorhizes; a– numérotation des échantillons racinaires; b– un stéréomicroscope utilisé pour l'identification des ectomycorhizes; c– placer les échantillons prélevés dans un microscope optique à fond claire; d– prendre des photos de morphotypes identifiés à l'aide d'une caméra intégrée au microscope. 43
- Figure 15:** Carte d'évolution de l'indice d'aridité de DE-Martonne de la wilaya de Tebessa. 45

Figure 16: Diversité des macromycètes collectés selon le type de végétation.	51
Figure 17: Macromycètes récoltés de 2020 à 2022 dans les forêts de chêne vert de Tebessa numérotés de A à G ; A– <i>Lactarius subdulcis</i> ; B– <i>Astraeus hygrometricus</i> ; C– <i>Suillus granulatus</i> ; D– <i>Podaxis pistillaris</i> ; E– <i>Paxillus involutus</i> ; F– <i>Paralepista flaccida</i> ; G– <i>Neoboletus luridiformis</i>	53
Figure 18: Macromycètes récoltés de 2020 à 2022 dans les forêts de chêne vert de Tebessa numérotés de H à N; H– <i>Cortinarius orellanu</i> ; I– <i>Geastrum fimbriatum</i> ; J– <i>Coprinopsis marcescibilis</i> ; K– <i>Gymnopus erythropus</i> ; L– <i>Craterellus cornucopioide</i> ; M– <i>Conocybe Tenera</i> ; N– <i>Apioperdon pyriforme</i>	54
Figure 19: Macromycètes récoltés de 2020 à 2022 dans les forêts de chêne vert de Tebessa numérotés de O à V; O– <i>Agaricus xanthoderma</i> ; P– <i>Paxillus involutus</i> ; Q– <i>Clitocybe nebularis</i> ; R– <i>Calvatia gigantea</i> ; S– <i>Tricholoma dryophilum</i> ; T– <i>Agaricus campestris</i> ; U– <i>Leccinellum lepidum</i> ; V– <i>Hebeloma pseudoamarescen</i>	55
Figure 20: Fréquence des familles des espèces fongiques récoltées dans les forêts de chêne vert de la wilaya de Tebessa.	56
Figure 21: Répartition des données dans l'espace de composants principale (à gauche) et regroupent les facteurs (Clustring) des données dans l'espace de composants principale (à droite).	58
Figure 22: biplot de l'ACP	59
Figure 23: Influence de l'abondance fongique sur les composantes principales (à gauche) et Influence de l'altitude sur les composantes principales (à droite).	61
Figure 24: Vues différentes de 3D scutter plot de l'espèce fongiques et les composants proposés par ACP.	62
Figure 25: Ecologie des espèces fongiques récoltées dans les forêts de chêne vert de la wilaya de Tebessa.	63
Figure 26: <i>Neoboletus luridiformis</i> ; a–basidiomes <i>in situ</i> ; b– coupe longitudinale du basidiome; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.	64
Figure 27: <i>Craterellus cornucopioïde</i> ; a–basidiomes <i>in situ</i> ; b– réactions chimiques : coloration du pileipellis en gris foncé dans FeSO4, noire dans KOH; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.	65
Figure 28: <i>Cortinarius orellanus</i> ; a–basidiome <i>in situ</i> ; b– lames orangé espacées et stipe jaune doré cylindrique atténuévers la base ; c– basidiospores obsevés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.	66
Figure 29: <i>Geastrum fibriatum</i> ; a–basidiomes <i>in situ</i> ; b– une sporulation a donné des spores brunes, sphériques et verruqueuses ; c– basidiospores obsevés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.	67
Figure 30 : <i>Astraeus hygrometricus</i> ; a–basidiomes <i>in situ</i> ; b– une sporulation <i>in situ</i> ; c–	

basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB. 68

Figure 31: *Lactarius subdulcis*; a–basidiomes *in situ*; b– Lames crème adnées et lait blanc; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB. 69

Figure 32: *Suillus granulatus*; a–basidiomes *in situ*; b– réactions chimiques : coloration du pileipellis gris bleuté dans FeSO₄, gris olive dans KOH ; spores brunes dans le réactif de Meltzer.; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB. 71

Figure 33: *Leccinum lepidum*; a–basidiome *in situ*; b– coupe longitudinale du basidiome; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB. 72

Figure 34: Morphotypes numérotés de 01 à 06 trouvés dans les racines de *Q. ilex*, observé sous l'eau avec une lumière jaune et un fond noir. 74

Figure 35: Morphotypes numérotés de 06 à 12 trouvés dans les racines de *Q. ilex*, observé sous l'eau avec une lumière jaune et un fond noir. 75

Figure 36: Morphotype 1; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe longitudinale montrant le Manteau (M) et le Réseau Hartig (rH) (20 x); c– Cystidies globuleuses (c) (100x); d– Manteau externe (40x) type L : Pseudoparenchymateux. 78

Figure 37: Morphotype 2; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe transversale montrant le réseau Hartig (rH) (40x); c– Coupe transversale montrant des particules de cristaux (Cr) et des hyphes émanants avec septa (S) (63x); d– Manteau externe (63x) de type L : Pseudoparenchymateux. 79

Figure 38: Morphotype 3; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe transversale (20x) montrant le réseau Hartig (rH); c– La structure du manteau (M) et des cystidies (C) globuleuses est représentée (100x); d– Manteau externe (40x) type K : Pseudoparenchymateux. 80

Figure 39: Morphotype 4; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe transversale montrant le manteau (M), le réseau de Hartig (rH) et une couche de tanin (cT) (40x); c– La structure du manteau (M) et le réseau de Hartig (rH) (100x); d– Manteau externe et interne (100x) type A : Plectenchymateux. 81

Figure 40: Morphotype 5; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées. b– Coupe longitudinale montrant le manteau (M) et le réseau de Hartig (rH) enveloppant la cellule corticale (40x); c– Montre la structure du manteau, le réseau de Hartig et la couche de tanin (cT) (100x); d– Manteau interne (100x) type E : Plectenchymateux. 82

Figure 41: Morphotype 6; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe longitudinale montrant le manteau (M) et le réseau Hartig (rH) avec manteau lâche en marge (40x); c– Cystidies globuleuses (100x); d– Manteau interne (100x) type A :

Plectenchymateux.83

Figure 42: Morphotype 7 ; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; .b– coupe transversale et coupe longitudinale montrant le manteau (M), le réseau Hartig (rH) et une couche de tanin rougeâtre (cT) (40x); c–La structure du manteau, le réseau de Hartig (100x); d– Manteau interne (100x) type A : Plectenchymateux.....84

Figure 43: Morphotype 8 ; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, des caractéristiques macroscopiques sont observées (couleur, type de manteau et ramification); b– Coupe longitudinale et transversale (20x) montrant le manteau (M), le réseau Hartig (rH) et une couche de tanins (20x) ; c– Structure du manteau (M) et du réseau Hartig (rH) (100x); d– Manteau interne de type E : Plectenchymateux.....86

Figure 44: Morphotype 09 ; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe longitudinale montrant le manteau (M) et le réseau Hartig (rH) (40x); c– Hyphes disposés en réseau sur le manteau et avec septa (s) et péronés (f) (100x); d– Manteau externe et interne (100x) type H : Plectenchymateux.....87

Figure 45: Morphotype 10 ; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe transversale et coupe longitudinale montrant le manteau (M), le réseau Hartig (rH) et une couche de tanin rougeâtre (cT) (40x); c– Structure du manteau (M) et réseau de Hartig (rH) (100x); d– Manteau interne (100x) type B : Plectenchymateux.....88

Figure 46: Morphotype 11 ; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe transversale et coupe longitudinale montrant le manteau (M), le réseau de Hartig (rH) et les tanins arrondis (T) (40x); c– La structure du manteau et le réseau de Hartig sont observés (100x); d– Manteau interne (100x) type B : Plectenchymateux.....89

Figure 47: Morphotype 12 ; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe transversale montrant le manteau (M) et le réseau Hartig (rH) (40x); c– Structure du rhizomorphe (r). (40x); d– Manteau externe et interne (40x) type H: Plectenchymateux.....90

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

DEDICACES

RESUME IV

ABSTRACT V

ملخص VI

LISTE DES TABLEAUX VII

LISTE DES FIGURES VIII

SOMMAIRE XII

Introduction 1

Chapitre I: Synthèse Bibliographique 3

I.1. Champignons mycorhiziens 4

I.2. Différents types de mycorhizes 4

I.3. Caractéristiques structurales de mycorhizes 5

I.4. Importance des ectomycorhizes dans les systèmes forestiers 6

I.5. Chêne vert (*Quercus ilex L.*) 8

I.5.1. Caractéristiques botaniques du chêne vert 8

I.5.2. Ecologie du chêne vert 9

I.5.3. Distribution géographique du *Q. ilex* dans le bassin méditerranéen 10

I.5.4. Distribution géographique du *Q. ilex* en Algérie 12

I.5.5. Importance économique du *Q. ilex* 14

Chapitre II : Matériels & méthodes 18

II.1. Présentation générale du cadre d'étude: la wilaya de Tebessa 19

II.1.1. Localisation géographique 19

II.1.2. Caractéristiques géologiques et pédoclimatiques 19

II. 1.2.1. Caractéristique géologique 19

II.1.2.2. Caractéristiques pédologiques 20

II.1.2.3. Paramètres climatiques 21

II.1.2.3.1. Température 21

II.1.2.3.2. Précipitations 22

II.1.2.3.3. Humidité relative de l'air 23

II.1.2.3.4. Vents 24

II.1.2.3.5. Synthèse bioclimatique 25

II.1.2.3.5.1. Climagramme d'Emberger 25

II.1.2.3.5.2. Diagramme ombrothermique 26

II.1.3. Végétation de la région de Tebessa 27

II.2. Choix de sites d'étude: les forêts de chêne vert de Tebessa 27

II.3. Analyse des paramètres écologiques de sites d'étude 31

II.3.1. Réalisation d'une cartographie des données climatiques 31

II. 3.2. Echantillonnage et analyse physico-chimique du sol 32

II.4. Inventaire des champignons sauvages et ectomycorhiziens dans les sites d'étude .. 34

II.4.1. Récolte des champignons sauvages et ectomycorhiziens dans les sites d'étude 34

II.4.2. Examen des champignons sauvages et ectomycorhiziens dans les sites d'étude 35

II.4.2.1. Examens macroscopiques 35

II.4.2.2. Réalisation d'une sporée 35

II.4.2.3. Examens microscopiques 36

II.4.2.3.1. Par le microscope optique	36
II. 4.2.3.2. Par le microscopie électronique à balayage (MEB)	36
II.4.2.3.2.1. Introduction	36
II.4.2.3.2.2. Principe.....	36
II.4.2.3.2.3. Paramètre de l'étude.....	37
II.5. Confection d'un herbier	38
II.6. Exploitation des résultats par l'application des indices écologiques.....	38
II.6.1 Indice d'abondance.....	38
II.6.2. Indice de Shannon.....	40
II.7. Exploitation des résultats par l'application des études statistiques	40
II.8. Prélèvement des ectomycorhizes du <i>Q. ilex</i>	41
Chapitre III : Résultats & discussion.....	44
III.1. Analyse des paramètres écologiques des sites d'étude	45
III. 1. 1. Réalisation d'une carte de l'indice d'aridité de De-Martonne.....	45
III. 1. 2. Caractéristiques physico-chimiques du sol	46
III. 1. 3. Conclusion.....	48
III. 2. Espèces fongiques récoltées de 2020 à 2022 dans les forêts de chêne vert de Tebessa	50
III. 2. 1. Prospection.....	50
III.2. 2. Inventaire	51
III.2.3. Exploitations statistiques des données	56
III.2.3.1. Corrélations de Spearman	56
III.2.3.2. Analyse en composantes principale ACP	57
III.2.3.2.1. Indice de KMO et test de Bartlett	57
III.2.3.2.2. Espace de composante principale	57
III. 2.3.2.3. ACP avec la presentation Biplot.....	58
III.2.3.2.4. Influence de l'abondance fongique et l'altitude sur ACP	60
III.2.3.2.5. ACP scatter plot pour les espèces fongiques	61
III.2.4. Ecologie des espèces fongiques récoltées	62
III.2.4. Descriptions taxonomiques de champignons ectomycorhiziens trouvés.....	63
III. 3. Diversité morphologique des ectomycorhizes.....	72
III.3.1. Description de la Caractéristique macro et micro morphologiques des ectomycorhizes trouvées dans les racines du <i>Q.ilex</i>.....	76
Conclusion	91
Références Bibliographiques.....	94
Annexe.....	104

Introduction

Introduction

L'Algérie constitue un véritable centre de biodiversité. Sa position géographique, ainsi que la diversité de ses étages bioclimatiques, font de ses territoires un réservoir significatif de ressources génétiques.

Les forêts de chêne, et plus particulièrement les forêts de chêne vert (*Quercus ilex*), jouent un rôle fondamental dans le maintien de l'équilibre écologique et la préservation de la biodiversité, en particulier dans les régions méditerranéennes. Ces forêts abritent une grande variété d'espèces végétales et animales, contribuant ainsi à la richesse écologique et à la stabilité des écosystèmes locaux. Bien que les forêts de chêne vert couvrent seulement 15,6 % du territoire national algérien (Louni, 1994), elles sont un élément clé de la végétation méditerranéenne, et leur rôle dépasse largement cette proportion géographique. Le genre *Quercus* se retrouve en effet dans de nombreuses communautés végétales, à des altitudes, latitudes et sous des conditions écologiques très variées, représentant ainsi environ un tiers de la richesse mondiale du genre. Cette diversité permet aux forêts de chêne vert de jouer un rôle essentiel dans la régulation des cycles biogéochimiques et des dynamiques écologiques des paysages méditerranéens.

Les forêts de chêne vert sont non seulement des refuges pour des espèces endémiques et Menacées, mais elles contribuent également à la stabilité des sols, à la régulation de l'eau et à la séquestration du carbone. Leur capacité à stocker du carbone en fait un atout majeur dans la lutte contre le changement climatique, un phénomène qui impacte particulièrement les régions méditerranéennes. Par ailleurs, ces forêts offrent une large gamme de ressources économiques renouvelables, qu'elles soient ligneuses (bois, charbon) ou non ligneuses (fruits, miel, plantes médicinales, etc.), apportant ainsi une source de revenus pour les communautés locales et contribuant à la subsistance des populations rurales (Quezel, 1964 ; Véla et Benhouhou, 2007).

Cependant, la diversité fongique des forêts de la région de Tebessa reste encore largement insuffisamment étudiée. Peu de recherches ont été menées pour dresser un inventaire détaillé des espèces fongiques présentes dans cette région, en particulier celles qui sont associées aux racines des chênes. Cette lacune dans les connaissances empêche une gestion optimale et durable de ces forêts, qui constitue un défi majeur face aux pressions croissantes exercées sur ces écosystèmes.

Quelques travaux de recherche, bien que fragmentaires, ont été réalisés dans les zones humides et sub-humides, mettant en évidence une diversité fongique significative. Parmi les premiers travaux notables, ceux de Maire (1916, 1923, 1931, 1936) dans les forêts de Baïnem

Introduction

(Alger) sont particulièrement importants, l'herbier mycologique des espèces récoltées étant conservé au Musée d'Histoire Naturelle de Montpellier (France). Ces travaux constituent la référence bibliographique de base sur l'écologie et la connaissance des champignons d'Afrique du Nord. Des études plus récentes, menées par Nezzar-Hocine et *al.* (1996) ainsi que par Nezzar-Hocine (1998) dans la cédraie du massif du Djurdjura, ont permis l'identification de 100 espèces sur 120 récoltées, majoritairement des Tricholomatales, Cortinariales et Russulales. L'inventaire mycologique de Beddiar (2002) dans les forêts de Séraïdi et El Kala (Nord-Est algérien) a révélé une grande richesse de champignons, notamment ectomycorhiziens, avec 40 espèces associées au chêne liège, 50 au chêne zen et 10 au châtaignier. Parmi les genres les plus fréquents figurent : *Amanita*, *Boletus*, *Cortinarius*, *Hygrophorus*, *Lactarius*, *Lepiota* et *Russula*. Les travaux de Djelloul et Samraoui (2011) et Djelloul (2014) sur l'écologie des macromycètes et leur distribution dans les aulnaies du Parc National d'El Kala (Nord-Est de l'Algérie) ont abouti à l'identification de 304 espèces, dont 23 nouvelles pour la région. Enfin, une check-list réalisée par Youcef-Khodja et *al.* (2020) dans la subéraie de la Kabylie des Babords a permis le recensement de 12 champignons nouvellement décrits pour l'Algérie.

L'objectif principal de notre étude est de combler, comme cela a été mentionné, une lacune en fournissant un aperçu détaillé de la diversité des macromycètes ectomycorhiziens dans les forêts domaniales de Tebessa. En identifiant les espèces présentes et en analysant leurs rôles écologiques, cette recherche vise à proposer des indicateurs biologiques pour la gestion et la conservation des forêts de chêne vert. Ainsi, en mettant en lumière l'importance des champignons ectomycorhiziens, cette étude espère contribuer à la préservation de ces écosystèmes précieux, face aux enjeux environnementaux actuels, tels que le changement climatique et l'exploitation des ressources naturelles.

Plus précisément, cette recherche vise à évaluer la diversité des champignons ectomycorhiziens présents dans les forêts de chêne vert de la région de Tebessa, en dressant un inventaire des espèces fongiques associées aux racines des arbres. Elle va permettre également d'analyser la diversité morphologique et taxonomique des ectomycorhizes, en identifiant les principales espèces fongiques et en établissant des descriptions taxonomiques basées sur les caractéristiques morphologiques et les méthodes d'identification classiques. Ceci va nous faciliter l'utilisation des champignons ectomycorhiziens comme bio-indicateurs de la santé et de la qualité écologique des forêts, afin de détecter les effets du changement climatique, de l'exploitation des ressources naturelles et d'autres pressions environnementales sur les écosystèmes forestiers..

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

I.1. Champignons mycorhiziens

La colonisation des terres par les eucaryotes a été facilitée par une association symbiotique entre un organisme photosynthétique et un champignon (Heckman et *al.*, 2001). Cette symbiose, en particulier l'association plante-champignon mycorhizien, résulte d'un long processus évolutif qui remonte à l'apparition des premières plantes terrestres. En effet, l'origine mycotrophique des premières plantes vasculaires serait datée d'une période située entre 353 et 462 millions d'années (Selosse et Le Tacon, 1995). Cette relation symbiotique est aujourd'hui un phénomène répandu et constitue une composante essentielle de la plupart des plantes terrestres. Environ 83 % des dicotylédones et 79 % des monocotylédones sont des plantes mycorhizées (Wilcox, 1996), ce qui montre l'importance de cette association dans l'écologie des plantes.

Le terme *mycorhize* a été introduit pour la première fois par Anton B. Frank en 1885 pour décrire la symbiose mutualiste entre les racines d'environ 95 % des plantes terrestres et près de 20 000 espèces de champignons du sol (Comandini et *al.*, 2012 ; Rinaldi et *al.*, 2008). Les champignons mycorhiziens jouent un rôle crucial dans l'écologie des plantes, constituant la principale voie par laquelle la majorité des végétaux acquièrent des nutriments minéraux essentiels. En plus de favoriser l'absorption des éléments nutritifs, cette symbiose améliore également la résistance des plantes aux maladies, à la sécheresse et aux températures extrêmes, contribuant ainsi à leur survie dans des environnements souvent stressants.

I.2. Différents types de mycorhizes

Selon le type d'interaction entre le champignon mycorhizien et la racine de la plante, ainsi que la famille botanique à laquelle appartient la plante, les mycorhizes sont classées en sept groupes : mycorhizes arbusculaires, mycorhizes éricoïdes, mycorhizes arbutoïdes, monotropoïdes, mycorhizes des orchidées, ectendomycorhizes et ectomycorhizes (Smith et Read, 2008). Parmi ces groupes, les mycorhizes arbusculaires et les ectomycorhizes sont les deux plus importantes d'un point de vue agronomique et forestier (Alarcón, 2007).

L'origine de la symbiose ectomycorhizienne reste encore sujette à spéculation, mais il est généralement admis qu'elle est apparue au Crétacé, il y a environ 130 millions d'années, dans les plantes de la famille des Pinacées, qui sont aujourd'hui presque exclusivement ectomycorhiziennes. Des preuves fossiles, telles que celles trouvées dans les racines de *Pinus* datant de l'Éocène (environ 50 millions d'années), confirment cette origine ancienne (Smith et Read, 2008).

La symbiose ectomycorhizienne représente l'une des associations écologiques les plus importantes dans les habitats terrestres. Elle inclut plusieurs milliers d'espèces fongiques, principalement appartenant aux phyla *Basidiomycota*, *Ascomycota* et *Zygomycota* (Rinaldi et al., 2008), et concerne environ 3 % des plantes vasculaires (Smith et Read, 2008). Cette symbiose soutient la croissance et le développement des forêts dans divers écosystèmes notamment les zones forestières tempérées, tropicales et subtropicales (Boa, 2004) (**Fig. 01**).

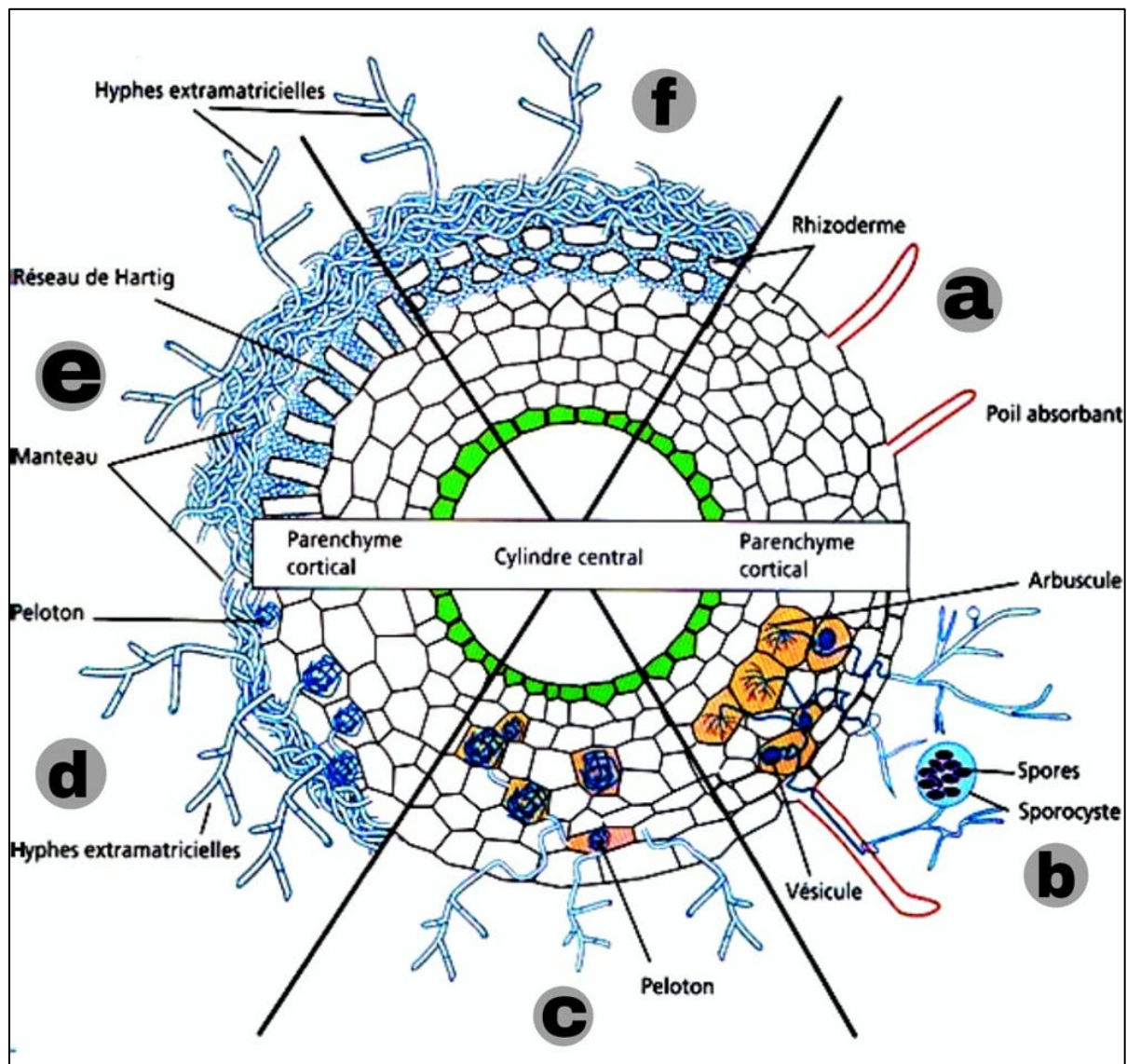


Figure 1: Les principaux types de mycorhizes (Selosse et Le Tacon, 1995); a–Racine sans symbiote; b– Endomycorhize AM; c– Endomycorhizes à pelotons; d– Ectendomycorhizes; e– Ectomycorhizes chez les Angiospermes; f– Ectomycorhizes chez les Gymnospermes.

I.3. Les caractéristiques structurales de mycorhizes

La différenciation ectomycorhizienne implique des changements notables dans la morphologie, l'anatomie et la physiologie de la racine, aboutissant à la formation de structures symbiotiques hautement intégrées. Cette transformation repose sur des processus

ontogénétiques finement régulés, qui nécessitent une communication complexe entre les deux symbiotes – la plante et le champignon. Bien que la formation des ectomycorhizes ait été largement étudiée au niveau cytologique et biochimique, les mécanismes sous-jacents permettant cette interaction et la manière dont les champignons et les plantes communiquent au moment de la formation restent encore mal compris. De même, les processus moléculaires impliqués dans la différenciation des structures symbiotiques demeurent largement inconnus (Marmeisse *et al.*, 2004).

Les ectomycorhizes se caractérisent par la formation de trois structures principales:

1. **Manteau** : il s'agit d'un agrégat d'hyphes qui enveloppe l'extérieur de la racine. Cette structure agit comme une barrière physique, empêchant la perte d'eau et protégeant les racines du dessèchement (Rincón *et al.*, 2007 ; Smith et Read, 2008).
2. **Réseau de Hartig** : c'est une structure fonctionnelle et structurelle qui se forme entre le champignon et les cellules racinaires (Diez, 2005). Ce réseau d'hyphes entoure, sans pénétrer, les cellules corticales des racines et constitue le site principal des échanges bidirectionnels de nutriments entre la plante et le champignon.
3. **Mycélium externe** : ce sont des hyphes qui émanent des racines et s'étendent dans le sol (Marmeisse *et al.*, 2004). Leur rôle principal est de mobiliser les nutriments et l'eau du sol, facilitant leur transfert vers la plante (Diez, 2005).

La plupart des champignons ectomycorhiziens possèdent une large gamme de plantes hôtes, développant peu ou pas de spécificité. Par exemple, des espèces comme *Amanita muscaria*, *Hebeloma crustuliniforme*, *Paxillus involutus*, *Laccaria laccata* et *Pisolithus tinctorius* sont capables de former des associations mycorhiziennes avec une grande variété de plantes appartenant à différents genres et familles (Cairney et Chambers, 1999). En revanche, certains genres, tels que *Suillus*, sont plus spécifiques et ne s'associent qu'à certaines familles de plantes. Par exemple, le genre *Suillus* est principalement associé à la famille des Pinacées, tandis que le genre *Rhizopogon* forme des associations uniquement avec des espèces du genre *Pinus*. Un exemple encore plus spécifique est *Suillus plorans*, qui n'a été trouvé qu'en association avec *Pinus cembra* (Estrada-Torres, 2007).

I.4. Importance des ectomycorhizes dans les systèmes forestiers

Ces associations symbiotiques offrent aux plantes une surface d'absorption plus grande, permettant ainsi l'absorption efficace d'éléments nutritifs essentiels tels que l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K), ainsi que de micronutriments comme le fer (Fe), le

manganèse (Mn), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn). De plus, elles facilitent l'absorption de l'eau du sol, ce qui se traduit par une augmentation de la survie et de la biomasse des plantes. Les champignons ectomycorhiziens renforcent également la capacité des plantes à tolérer divers stress environnementaux tels que les pathogènes, les températures élevées, la sécheresse, l'acidité du sol et les concentrations élevées de métaux toxiques. Ils accomplissent cela en immobilisant les métaux dans les racines, les empêchant ainsi de circuler vers la partie aérienne de la plante (Navarro et al., 2007). Ce mécanisme, combiné aux caractéristiques génotypiques des arbres, permet d'améliorer considérablement leur taux de survie.

En outre, ces champignons contribuent au recyclage de la matière organique par sa minéralisation, à la solubilisation des phosphates via l'excrétion d'acides organiques, et à l'influence de la structure du sol ainsi qu'au stockage du carbone dans celui-ci (Ruiz et al., 2011; Huang et al., 2014). En intégrant les caractéristiques génétiques des arbres, les champignons ectomycorhiziens favorisent une croissance et un développement accrus des plantes. C'est pourquoi l'absence de champignons ectomycorhiziens dans les communautés végétales peut gravement compromettre leur bon fonctionnement écologique. Ces champignons jouent un rôle déterminant dans le maintien de l'équilibre des communautés forestières, car ils sont des facteurs clés dans la durabilité et la résilience des écosystèmes forestiers (Chung, 2005 ; Quiñónez-Martínez et al., 2009) (Fig. 02).

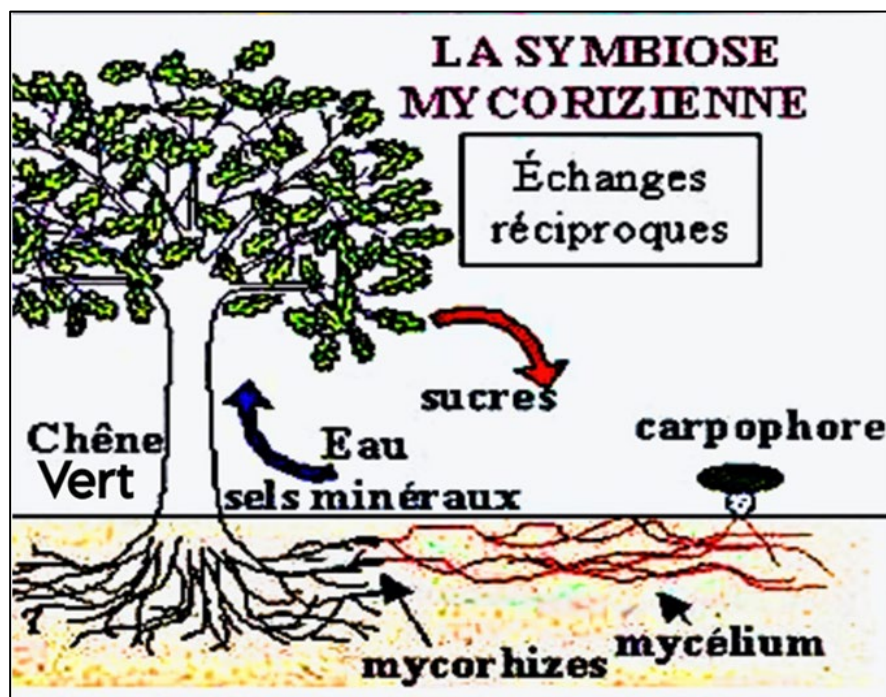


Figure 2: L'échange réciproque entre l'arbre et le champignon mycorhizogène (Krioui & Akroum, 2010).

I.5. Chêne vert (*Quercus ilex* L.)

I.5.1. Caractéristiques botaniques du chêne vert

Le chêne vert (*Quercus ilex*), également connu sous le nom de « yeuse », appartient à l'embranchement des Angiospermes, à la classe des Dicotylédones, à l'ordre des Fagales et à la famille des Fagaceae (Jacquiot, 1938 ; Boudy, 1950). Cette espèce, d'une grande variabilité morphologique, a suscité de nombreuses études visant à clarifier sa position taxonomique. Plusieurs variétés de chênes verts ont été décrites au fil du temps. Albert (1908), cité par Barbero et Loisel (1980), distingue plus de 31 variétés, tandis que Camus (1939) en recense une cinquantaine, classées selon des critères morphologiques variés tels que la forme de la feuille, du pétiole, des rameaux, de la cupule et même la saveur du gland. Parmi ces variétés, deux principales espèces de chêne vert sont souvent évoquées : « *Quercus ilex* » et « *Quercus rotundifolia* ». Toutefois, la majorité des botanistes s'accorde à considérer que le chêne vert présent en Algérie est « *Quercus ilex* » de variété « *ballota* » (Boudy, 1950).

Le chêne vert est une espèce particulièrement polymorphe, un polymorphisme qui se manifeste à différents niveaux : écologique, biochimique et génétique (Seigue, 1985). En général, l'espèce atteint une taille moyenne de 8 à 10 mètres de hauteur, pouvant toutefois aller jusqu'à 15 à 20 mètres dans certaines conditions, avec un diamètre pouvant atteindre un mètre (Dahmani-Megrerouch, 1984). Les futaies de chêne vert sont relativement rares, tandis que les formations de taillis et les garrigues sont plus fréquentes dans ses habitats (Seigue, 1985).

La forme de la cime du chêne vert est typiquement ovale ou arrondie, mais elle peut devenir plus élancée ou en forme de chandelle dans les peuplements denses. Ses feuilles sont persistantes, restant sur l'arbre pendant plus d'une année, et parfois jusqu'à la troisième ou la quatrième année. Elles sont de forme variable : petites à moyennes, elles peuvent être elliptiques, ovales, lancéolées ou orbiculaires. Leur longueur varie de 2 à 9cm et leur largeur de 1 à 4cm (Seigue, 1985).

Concernant l'enracinement, l'appareil racinaire du chêne vert est composé d'une racine pivotante atteignant une profondeur pouvant aller jusqu'à 10 mètres, ainsi que de racines latérales traçantes et drageonnantes. Salmon (2004) indique que « *Quercus ilex* » est une espèce monoïque, c'est-à-dire que les fleurs mâles et femelles se trouvent sur le même individu. Les chatons mâles sont très abondants et peuvent recouvrir l'arbre de couleur jaune à reflets roux durant la floraison, qui se déroule entre le 15 avril et le 15 mai. Les glands commencent à se former vers la mi-juin et arrivent à maturité à la fin du mois d'octobre. Dans les taillis, la fructification du chêne vert est relativement précoce, le chêne peut fructifier dès la quatrième

ou cinquième année, bien que les glands ne deviennent fertiles qu'à partir de six ou sept ans. Cependant, la production abondante de glands n'a lieu qu'à partir de 10 ans (Seigue, 1985). Le gland lui-même est un akène à péricarpe lignifié, plus ou moins épais, selon les conditions environnementales (Attal-Bedreddine, 1995).

La régénération du chêne vert (*Quercus ilex*) se fait principalement par semis, mais c'est surtout grâce aux rejets de souches et aux drageons que cette espèce parvient à se reproduire efficacement, notamment dans les milieux où les conditions de croissance sont difficiles ou où les semis naturels sont moins fréquents. Cependant, la croissance du chêne vert reste relativement lente, ce qui constitue un handicap majeur pour sa compétitivité face à d'autres essences forestières (Dahmani-Megrerouch, 1984). Ce facteur de lenteur de croissance peut limiter sa capacité à coloniser de nouveaux espaces, surtout dans des forêts denses où d'autres espèces à croissance rapide peuvent dominer.

Le bois de « *Quercus ilex* » est particulièrement remarquable pour ses qualités physiques. Il présente une couleur rougeâtre qui s'intensifie et devient brun chez les arbres âgés, et il est extrêmement dur, compact et lourd, avec une texture très homogène (Attal-Bedreddine, 1995). Cette robustesse et densité du bois en font un matériau prisé pour diverses applications, notamment dans la construction et la fabrication de meubles, bien qu'il soit difficile à travailler en raison de sa dureté.

En termes de longévité, le chêne vert est une espèce à vie très longue. Sa durée de vie peut varier entre 200 et 300 ans (Dahmani-Megrerouch, 1984), bien que certains individus puissent vivre plusieurs centaines d'années, comme l'indique Camus (1939), qui estime que cette espèce peut atteindre une longévité de plusieurs centaines d'années, voire davantage dans des conditions idéales.

Ainsi, bien que le chêne vert soit une espèce durable, sa lenteur de croissance et la durée de son développement avant d'atteindre sa pleine maturité posent des défis pour sa gestion et sa conservation, en particulier dans les zones forestières où des perturbations environnementales ou humaines peuvent limiter sa régénération naturelle.

I.5.2. Ecologie du chêne vert

Le chêne vert (*Quercus ilex*) est un arbre typiquement méditerranéen, bien adapté aux conditions climatiques de cette région. Il est considéré comme une espèce héliophile, c'est-à-dire qu'il préfère les environnements ensoleillés, et thermophile, étant résistant à la chaleur. Cette espèce est également xérophile, ce qui lui permet de tolérer la sécheresse estivale, caractéristique du climat méditerranéen.

Le chêne vert présente une grande amplitude écologique, ce qui lui permet de prospérer dans divers types de sols et de climats. Bioclimatiquement, il se retrouve principalement dans les variantes tempérées et fraîches des étages sub-humides, mais il peut également s'installer dans des zones humides et semi-arides. Plus spécifiquement, il se localise fréquemment dans la variante froide de ces étages bioclimatiques, où il constitue une composante essentielle de la végétation forestière méditerranéenne.

En Afrique du Nord, le chêne vert se rencontre dans des stations proches de la région saharienne, où les précipitations annuelles sont inférieures à 300 mm, et dans des zones plus humides telles que l'Atlas marocain, où les précipitations peuvent atteindre jusqu'à 1200 mm (Seigue, 1985). Cette large amplitude de répartition témoigne de sa plasticité écologique, qui lui permet de prospérer dans des conditions variées, allant des régions semi-arides aux stations plus fraîches et humides.

L'espèce présente également une plasticité altitudinale remarquable. En Méditerranée septentrionale, on le trouve rarement en dessous de 400 mètres d'altitude, et il peut atteindre des altitudes allant jusqu'à 1000 mètres dans les zones plus méridionales. Cette capacité d'adaptation aux variations d'altitude est en grande partie due à sa tolérance aux variations de température et à sa résistance à la sécheresse.

Sur le plan édaphique, le chêne vert fait preuve d'une grande tolérance envers différents types de sols. Il est capable de coloniser des substrats variés, même médiocres. Il se développe ainsi bien sur des sols calcaires arides, où son système racinaire pivotant lui permet de pénétrer profondément dans les fissures des roches, et sur des sols siliceux, plus pauvres en éléments nutritifs (Lavoir, 2004). Cette capacité à croître sur des sols pauvres ou difficiles témoigne de la robustesse de l'espèce et de sa capacité à occuper des niches écologiques diversifiées.

I.5.3. Distribution géographique du *Q. ilex* dans le bassin méditerranéen

Le chêne vert (*Quercus ilex*) est une espèce forestière prédominante et largement distribuée à travers le bassin méditerranéen, représentant l'une des essences les plus emblématiques de cette région. Avec une superficie estimée à 3 020 000 hectares, *Q. ilex* occupe une place prépondérante dans les écosystèmes forestiers méditerranéens, notamment dans les zones subhumides, semi-arides et parfois dans les milieux plus secs (Dahmani-Megrerouch, 1997). Cette large répartition en fait l'une des espèces les plus importantes d'un point de vue écologique et économique pour la région.

La plus grande extension du chêne vert se situe dans la partie occidentale du bassin méditerranéen, notamment en Espagne et en Portugal, où l'espèce couvre d'importantes

surfaces forestières, particulièrement dans la région de la Sierra Morena et dans les montagnes de l'Andalousie. En Espagne, *Q. ilex* forme des forêts denses et homogènes sur les pentes calcaires des montagnes côtières et dans les zones plus élevées, jusqu'à 1200 m d'altitude dans certaines régions. Il s'agit d'une espèce qui a profondément façonné le paysage forestier méditerranéen dans ces pays, tant au niveau de la biodiversité que des usages humains traditionnels (production de liège, bois de chauffage, pâturage) (Dahmani- Megrerouch, 1984).

En Italie, la présence du chêne vert est particulièrement notable sur les îles de Sicile et de Sardaigne, où l'espèce forme de vastes forêts dans les zones internes des îles. Le chêne vert y est souvent associé à d'autres essences méditerranéennes telles que le pin pignon (*Pinus pinea*) et le chêne kermès (*Quercus coccifera*), formant des forêts mixtes. En Sardaigne, il est également possible de le rencontrer à des altitudes élevées, autour de 800-1000 mètres dans les montagnes du centre de l'île, dans des zones plus sèches et calcaires. En Grèce, *Quercus ilex* se rencontre surtout sur les pentes orientales de la péninsule Péloponnèse, ainsi que dans des zones du Mont Olympe et les montagnes environnantes. Cette espèce joue un rôle majeur dans la végétation forestière de ces régions, souvent dans des milieux méditerranéens typiques caractérisés par des étés secs et des hivers doux. Le chêne vert y forme parfois des formations forestières mixtes, notamment avec le chêne pubescent (*Quercus pubescens*) dans les zones moins sèches.

Le chêne vert est également bien implanté dans plusieurs îles de la Méditerranée, où il contribue à la diversification des écosystèmes forestiers insulaires. En Chypre, par exemple, *Quercus ilex* est présent dans les montagnes du Troodos, qui abritent de vastes forêts de chênes verts, souvent en association avec d'autres espèces méditerranéennes telles que le pin d'Alep. La région bénéficie d'un climat typiquement méditerranéen, avec une sécheresse estivale marquée et une pluviométrie hivernale (Barbero et Loisel, 1980). Dans les îles de Crète et de Rhodes en Grèce, le chêne vert est également une essence dominée par les sols calcaires et les zones semi-arides, où il forme parfois des formations pures, mais souvent en association avec d'autres espèces résistantes à la sécheresse, telles que le chêne kermès et des variétés de pins. En Tunisie et en Algérie, le chêne vert forme des formations forestières qui dominent les pentes montagneuses et les zones pré-sahéliennes. Ce type de végétation est particulièrement important pour la conservation de la biodiversité, en offrant un habitat pour une variété d'espèces végétales et animales, dont certaines sont endémiques à la région (Barbero et Loisel, 1980).

Au Maroc, l'espèce est rencontrée surtout dans la moyenne montagne, dans les Rifs et dans le moyen Atlas où il couvre les pentes jusqu'à 800 mètres d'altitude (Seigue, 1985).

Les zones de répartition de *Quercus ilex* dans les différents pays méditerranéens sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1: Répartition des superficies du chêne-vert (*Quercus ilex*) dans quelques pays méditerranéens en 1998 (Lavoir, 2008).

Pays	Zone géographique	Altitude	Caractéristiques environnementales
Tunisie	Nord-Ouest, montagnes de l'Atlas	400-1000 m	Zones semi-arides, sols pauvres, haute résilience à la sécheresse
Espagne	Sierra Morena, Andalousie, Castille	Jusqu'à 1200 m	Forêts denses sur sols calcaires, climats secs
Portugal	Andalousie, région de Lisbonne	200 - 800 m	Forêts méditerranéennes mixtes, sols calcaires et siliceux
Italie	Sicile, Sardaigne, régions côtières	500-1000 m	Forêts mixtes méditerranéennes, sols calcaires, climat méditerranéen
Grèce	Péloponnèse, Mont Olympe	300-1000 m	Zones sèches et calcaires, résilience à la sécheresse et aux extrêmes
Maroc	Rifs, Moyen Atlas	Jusqu'à 800m	Forêts tempérées et subhumides, sols calcaires et siliceux
Algérie	Tébessa, montagnes de l'Atlas Tellien	500-1000 m	Zones subhumides et semi-arides, sols calcaires et siliceux

I.5.4. Distribution géographique du *Q. ilex* en Algérie

Le chêne vert occupe une place importante au sein de la forêt algérienne. Les données des superficies forestières de l'année 1997 classent le chêne vert au troisième rang après le pin d'Alep (800000 ha) et le chêne liège (463000 ha) (Ferka- Zazou, 2006).

La répartition du chêne vert est principalement concentrée dans les zones côtières, les massifs montagneux et les hauts plateaux. L'espèce est notamment abondante dans des régions comme l'Aurès, la Kabylie, et Tlemcen (Seigue, 1985), où elle forme des peuplements forestiers qui peuvent atteindre des altitudes comprises entre 900 et 2000m. Cette large répartition dans les montagnes du Nord-Ouest en fait une essence clé dans la composition des forêts

méditerranéennes de la région (Dahmani-Megrerouch, 1997).

Cependant, cette espèce est en déclin depuis plusieurs décennies. La superficie des forêts de chêne vert a considérablement régressé, passant de 680 000 ha en 1985 à 354 000 ha en 1997. Cette régression est due à plusieurs facteurs, dont l'urbanisation croissante, l'exploitation forestière non durable, et surtout l'incendie qui détruit de vastes étendues de forêts méditerranéennes chaque année. Cette diminution a un impact significatif sur l'écosystème forestier méditerranéen de l'Algérie, car le chêne vert joue un rôle primordial dans la stabilité du sol, la préservation de la biodiversité, et la régulation des cycles hydrologiques.

Selon les données les plus récentes fournies par la Direction Générale des Forêts (2009), le chêne vert est présent dans plusieurs parcs nationaux, ce qui témoigne de son importance dans la conservation de la biodiversité et de la gestion durable des espaces naturels (**Tableau 02**).

- **Parc National de Djurdjura** : Le chêne vert y occupe 3 343,95 ha. Dans cette région, il est principalement associé au cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*), représentant environ 30% de la superficie, et dans une moindre mesure, à des peuplements purs de chêne vert, qui constituent environ 13% de la superficie totale. Le reste de la superficie est dominé par les garrigues (plus de 50%), qui se développent dans les zones plus sèches et plus exposées. Ce parc est un site important pour la préservation des forêts méditerranéennes, abritant plusieurs espèces végétales et animales rares.
- **Parc National de Chréa** : Le chêne vert couvre environ 10 400 ha dans ce parc, avec une plage altitudinale allant de 800 à 1500 mètres. Cette zone, qui est l'une des plus importantes de la région, est aussi dominée par des formations de chêne vert qui se mêlent souvent à des peuplements de pins d'Alep et de cèdres, formant un habitat précieux pour la faune et la flore locales.

Tableau 2: Tableau récapitulatif des superficies occupées par le chêne vert dans les Parcs Nationaux

Parc National	Superficie occupée par le chêne vert	Altitude	Caractéristiques supplémentaires
Parc National de Djurdjura	3 343,95 ha	900 - 2000m	Association avec le cèdre de l'Atlas, garrigues dominantes
Parc National de Chréa	10 400 ha	800 - 1500m	Zone de montagne, présence de pins d'Alep et de cèdres

La région de Tebessa, située dans l'extrême est de l'Algérie, le chêne vert constitue une zone clé pour l'étude des écosystèmes méditerranéens, notamment les forêts de chêne vert (*Quercus ilex*), qui y occupent une place importante. La topographie et le climat de cette région favorisent la croissance de cette essence, qui joue un rôle majeur dans le maintien de l'équilibre écologique et la dynamique forestière locale. Ci-dessous sont détaillées les spécificités de la distribution, de l'écologie, des menaces et des mesures de gestion du chêne vert dans cette région.

Le chêne vert représente donc une essence centrale dans la structure de la végétation forestière algérienne (Fig. 03). Bien que son aire de distribution soit vaste, elle est cependant soumise à des pressions humaines et environnementales croissantes. La régression des superficies forestières et la dégradation des habitats associés nécessitent une gestion durable des forêts, ainsi qu'une politique active de reboisement et de protection des écosystèmes forestiers méditerranéens. Il est essentiel de concilier la conservation de cette essence emblématique avec le développement socio-économique, notamment par la mise en place de stratégies de gestion des forêts, de prévention des incendies et de valorisation des produits forestiers non ligneux comme le liège ou les glands (Loukas, 2006)

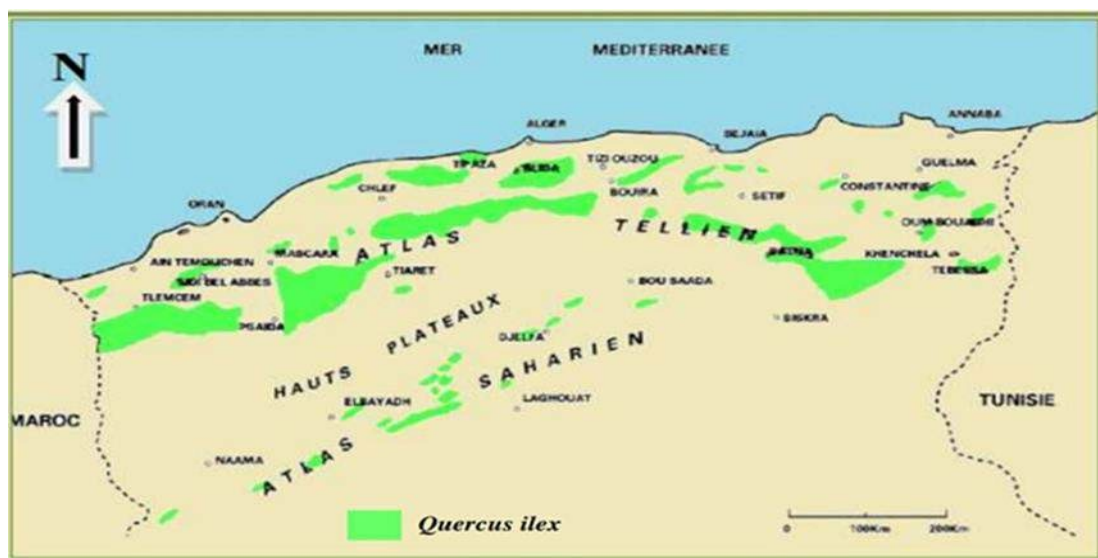


Figure 3: Distribution géographique du Chêne vert en Algérie (Barry et al., 1976).

1.5.5. Importance économique du *Q. ilex*

Le chêne vert (*Quercus ilex*) occupe une place importante sur le plan socio-économique, notamment en Méditerranée, où il joue un rôle crucial dans plusieurs secteurs de l'économie locale. Bien qu'il ne soit pas toujours prisé pour sa qualité de bois, cette essence offre néanmoins une grande variété de services écosystémiques et économiques qui bénéficient directement aux communautés humaines.

Rôle Écologique et Protection des Sols

Le chêne vert joue un rôle fondamental dans la protection des sols. En raison de son système racinaire profond, il permet de stabiliser les sols dans les zones montagneuses et côtières, particulièrement dans les régions sujettes à l'érosion. Ses racines ancrent le sol et contribuent à prévenir l'érosion, une problématique importante dans les régions méditerranéennes où les crues torrentielles et les chutes de pierres sont fréquentes, notamment après de fortes pluies ou des sécheresses prolongées. L'ancrage des racines du chêne vert agit comme une barrière physique qui réduit la vitesse de l'eau et limite les dégâts liés à l'érosion hydrique (Ouelmouhoub, 2005).

En outre, il est particulièrement utile dans les zones dégradées ou sur les pentes exposées à des risques d'érosion, où il forme souvent des peuplements naturels pour la stabilisation des sols. Son rôle dans la régénération des terres dégradées et sa capacité à résister aux conditions climatiques extrêmes font de cette essence un pilier de la gestion durable des terres en zones méditerranéennes (Leutreuch- Belarouci, 1995).

Utilisation du Bois et des Produits Forestiers Non Ligneux

Bien que la qualité du bois du chêne vert soit jugée médiocre pour des usages de menuiserie ou de construction (bois trop lourd et difficile à sécher), cette essence présente des avantages dans d'autres secteurs :

- **Bois de chauffage et charbon** : Le chêne vert est couramment utilisé pour la production de bois de chauffage en raison de la densité de son bois et de la chaleur qu'il produit lorsqu'il est brûlé. Cette utilisation est particulièrement répandue dans les zones rurales et montagneuses où l'accès à des sources d'énergie modernes est limité. Le charbon de chêne vert est également un produit recherché dans les régions où la cuisson au charbon est courante (Dahmani- Megrerouch, 1984).
- **Fabrication d'outils** : Le bois de chêne vert est utilisé pour la fabrication de manches d'outils en raison de sa solidité et de sa durabilité. Ces produits sont particulièrement recherchés dans l'artisanat traditionnel et l'industrie de la construction.
- **Fabrication de fibre et panneaux** : Dans certaines régions, des panneaux et des fibres peuvent être fabriqués à partir du bois du chêne vert, bien que ce ne soit pas sa principale utilisation.

Valeur Fourragère et Pastoralisme

Le chêne vert présente une grande valeur pour le pastoralisme. Ses glands, ainsi que les autres parties de l'arbre, sont utilisés par les éleveurs pour nourrir le bétail, en particulier pendant les périodes de sécheresse ou de pénurie alimentaire.

- **Valeur fourragère** : Le chêne vert offre une importante valeur fourragère, évaluée entre 150 et 200 Unités Fourragères par hectare (UF/ha). La chênaie verte peu dense permet aux animaux de pâturer librement toute l'année, en exploitant ses différentes strates végétales, notamment les glands, les feuilles et l'herbe qui pousse sous son couvert. Cette disponibilité tout au long de l'année fait du chêne vert une ressource clé dans l'alimentation du bétail, en particulier pour les ovins, caprins et bovins (Leutreuch-Belarouci, 1995).
- **Souplesse d'utilisation** : Grâce à sa répartition étendue et à la diversité des ressources qu'il offre, le chêne vert s'intègre facilement dans le calendrier alimentaire des éleveurs. Il permet de varier les types d'alimentation du bétail et de mieux adapter les pratiques pastorales aux conditions locales, qu'elles soient sèches ou humides.

Extraction de Tanin et Usages Industriels

Le tanin extrait de l'écorce du chêne vert a une grande importance industrielle, notamment pour le tannage des peaux. Le chêne vert est une source importante de tanin, particulièrement dans les régions où l'industrie du cuir est bien développée. L'extraction du tanin est une activité traditionnelle dans plusieurs pays méditerranéens et contribue à l'économie locale. L'écorce est récoltée, séchée et traitée pour obtenir le tanin, qui est utilisé dans le tannage des cuirs, dans les industries chimiques et pour d'autres applications industrielles, comme dans la production de colorants naturels (Jacquiot, 1938).

Consommation des Glands

Le gland du chêne vert est généralement amer et peu comestible pour l'homme, cependant, il est une denrée importante pour les animaux (notamment les sangliers et cerfs) qui en consomment en grande quantité.

- **Glands doux** : Certaines variétés de glands sont plus douces et peuvent être consommées par les humains, bien qu'en quantités plus limitées. Dans

certaines régions d'Afrique du Nord, les glands sont utilisés pour fabriquer des farines, après un processus de transformation pour éliminer l'amertume. Ce produit fait parfois l'objet de commerce dans les zones rurales. Dans ces régions, les glands peuvent être moulus et consommés sous forme de pâte, de pain ou d'autres produits alimentaires traditionnels (Seigue, 1985).

Valeur Culturelle et Traditionnelle

Le chêne vert possède également une valeur culturelle importante dans plusieurs sociétés méditerranéennes. Dans de nombreuses communautés rurales, il est associé à des pratiques traditionnelles liées à la gestion des terres, à la culture du sol et à la gestion des forêts. L'arbre est respecté pour sa longévité et sa robustesse, et sa présence dans les paysages méditerranéens symbolise souvent une relation harmonieuse entre l'homme et la nature.

Chapitre II

Matériels
&
méthodes

II.1. Présentation générale du cadre d'étude: la wilaya de Tebessa

II.1.1. Localisation géographique

La région de Tebessa, située dans le Nord-Est de l'Algérie, s'étend entre les coordonnées géographiques suivantes : 34° 15' à 35° 45' N et 7° 30' à 8° 30' E, couvrant une superficie de 14227km². Elle fait partie des hautes plaines constantinoises, une vaste région située entre les **montagnes** de l'Atlas tellien au nord et celles de l'Atlas saharien au sud. Cette zone altitudinale varie entre 1000m et 1600m, ce qui lui confère une diversité écologique importante (BouguessaCheriak, 2017).

La région est délimitée au nord par la wilaya de Souk-Ahras, à l'ouest par les wilayas d'Oum El Bouaghi et de Khenchela, au sud par la wilaya d'El Oued, et à l'est, elle partage une frontière de 300km avec la Tunisie. Ce positionnement géographique particulier entre les montagnes de l'Atlas et les plaines plus arides du Sahara confère à Tébessa un riche environnement écotypique, influencé par à la fois le climat méditerranéen et des conditions plus sèches typiques des régions sahariennes (**Fig. 04**).

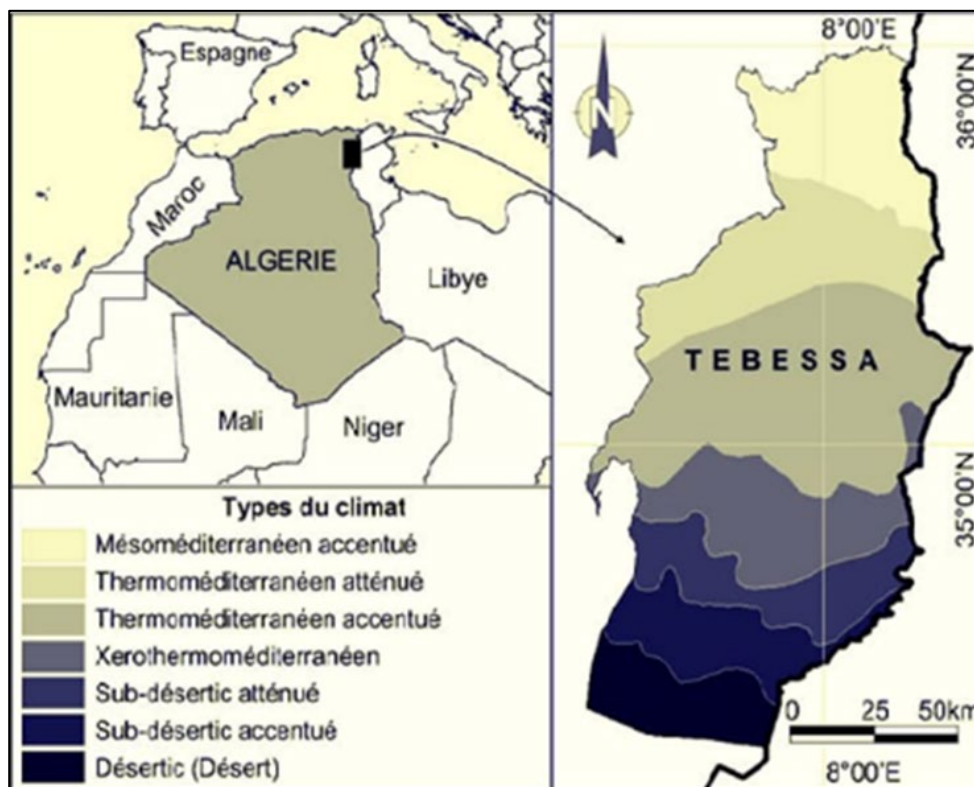


Figure 4: Localisation géographique et les types de climat de la wilaya de Tebessa (Carte adaptée selon UNESCO 1996).

II.1.2. Caractéristiques géologiques et pédoclimatiques

II. 1.2.1. Caractéristique géologique

Les monts de Tebessa font partie intégrante de l'Atlas saharien oriental. Le terme «monts de Tebessa» désigne un ensemble géologique hétérogène, dont le lien principal réside dans le fait qu'il est délimité par le fossé de « Morsott-Tebessa ». Le passage des hautes plaines du Mellègue aux «monts de Tebessa» est marqué par un resserrement des plaines et par une agrégation d'unités géomorphologiques distinctes, notamment le «val perché du Dyr» et celui de «Bourabaia». Au sud de la région, le fossé d'effondrement «Meddoud-Aïn Chabro» sectionne brutalement les monts de Tébéssa, créant une coupure nette dans les formes de relief qui, bien que non symétriques, structurent le paysage de façon spectaculaire. Les sommets parallèles du «Djebel Serdiess» et du «Djebel Gourrigueur» forment ensemble un haut synclinal perché du «Djebel Serdiess», qui constitue une partie importante de la chaîne. Cependant, à l'est du «Djebel Doukkane», le relief devient plus complexe et original, en particulier entre «Tébéssa» et «El Malabiod». Dans cette zone, une barrière orientée de l'Ouest vers l'Est se dresse, s'inclinant progressivement vers le Nord-Est et formant ainsi la «plaine de la Merdja».

La chaîne montagneuse se fragmentée en plusieurs petits massifs, dont «Djebel Anoual», «Djebel Azmor», «Djebel Bouroumane», et «Djebel Djebissa».

Le «fossé Chabro-Tebessa-Bekkaria», également appelé «fossé de Tebessa», borde au nord ces massifs, et présente un relief particulièrement impressionnant. Ce fossé forme un dénivelé progressif, avec des remblais qui descendent de 900 mètres à «Bekkaria» à 770 mètres à «Aïn Chabro» (Hammamet), soulignant ainsi l'intensité de la dépression géologique. La formation de ce relief complexe est largement le résultat de l'interférence de deux types de tectonique cassante. Ces rides orientées Sud Ouest – Nord Est, associées à une érosion dominante et à une tectonique cassante marquée, ont joué un rôle crucial dans la formation du schéma structural de la région. De plus, cette dynamique géologique a favorisé la création de systèmes hydrogéologiques stratégiques, notamment un aquifère d'une épaisseur allant jusqu'à 200 mètres, constitué principalement d'alluvions. Ce système d'aquifères, influencé par les structures géologiques de la région, constitue un atout majeur pour l'approvisionnement en eau de cette zone (Benarfa, 2005).

II.1.2.2. Caractéristiques pédologiques

Sur le plan édaphique, la région de Tebessa se trouve en bordure de la zone montagneuse qui constitue le rebord sud des Hautes plaines. Cette zone présente un relief plissé et faillé, caractéristique des régions montagneuses, où les couches géologiques ont été soumises à deforts phénomènes de compression. Les sols de la région sont principalement formés de

sédiments datant de l'ère secondaire et de l'ère tertiaire, ce qui reflète une grande diversité géologique. Parmi les formations dominantes, on retrouve des calcaires, des dolomies, des marnes, ainsi que des roches salines, en particulier des dépôts de Trias, période géologique marquée par des conditions climatiques et environnementales spécifiques qui ont favorisé la formation de ces types de roches (Khelili, 2019).

Cette diversité des substrats géologiques influence la composition et la structure des sols, rendant le territoire de Tebessa particulièrement varié du point de vue édaphique. Les sols calcaires, par exemple, sont souvent basiques, peu fertiles et très susceptibles à l'érosion, tandis que les sols argileux ou marneux, plus profonds et plus riches en matière organique, peuvent être plus propices à certaines formes de végétation. Par ailleurs, la présence de roches salines (Trias) indique également une certaine salinité des sols dans certaines zones, ce qui peut limiter l'habitabilité et l'agriculture dans ces secteurs, à moins d'adopter des techniques adaptées pour gérer la salinité et optimiser l'utilisation de l'eau.

II.1.2.3. Paramètres climatiques

Le climat est l'une des composantes fondamentales d'un écosystème terrestre, et il exerce une influence déterminante sur de nombreux processus biologiques, notamment la fructification des champignons. Les principaux facteurs climatiques qui influencent cet aspect sont la température, les précipitations et l'humidité relative, qui jouent tous un rôle crucial dans la dynamique des communautés fongiques.

D'après les données météorologiques recueillies à la station météorologique de la région de Tebessa, allant de 1972 à 2022, cette zone fait partie du haut plateau tellien, situé dans l'étage bioclimatique semi-aride. Il est à préciser que ces données ont été également tirées de Google Earth Engine, version 2015. Ce climat se caractérise par plusieurs traits distinctifs, notamment:

II.1.2.3.1. Température

La température dans la région de Tébesa est principalement influencée par plusieurs facteurs climatiques et géographiques, tels que l'altitude, l'exposition, l'orientation du relief, l'éloignement de la mer, ainsi que la réverbération thermique au sol et le type de couvert végétal. Ces facteurs combinés entraînent une accentuation des contrastes thermiques, particulièrement marquée entre les saisons estivales et hivernales.

Du point de vue thermique, les températures sont relativement basses en hiver, avec une moyenne mensuelle de 2,1°C, ce qui correspond à des périodes froides souvent accompagnées de gelées. L'altitude élevée de la région joue un rôle important dans cette baisse

des températures, notamment dans les zones des hautes plaines, où les températures peuvent être particulièrement froides pendant la saison hivernale. Cette zone subit également un nombre élevé de gelées blanches, qui ont des conséquences sur la végétation et les activités agricoles. En revanche, l'été, la région de Tébessa connaît des températures très élevées, particulièrement pendant les mois de juillet et août, où les températures peuvent dépasser les 40°C. Ces conditions thermiques extrêmes augmentent le stress hydrique et la sécheresse, affectant la croissance des plantes, des champignons et d'autres organismes du sol. La forte réverbération au sol amplifie cette chaleur, notamment en raison du type de sol aride et peu végétalisé.

Ainsi, la région de Tébessa présente des contrastes thermiques marqués, avec des hivers froids et des étés chauds, influençant non seulement les processus biologiques locaux, mais aussi la dynamique de la végétation et des écosystèmes forestiers (**Tab. 03**).

Tableau 3: Moyennes mensuelles des températures maximales et minimales exprimées en °C durant la période 1972-2022 dans la wilaya de Tébessa (Les données de Google Earth Engine – Station météorologique de la région de Tébessa)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
T.M. Max (°C)	14,9	13,0	16,3	20,1	24,9	30,8	44,3	41,0	29,1	23,4	17,2	13,0
T.M. Min (°C)	2,1	2,6	4,8	7,7	11,1	15,3	18,1	18,2	15,4	11,7	7,1	3,5

II.1.2.3.2. Précipitations

Les données sur les précipitations recueillies entre 1972 et 2022, à partir de Google Earth Engine ainsi que la station météorologique de Tébessa, révèlent que la région de Tébessa présente un climat semi-aride, caractérisé par une faible quantité de précipitations annuelles et une grande variabilité, tant au sein d'une même année qu'entre les différentes années. Cette variabilité, tant intra-annuelle qu'interannuelle, est mise en évidence par les tendances observées dans les séries temporelles des précipitations (**Tab. 04**).

L'analyse des données mensuelles montre que le mois de septembre est généralement le plus pluvieux de l'année, avec une précipitation moyenne mensuelle de 48,74mm, ce qui peut être lié aux phénomènes de convection atmosphérique favorables dans cette période de l'année. En revanche, le mois de juillet apparaît comme le mois le moins pluvieux, avec seulement 10,62mm de précipitations en moyenne, ce qui s'explique par l'absence de perturbations atmosphériques majeures et les températures élevées typiques de l'été dans cette zone semi aride. En ce qui concerne la précipitation annuelle moyenne, la région de Tébessa reçoit environ 370mm par an, ce qui reste relativement faible par rapport à d'autres régions plus

humides.

Tableau 4: Moyennes annuelles des précipitations exprimées en (mm) durant la période de 1972-2022 de la wilaya de Tebessa (D'après les données de Google Earth Engine et Station météorologique de Tebessa).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
P.M. (mm)	21,46	19,94	50,23	36,91	31	27,65	10,62	32,21	48,74	32,23	28,09	26,33

Cette faible quantité de précipitations annuelles, conjuguée à leur irrégularité, contribue à la fragilité du climat local et influence directement les conditions agricoles et les ressources en eau. Cette situation est bien illustrée sur la figure 05, générée à partir des données de Google Earth Engine, qui montre la répartition annuelle des précipitations sur la zone d'étude. Ces données confirment bien que la région est fortement influencée par un climat semiaride, où la gestion de l'eau et des ressources naturelles devient un enjeu crucial, notamment pour les activités agricoles et la gestion des périodes de sécheresse.

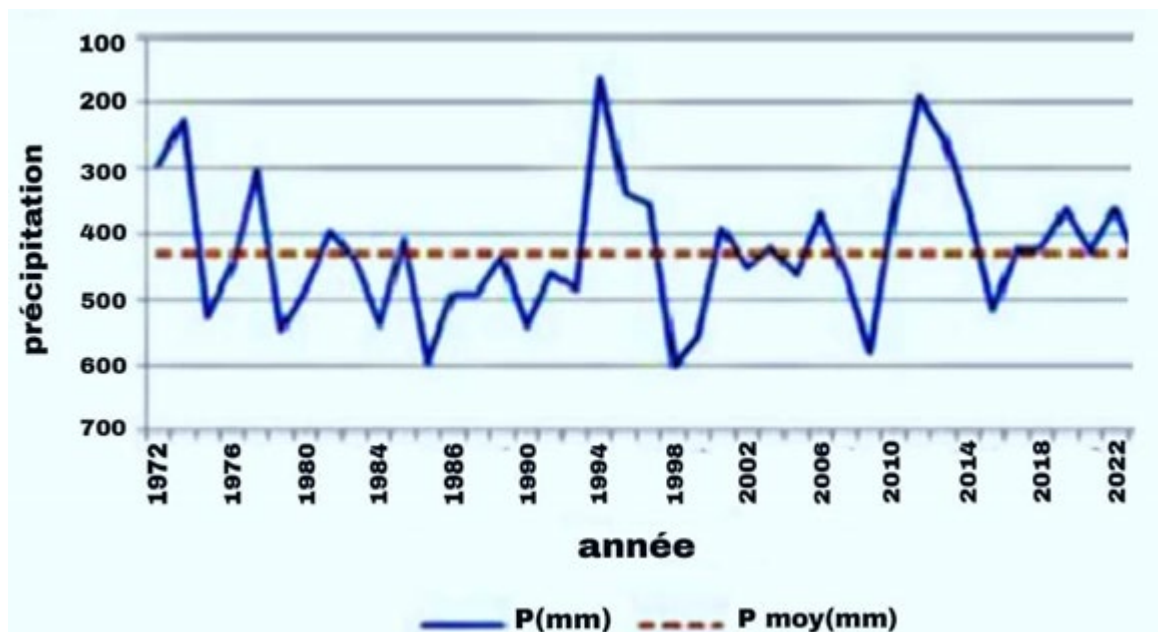


Figure 5: Variations annuelles des précipitations exprimées en (mm) de la wilaya de Tebessa durant la période (1972 /2022) (D'après les données de Google Earth Engine et Station météorologique de Tebessa).

II.1.2.3.3. Humidité relative de l'air

Dans la région d'étude, l'humidité relative de l'air présente des variations marquées, tant

d'une année à l'autre que tout au long des mois au sein d'une même année. Elle oscille généralement entre 48% et 73%, ce qui reflète une grande fluctuation de l'humidité atmosphérique. Les valeurs les plus élevées d'humidité relative sont observées durant la période hivernale, notamment en décembre et janvier, lorsque l'humidité dépasse fréquemment les 70%. Ces périodes plus humides correspondent aux mois où les températures sont les plus basses, favorisant ainsi une atmosphère plus saturée en vapeur d'eau.

En revanche, l'humidité relative de l'air est particulièrement faible durant l'été, notamment en juin, juillet et août, où la sécheresse de l'air est marquée. Pendant ces mois, l'humidité relative reste inférieure à 51%, ce qui reflète des conditions atmosphériques sèches et chaudes, caractéristiques des régions semi-arides. Cette baisse significative de l'humidité estivale peut être attribuée aux températures élevées et à la faible quantité de précipitations qui caractérisent la saison chaude. Ces données sont bien illustrées dans la figure 06, qui montre les fluctuations saisonnières et annuelles de l'humidité relative dans la région d'étude.

Dans ce contexte, ces variations d'humidité relative ont des implications importantes pour l'agriculture, la gestion des ressources en eau et la santé, en raison des effets directs sur les besoins en irrigation et les risques liés aux vagues de chaleur.

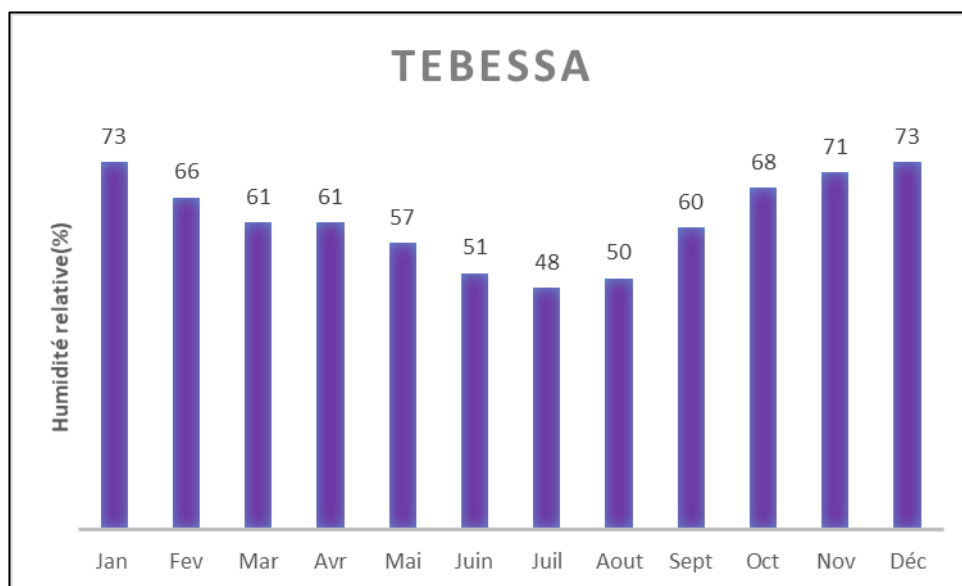


Figure 6: Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air exprimée en (%) dans la wilaya de Tebessa durant la période 1972-2022 (D'après les données de Google Earth Engine et Station météorologique de Tebessa).

II.1.2.3.4. Vents

Sur la période de 50 ans (1972-2022), les vents dominants dans la région d'étude soufflent principalement de direction Ouest-Nord-Ouest (WNW) au cours de presque tous les

mois de l'année. Cependant, les mois de juillet, août et décembre présentent une exception notable, car ils sont caractérisés par des vents dominants provenant de direction Nord-Ouest (NW). En outre, septembre se distingue par un changement dans la direction du vent, avec des vents dominants venant de l'Ouest (W), comme le montre le tableau 05.

Ces variations saisonnières dans la direction des vents peuvent être liées à des phénomènes atmosphériques spécifiques, tels que les variations de pression et les changements saisonniers dans les conditions météorologiques globales. Les vents Ouest-Nord-Ouest (WNW) dominants peuvent être associés à des conditions climatiques plus modérées, tandis que les vents Nord-Ouest (NW) des mois d'été et de fin d'année pourraient être responsables d'un refroidissement plus marqué et d'une certaine variabilité dans les conditions de température et d'humidité. La particularité du mois de septembre, avec des vents d'Ouest (W), peut être liée à des transitions dans les systèmes de pression, souvent associées aux changements de saisons. Cette dynamique du vent a des implications sur les conditions climatiques locales, y compris sur la gestion de la chaleur, les risques d'irrégularités dans les précipitations et l'impact global sur les conditions agricoles et environnementales dans la région.

Tableau 5: Moyennes de la vitesse du vent exprimées en (m/s) avec leur direction dominante durant la période 1972-2022 de la wilaya de Tebessa (D'après les données de Google Earth Engine et Station météorologique de Tebessa).

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jun.	Juil.	Août.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Vitesse du vent (m/s)	3,11	3,55	3,70	3,60	3,35	3,11	3,18	2,85	2,77	2,60	3,23	3,08
Direction du vent	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	NW	NW	W	WNW	WNW	NW

II.1.2.3.5. Synthèse bioclimatique

II.1.2.3.5.1. Climagramme d'Emberger

Schématiquement, la région de Tebessa comporte trois étages bioclimatiques, avec prédominance du semi-aride au centre qui occupe 57 % de la superficie totale. Ces différents étages sont les suivants (**Fig. 07**).

- Le semi-aride caractérisé par un hiver frais, il concerne principalement la partie nord de la wilaya, où cette étude a été menée, particulièrement les lignes des hauteurs où les précipitations, importantes, sont comprises entre 350 et 400 mm Cet étage bioclimatique concerne 585,625 ha soit 27% de l'ensemble de la wilaya.
- Le domaine aride concerne la partie centrale de la wilaya où les précipitations

sont comprises entre 150 et 350 mm, il occupe 58 % de la superficie de cette région.

- Le domaine saharien occupe la partie sud de la wilaya, et correspond essentiellement au piémont saharien où les précipitations ne dépassent pas les 150 mm par année. Ce domaine occupe 15 % de la superficie totale de Tebessa. (Benarfa, 2005).

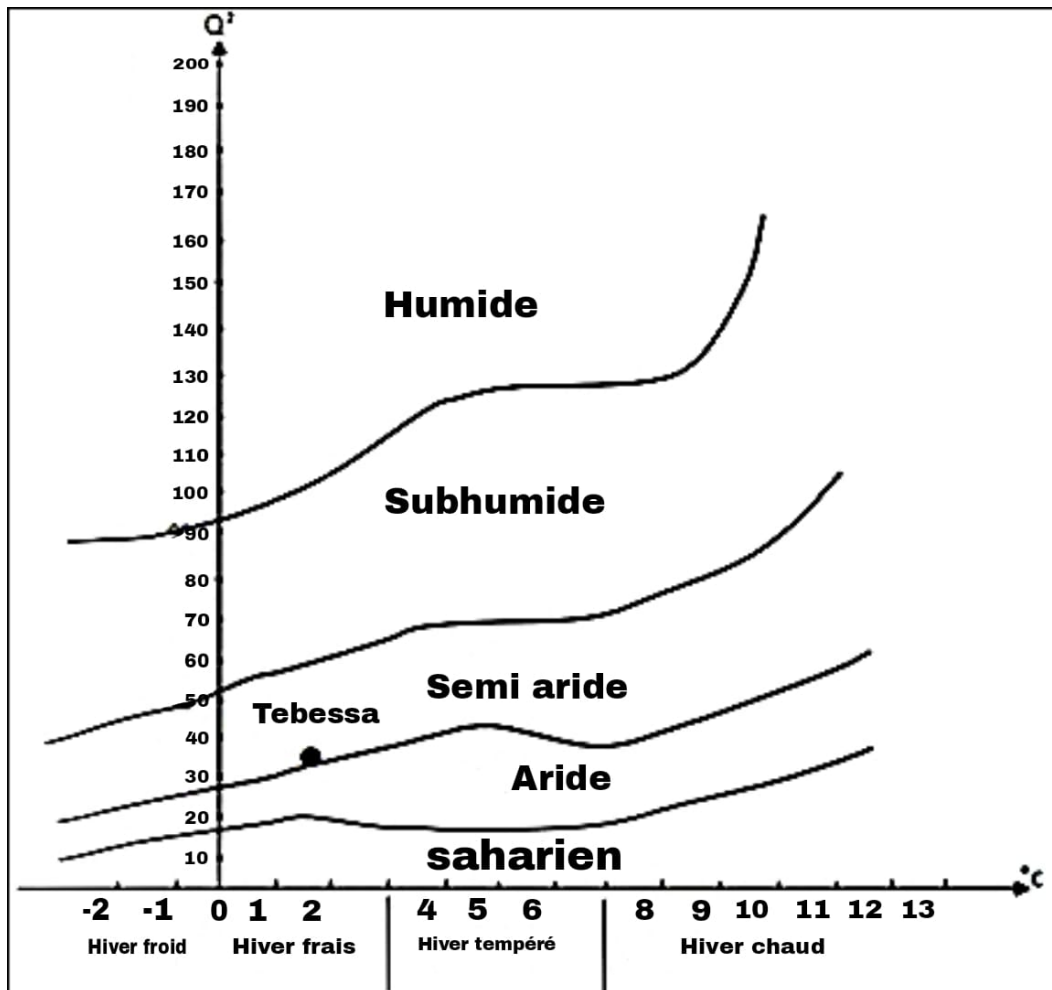


Figure 7: Climagramme pluviothermique d’Emberger (Q2) montrant l’évolution du climat de la région de Tebessa.

II.1.2.3.5.2. Diagramme ombrothermique

Le diagramme ombrothermique permet d’estimer les éléments du climat d’une région du point de vue précipitations et températures pendant une période donnée et permet également de préciser les périodes sèches et humides. La sécheresse s’établit lorsque la pluviosité mensuelle (P) exprimée en mm est inférieure au double de la température moyenne exprimée en degrés Celsius ($P \text{ (mm)} < 2T \text{ (}^\circ\text{C)}$) (Dajoz ,1985). Le diagramme ombrothermique de Gausson montre que la wilaya de Tebessa est caractérisée par une période

sèche de 7 mois qui s'étale de mai à septembre et une période humide de 5 mois (octobre à avril) (Fig. 08).

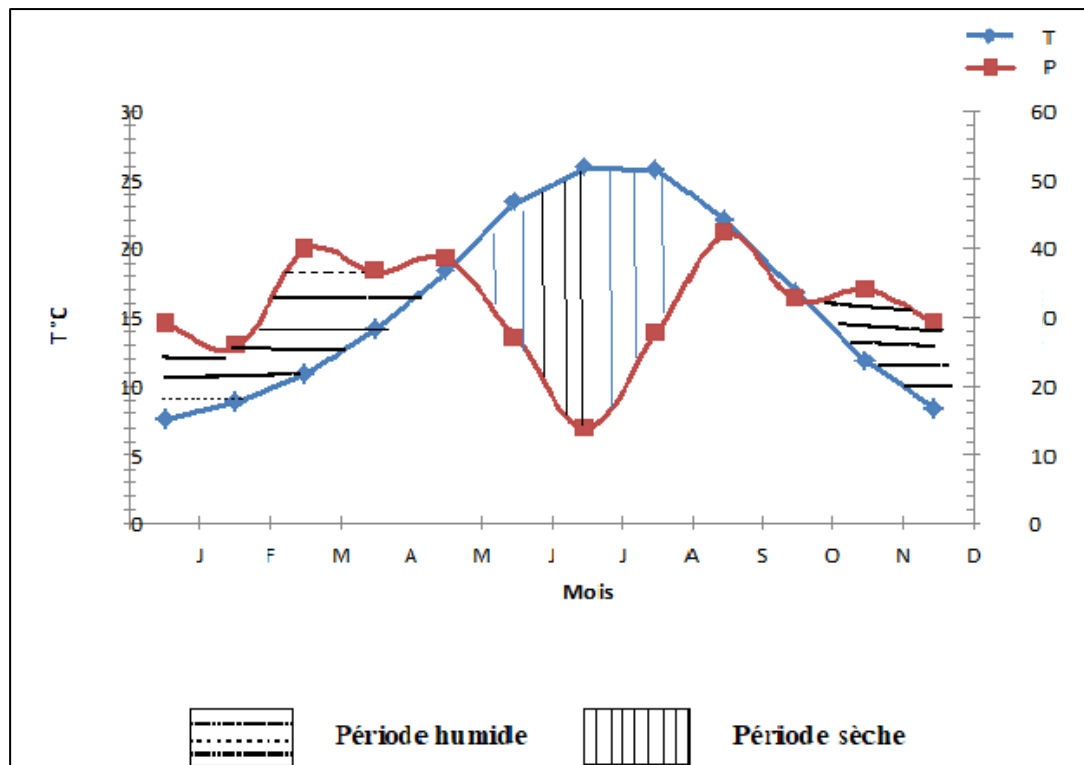


Figure 8: Diagramme ombrothermique de Banouls et Gaussen (1953) de la wilaya de Tebessa durant la période (1972-2022). (Station météorologique de Tebessa ,2023).

II.1.3. Végétation de la région de Tebessa

La végétation naturelle de la wilaya de Tebessa se caractérise par des espèces qui s'adaptent aux conditions pédoclimatiques de la région. Les différentes espèces qui la composent correspondent à l'étage bioclimatique semi-aride. On y trouve le Pin d'alep, Le Chêne vert, le Genévrier de Phénicie, le Romarin, l'Alfa, le Sénéçon commun, le Chardon d'Espagne, le Laiteron maraîcher, le Galactite cotonneux, le Liseron des champs, la Mauve des bois, le Genêt cendré, la Luzerne cultivée (Benarfa ,2005).

II.2. Choix de sites d'étude: les forêts de chêne vert de Tebessa

Pour évaluer l'état sanitaire des forêts, le choix des sites a été basé sur les critères suivants: la possibilité d'accéder aux sites d'échantillonnage, présence d'une yeuseraie homogène (Fig.09), présence des ovins et des bovins créant des conditions intéressantes d'observation de l'effet du surpâturage. Nous avons choisi un mode d'échantillonnage répondant au mieux aux types de milieux (milieu forestier dans notre cas) et à l'objectif recherché, qui consiste à la réalisation d'un inventaire mycologique représentatif des espèces et notamment des espèces rares.

De ce fait, la méthode d'échantillonnage choisie se présente sous la forme de transects avec pointages réguliers. Il est à noter que l'écosystème forestier est caractérisé par un ensemble de nombreuses micro-situations au sein d'un écosystème globalement homogène, justifiant ainsi le choix du protocole.



Figure 9: Photo d'arbre de *Quercus ilex* dans la forêt domaniale d'El Annba; Tebessa; Nord-Est Algérien.

Afin de réaliser ce travail de recherche, nous avons choisi 07 sites, on été divisés en 13 parcelles (**Tab.06 et Fig.10 et Fig.11**), répartis au niveau des 3 secteurs des forêts domaniales de la région de Tebessa (forêts domaniales Sidi Yahia Ben Taleb, forêts domaniales Nemamcha et forêts domaniales Tebessa). La superficie des sites varie de 10000m² à 5000m² selon l'homogénéité du couvert végétal :

- Les forêts mixtes Chêne-vert / Pin d'Alep la superficie est estimée à 10000 m²
- Les forêts homogènes en Chêne-vert la superficie est estimée à 5000 m²

Tableau 6: Les caractéristiques des 13 sites étudiés (Forêts domaniales de la wilaya de Tebessa, Nord-Est algérien)

	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
Site d'étude	Bourabaïa 01	Bourabaïa 02	El annba 01	El annba 02
Latitude	35°36'56.808" N	35° 36'53.386"N	35°22'5.612" N	35°22'30.261" N
Longitude	8°19'15.447" E	8° 19'16.183" E	8°1'48.466" E	8°01'3.574" E
Altitude (m)	1080	1082	1523	1456
Végétation dominante	Chêne vert + Pin d'Alep	Chêne vert + Pin d'Alep	Chêne vert	Chêne vert
Superficie du site	10000 m ²	10000 m ²	5000 m ²	5000 m ²
	Site 5	Site 6	Site 7	Site 8
Sites d'étude	El annba 03	Gagaà	Gouriguer	Mestiri
Latitude	35°23'20.353" N	35°24'15.122" N	35°32'59.168" N 7°	35°24'27.670" N
Longitude	8°1'9.085" E	7°52'6.894" E	47'29.131" E	8°0'4.362" E
Altitude (m)	1231	1278	1315	1358
Végétation dominante	Chêne vert	Chêne vert + Pin d'Alep	Chêne vert	Chêne vert + Pin d'Alep
Superficie du site	5000 m ²	10000 m ²	5000 m ²	10000 m ²
	Site 9	Site 10	Site 11	Site 12
Sites d'étude	Mouctoua 01	Mouctoua 02	Zitouna 01	Zitouna 02
Latitude	35°40'41.702" N	35°40'42.686" N	35°38'32.956" N	35°38'30.72" N
Longitude	8°3'31.728" E	8°3'56.017" E	8°6'42.886" E	8°6'45.951" E
Altitude (m)	1061	1080	1189	1199
Végétation dominante	Chêne vert + Pin d'Alep	Chêne vert + Pin d'Alep	Chêne vert + Pin d'Alep	Chêne vert + Pin d'Alep
Superficie du site	10000 m ²	10000 m ²	10000 m ²	10000 m ²
	Site 13			
Sites d'étude	Zitouna 03			
Latitude	35°38'23.329" N			
Longitude	8°6'51.325" E			
Altitude (m)	1220			
Végétation dominante	Chêne vert + Pin d'Alep			
Superficie du site	10000 m ²			

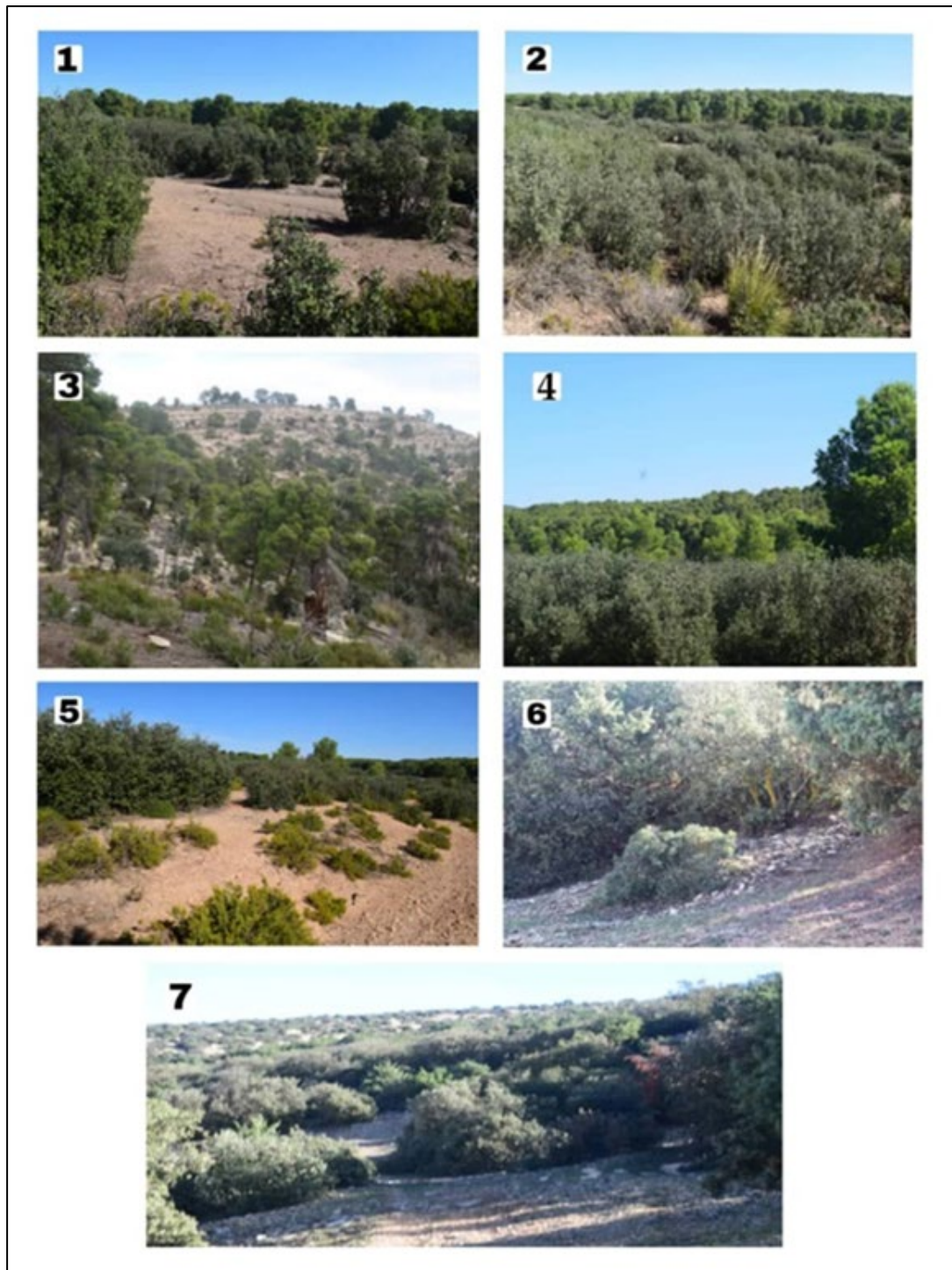


Figure 10: Présentation des sites d'étude; 1– Forêt du chêne vert du site Bourabaïa; 2– Forêt du chêne vert du site Gourigneur; 3– Forêt du chêne vert du site Mouctoua; 4– Forêt du chêne vert du site Zitouna; 5– Forêt du chêne vert du site Gagaà; 6– Forêt du chêne vert du site El Annba; 7– Forêt du chêne vert du site Mestiri.

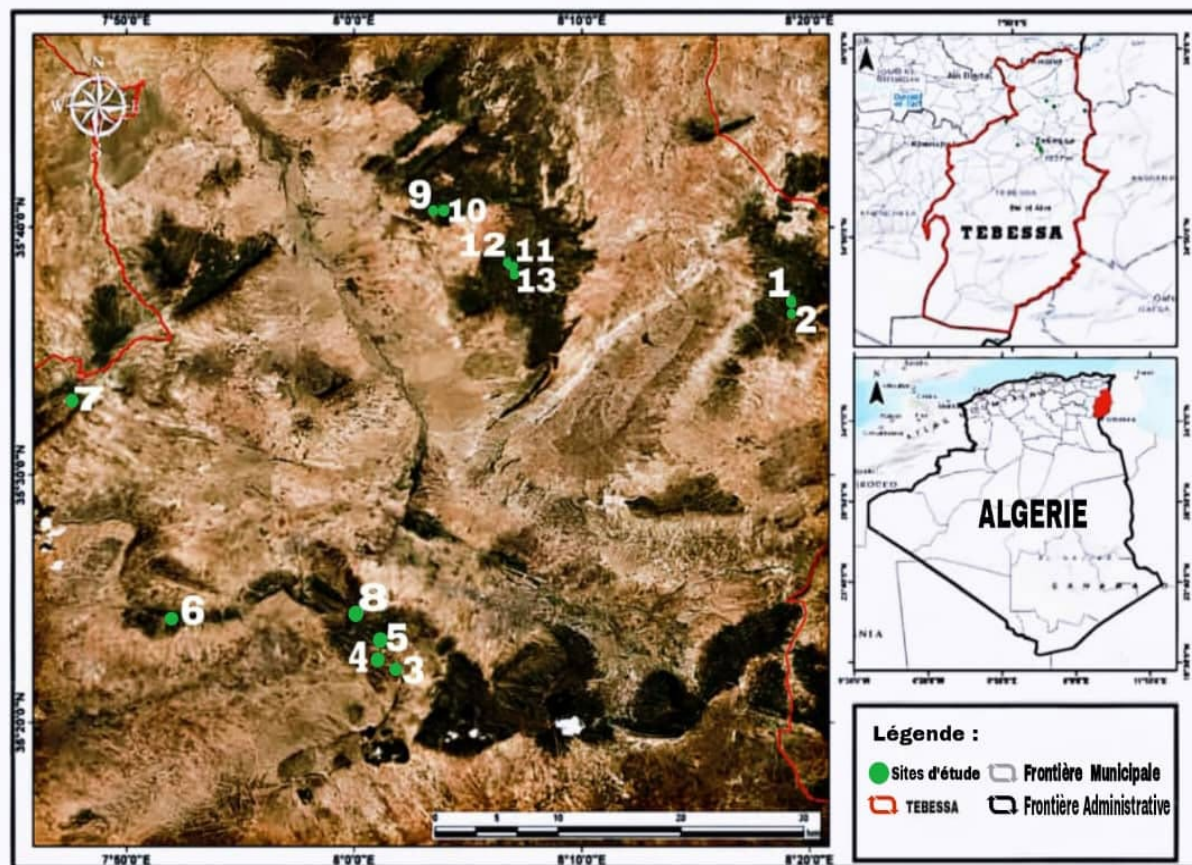


Figure 11: Localisation des parcelles d'étude où ont été collectés les macromycètes dans les forêts domaniale de la wilaya de Tebessa, Algérie.

Le tableau 05 regroupe l'ensemble des sites visités en précisant les coordonnées GPS, l'altitude, la végétation dominante ainsi que la superficie prospectée. Les coordonnées GPS et l'altitude des sites d'étude ont été prélevés par un appareil GPS de type Garmin 72H. Les informations enregistrées ont permis l'élaboration d'une carte de répartition des sites, en utilisant le logiciel Arc GIS 10.8.

II.3. Analyse des paramètres écologiques de sites d'étude

II.3.1. Réalisation d'une cartographie des données climatiques

La wilaya de Tebessa englobe 28 communes, dont 10 frontalières, encadrées par 12 daïras. La superficie des parcours steppiques représente plus de la moitié de la superficie totale de la wilaya. Le climat a un effet direct sur la fructification des champignons et sur la nature et la composition fongique d'une région.

L'indice de l'aridité est largement utilisé pour l'évaluation de la qualité du climat et traduit le déficit annuel entre la quantité des précipitations reçue par rapport à la demande évaporative de l'atmosphère. (Brazel, 2006). De nombreux indices et formules ont été élaborés pour

caractériser le climat d'une région, ils font intervenir essentiellement, la conjonction température- pluviométrie.

Nous avons choisi de calculer cet indice (I) par la formule de DE MARTONNE (Martonne, 1942). L'indice d'aridité de De Martonne, noté I, permet de déterminer le degré d'aridité d'une région.

Cet indice est calculé par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

où P désigne les précipitations totales annuelles et T la température moyenne annuelle.

Cette formule est caractérisée par sa simplicité dans laquelle le chiffre 10 ajouté à la température, permet d'éviter d'avoir un indice négatif. Cet indice est d'autant plus grand que le climat est plus humide.

$0 < I < 5$: climat hyperaride

$5 < I < 10$: climat aride

$10 < I < 20$: climat semi aride

$20 < I < 30$: climat sub-humide

$30 < I < 40$: climat humide

La station météorologique dans les forêts de chêne vert de Tebessa est inexistante durant notre étude. Pour identifier l'indice d'aridité des sites d'étude, nous avons pris les données climatiques de 50 ans durant la période 1972-2022 de la wilaya de Tebessa à partir de google earth engine, nous avons fourni les données climatiques pour élaborer une cartographie à l'aide d'un logiciel Arc GIS 10.8. permettant d'exploiter un Système d'Information Géographique (SIG), où ce logiciel permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation et le traitement des données géographiques. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée

II. 3.2. Echantillonnage et analyse physico-chimique du sol

Afin de connaître la nature du sol des forêts de chêne vert de Tebessa, nous avons réalisé pour un échantillonnage subjectif, où nous avons effectué d'une part, 39 prélèvements pédologiques pour 13 parcelles à différente profondeur (allant 1 m), à l'aide d'une tarière manuelle. Plusieurs échantillons de terre sont prélevés à différents emplacements sur le même site; ils ont été ensuite mélangés, afin de constituer un échantillon significatif pour les analyses.

Au niveau de chaque point nous avons prélevé 1 Kg du sol.

Les échantillons de sol prélevés dans les différentes parcelles de la zone d'étude, ont été mis dans des sacs plastiques de modèle Nasco WHIRL-PAK, adéquats pour ce type d'analyses. Les différentes analyses physico-chimiques que nous avons effectuées l'ont été au laboratoire agronomique (HORIZON) d'Annaba, Algérie (**Fig.12**).

- Le pH eau, donnant une idée sur l'acidité actuelle, et le pH au KCl, donnant une idée sur l'acidité potentielle, ont été opérés par la méthode de Mc. Lead (1982).
- Le dosage de carbonate de calcium (CaCO_3) a été réalisé par la méthode de Bernard décrite par Chamley (1966).
- La détermination de la texture a été réalisée par la méthode de la pipette Robinson AFNOR (AFNOR, 2004. NFX31-107).
- la capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée par la méthode d'acétate d'ammonium (Pauwels, 1992).
- La teneur de la matière organique (MO) a été évaluée selon la méthode Walkley et Black, qui consiste en une oxydation à froid de la fraction organique du carbone par le bichromate du potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ à 1N) en milieu acide et un titrage en retour par sel de Mohr (SO_4Fe , $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2,6\text{H}_2\text{O}$ à 0,5N). Le taux de la matière organique est estimé en multipliant le pourcentage du carbone organique par le facteur 1,724 (Walkley et Black., 1934).
- Le potassium assimilable (K_2O), le sodium (Na^+), le calcium total (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}) et le phosphore assimilable (P_2O_5) ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique sur des extraits de sol obtenus par minéralisation respectivement par les méthodes de sodium tétraphénylboron (Cypress Diagnostics, 2016a), magnésium acétate d'uranyle (Cypress Diagnostics, 2016b), arsenazo III (Cypress Diagnostics, 2010), xylydyl bleu EGTA (Cypress Diagnostics, 2019), molybdate d'ammonium (Biolabo, 2011b) et de férène (Biolabo, 2011a).
- Nous avons également déterminé la teneur en azote total par la méthode Kjeldhal (Pauwels, 1992)



Figure 12: Prélèvement de sol à différents horizons; A– carottage; B– mélange du sol; C– placer les échantillons prélevés dans des sacs en plastique; D– transporter les échantillons prélevés au laboratoire afin de réaliser des analyses de sol.

II.4. Inventaire des champignons sauvages et ectomycorhiziens dans les sites d'étude

II.4.1. Récolte des champignons sauvages et ectomycorhiziens dans les sites d'étude

La collecte des carpophores a été effectuée au niveau des 13 sites sélectionnés à travers les forêts de chênes vert de Tebessa, pendant deux saisons mycologiques, à partir du mois de septembre 2020 jusqu'au mois de juin 2022, à raison de deux sorties par mois. Deux interruptions des prospections sont enregistrées, le mois de janvier avec l'installation de la neige (température très basse) et le mois de juillet correspondant aux grandes chaleurs. Les macromycètes récoltés ont été photographiés *in situ* à l'aide d'un appareil photo de marque Nikon DX VR. Lors de la collecte, un couteau a été utilisé pour faciliter l'extraction des fructifications complètes du sol, puis les spécimens ont été identifiés avant d'être séchés et emballés dans des sachets en plastique transparent de type Nasco WHIRL-PAK et mis en herbier selon la méthode proposée par De Kesel et *al.* (2002).

La récolte des champignons est réalisée en tenant compte des précautions suivantes :

- Le champignon doit être prélevé avec sa terre pour qu'il ne soit pas abîmé.
- Proscrire le sac en plastique qui rend méconnaissable l'espèce.
- Laisser les exemplaires âgés sur place pour assurer la performance de l'espèce.

- Ne pas entasser les champignons.
- Eviter que les doigts ne laissent des traces ou fassent disparaître des indices ténus d'ornementation sur pied ou chapeau.
- Reboucher les trous avec de la terre après extraction des champignons pour prévenir l'assèchement du réseau d'eau formé par le mycélium du champignon.

II.4.2. Examen des champignons sauvages et ectomycorhiziens dans les sites d'étude

II.4.2.1. Examens macroscopiques

La description des caractères morphologiques macroscopiques et les identifications des taxa en frais ont été réalisés à l'aide d'une bibliographie riches et spécialisées, comportant de nombreux ouvrages et articles traitant de la taxonomie des champignons de la méditerranée et de l'Afrique du nord. Nous pouvons citer spécialement ceux de Malençon et Bertault (1970, 1975); Delgado *et al.* (2005) ; Roux (2006); Frutis et Huidobro (2013) ; Eyssartier et Roux (2017); N'Douba *et al.* (2012); Morozova *et al.* (2014) et Courtecuisse et Duhem (1995 et 2013), aussi la classification des champignons récoltés a été confirmée en utilisant la base de données <http://www.speciesfungorum.org/names/fundic.asp>.

Ces caractères sont importants pour la détermination de l'espèce fongique. Les examens macroscopiques permettent d'étudier les critères suivants :

- Chapeau : la taille en millimètre, la forme, la marge, la couleur et la texture (gluant, fibreux, squameux, etc...) ;
- Pied : la hauteur et la largeur en millimètres, la couleur, la présence de l'anneau, d'une volve ou d'un bulbe basal ;
- Chair : la couleur, la texture (si elle est fibreuse ou friable) ;
- Lames : couleur, forme, mode d'insertion (d'attachement) sur le pied.

D'autres caractéristiques importantes doivent être prises en compte ; l'odeur qui reste parfois difficile à caractériser et l'écoulement de latex, comme les lactaires qui produisent à la cassure un lait de différentes couleurs ; la couleur particulière de ce lait qui change rapidement au contact de l'air est une caractéristique très importante pour déterminer ces espèces. L'ensemble des caractéristiques macroscopiques sont enregistrées sur une fiche descriptive de chaque espèce fongique.

Des tests macrochimiques frais ont été effectués également avec KOH et FeSO₄, selon Frutis et Huidobro (2013), en appliquant une goutte du réactif sur l'hyménophore, la cuticule de la couronne et le stipe, en enregistrant les changements de couleur survenus.

II.4.2.2. Réalisation d'une sporée

La technique pour réaliser une sporée est très simple. On coupe Le chapeau d'un

champignon frais, puis on place l'hyménium sur un papier blanc (dirigé vers le bas), on recouvert par un verre, pour éviter sa dessiccation et maintenu dans une atmosphère confinée humide. Les résultats d'une sporée sont obtenus après 24 heures. L'observation des spores et leur dimension est importante lors de l'identification des espèces.

II.4.2.3.Examens microscopiques

II.4.2.3.1. Par le microscope optique

La description morphologique des caractères microscopiques a été réalisée en laboratoire à l'aide d'un microscope optique Olympus CX22 basé sur la technique décrite dans Largent et *al.* (1977), considérant les caractéristiques du pileipellis (type, forme et taille des éléments terminaux, forme et taille des hyphes, présence ou non de péronés), de l'hyménophore (type de charpente, forme des hyphes de la parcelle, présence ou non de cystides, forme et taille des basides et présence ou non de fibules) et des spores (taille, forme, couleur, texture et épaisseur de la paroi).

II. 4.2.3.2. Par le microscopie électronique à balayage (MEB)

II.4.2.3.2.1. Introduction

La microscopie électronique à balayage (MEB) est une technique capable de produire des images en haute résolution de la surface d'un échantillon en utilisant le principe des interactions électrons-matière.

Les avantages de la microscopie électronique à balayage sont multiples. Tout d'abord, la grande profondeur de champ observable qui va de quelques centimètres à faible grandissement (X 10) à de quelques micromètres au grandissement maximum (X 100 000). Ensuite la très bonne résolution, de l'ordre du micromètre, et enfin une préparation simple des échantillons permettant une observation directe des surfaces. Plusieurs auteurs ont utilisés la MEB pour l'étude de la micro-structure de la cuticule des crustacés (Pillai et Sharma, 2009; Raabe et Romano, 2005).

II.4.2.3.2.2. Principe

Le principe du MEB consiste en un faisceau d'électrons balayant la surface de l'échantillon à analyser qui, en réponse, réémet certaines particules. Ces particules sont analysées par différents détecteurs qui permettent de reconstruire une image en trois dimensions de la surface.

Les principaux éléments composant un MEB sont : une source d'électrons (canon) et un

dispositif de haute tension, une colonne maintenue sous un vide secondaire, un ensemble de lentilles électroniques permettant l'obtention d'un fin faisceau, une platine permettant d'installer les échantillons, un détecteur d'électrons couplé à un amplificateur de signal et enfin un système de visualisation des images.

II.4.2.3.2.3. Paramètre de l'étude

L'utilisation du MEB a pour but de confirmer l'identification des espèces ectomycorhiziens récoltées *in-situ* au niveau des forêts de chêne vert de Tebessa., nous avons fait découvrir les images de spores des champignons mycorhiziens, avec des grossissements de 5 000 x à 16 000 x. L'observation se fait au microscope électronique à Balayage de marque Prisma E MEB pour la recherche et le développement industriels avec une capacité de microscope électronique à balayage environnemental. Au niveau du Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyse Physico-Chimique – Université Mohamed Khider de Biskra. La préparation des échantillons est réalisée selon un mode opératoire défini. Les échantillons solides sont coupés et leurs dimensions (longueur, largeur, diamètre) égalisées à celles du porte-échantillon (plot) qui est de l'ordre de 12mm de diamètre. L'épaisseur des échantillons doit être fine et de l'ordre de 5mm. Les échantillons coupés sont collés sur le plot ou sur le porte échantillon par de la laque d'argent.

Elle se pratique en trois étapes essentielles (Guillaumin, 1980) :

- a) Fixation et déshydratation des spores : une suspension en phase exponentielle est étalée sur lamelle, fixée avec du glutaraldhyde à 3% pendant 20 minutes à 4°C, suivie d'un rinçage au tampon cacodylate 0,2 N pendant 30 minutes. La préparation est, ensuite, séchée à 100°C, pendant 15 minutes et baignée successivement dans des solutions d'alcool éthylique à 50°, 70°, 90°.
- b) Dessiccation au point critique : l'échantillon fixé est déshydraté et placé dans une enceinte (chambre dryer) où la température et la pression sont augmentées par injection de CO₂ jusqu'à atteindre la température et la pression critiques (32°C, 73 atm). L'échantillon au point critique garde son volume initial, sans déformation, ni dépression.
- c)) Métallisation : l'échantillon est recouvert d'une mince couche d'un métal conducteur (l'or). L'observation est effectuée au MEB, après fixation des lamelles sur des portes objets avec une laque conductrice. Des prises de photos des spores à différents grossissements sont prises.

II.5. Confection d'un herbier

Un lot de sporophores récoltés est séché aussi vite que possible particulièrement, les spécimens charnus comme les bolets afin d'éviter la décomposition de la chair. Les gros champignons sont coupés en deux pour un meilleur séchage. Une fois la déshydratation réalisée une fiche signalétique est renseignée (**Fig.13**) et on attribue un numéro de collection à chaque récolte. Les spécimens séchés sont conservés sous forme d'exsiccata et déposés à l'herbarium du laboratoire de recherche « Ecologie Fonctionnelle et Evolutive », Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Chadli Bendjedid -El Tarf-.

<u>Fiche signalétique</u>			
Numéro:			
Genre/Espèce:			
Date récolte:	Année	Mois	Jour
Lieu:			
Ecologie:			
Espèces compagnes:			
Leg.			
Description:	oui <input type="checkbox"/>	non <input type="checkbox"/>	
Photo:	numérique <input type="checkbox"/>	diapos <input type="checkbox"/>	icône <input type="checkbox"/>
Nb carpo récoltés:			

Figure 13: Modèle de fiche signalétique utilisée au laboratoire MycSA de Bordeaux.

II.6. Exploitation des résultats par l'application des indices écologiques

II.6.1 Indice d'abondance

Les prospections étant effectuées sur des superficies variables, le nombre de carpophores ne peut servir directement de valeur comparative, à *fortiori* dans le cadre d'analyses statistiques. L'utilisation d'un « indice d'abondance » est une nécessité commune aux études myco-écologiques (Arnolds, 1992).

Nous avons choisi d'expérimenter un « indice d'abondance » de Barkmann (1976) modifié, représentant l'abondance maximale observée sur l'ensemble des visites :

Indice d'Abondance : I.A. = (Max Nb carpophores) x 100 / surface

Cet indice dont les valeurs vont de 0,02 (densité de carpophore la plus faible : 1 carpophore isolé sur 5000m²) à 40 (densité observée la plus forte : 1000 carpophores sur 500m²), une moyenne de 0,3 à 1,3 selon les placettes, présente les inconvénients suivants :

- Il n'est pas utilisable directement pour une analyse des composantes principales, attribuant un poids mathématique démesuré aux espèces les plus abondante ;
- Les espèces représentées par des spécimens isolés présentent des valeurs variables en fonction de la surface des parcelles (entre 5000m² et 10000m²), alors que l'unicité nous paraît devoir être décrite par une valeur constante quelle que soit la dimension de la parcelle.

Nous avons donc réduit cet indice à un coefficient, utilisé par la suite dans toutes nos analyses quantitatives. Les espèces représentées par un spécimen isolé sur la placette ont été automatiquement définies par la valeur 1.

- Classe d'abondance 1 : 1 spécimen unique trouvé sur la placette (indice de Barkmann non pris en compte)
- Classe d'abondance 2 : indice de Barkmann compris entre 0,040 et 0,500
- Classe d'abondance 3 : indice de Barkmann compris entre 0,500 et 1,000
- Classe d'abondance 4 : indice de Barkmann compris entre 1,000 et 2,000
- Classe d'abondance 5 : indice de Barkmann compris entre 2,000 et 20,00

Soit un tableau pratique de correspondance (Tableau 6 ; le nombre calculé d'espèces correspondantes a été arrondi à l'unité supérieure)

Tableau 7: Correspondances classes d'abondance / Indice d'abondance de Barkmann / Nombre maximale de carpophores observés (Barkmann, 1976).

Dimension des placettes		1000m ²					5000m ²				
Classe d'abondance		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Indice de Barkmann		-	0,04-0,5	0,51-1,0	1,1-2,0	2,1-20,0	-	0,04-0,5	0,51-1,0	1,1-2,0	2,1-20,0
Nombre de carpophores		1	2-5	6-10	11-20	>20	1	2-20	30-50	60-100	>100

II.6.2. Indice de Shannon

C'est un indice de diversité (H'), il augmente avec le nombre d'espèces et lorsque les mêmes espèces se partagent la même dominance.

$$H' = - \sum ((N_i / N) * \log (N_i / N))$$

N_i : nombre d'individus d'une espèce donnée, i allant de 1 à S (nombre total d'espèces).

N : nombre total d'individus.

H' est minimal (= 0) si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce, H' est également minimal si, dans un peuplement chaque espèce est représentée par un seul individu, excepté une espèce qui est représentée par tous les autres individus du peuplement. L'indice est maximal quand tous les individus sont répartis d'une façon égale sur toutes les espèces (Shannon, 1948). L'indice de Shannon est souvent accompagné de l'indice d'équitabilité de Pielou (1966), appelé également indice d'équirépartition, qui représente le rapport de H' à l'indice maximal théorique dans le peuplement (H_{max}) (Bordenave et De Granville, 1998).

II.7. Exploitation des résultats par l'application des études statistiques

Les analyses statistiques sont conduites sur le logiciel sur IBM SPSS 27.0 (IBM Corp. SPSS v.27.0, Armonk, NY: USA).

Pour faire des corrélations entre les variables environnementales (facteurs numériques). Nous avons choisi les corrélations de Spearman entre l'abondance des champignons et plusieurs facteurs environnementaux dans notre étude. La corrélation de Spearman est une mesure non paramétrique de la relation entre deux variables. Les coefficients de corrélation peuvent aller de -1 à +1 ;

- Valeurs positives indiquent une relation positive (quand une variable augmente, l'autre tend aussi à augmenter).
- Valeurs négatives indiquent une relation inverse (quand une variable augmente, l'autre tend à diminuer).
- Valeurs proches de 0 indiquent une faible ou absence de corrélation.

Avant de faire l'analyse en composantes principales (ACP), il faut passer premièrement à la Signification statistique (Sig.) : La valeur p indique si la corrélation est statistiquement significative ;

- $p < 0,05$ (* à côté de la valeur) : La corrélation est significative au niveau de 5 %.
- $p < 0,01$ (** à côté de la valeur) : La corrélation est significative au niveau de 1 %.

Nous avons fait aussi une standardisation du score Z (la plus courante) : ajuste chaque variable pour avoir une moyenne de 0 et un écart type de 1.

Dans l'objectif d'étudier les corrélations et visualiser les relations entre plusieurs variables quantitatives (comme K^+ , Na^+ , Mg^{++} , etc.), L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode d'analyse multivariée permettant l'étude simultanée d'un grand nombre de variables dont l'information totale ne peut pas être visualisée à cause d'un espace à plus de trois dimensions (Perry et *al.*, 2002). Les composantes principales autorisent la représentation graphique de grands tableaux de données trop complexes à décrire par les méthodes graphiques habituelles. C'est incontestablement cette dernière propriété qui est à l'origine de leur large utilisation (Falissard, 1998). L'ACP réduit la dimensionnalité et permet d'identifier des variables latentes expliquant la variabilité dans nos données.

II.8. Prélèvement des ectomycorhizes du *Q. ilex*

Nous avons effectués nos prélèvements durant l'année 2022 au moi d'Octobre et Printemps 2023 au moi de Mars. Trois arbres représentatifs du peuplement ont été choisis au hasard à des points suffisamment éloignés dans les 13 sites d'études. Sous chaque arbre la surface du sol a été nettoyée en dégageant la litière. Les prélèvements des échantillons ont été réalisés dans les 30 premiers cm en suivant le chemin des racines et en prenant soin de ne pas les arracher et les abîmer. A l'aide d'un sécateur, les fragments de racines ont été sectionnés sans les arracher afin de ne pas perdre les nodules collés à leur niveau.

Les racines ainsi prélevées sont recueillies dans des sacs en plastique avec un peu de sol pour qu'elles restent fraîches. Sous chaque arbre, au moins 3 prélèvements sont effectués à des

distances différentes du tronc selon un triangle dont les pointes sont éloignées d'au moins 1m de celui-ci.

Au laboratoire, pour déterminer les caractéristiques morphologiques des ectomycorhizes, les échantillons racinaires ont été étiquetés (**Fig.14 a**) avec les données de collecte (numéro d'arbre, boîte de prélèvement), puis ils ont été soigneusement lavés à l'eau du robinet pour éliminer les particules de sol fixées aux racines des plantes et pour extraire les mycorhizes.

Les racines propres ont été placées dans des boîtes de Petri avec de l'eau distillée stérile, pour séparer les racines ectomycorhiziennes à l'aide d'un stéréomicroscope (**Fig.14 b**) (modèle Primo Star-Zeiss), qui ont été placées dans des bouteilles contenant du FAA (formaldéhyde-alcool) et l'acide acétique-eau, dans des proportions de : 10:50:5:35 respectivement, unités de volume (ml), pour une caractérisation microscopique ultérieure telles que les types de ramifications (dimensions, formes, surface du manteau, rhizomorphes et cordons mycéliens, l'union des rhizomorphes à l'extrémité ou à la base de la racine hôte. De plus, l'existence d'un certain type de connexion entre le manteau et les rhizomorphes, ainsi que les branches et les marges des rhizomorphes (Agerer, 1991), le type de pelage et la couleur de cette dernière a été déterminée à l'aide de la table des couleurs Munsell (US Department of Agriculture, 1975). Toutes les caractéristiques ont été décrites selon le système de classification d'Agerer (1987-2012) et d'Agerer et Rambold (2004-2019). Une fois la partie macro et micromorphologique de chaque morphotype caractérisée, celui-ci a été photographié au microscope à fond clair (modèle Olympus CX22) (**Fig.22c**) et à l'aide d'un appareil photo orientable (marque Axiocam 105 color) (fig.22 d).

De même, des coupes transversales des racines ectomycorhiziennes ont été réalisées afin d'observer les caractéristiques structurales (réseau Hartig, mycélium externes, poils absorbants, etc.) des différents morphotypes ectomycorhiziens de *Quercus ilex*, un microscope (modèle Olympus CX22), des pinces et des couteaux ont été utilisés. Les coupes ont été placées sur des lames avec de l'eau distillée pour être photographiées au microscope ond clair.

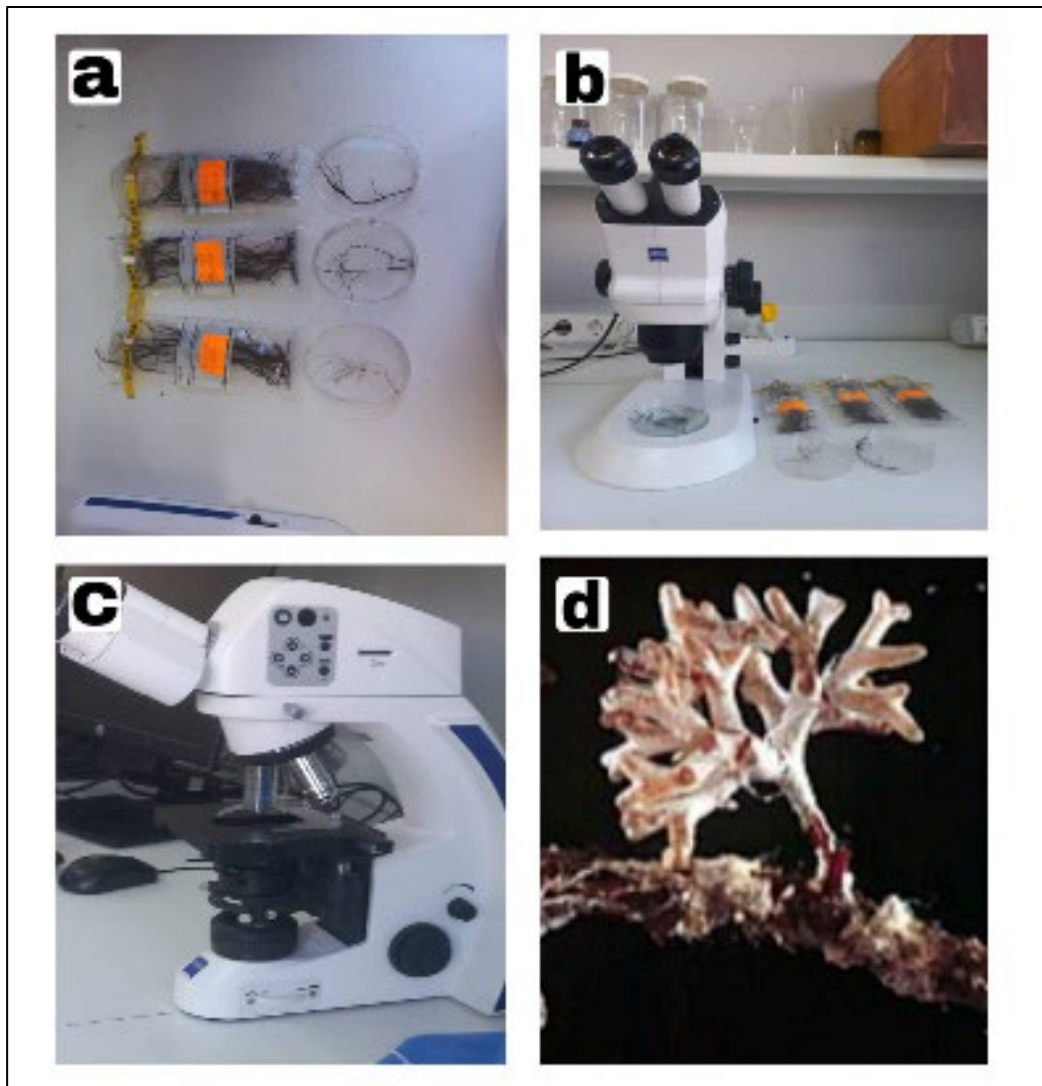


Figure 14: Caractérisation morphologique des ectomycorhizes; a– numérotation des échantillons racinaires; b– un stéréomicroscope utilisé pour l’identification des ectomycorhizes; c– placer les échantillons prélevés dans un microscope optique à fond claire; d– prendre des photos de morphotypes identifiés à l’aide d’une caméra intégrée au microscope.

Chapitre III

Résultats & discussion

III.1. Analyse des paramètres écologiques des sites d'étude

III. 1. 1. Réalisation d'une carte de l'indice d'aridité de De-Martonne

D'après le tableau 8, la moyenne d'indice d'aridité I est égale 8,21 ($5 < I < 10$: climat aride), avec $I_{max} = 12$ dans le site 12 qui représente Zitouna-parcelle 2 et $I_{min} = 5$ dans le site 03 qui représente Annba-parcelle 2 et l'écart-type est égal 1,67 qui signifie une diversification différente de cette indice entre les sites d'étude. La raison qui a contribué à l'émergence d'espèces dans certaines régions et pas dans d'autres.

Tableau 8: les valeurs d'indice d'aridité I de DE-Martonne dans les 13 sites d'étude de la région de Tebessa

N°/site	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Min	Max	Moy	Ecart
I	8	8	5	6	6	7	10	7	10	7	11	12	9	9	5	12	8,21	1,67

Nous avons placé ces résultats dans une carte de Tebessa (**Fig. 15**), l'aridité s'augmente graduellement de Nord vers le sud, dans le sud la valeur de l'indice de Martonne est égale 3; ($I < 5$: climat hyperaride), à l'inverse dans le nord de la wilaya de Tebessa la valeur de même indice est égale 29; ($8 < I < 35$: climat humide), qui occupe des zones très limitées dans la massif forestier à très haute altitude (Elma Labiod, et Ben Taleb).

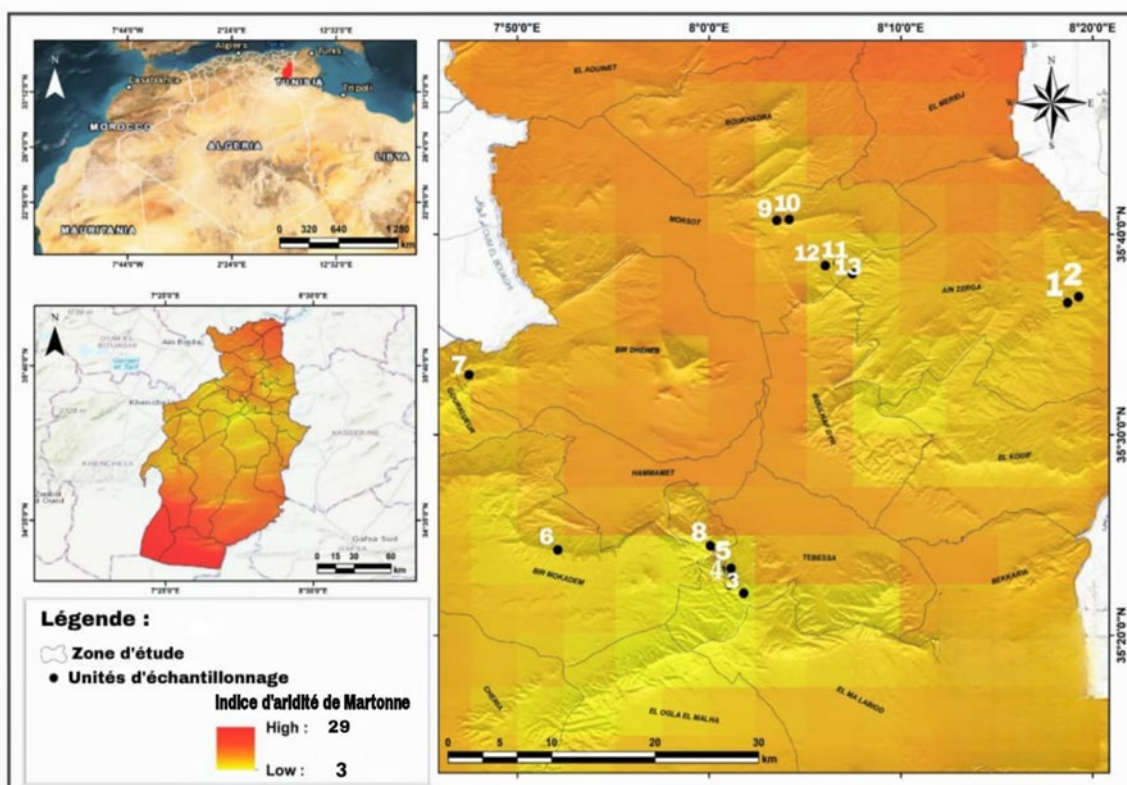


Figure 15: Carte d'évolution de l'indice d'aridité de DE-Martonne de la wilaya de Tebessa.

En générale, Le climat aride est caractérisé notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, une luminosité intense, une forte évaporation et de grands écarts de température

où les mois de Juin et Août jouissent d'un climat steppique, par contre les mois de Mars présente un climat tempéré alors que le climat semi-aride marque le reste des mois de l'année (Chehma, 2005). La température est donc un facteur clé dans le développement des champignons, influençant la croissance mycélienne et la fructification (Seguin, 2010). Wilkins et Patrick (1940) en déduisent que la température minimale basse, est le facteur limitant de la fructification, en hiver alors que la température maximale élevée alliée à un bilan hydrique déficitaire durant l'été entraîne une inhibition de la fructification. Les températures voisines de 0°C bloquent les processus métaboliques donc la croissance mycélienne et l'initiation des primordiums. Les fortes chaleurs de l'été dessèchent le sol, privant d'eau les mycéliums.

La quantité et le temps de précipitation sont efficacement utilisés en tant qu'indicateurs de changement de climat dans les zones arides et semi arides (Sayemuzzaman et Jha, 2014). Plusieurs auteurs ont essayé de mettre en évidence l'existence d'une relation entre les précipitations et les poussées fongiques. L'attention des mycologues est retenue par le fait que certaines années les champignons sont abondants (nombre d'espèces et nombre d'individus par espèce) alors que d'autres années la flore fongique est très pauvre. Guminska (1962) et Thoen (1971) remarquant qu'une année très riche en espèces suit habituellement une année très pauvre. Ils estiment qu'une bonne saison mycologique serait déterminée par de faibles précipitations estivales et de fortes précipitations automnales.

III. 1. 2. Caractéristiques physico-chimiques du sol

L'analyse physico-chimique a été réalisée au Laboratoire agronomique (HORIZON) d'Annaba, Algérie. Les résultats sont résumés dans le Tableau 9.

L'étude des tendances centrales à travers les moyennes et les médianes, ainsi que l'analyse de la variabilité via l'écart-type, montre que:

- **Apport en Nutriments :** Les champignons montrent des niveaux significatifs de minéraux essentiels (comme le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium et le phosphore), ce qui indique leur potentiel à enrichir les sols en nutriments importants pour la croissance des plantes. Les concentrations relativement stables entre les échantillons suggèrent que ces champignons pourraient fournir ces minéraux de manière constante dans les zones étudiées.
- **Disponibilité en Azote :** Avec des niveaux notables d'azote total, ces champignons peuvent améliorer la fertilité du sol et soutenir la croissance des plantes. Cependant, une gestion attentive est nécessaire pour éviter les déséquilibres en azote qui pourraient nuire

à certaines espèces végétales.

- **Influence Alcaline sur le Sol** : Les champignons présentent un profil plutôt alcalin (avec un pH autour de 9,1), ce qui pourrait augmenter le pH des sols (Baize et Jabiol, 1995). Cela pourrait limiter la disponibilité des nutriments pour certaines plantes préférant des sols neutres ou légèrement acides, nécessitant donc une attention particulière pour les cultures sensibles au pH dans la région. Cette alcalinité s'explique par la forte charge de calcaire existant dans le sol (Durand, 1969; Baise, 2000). Le pH alcalin, caractéristique des zones semi-arides (Aimé, 1991).
- **Risque de Salinité** : Une conductivité élevée, en particulier dans certains échantillons (comme "MouP02"), suggère des problèmes de salinité localisée qui pourraient affecter la santé des plantes. Bien que la plupart des échantillons montrent une conductivité modérée, les zones avec des valeurs exceptionnellement élevées nécessitent un suivi pour éviter un excès de salinité (Vilain, 1997).
- **Rétention d'Humidité** : La forte teneur en humidité des échantillons de champignons indique qu'ils sont adaptés à retenir des quantités significatives d'eau. Cela pourrait contribuer à la rétention d'humidité dans le sol et maintenir les niveaux d'eau pendant les périodes sèches, ce qui les rend potentiellement utiles dans des stratégies de gestion de l'humidité pour ces régions.
- **Influence sur la Texture du Sol** : La texture majoritairement sableuse observée dans les échantillons de champignons laisse supposer qu'ils pourraient favoriser des sols avec un bon drainage mais une capacité limitée de rétention d'eau et de nutriments. Cela pourrait influencer le choix des cultures les mieux adaptées aux sols enrichis par ces champignons.
- **Faible Teneur en Matière Organique** : Avec des niveaux relativement bas de matière organique, les champignons apportent peu de contenu organique au sol, ce qui pourrait affecter l'activité microbienne et la santé globale du sol. Ces résultats rejoignent ceux de Benazza-Bouregba (2017) qui montrent que la teneur en matière organique est très faible en climat semi-aride. La matière organique joue le rôle d'une véritable éponge qui retient l'eau dans les pores du sol (Majou, 2007). Les zones semi-arides présentant des acides humiques complexés à de l'argile, ce type de molécules complexes, difficile à digérer par les enzymes fongiques, peut expliquer la présence d'une mycoflore particulière (Ben Hassine, 2013).

D'après les résultats des analyses physico-chimiques du sol obtenus dans toutes les stations

d'étude, on constate que ce type de sol est propice au développement des champignons mycorhiziens. Il a été montré que les mycorhizes à arbuscules et à vésicules et les ectomycorhizes modifient la physiologie des racines en améliorant le comportement vis-à-vis de certains facteurs limitant le développement des plantes (Gianinazzi et Trouvelot, 1982; Read et Pérez-Moreno, 2003). D'après Piou (1979) ; Mousain et Chevalier ont montré que le pin maritime, bien que généralement calcifuge, peut résister au calcaire lorsqu'il est inoculé par certains champignons. Garnica et al. (2005) signalent la présence de Cortinaires sur sol calcaire associés principalement aux feuillus (*Fagus*, *Quercus*). Aussi, Alvarado et al. (2015) montrent dans leur analyse que certaines agaricales à tonalité blanchâtre et à lames légèrement décurrentes sont présentées sur sol calcaire.

III. 1. 3. Conclusion

Le caractère calcaire du sol en Nord-Est Algérien explique le taux réduit en chêne vert (Read, 1991). Les mycorhiziens aident les essences forestières calcifuges à s'adapter au sol calcaire, d'où l'importance de connaître la diversité des champignons de cette région et de sélectionner les mycorhiziens spécifiques dans ces forêts. L'objectif à long terme sera de favoriser la mycorhization avec ces espèces fongiques issues de cette région. Le climat et la nature du sol du Nord-Est du pays favorisent l'abondance des champignons, ce qui peut expliquer qu'elle a une densité plus élevée en *Quercus ilex* que les autres régions.

Tableau 9: Caractéristiques physico-chimiques du sol dans les 13 sites s'étude des forêts de chêne vert de la wilaya de Tebessa.

N° Ech	Calcium total (Ca+2) mg/kg	Magnésium (Mg+2) mg/kg	Sodium (Na+) mg/kg	Potassium assimilable (K2O) mg/kg	Phosphore assimilable (P2O5) mg/kg	Azote Total (NT) mg/kg	Calcaire Total (%)	PH (à 25°C)	Conductivité (us/cm à 20°C)	Humidité %	Sable	Limon	Argile	Matière organique
AP1	2856	1036	34.3	408	133.4	21.4	49	8.34	87.3	84.1	77.5	17.5	05	0.5
AP2	2499	906.5	24.8	180	156.4	71.7	48.5	9.13	63.2	83.9	65.38	28.20	6.42	0.4
AP3	2145	777	28.3	204	101.2	20.9	49	9.25	72.1	84.9	58.02	35.80	6.18	0.3
BP1	2320.5	841.7	63.2	216	87.4	42.8	48	9.27	145	89.3	83.09	15.49	1.42	0.2
BP2	3213	1165.5	28.5	264	64.4	26.9	49	9.07	133.6	89.8	71.02	27.53	1.45	0.2
GaP1	2677.5	971.2	26.3	240	151.8	45.8	48.5	9.13	131.7	85.9	84.41	11.69	3.90	0.6
GouP1	2142	770	79.2	528	110.4	17.9	48.5	9.32	96.5	85.5	83.57	13.69	2.74	0.8
MouP1	2641.8	958.3	12.2	288	207	16.7	49	9.30	102.6	89.9	85.23	13.64	1.13	1.20
MouP2	2570.4	932.4	35.1	300	128.8	24.2	48	8.62	864	89.6	87.17	11.54	1.29	1.00
MisP1	2284.8	828.8	22.1	336	165.6	17.8	48.5	9.16	140.8	90.1	88.8	10.52	0.68	0.70
ZP1	3927	1424.5	68.4	192	156.4	26.1	46.5	9.11	108.9	93	50.74	44.77	4.09	1.20
ZP2	3220	1172	27.7	408	147.2	22.9	47	9.15	95.1	93.2	51.89	43.03	5.08	1.00
ZP3	4284	1554	21.4	216	184	21.7	48	9.46	114.7	93.8	68.42	22.36	9.22	1.30
MIN	2142	770	12.2	180	64.4	16.7	46.5	8.34	63.2	83.9	50.74	10.52	0.68	0.2
MAX	4284	1554	79.2	528	207	71.7	49	9.46	864	93.8	88.8	44.77	9.22	1.3
GEOM EAN	2764.251 4	1002.165	31.8464	275.7027	132.0856	26.26023	48.263 34	9.096 02	122.8525	88.62839	72.22 18	20.07496	2.852766	0.606721
Median	2641.8	958.3	28.3	264	147.2	22.9	48.5	9.15	108.9	89.6	77.5	17.5	3.9	0.7
Mean	2829.307 7	1025.992	36.26923	290.7692	138	28.98462	48.269 23	9.100 769	165.8077	88.69231	73.48	22.75077	3.738462	0.723077
Ecart	667.8332 3	243.1531	20.48448	104.0562	39.5707	15.66747	0.7803 68	0.300 873	211.316	3.502966	13.56 92	12.11772	2.590083	0.391905

A : Annba ; B : Bourabaïa ; Ga :Gagaà ;Gou : Gouriguer ; Mou :Mouctoua ; Mes :Mestiri ; Z : Zitouna ; P :Parcelle

III. 2. Espèces fongiques récoltées de 2020 à 2022 dans les forêts de chêne vert de Tebessa

III. 2. 1. Prospection

Le nombre de prospections conduites sur les 13 parcelles a été uniforme, à raison de 02 sorties mensuelles par parcelle durant toute la période d'étude qui s'est étalée de 2020 à 2022. Nous avons réalisé en moyenne 47 sorties par parcelle (**Tab.10**). Les sites moins accessibles et accidentés, la fréquence de leur visite était moindre (46 visites pour la majorité des parcelles du secteur l'Annba). Le maximum des visites était de 48. Cette uniformité des visites, influe naturellement sur le nombre d'espèces recensées.

Tableau 10: Nombre de visites par parcelle pendant la période 2020-2022

Code station (lettre)	Code station (chiffre)	Nbr. de visite
BP1	1	48
BP2	2	48
AP1	3	46
AP2	4	46
AP3	5	46
GaP1	6	48
GouP1	7	46
MesP1	8	46
MouP1	9	48
MouP2	10	48
ZP1	11	48
ZP2	12	48
ZP3	13	48

Quand on parle à la diversité des champignons coléctés pendant la période d'échantillonnage, on constate que dans les parcelles des forêts mixtes (chêne-vert - Pin d'Alep) prospectée, nous avons récolté plus des espèces tandis qu'en les parcelles des forêts homogènes en chêne vert, nous avons récolté moins espèces au cours de notre prospections (**Fig. 16**).

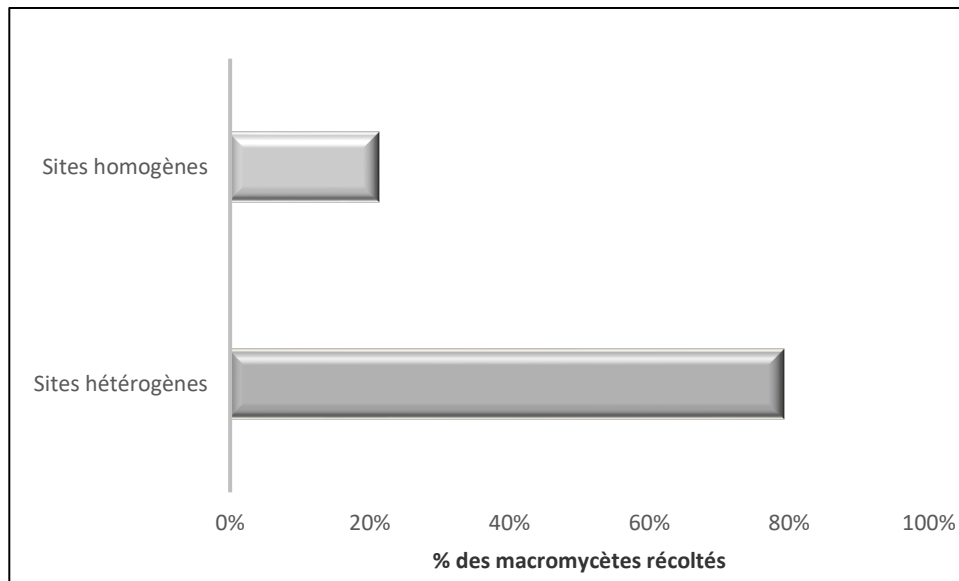


Figure 16: Diversité des macromycètes collectés selon le type de végétation.

Lorsque nous discutons de ces résultats pertinents le nombre de prospections et l'intensité des recherches au cours des prospections, les caractéristiques écologiques des espèces ainsi que la dimension des sporophores (discernables ou non sur le terrain). La rareté ou l'absence de sporophores dans certaines parcelles serait probablement due à la quantité insuffisante d'humus, substrat essentiel pour les espèces fongiques détriticoles humicoles qu'on regroupe dans le type trophique saprophyte. En effet dans ces parcelles le sol est piétiné et mit à nu, ce qui nuit aussi aux champignons mycorhiziens. Par ailleurs, au cours de nos prospections, nous avons souvent rencontré des bergers qui font pâturer leurs troupeaux de moutons dans cette parcelle de forêt pour profiter des ressources fourragères situées sous les arbres.

III.2. 2. Inventaire

Sur la base de la consultation et de l'examen des spécimens collectés, les noms scientifiques des espèces, en examinant un total de 309 spécimens fongiques correspondant à 22 taxons (**Tab. 11, Fig.17 ; Fig.18 et Fig.19**) réparties en 21 genres et 16 familles inclus dans 5 ordres dont tous sont des basidiomycètes (**Tab. 12**), Selon les critères de détermination des principales familles de basidiomycètes (Champon, 2009 ; Eyindong et *al.*, 2011 ; Adrien, 2013). Ces taxa sont identifiés par des caractéristiques macroscopiques et microscopiques (Eyindong et *al.*, 2011 ; Krishna et *al.*, 2015).

Tableau 11: Les espèces fongiques récoltées avec leurs codes pendant la période 2020-2022

Espèces	Code
<i>Agaricus xanthoderma</i>	AGXA
<i>Agaricus campestris</i>	AGCA
<i>Neoboletus luridiformis</i>	NELU
<i>Craterellus cornucopioide</i>	CRCO
<i>Clitocybe nebularis</i>	CLNE
<i>Paralepista flaccida</i>	PAFL
<i>Ampulloclitocybe clavipes</i>	AMCL
<i>Conocybe tenera</i>	COTE
<i>Calvatia gigantea</i>	CAGI
<i>Coprinopsis marcescibilis</i>	COMA
<i>Cortinarius orellanus</i>	COOR
<i>Geastrum fimbriatum</i>	GEFI
<i>Astraeus hygrometricus</i>	ASHY
<i>Gymnopus erythropus</i>	GYER
<i>Hebeloma pseudoamarescens</i>	HEPS
<i>Lactarius subdulcis</i>	LASU
<i>Apioperdon pyriforme</i>	APPY
<i>Paxillus involutus</i>	PAIN
<i>Podaxis pistillaris</i>	POPI
<i>Suillus granulatus</i>	SUGR
<i>Tricholoma dryophilum</i>	TRDR
<i>Leccinellum lepidum</i>	LELE

Tableau 12: Richesse des groupes taxonomiques enregistrés pour le mycobiote dans 13 sites sélectionnés des forêts domaniales de la wilaya de Tebessa, Algérie.

Phyla	Classe	Ordre	Famille	Genera	Taxa
Basidiomycota	Agaricomycetes	Agaricales	9	13	14
		Boletales	4	5	5
		Cantharellales	1	1	1
		Geastrales	1	1	1
		Russulales	1	1	1
Total			16	21	22

Les basidiomycètes collectés appartiennent à 16 familles. En nous référant à Gerhardt (2008), Losange (2015) et Redeuilh et *al.* (2015), Les familles les plus diversifiées étaient les Agaricaceae (18,18%), suivis les Tricholomataceae (13,63%), et les Boletaceae (9,09%) (**Fig.34**). Les genres qui se sont démarqués par leur plus grande richesse spécifique étaient, *Astraeus Hy.*, *Podaxis Pi.*, *Neoboletus Lu.*, *Ampulloclitocybe Cl.* et *Paralepista Fl.*, *Suillus Gr.* et *Tricholoma Dr.* Ces genre déjà rapportés par d'autres travaux en Algérie comme ceux de Benazza-Bouregba (2016) ; Yakhlef et *al.* (2020) et Mesfèk et *al.* (2022).

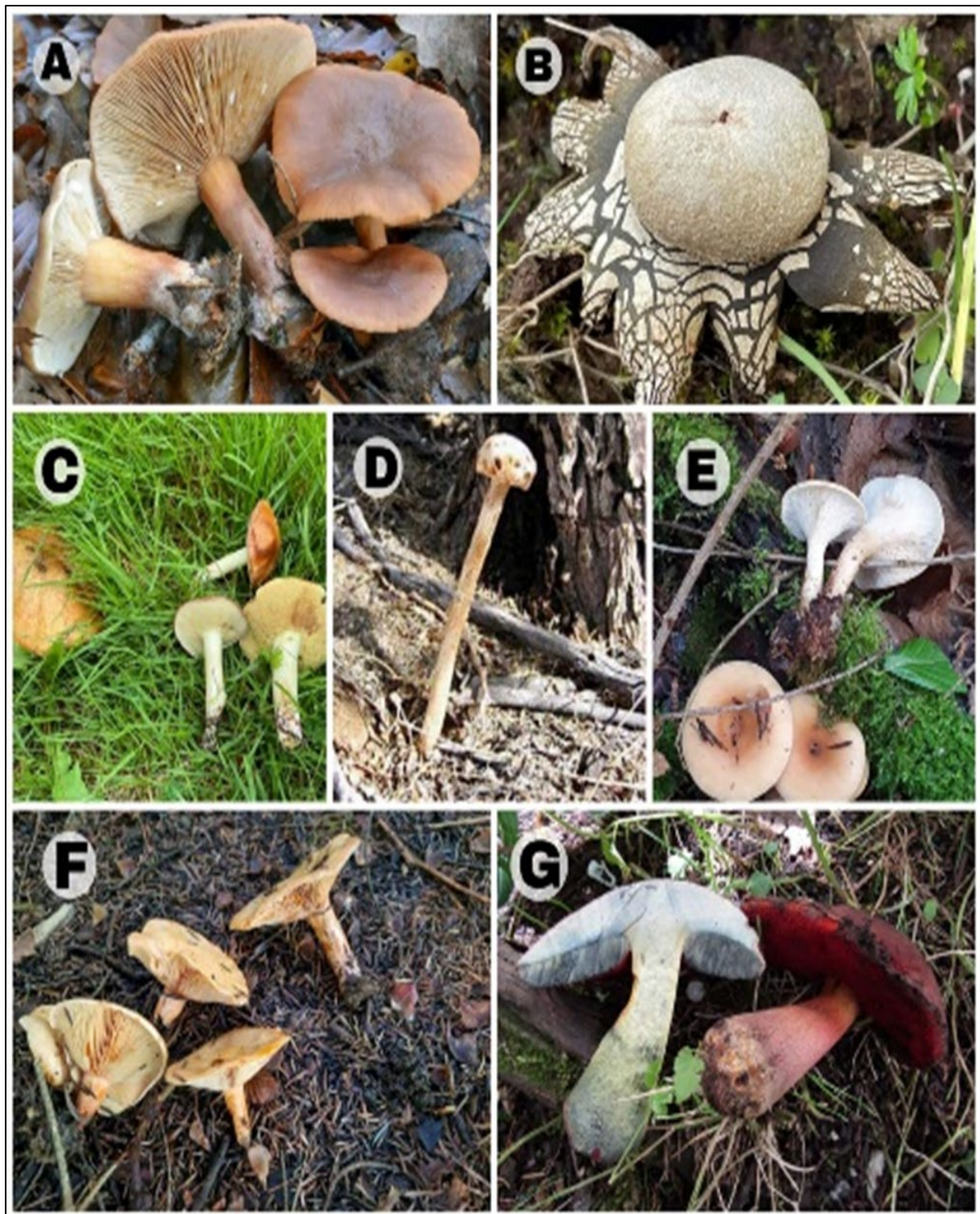


Figure 17: Macromycètes récoltés de 2020 à 2022 dans les forêts de chêne vert de Tebessa numérotés de A à G ; A– *Lactarius subdulcis*; B– *Astraeus hygrometricus*; C– *Suillus granulatus*; D– *Podaxis pistillaris*; E– *Paxillus involutus*; F– *Paralepista flaccida*; G– *Neoboletus luridiformis*.



Figure 18: Macromycètes récoltés de 2020 à 2022 dans les forêts de chêne vert de Tebessa numérotés de H à N; H- *Cortinarius orellanu*; I- *Geastrum fimbriatum*; J- *Coprinopsis marcescibilis*; K- *Gymnopus erythropus*; L- *Craterellus cornucopioides*; M- *Conocybe tenera*; N- *Apioperdon pyriforme*.

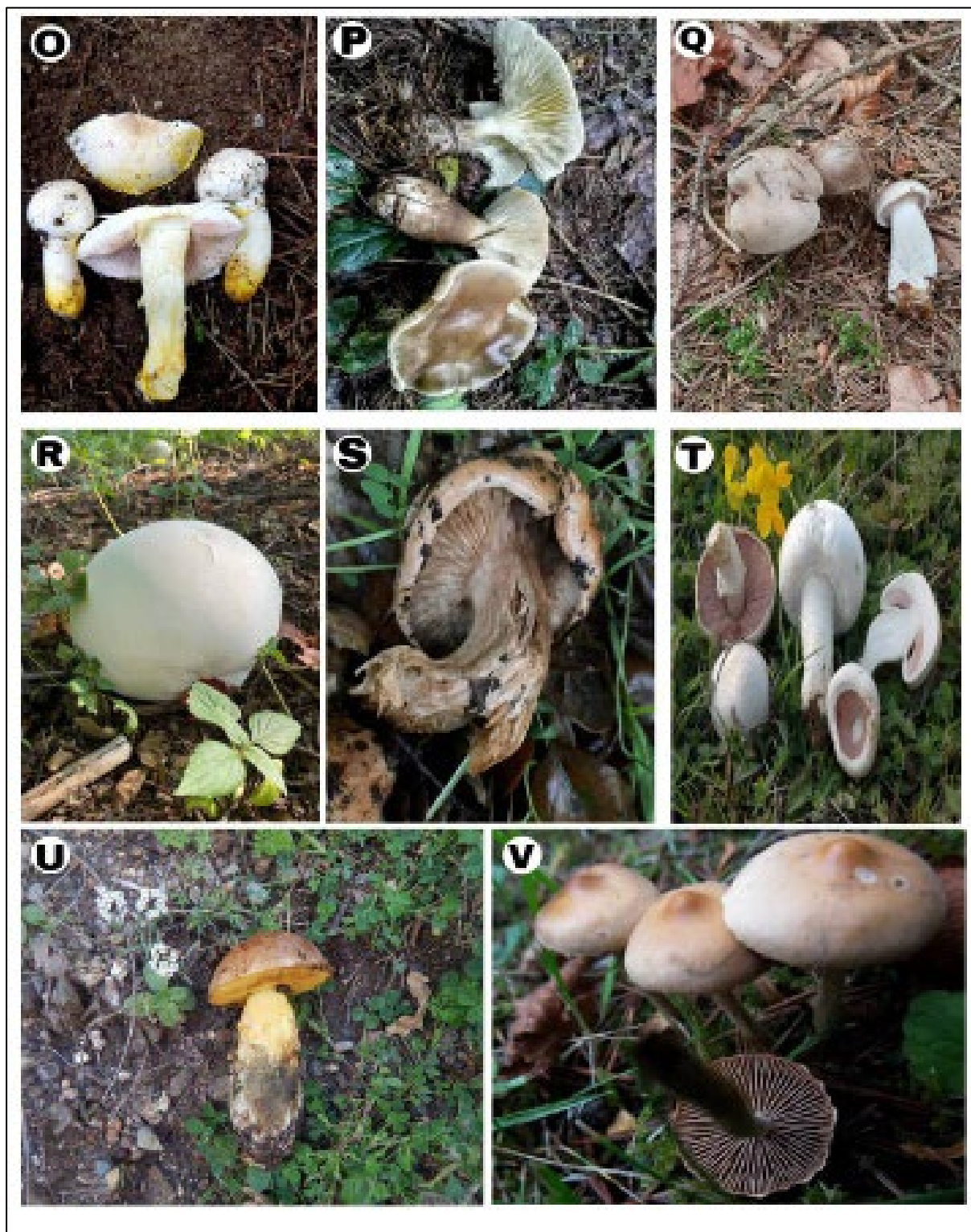


Figure 19: Macromycètes récoltés de 2020 à 2022 dans les forêts de chêne vert de Tebessa numérotés de O à V; O– *Agaricus xanthoderma*; P– *Paxillus involutus*; Q– *Clitocybe nebularis*; R– *Calvatia gigantea*; S– *Tricholoma dryophilum*; T– *Agaricus campestris*; U– *Leccinellum lepidum*; V– *Hebeloma pseudoamarescen*.

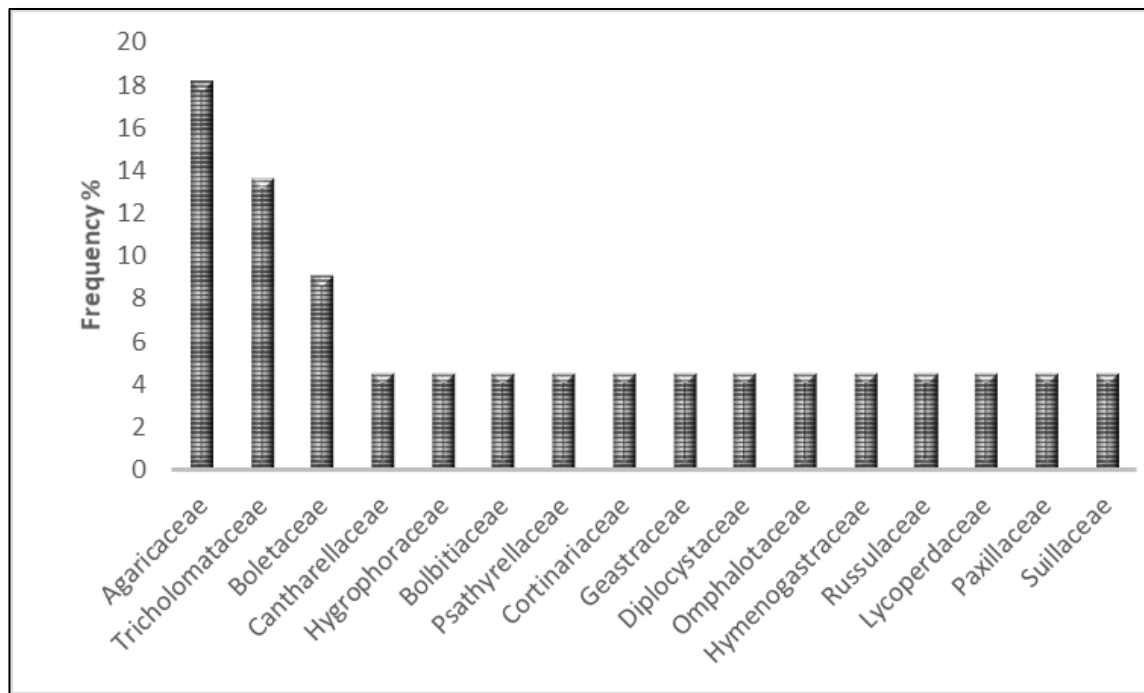


Figure 20: Fréquence des familles des espèces fongiques récoltées dans les forêts de chêne vert de la wilaya de Tebessa.

III.2.3. Exploitation statistique des données

III.2.3.1. Corrélations de Spearman

Les résultats de tableau 13 présentent des corrélations de Spearman (voir l'annexe pour les détails de l'analyse) entre l'abondance des champignons et plusieurs facteurs environnementaux étudiés. L'altitude avec $\rho = 0,071$, $p = 0,529$, le potassium ($\rho = -0,156$, $p = 0,166$) ; matière organique et l'humidité et autres variables sont faiblement corrélées et non significatives, à l'inverse que les autres variables environnementales, comme le pH, qui présente une corrélation positive significative au niveau de 5 % ($\rho = 0,247$, $p = 0,027$) le magnésium ($\rho = 0,229$, $p = 0,041$). et le calcium ($\rho = 0,251$, $p = 0,025$). Donc ces résultats montrent que certaines variables environnementales sont faiblement mais significativement corrélées avec l'abondance des champignons. En plus ils pourraient indiquer que ces facteurs influencent légèrement l'abondance des champignons, bien que les corrélations restent faibles.

De nombreux mycologues ont démontré des corrélations entre le pH, les éléments nutritifs du sol et l'abondance fongique. Baize et Jabiol, (1995) ont expliqué qu'un pH basique peut inhiber l'assimilation de certains éléments nutritifs comme le fer, le zinc et le bore qui peut présenter des problèmes édaphiques et écologiques. Ce qui explique la présence de reliques isolées de chêne verts dans le Nord-Est Algérien (Benazza-Bouregba, 2017).

Tableau 13: Corrélation de Spearman

	Abondance	Altitude	K (ppm)	Na (Meq/100g)	Mg (Meq/100g)	Ca (Meq/100g)	P(Meq/100g)	N Total (mg/kg)	C Total (%)	pH	Conductivité (us/cm)	Matière organique	Humidité (%)
Spearman's rho	Correlation Coefficient	1.000	.071	-0.156	0.229*	0.251*	0.049	-0.106	0.061	0.247*	0.045	0.135	0.212
	Sig. (2-tailed)	1.000	0.529	0.166	0.093	0.041	0.025	0.668	0.347	0.589	0.027	0.689	0.233
	N	80											

* La corrélation est significative au niveau de 0,05

** La corrélation est significative au niveau de 0,01

III.2.3.2. Analyse en composantes principale ACP

III.2.3.2.1. Indice de KMO et test de Bartlett

La valeur KMO de 0,518 suggère une adéquation médiocre de l'échantillonnage, ce qui signifie qu'une analyse factorielle est possible mais pas idéale. Donc Il pourrait être utile de vérifier si certaines variables pourraient être retirées pour améliorer le score KMO.

Test de sphéricité de Bartlett (voire l'annexe pour les detail d'analyse) vérifie si votre matrice de corrélation est une matrice identité (ce qui indiquerait que les variables ne sont pas corrélées et ne conviennent pas pour une analyse factorielle). La valeur du Chi-carré (142,285) avec 28 degrés de liberté (df) et une valeur p (Sig.) inférieure à 0,001 indiquent que la matrice de corrélation est significativement différente d'une matrice identité (tab 14). Cela signifie qu'il y a des corrélations entre les variables, ce qui est favorable pour une analyse factorielle.

Tableau 14: Indice de KMO et test de Bartlett

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy		0.518
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	142.285
	df	28
	Sig.	0.000

III.2.3.2.2. Espace de composants principale

Selon la figure 21, L'axe des abscisses (PC1) explique la plus grande part de la variance dans les données, tandis que l'axe des ordonnées (PC2) en capture une part supplémentaire mais moindre. Les échantillons qui se trouvent proches les uns des autres dans ce graphique sont plus similaires en termes de caractéristiques mesurées (comme la teneur en minéraux, le pH, et la

matière organique). À l'inverse, les points éloignés montrent des échantillons avec des profils distincts.

On observe que certains points sont regroupés, indiquant une similarité entre les espèces de champignons en fonction des variables analysées. Par exemple, plusieurs points se concentrent vers le centre et la partie droite du graphique, ce qui suggère que ces espèces partagent des caractéristiques communes en termes de composition chimique ou de conditions environnementales. Les points situés à l'extrême gauche représentent des échantillons atypiques ou des "outliers" avec des valeurs de variables nettement différentes. Cela pourrait indiquer des espèces qui ont des besoins ou des propriétés uniques par rapport aux autres champignons étudiés.

La légende colorée à droite du graphe permet de distinguer visuellement chaque espèce. Les couleurs facilitent l'identification de possibles regroupements d'espèces. Par exemple, si les points de couleur "AGXA" se trouvent principalement dans une région spécifique du graphique tandis que les points "BOER" sont regroupés ailleurs, cela peut indiquer des différences significatives dans les caractéristiques de ces espèces.

En conclusion, cette représentation en ACP révèle des groupements naturels et des similitudes entre les espèces de champignons étudiées, tout en mettant en évidence certains cas uniques. Ces résultats peuvent être utilisés pour approfondir la compréhension des relations écologiques et physiologiques entre différentes espèces de champignons en fonction des variables mesurées.

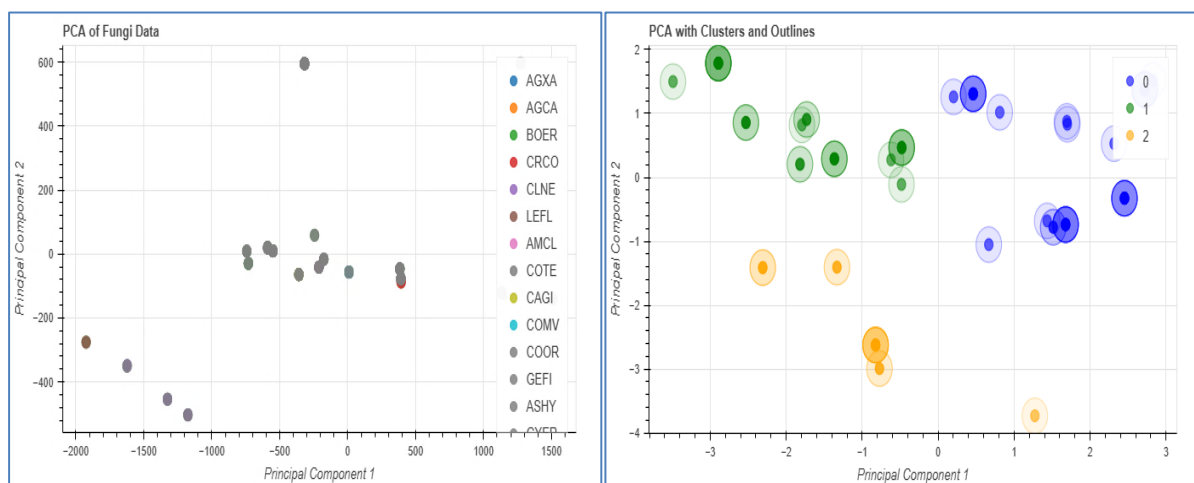


Figure 21: Répartition des données dans l'espace de composants principale (à gauche) et regroupement des facteurs (Clustering) des données dans l'espace de composants principale (à droite).

III. 2.3.2.3. ACP avec la présentation Biplot

La figure 22 permet d'analyser les relations entre les différentes variables de notre donnée, en fonction des deux premières composantes principales (Première Composante Principale PC1 et la Deuxième PC2). Ces composantes principales sont des combinaisons linéaires des variables initiales qui capturent la plus grande variance des données. La PC1 explique la plus grande partie de la variance, suivie de la PC2. Chaque point bleu représente un échantillon individuel, projeté dans l'espace défini par les composantes principales. La dispersion des points dans le graphique indique la variation entre les échantillons. Les points

proches les uns des autres sont plus similaires en termes de caractéristiques, tandis que les points éloignés montrent des différences plus importantes.

La direction de chaque flèche indique comment cette variable s'aligne avec les composantes principales. Les variables qui pointent dans des directions similaires sont corrélées positivement, tandis que celles qui pointent dans des directions opposées sont corrélées négativement. La longueur de chaque flèche indique la force de l'association de la variable avec les composantes principales. Les flèches plus longues représentent une influence plus forte, tandis que les flèches plus courtes indiquent une influence moindre. Par exemple, Ca (Maq/100g), Mg (Meq/100g) et Humidité (%) pointent dans des directions similaires, suggérant qu'elles sont corrélées positivement entre elles. pH a également une direction relativement distincte, ce qui indique une association forte avec la PC2.

Les variables pointant dans des directions opposées ont des corrélations négatives. Par exemple, C Total (%) et N Total (mg/kg), qui pointent dans la direction opposée à Ca (Maq/100g), sont négativement corrélées avec cette dernière. Les variables comme pH, Mg (Meq/100g), Ca (Maq/100g) et Humidité (%) ont des flèches plus longues, indiquant qu'elles contribuent fortement à la variation de PC1 et PC2.

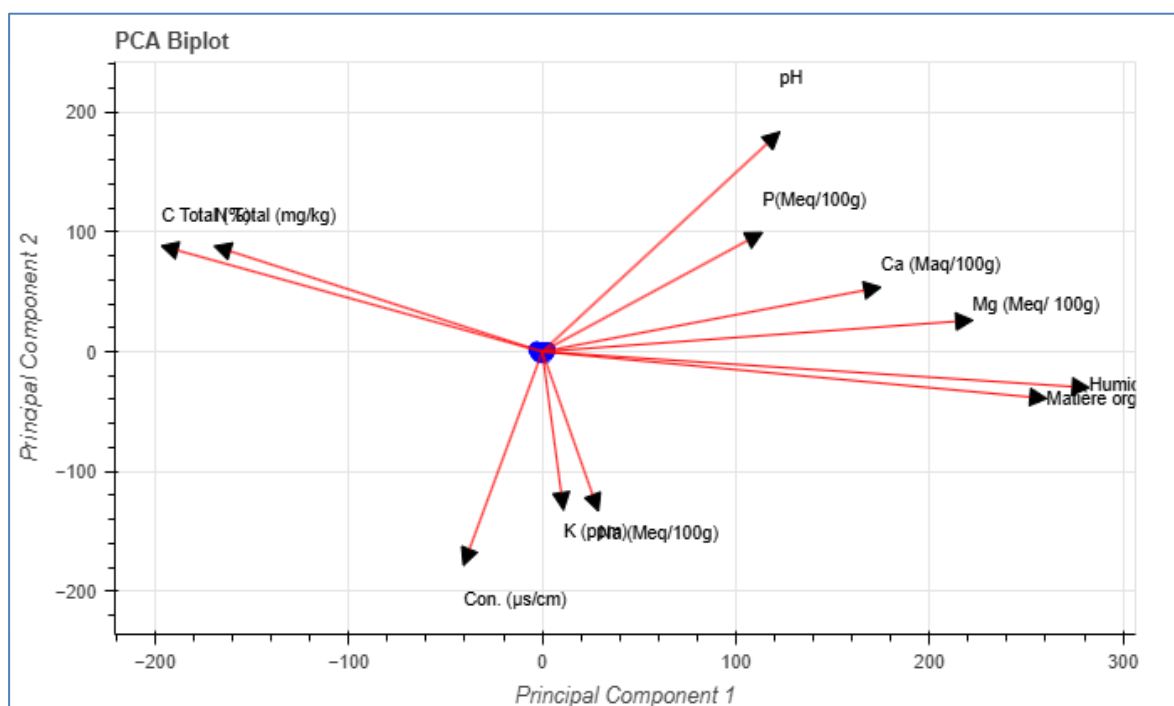


Figure 22: biplot de l'ACP

En résumé, ce biplot révèle que la variance dans les données est principalement influencée par des variables telles que **pH**, **Ca (Maq/100g)** et **Humidité (%)**. Ces variables expliquent les différences entre les échantillons le long des axes PC1 et PC2. De plus, les variables qui pointent dans des directions similaires ou opposées indiquent des corrélations positives ou négatives respectivement. Ce type de graphique est donc très utile pour identifier les variables les plus influentes et comprendre les relations entre elles.

III.2.3.2.4. Influence de l'abondance fongique et l'altitude sur ACP

En examinant la figure 23, on observe que les points avec une plus grande abondance (représentés par des cercles de taille plus importante) sont principalement situés vers la droite du graphe. Cela suggère une association possible entre les scores élevés de la Composante 2 et des niveaux d'abondance plus importants. De plus, dans le quadrant supérieur droit, on remarque une concentration de points de grande taille, ce qui pourrait indiquer que des scores élevés pour les deux composantes sont liés à une abondance accrue. Cette répartition pourrait refléter que certains échantillons, ayant des valeurs plus élevées pour les deux composantes principales, tendent également à présenter une abondance plus forte.

Si la Composante 1 est interprétée comme un facteur lié à la teneur en minéraux (associé à des éléments comme le Mg^{++} et le Ca^{++}), et la Composante 2 comme un facteur d'échange d'ions (associé par exemple au Na^+ et au carbone total), ce graphe pourrait illustrer comment les échantillons varient en fonction de ces deux facteurs. En résumé, cette représentation graphique permet de mettre en évidence les relations potentielles entre les composantes principales et l'abondance des échantillons, offrant ainsi une meilleure compréhension des facteurs sous-jacents qui influencent cette abondance.

On remarque que les points représentant des altitudes plus élevées (vers 1600 mètres) sont majoritairement concentrés dans la partie supérieure du graphe, en particulier avec des scores élevés pour la Composante 2. Cela pourrait suggérer que certains facteurs influencés par l'altitude, tels que les conditions environnementales spécifiques, sont capturés par cette composante. Les points correspondant à des altitudes plus basses sont plus dispersés, incluant des scores négatifs sur les deux composantes, ce qui indique une plus grande variabilité dans leurs caractéristiques.

Donc, une potentielle corrélation entre l'altitude et les scores de la Composante 2, suggérant que des échantillons situés à des altitudes plus élevées présentent des caractéristiques distinctes influencées par des facteurs environnementaux ou géographiques. Cette visualisation permet ainsi de mieux comprendre comment l'altitude peut affecter les variables principales de l'analyse.

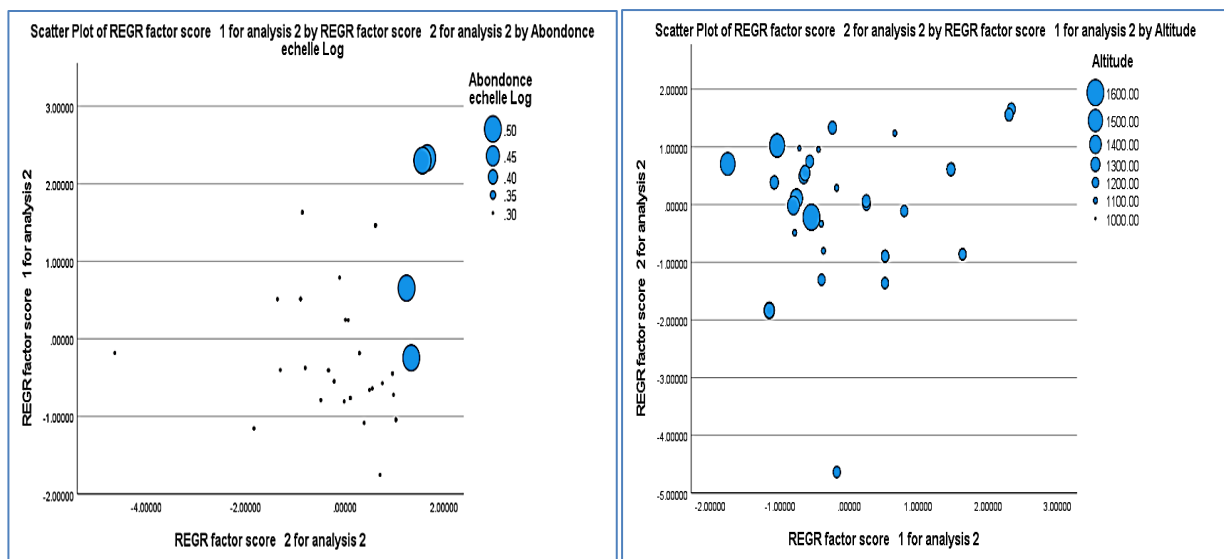


Figure 23: Influence de l'abondance fongique sur les composantes principales (à gauche) et Influence de l'altitude sur les composantes principales (à droite).

III.2.3.2.5. ACP scatter plot pour les espèces fongiques

La figure 24 est une représentation 3D (trois vues différentes suivant les axes x, y et z), montre la distribution des échantillons des champignons en fonction de l'altitude, du pH des sites étudiées et du mode de vie fongique. On observe des regroupements de points, ce qui pourrait indiquer que certaines espèces de champignons partagent des préférences similaires en termes de conditions environnementales. Les altitudes varient entre 1100 et 1500 mètres, ce qui pourrait indiquer une préférence de certaines espèces pour des altitudes spécifiques. Par ailleurs, les valeurs de pH, comprises entre 8,4 et 9,4, suggèrent que les champignons étudiés sont adaptés à des sols légèrement alcalins. Si certaines espèces de champignons se regroupent autour de pH particuliers, cela pourrait indiquer une tolérance ou préférence écologique spécifique.

Le mode de vie des champignons, représenté sur l'axe Z, montre également des tendances intéressantes. Par exemple, les champignons saprotrophes (voire légende) sont plus concentrés à certaines altitudes et niveaux de pH, cela peut refléter leur niche écologique. Par conséquent, la figure 24 révèle des relations potentielles entre l'altitude, le pH du sol, et les types de champignons, offrant ainsi des pistes pour comprendre comment les conditions environnementales influencent la répartition et le mode de vie des champignons dans cet écosystème.

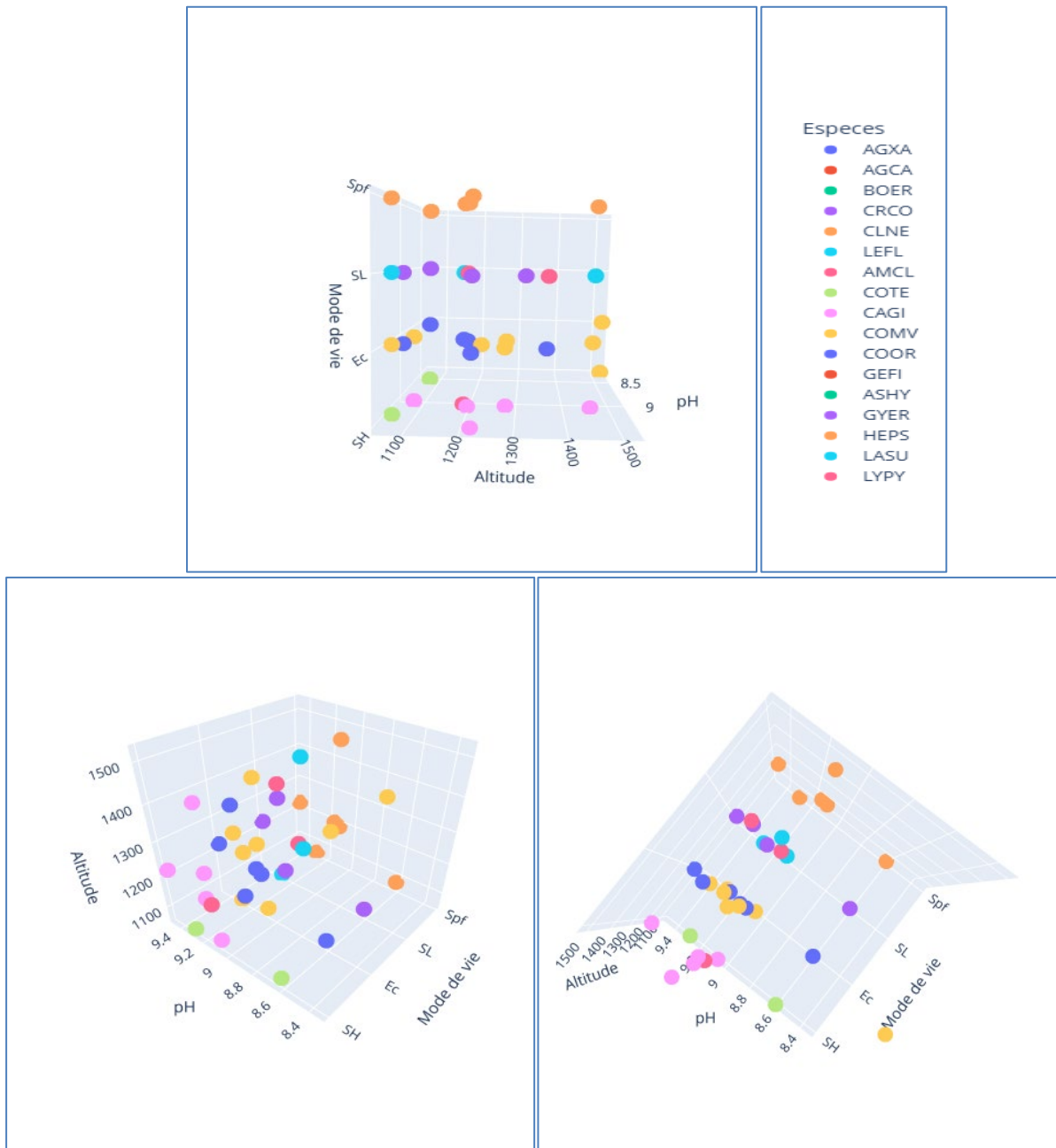


Figure 24: Vues différentes de 3D scutter plot de l'espèce fongiques et les composants proposés par ACP.

III.2.4. Ecologie des espèces fongiques récoltées

Quand on parle à la répartition des taxa ramassés suivant leurs groupes écologiques. Il ressort que les taxa ectomycorrhiziens et saprophytes humicoles sont les plus dominants, et constituent 41% pour les deux de l'ensemble, contre 14% des saprotrophes lignicoles, 5% des saprophytes place à feu (**Fig.25**). Richard et *al.* (2004) ont montré que le faible taux de matière organique dans un sol est plus favorable aux champignons mycorrhiziens qu'aux saprophytes. Nos résultats corroborent ceux de ces auteurs, l'analyse physico-chimique du sol

des sites d'études a montré un pourcentage en matières organique faible.

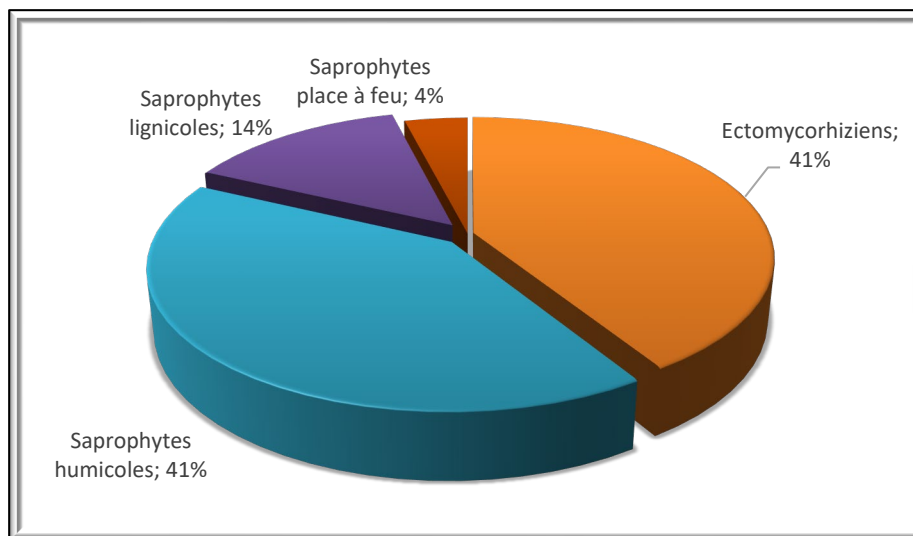


Figure 25: Ecologie des espèces fongiques récoltées dans les forêts de chêne vert de la wilaya de Tebessa.

Les champignons mycorhiziens sont plus abondants généralement dans des zones boisées où la végétation est dense avec la présence de chêne vert, Pin d'Alep, arbousier, Genévrier oxycèdre et d'espèces herbacées. Nos observations rejoignent les analyses de Richard et *al.* (2004; 2005) et Azul et *al.* (2009) qui ont signalé que la mycoflore des forêts méditerranéennes est très diverse et qu'elle dépend aussi bien de la composition de la forêt que des strates végétales.

Enfin, il est important de signaler que les 13 parcelles sélectionnées dans les forêts domaniales de la wilaya de Tebessa, prospectées (2020 à 2022) regroupent une diversité d'espèces fongiques moyenne représentées actuellement par 22 taxons. Ce précieux patrimoine doit être préservé et régulièrement recensé. Ce nombre de taxons connaîtra probablement un accroissement significatif pour donner suite à des travaux systématiques complémentaires qui seront entrepris ultérieurement par d'autres chercheurs. Selon Guinberteau et Courtecuisse (1997), il faudra 7 à 12 ans de prospections pour établir un diagnostic concret de la diversité fongique d'un milieu.

III.2.4. Descriptions taxonomiques de champignons ectomycorhiziens trouvés

Neoboletus luridiformis (Fig.26)

Chapeau 4 – 25 cm de diamètre, il est bien en chair, sec et souvent velouté, de couleur, brun chocolat. L'hyménophore présente des tubes jaunes puis jaune olivâtre, fortement bleuissants, terminés par des pores fins, visibles en regardant sous le chapeau. La sporée est de couleur brun olivâtre. Stipe 6 – 15 cm x 1,5 – 5 cm, ponctué d'apparence rougeâtre.

Spores 7–20 μm \times 4,5 \times 5,2 à μm , ellipsoïde, lisse, à paroi fine, hyaline, à contenu réfractif, inamyloïde. Basides 25–40 \times 9–13 μm , cylindriques à claviformes, avec 3, 4 et 5 stérigmates, à paroi mince, hyalines, fibulées. Cystidies à 50 μm ont une forme de bouteilles ou de fuseaux ventrus, éléments terminaux 41,0–82,0 \times 5,5–14,0 μm , cylindriques à subcylindriques, en forme de masse. On observe sur la cuticule des terminaisons d'hyphe de 3–6 μm de diamètre, d'abord plus ou moins dressés puis rapidement couchés, légèrement gélatineux.

Habitat. Terrestre, touffes dans les forêts de chênes avec présence de *Quercus ilex*.



Figure 26: *Neoboletus luridiformis*; a–basidiomes *in situ*; b– coupe longitudinale du basidiome; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.

***Craterellus cornucopiôide* (Fig.27).**

Chapeau 5 – 12 cm de haut et de 2 – 5 cm de large, fructification en forme de trompette, de cornet étroit, creuse jusqu'à la base, couleur noir à bistre sombre (intérieur) et hyménium (extérieur) mat, pruineux, Stipe court et creux, de couleur gris, noir, jaune.

Spores 10 – 15 x 8 – 12 μm , ovoïdes, lisses, hyalines, guttulées, à contenu granuleux, Basides clavées, bisporiques, non bouclées. Cystidies, manquant. Hyphes de 2 – 6 μm de largeur, non bouclées.

Habitat Terrestre, touffes dans les forêts de chênes associées à *Quercus ilex*.

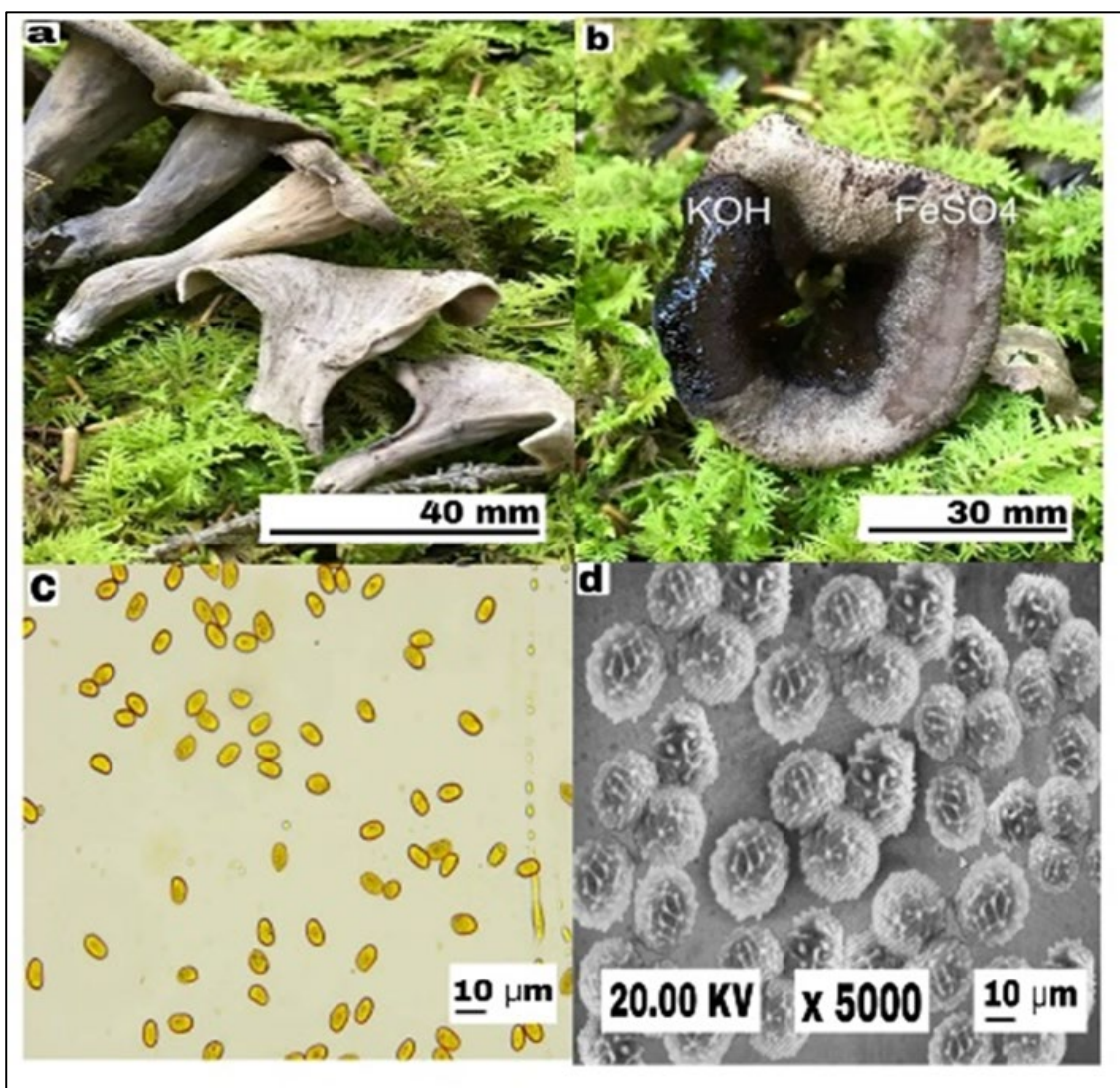


Figure 27: *Craterellus cornucopiôide*; a–basidiomes *in situ*; b– réactions chimiques : coloration du pileipellis en gris foncé dans FeSO_4 , noire dans KOH ; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.

***Cortinarius orellanus* (Fig.28)**

Chapeau 40 – 80 mm de diamètre, arrondi à conique, puis déployé ou aplani, parfois un peu mamelonné, densément feutré à squamuleux, de couleur brun-rouge à brun orangé chaud, ou tirant plus sur le brun ochracé, d'un brun très foncé avec l'âge. Hyménophore subdécurrent, lisse la plupart du temps, parfois ridé en nervures peu marquées, jaune orangé très pâle pouvant même atteindre le beige, avec des lames espacées et larges, brun ochracé à brun ferrugineux chaud. Stipe 4 – 8 x 0,6 – 1,5 cm, cylindrique mais souvent atténué vers la base, d'abord jaune clair, d'un jaune doré luisant en haut, devenant peu à peu entièrement rouge de bas en haut. Voile jaunâtre, légèrement fibrilleux.

Basidiospores 8–10 x 5,5–6,5 µm, ellipsoïdes, moyennement mais densément verruqueuses.

Habitat. Terrestre.

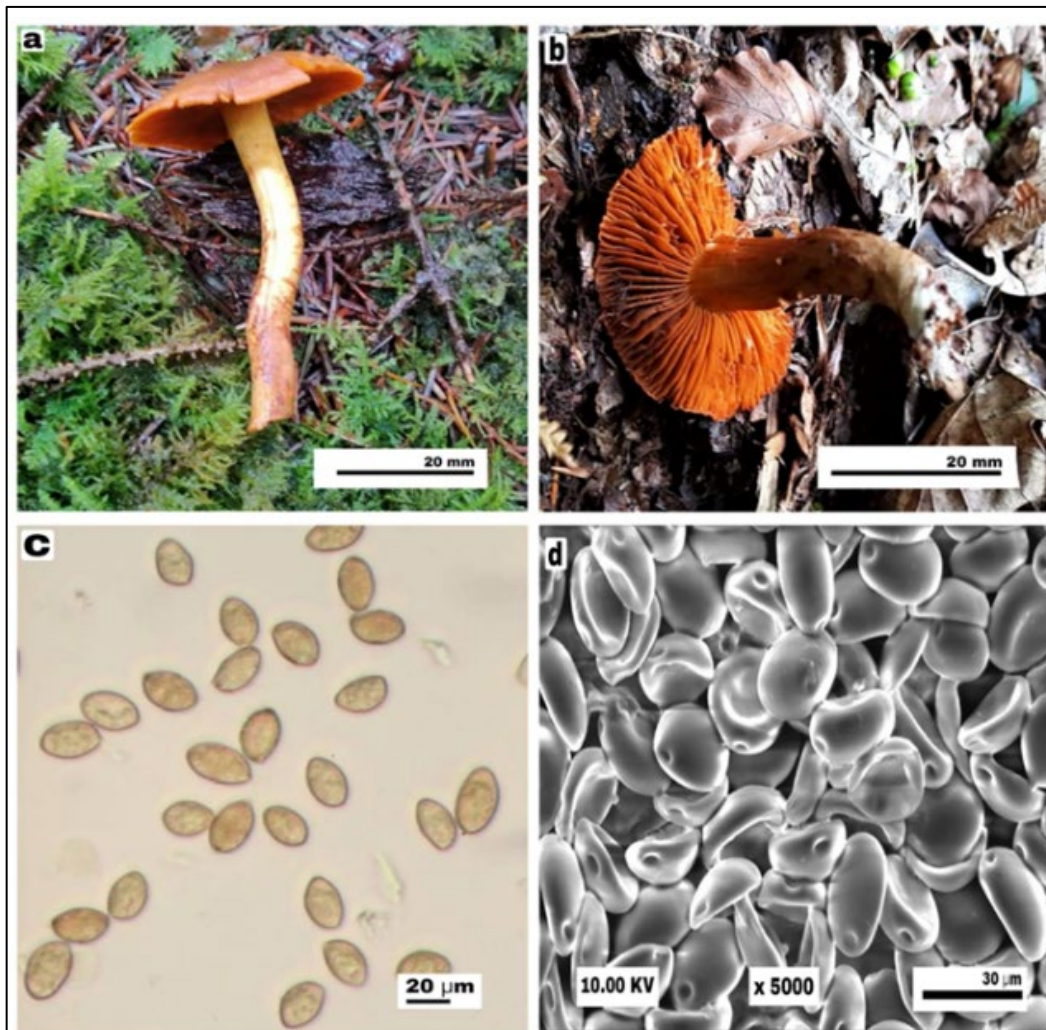


Figure 28: *Cortinarius orellanus*; a–basidiome *in situ*; b– lames orangé espacées et stipe jaune doré cylindrique atténué vers la base ; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.

***Geastrum fibriatum* (Fig.29)**

L'exopériidium: se divise en 05 à 10 lanières jusqu'à la moitié de sa longueur, la lace interne des lanières est brun-crème, toute la face externe de l'exopériidium s'incruste de sable humifère. L'endopériidium est porté par un court pédicelle, clair, souvent plus large que long. Le péristome est parfaitement lisse, légèrement plus sombre que l'endopériidium. Il est particulièrement fragile.

Spores: 2,5 – 5 μm , Globuleuses, finement verruqueusesme.

Habitat: Terrestre, on la trouve dans les forêts, aussi dans les parcs.

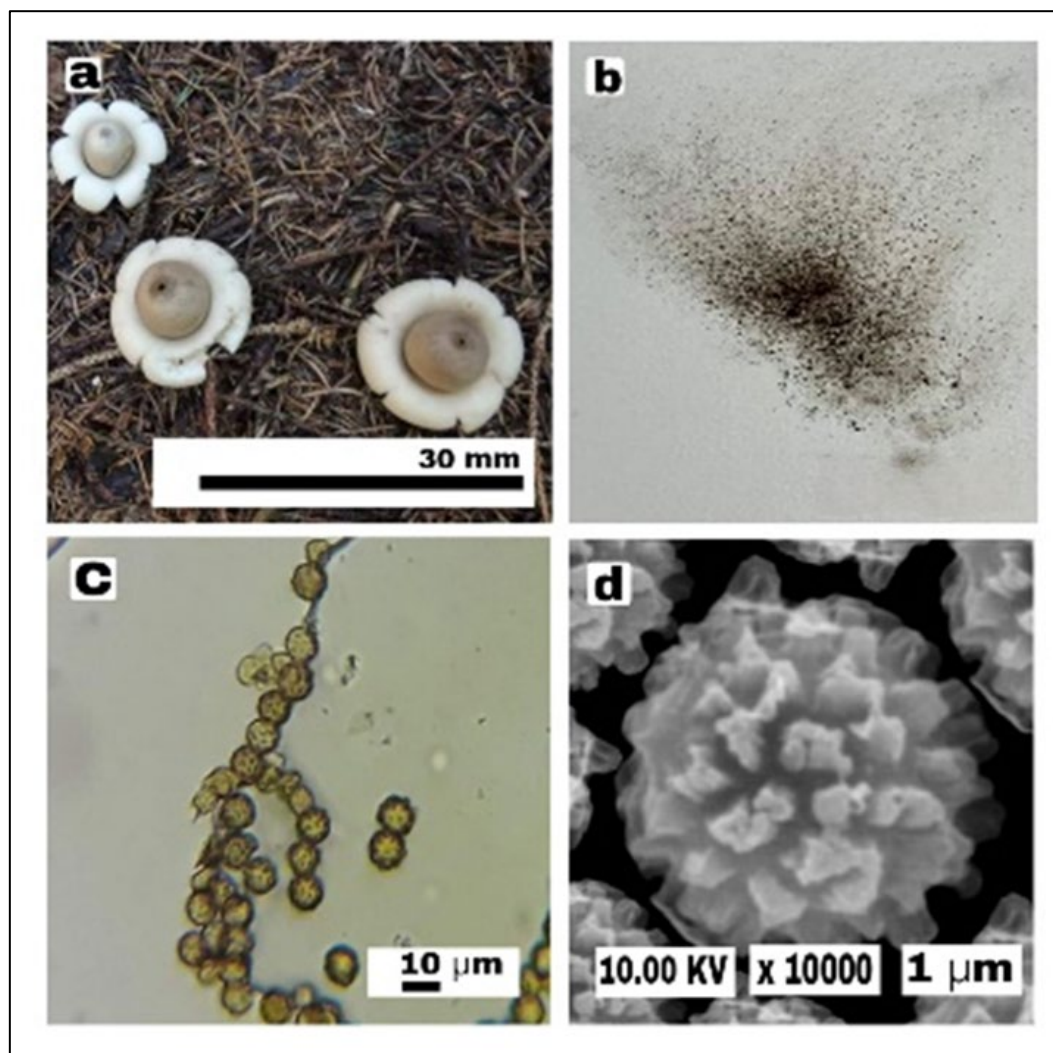


Figure 29: *Geastrum fibriatum*; a–basidiomes *in situ*; b– une sporulation a donné des spores brunes, sphériques et verruqueuses ; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.

***Astraeus hygrometricus* (Fig.30)**

Exopériidium: 1 – 3 cm, son paroi se fend et s'ouvre rapidement en étoile avec l'apparition d'un minimum de 5 branches, d'un diamètre de 3 – 9 cm. Son port ouvert n'est pas constant, par temps sec les branches composant l'étoile se referment.

Endopériidium: correspond à une sphère blanchâtre, jaunâtre puis brun-grisâtre de 1 – 2 cm. A maturité, il s'ouvre par la formation d'une fente plus ou moins irrégulière, laissant alors les spores s'échapper. Glèbe est blanche et ferme puis brunâtre et poudreuse. Sa saveur est douce et son odeur est faible mais une légère senteur de caoutchouc peut parfois être ressentie.

Spores 6.5 – 11.5, globuleuses, à verrues épineuses

Habitat: Terrestre, cette espèce est une espèce xérophile qui affectionne les boisements secs et clairsemés comme les chênaies ou les pinèdes sur un sol sablonneux, on la trouve également dans les milieux ouverts, sur le bord des chemins et dans les landes au sous-sol siliceux.

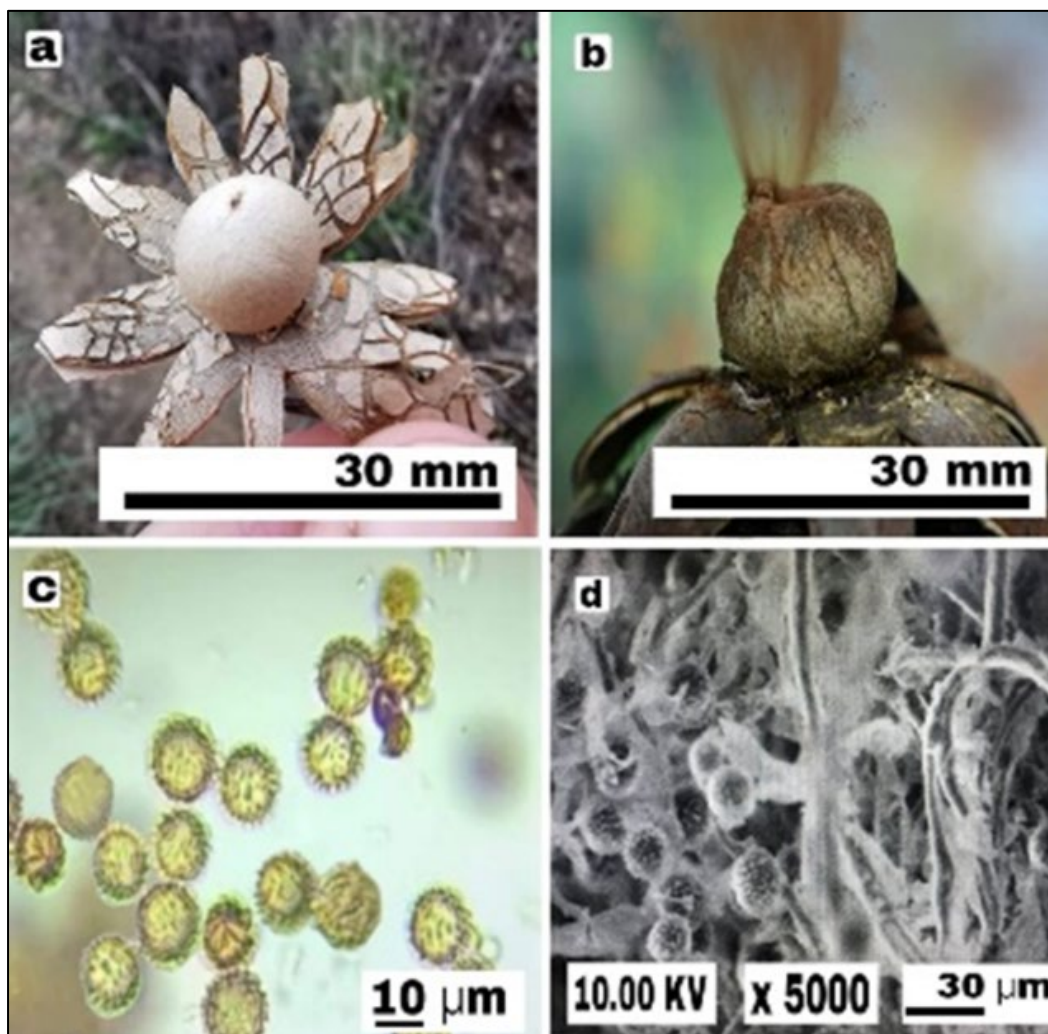


Figure 30 : *Astraeus hygrometricus*; a–basidiomes *in situ*; b– une sporulation *in situ*; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.

***Lactarius subdulcis* (Fig.31)**

Chapeau: 2 – 7 cm de diamètre, étalé déprimé avec un petit mamelon, lisse, mat, brun beige à chamois avec la bordure plus pâle avec une marge faiblement ondulée. Lames adnées et décurrentes, crème avec un pâle reflet rosâtre, parfois tachées de brun rouge. Stipe 4 – 8 x 0,5 – 1,5 cm, plein, cylindrique, beige avec une base recouverte d'un feutrage blanc pruineux. Contexte crème. Lait blanc immuable, doux puis légèrement amer à la mastication. Odeur de ballon de baudruche, de caoutchouc.

Spores: 6 – 10 x 6,5 – 8,5 μm , subglobuleuses, ornées de verrues et de crêtes de 1,5 μm de haut, peu connectées. Basides clavées, avec 2–4 stérigmates, Cheilocystides, 21–35x 3,5–7,5 μm , nombreuses, fusiformes à subulées. Pleurocystides 35–90 x 5–10 μm éparses, fusiformes. Cuticule constituée d'extrémités d'hyphes dressées issues de cellules ovoïdes larges de 6–12 μm de large.

Habitat: Terrestre, Hêtraies sur sol légèrement acide et frais.



Figure 31: *Lactarius subdulcis*; a–basidiomes *in situ*; b– Lames crème adnées et lait blanc; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.

***Suillus granulatus* (Fig.32)**

Chapeau: 5–14 cm de diamètre, plan à convexe, Surface visqueuse, collante, lisse, brun jaunâtre à brun chameau, bords lisses, droits ou évasés. Contexte jaunâtre, pas de changement de couleur après meurtrissure. Stipe 30–80 x 10–20 mm d'épaisseur, égal, central, solide, brun jaunâtre à jaunâtre, points glandulaires brunâtres sur la moitié supérieure, absent d'anneau.

Spores: 7–10 x 3,5–4,5 µm, amygdaliforme à phaseoliforme, lisse, à paroi mince, hyaline, à contenu réfractif, inamyloïde. Basides : claviformes, avec 3–4 stérigmates, à parois épaisses 16–18 × 6–7,5 µm. Cystidies : cylindriques à fusiformes à ampullacées, contenu granuleux visible, à parois épaisses, brun foncé, 50–55 × 7,5–9 µm. . Pileipellis clavé à irrégulier, 53–69 × 113 µm, éléments terminaux du pileipellis, hyphes cloisonnés aux extrémités, 49–62 × 10–12 µm. Odeur et goût non distinctifs, partie supérieure des hyphes fortement gélatinisés, jaune verdâtre clair avec des granules dispersés et pigmentés, hyphes dans la partie inférieure principalement incrustés de granules. Contexte de larges hyphes entrelacés, jusqu'à 15 µm de diamètre, peugélatineux, principalement hyalins, masses de pigment coagulé éparpillées partout, ces masses brun jaunâtre foncé à brun jaunâtre intense.

Réactions macrochimiques: coloration du pileipellis gris bleuté dans FeSO₄, gris olive dans KOH ; spores brunes dans le réactif de Meltzer.

Habitat: Terrestre, Exclusivement sous pins sur sol calcaire

Suillus granulatus est un bolet ectomycorhizien important caractérisé par un chapeau visqueux, un pied avec des pointes et un anneau glandulaires, de grandes ouvertures de pores, des spores lisses et généralement associé aux conifères (Bessette et al., 2000; Kuo, 2004). Cette espèce était très morphologiquement similaire à d'autres espèces de *Suillus*. Il s'agit notamment de *S. collinitus*, *S. bellinii* et *S. mediterraneensis* (Sesli, 2022). En raison d'un chapeau convexe, de l'absence d'anneau sur le pied et de spores lisses. Les principales différences entre ces espèces sont que *S. granulatus* a un pied plus court et des granules nettement surélevés sur le pied tandis que *S. collinitus* a un pied lisse et blanc. De même, *S. bellinii* se différencie de *S. granulatus* par un stipe sans points glandulaires et des spores plus grosses chez le premier (Santana et al., 2007; Bruns et al., 2010). En Algérie, 4 espèces de *Suillus*, *S. granulatus*, *S. mediterraneensis*, *S. collinitus*, *S. bovinus*, ont déjà été signalées (Maire, 1927; Dorleans, 1972; Lanier, 1994 dans Nezzar-Hocine et al., 1998; Nezzar Hocine et al., 1996; Courtecuisse et Duhem, 2013; Djelloul, 2014; Benazza-Bouregba, 2017; Youcef Khodja, 2021). Notant que *S. granulatus* a été signalé dans le nord de l'Algérie (Souna et al.,

2022).

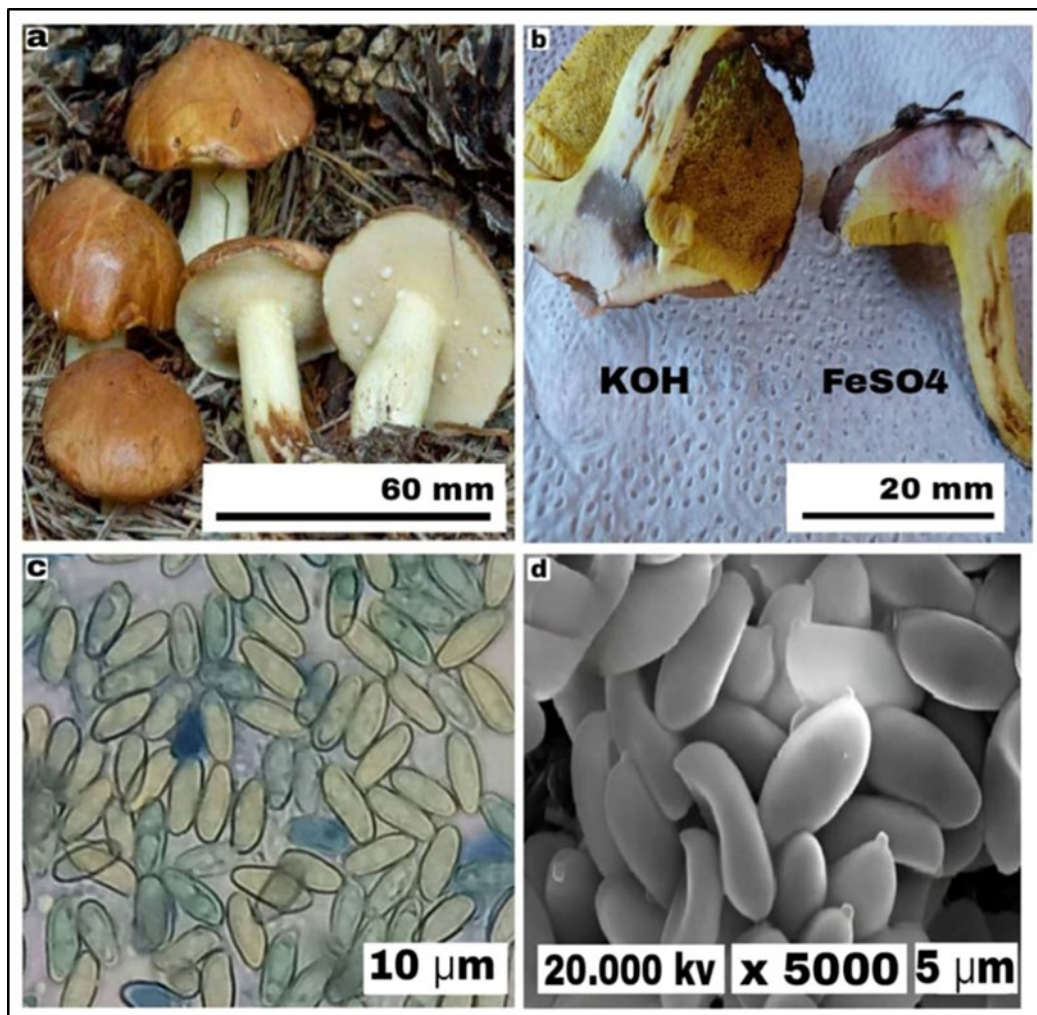


Figure 32: *Suillus granulatus*; a–basidiomes *in situ*; b– réactions chimiques : coloration du pileipellis gris bleuté dans FeSO_4 , gris olive dans KOH ; spores brunes dans le réactif de Meltzer.; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.

***Leccinellum lepidum* (Fig.33)**

Chapeau: 5 – 8 cm de diamètre, avec cuticule grasse par temps humide. Hyménophore vire au rose à la coupe. Stipe 52-68 x 4-8 mm, cylindrique, brun, jaunâtre, bulbeux-ventre, accroupi-obèse. Contexte confluent, blanc à crème, solide, sans odeur avec saveur douce ou amère-piquante.

Spores: 7,0-12,0 x 4,0-6,0, moyenne 8,8 x 5,1 μm , Q 1,7 (n = 30) amygdaliforme à phaseoliforme, lisse, à paroi mince, hyaline, à contenu réfractif, inamyloïde. Basides 66,0 – 81,0 x 6,0 – 10,0 μm , claviformes, avec 2-3 stérigmates, à paroi mince, hyalines, péroné basal

présent. Cystidies. Manquant. Pileipellis in cutis, composé d'hyphes cylindriques de 4,0 à 6,0 μm de diamètre, disposés dans un arrangement compact et entrelacé, hyalins, de couleur ocre dans leur ensemble ; éléments terminaux 32,0 – 47,0 x 4,5 – 6,0 μm , cylindriques, droits à modérément courbés, lisses, hyalins, inamyloïdes, la paroi est variable, chez certaines elle est fine et chez d'autres elle s'élargit jusqu'à 1 μm . Réseau hyménophoral composé d'hyphes de 3,5 à 6,0 μm de diamètre, à paroi mince, la plupart avec un contenu réfractif granulaire. Fibules présentes dans tous les tissus.

Réactions macrochimiques. L'hyménophore se colore en gris au contact de FeSO_4 .

Habitat: Terrestre, avec la présence de *Q. ilex*.

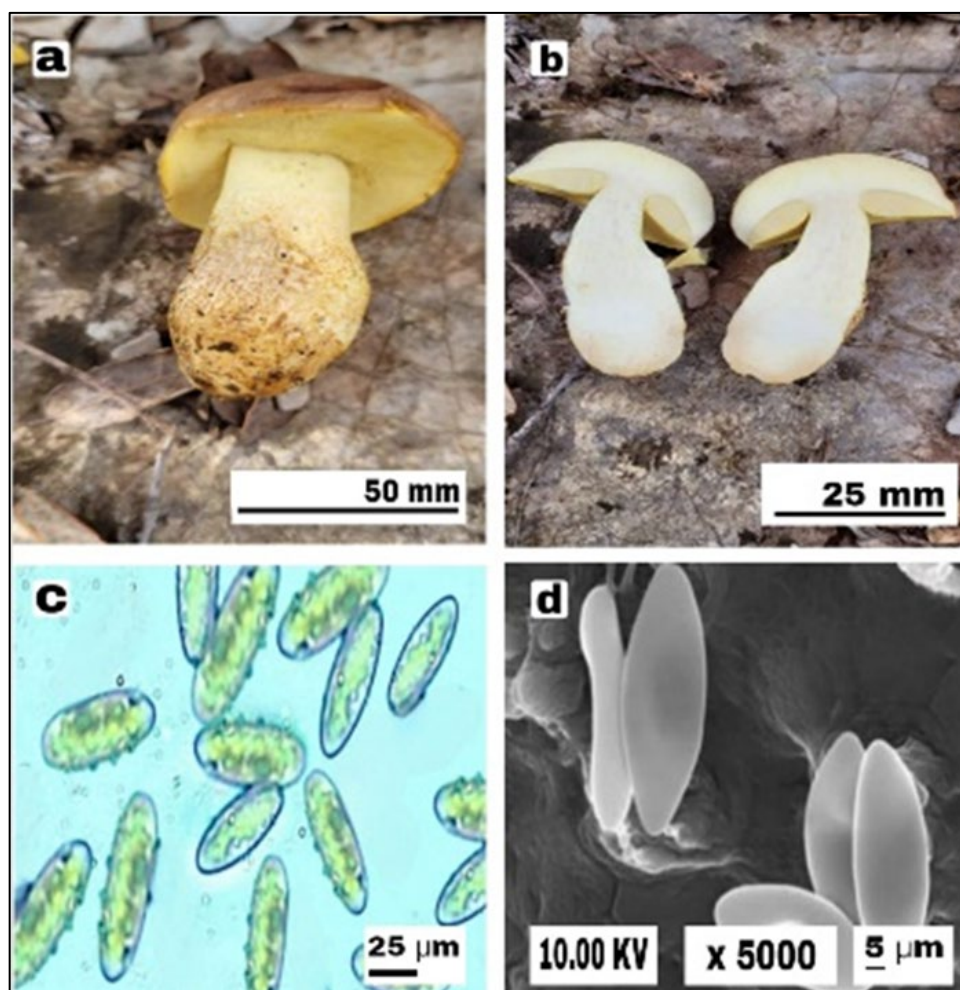


Figure 33: *Leccinum lepidum*; a–basidiome *in situ*; b– coupe longitudinale du basidiome; c– basidiospores observés par microscope optique; d– basidiospores observés par MEB.

III. 3. Diversité morphologique des ectomycorhizes

Au total, 12 morphotypes ectomycorhiziens ont été identifiés, ils étaient spécifiques pour *Q. ilex* (Fig.34 et Fig.35). De couleurs allant du brun rougeâtre, rouge foncé, rouge jaunâtre. La couleur est un critère instable, et peut changer avec l'âge d'ectomycorhize et devient foncer

en vieillissant (Le Poutre, 1961); Une large gamme de distributions et de forme allant du simple, ramifiée, coralloïde, pyramidale, monopodial, pennée. Une phase extramatricielle qui peut se présenter sous différents types d'exploration contact lisse ; type d'exploration courte distance (hyphes abondants et courts) ; de type d'exploration moyenne et/ou longue distance (rhizomorphes fréquents ou peu abondants et bien structurées). Selon Agerer (1988-1990), les ectomycorhizes lisses avec peu ou pas de rhizomorphes sont formées par les champignons tels que *Lactarius sp.*, *Russula sp.*, *Boletus sp.* et *Xerocamus sp.* Les mycorhizes noirs à mycélium court et droit de couleur noir sont d'après Dommergues et Mangenot (1970), serraient due à *Cenococcum sp.*

Certains morphotypes partagent des similitudes macroscopiques avec ceux rapportés par des auteurs tels que; He et al. (2007), Morris et al. (2008b), Leski et al. (2010). D'autres auteurs comme Morris et al. (2008a) qui ont travaillé avec la diversité des champignons ectomycorhiziens de *Quercus ilex*, Ils ne présentent pas d'informations sur les caractéristiques morphologiques, ils ont uniquement effectué l'analyse moléculaire, la comparaison morphologique a donc été faite par rapport aux images qu'ils présentent. Cependant, il est d'une grande importance de réaliser la caractérisation morphologique des ectomycorhizes puisqu'en complétant les deux types d'analyse (moléculaire et morphologique), elle permettra une meilleure connaissance des espèces ectomycorhiziens associées à leurs hôtes (Galindo-Flores et coll., 2015). Un attribut important tel que la tonalité du système mycorhizien n'implique pas que les espèces ectomycorhiziennes associées aux chênes soient les mêmes dans tous les cas, comme l'a cité Gomes-Luna et al. (2012) et Baeza-Guzmán et al. (2017). Ce type de caractéristique a pu être observé dans ce travail puisque les systèmes mycorhiziens ont des tons très similaires. En ce qui concerne la variabilité morphologique, Claveria et De Miguel (2005) ont décrit quatre morphotypes ectomycorhiziens du genre *Tubercule* et *Généa* associé à *Q. ilex*.

En plus cette analyse des racines de différents arbres de *Q. ilex* a permis de noter l'absence de la colonisation endomycorhizienne au niveau leurs racines. En effet, plusieurs auteurs (Wang et Qiu, 2006 ; Smith et Read, 2008 ; Garbaye, 2013) ont rapporté l'absence de structure endomycorhizienne chez les espèces du genre *Quercus*.

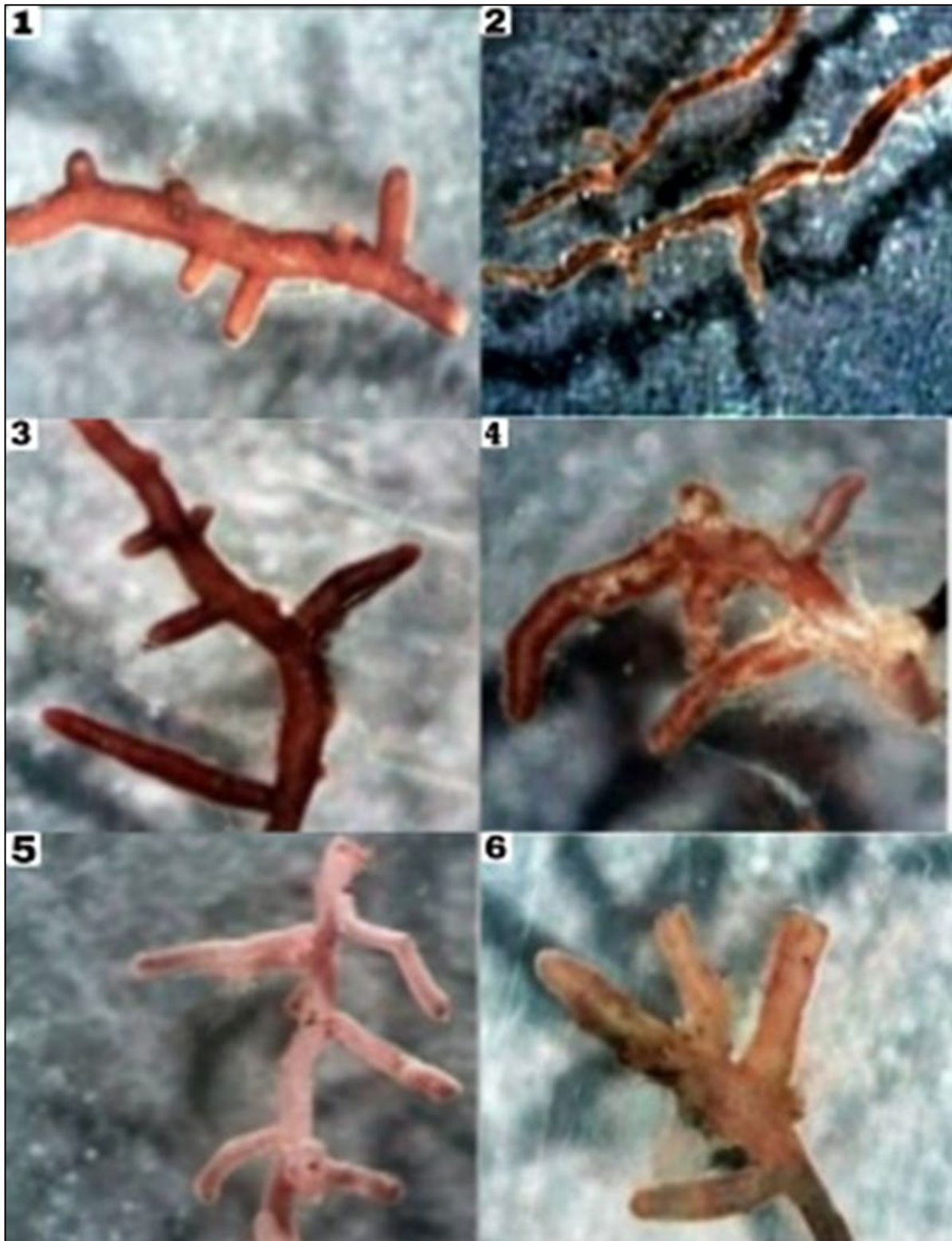


Figure 34: Morphotypes numérotés de 01 à 06 trouvés dans les racines de *Q. ilex*, observé sous l'eau avec une lumière jaune et un fond noir.

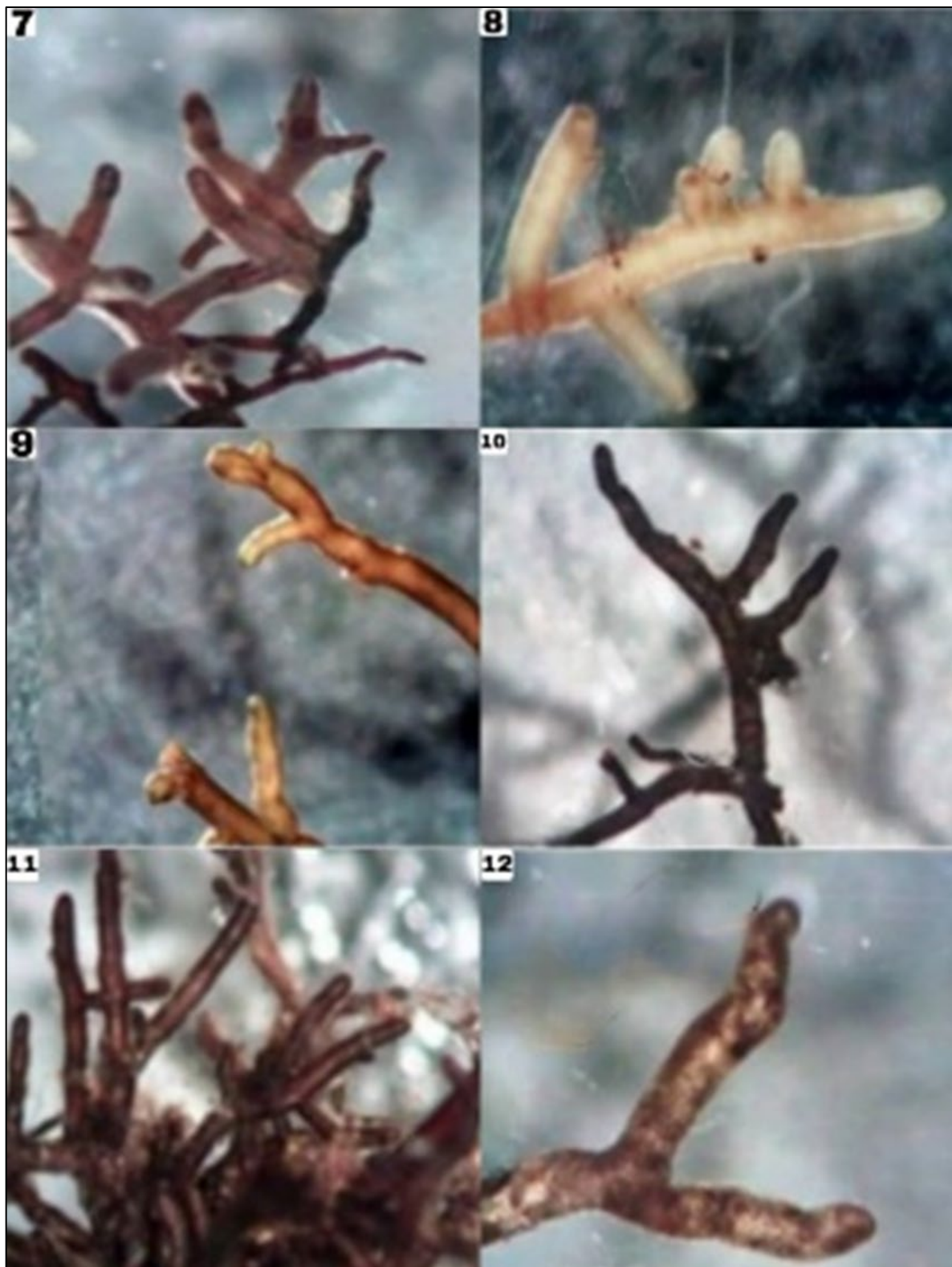


Figure 35: Morphotypes numérotés de 06 à 12 trouvés dans les racines de *Q. ilex*, observé sous l'eau avec une lumière jaune et un fond noir.

III.3.1. Description de la Caractéristique macro et micro morphologiques des ectomycorhizes trouvées dans les racines du *Q. ilex*

L'étude anatomique et l'observation des différentes coupes réalisées pour les morphotypes communs établis par les champignons symbiotiques du *Q. ilex*, révèle une structure du manteau fongique épais ou peu épais. Ces derniers présents ou pas des ornements très variées (soies au cystides de différentes forme et tailles). Le manteau est d'épaisseur variée d'un mycorhize à une autre au texture plectenchymateux à pseudo-parenchymateux. Chez les ectomycorhizes de *Q. ilex*, les coupes observées ont en majorité révélé une texture pseudo-parenchymateuse. Selon Agerer (1995), le manteau pseudoparenchymateux est plus évolué d'un point de vue structural et évolutif.

Le réseau de Hartig est le siège de tous les échanges entre la plante-hôte et son partenaire fongique. Chez la plupart des ectomycorhizes que nous avons observées, le réseau de Hartig s'étale sur une à trois couches de cellules corticales. Ceci a été rapporté par plusieurs auteurs chez les espèces de différentes familles d'angiospermes (Agerer et Rambold, 2004-2013 ; Kadi- Bennane 2016).

Nous avons observé chez la majorité des coupes des ectomycorhizes de *Q. ilex*, un allongement radiale de la première assise de cellules corticales. Ceci atteste de l'efficacité des ectomycorhizes contractées par le chêne vert. Cet allongement selon Burgess et al. (1994), traduirait l'efficacité de la symbiose et offrent une plus grande phase d'échange entre les deux partenaires (Peterson et al. 2004).

Les cellules à tanins sont tantôt absente tantôt présente. D'après Marx (1973) et Piché et al. (1983), les tanins seraient produits par la racine pour éliminer les champignons qui ne les tolèrent pas et sélectionner ainsi les champignons symbiotiques. Cependant, elle exprime l'âge de la racine puisqu'il existe aussi dans les racines non mycorhizées.

Morphotype 01 ; Ectomycorhize de *Tomentella sp* (Fig.36)

Le système mycorhizien présentait une ramification allant de simple à monopodialpinée, la surface du manteau étant généralement lisse à légèrement laineuse avec un mycélium blanc. L'axe principal avait une coloration allant du rouge au rouge pâle. Branches droites et dans certains cas légèrement tordues. Les pointes non ramifiées présentaient une nuance de rouge à brun rougeâtre et chez d'autres un rouge très foncé, les apex un brun rougeâtre, jaune et rouge foncé. La couleur des mycorhizes anciennes était rouge pâle et jaune. Au microscope, un manteau externe pseudoparenchymateux de type L a été observé : Avec des cellules globulaires en surface, contrairement au type de manteau K, celles-ci ne sont pas regroupées

mais dispersées dans tout le manteau, avec des cystides (type B ou C) de 15,45 μm de long en moyenne et le manteau interne était plectenchymateux de type B. De son côté, les jeunes branches ne présentaient pas de cystides, le manteau est pseudoparenchymateux de type L avec mycélium lâche. Manteau constitué de quatre à huit couches de cellules ovales irrégulièrement disposées de type pseudoparenchymateux, d'une épaisseur de (18,5)-27,77-(40,05) μm , présentait une fine couche de tanins. Il présentait un manteau laineux et lâche constitué d'hyphes filamenteux, hyalins, lisses et septés, avec des fibules abondantes et des hyphes épais d'une teinte brun très foncé. Le réseau Hartig a été établi dans la deuxième couche de cellules corticales.

Ces genres ont été signalés comme associés à d'autres espèces de *Quercus*, cependant, les caractéristiques morphologiques sont différentes, bien que certains caractères tendent à être spécifiques à certaines espèces (Claveria et De Miguel, 2005). Les caractéristiques communes du genre *Tomentella* sont brunes, brun foncé et dans certains cas noires, avec des rhizomorphes, en présence ou en absence de fibules et de cystides (Jakucs et *al.*, 2005a ; Agerer, 2006 ; Salgado-Salomón, 2017). L'apparition de groupes de cellules globulaires à la surface du manteau (Jakucs et Eros-Honti, 2008) et de manteaux externes pseudoparenchymateux avec des cellules angulaires à épidermoïdes (Salgado-Salomón, 2017).

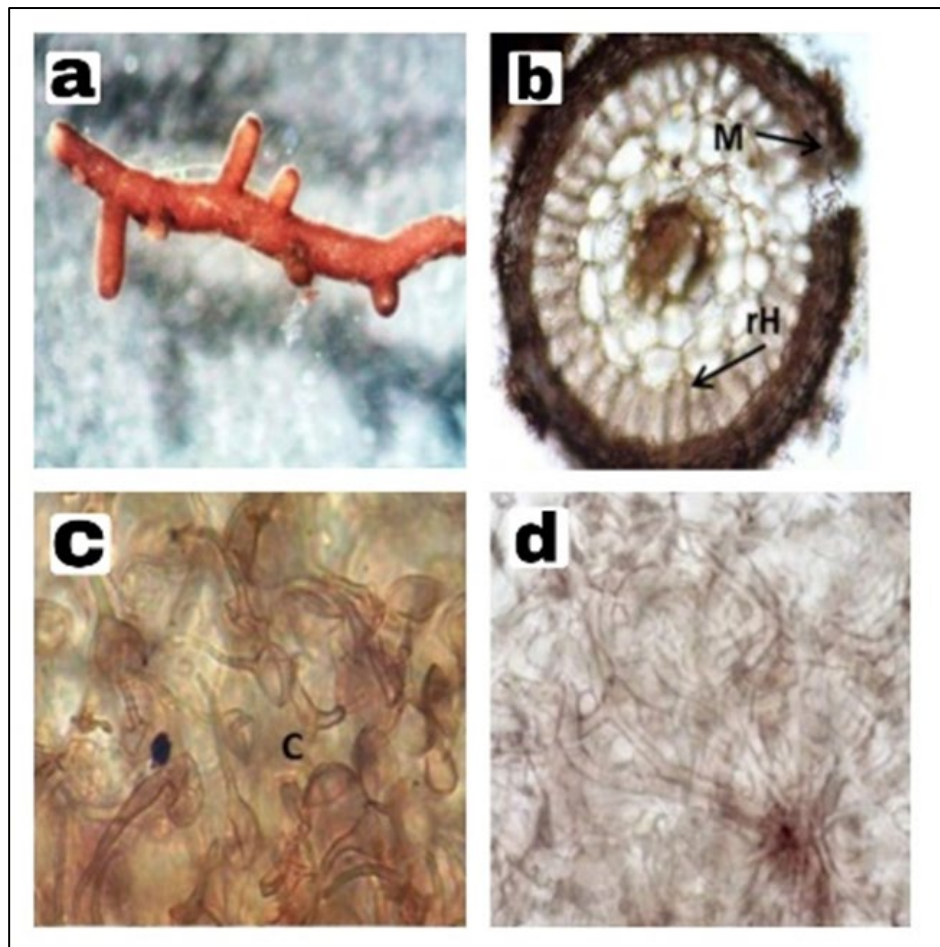


Figure 36: Morphotype 1; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe longitudinale montrant le Manteau (M) et le Réseau Hartig (rH) (20 x);c– Cystidies globuleuses (c) (100x); d– Manteau externe (40x) type L : Pseudoparenchymateux.

Morphotype 2 ; (Fig.37)

Système mycorhizien simple à penné irrégulier, l'axe principal était de couleur rosée à jaune rougeâtre et de couleur rouge jaunâtre dans les autres systèmes. Les extrémités non ramifiées étaient de couleur droite à légèrement tortueuse avec des sommets arrondis et jaune légèrement rougeâtre et jaune, dans d'autres un brun rougeâtre foncé. Un mycélium blanchâtre laineux à cotonneux a été observé, avec des particules de sol et des racines lisses dans certaines branches du système. De leur côté, les vieilles racines présentaient une couleur rouge foncé. Les hyphes émanant étaient hyalins avec des septa et il y avait des fragments de cristaux à la surface du manteau. Un manteau externe plectenchymateux de type L et un manteau interne plectenchymateux de type A ont été observés. Concernant la coupe longitudinale, le manteau était plectenchymateux avec un mycélium lâche. Le réseau Hartig englobait une à une couche et demie de cellules corticales. En coupe transversale, le manteau était plectenchymateux, avec

une épaisseur de(14,15)-24,06-(38,37) μm et le réseau Hartig englobait une à deux cellules corticales, la forme des cellules corticales était arrondie.

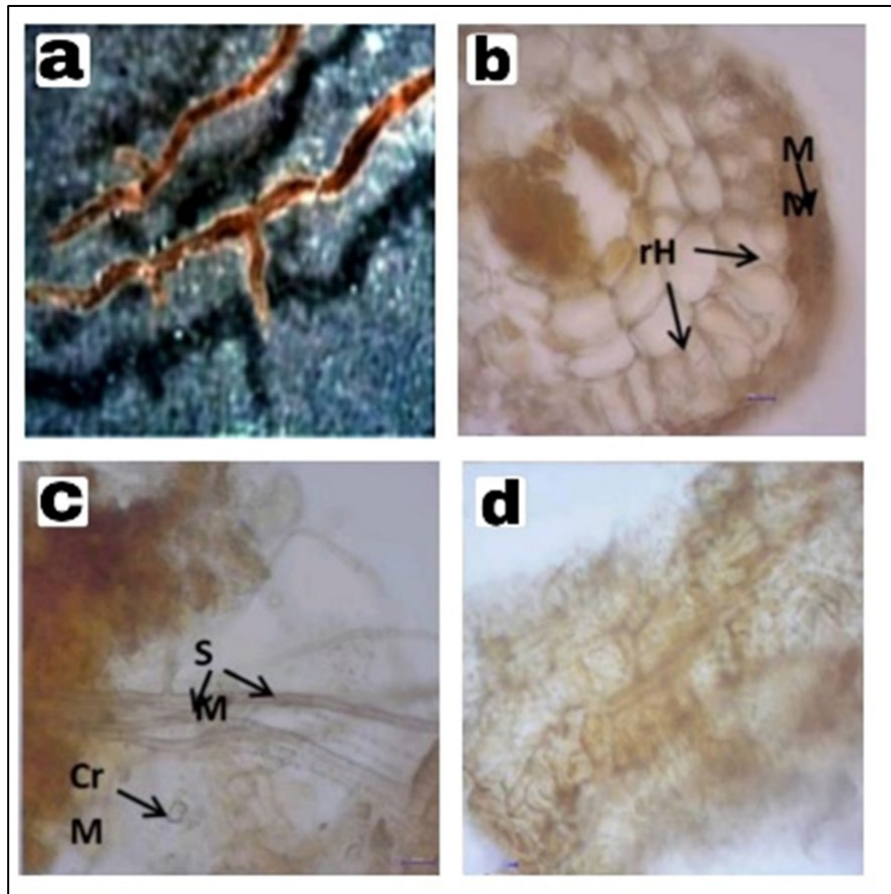


Figure 37: Morphotype 2; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe transversale montrant le réseau Hartig (rH) (40x); c– Coupe transversale montrant des particules de cristaux (Cr) et des hyphes émanants avec septa (S) (63x); d– Manteau externe (63x) de type L : Pseudoparenchymateux.

Morphotype 3 ; (Fig.38)

Mycorhize simple à monopodiale-pennée avec un manteau lisse légèrement brillant, le système mycorhizien était de couleur rouge faible à rouge, des hyphes émergents ont été observés. Les branches droites aux sommets arrondis de tons rouges à rouge faible et rouge foncé, dans certains sommets étaient jaunes. Des cystides de type G et des rhizomorphes de type A ont été observés en rouge pâle à jaune rougeâtre avec des fibules. Le manteau interne était de type plectenchymateux A et un manteau externe similaire au type K : pseudoparenchymateux, seulement dans ce cas les cystides apparaissent individuellement et non en groupes comme dans le manteau de type K. Les cellules du manteau sont de forme anguleuse et arrondie, comprenant entre quatre et cinq couches de cellules de tailles

différentes, de type pseudoparenchymateux, avec une marge irrégulière et une épaisseur de (17,20)-38,06- (54,91) μm . Le réseau Hartig comprenait deux à trois couches de cellules corticales de formes arrondies.

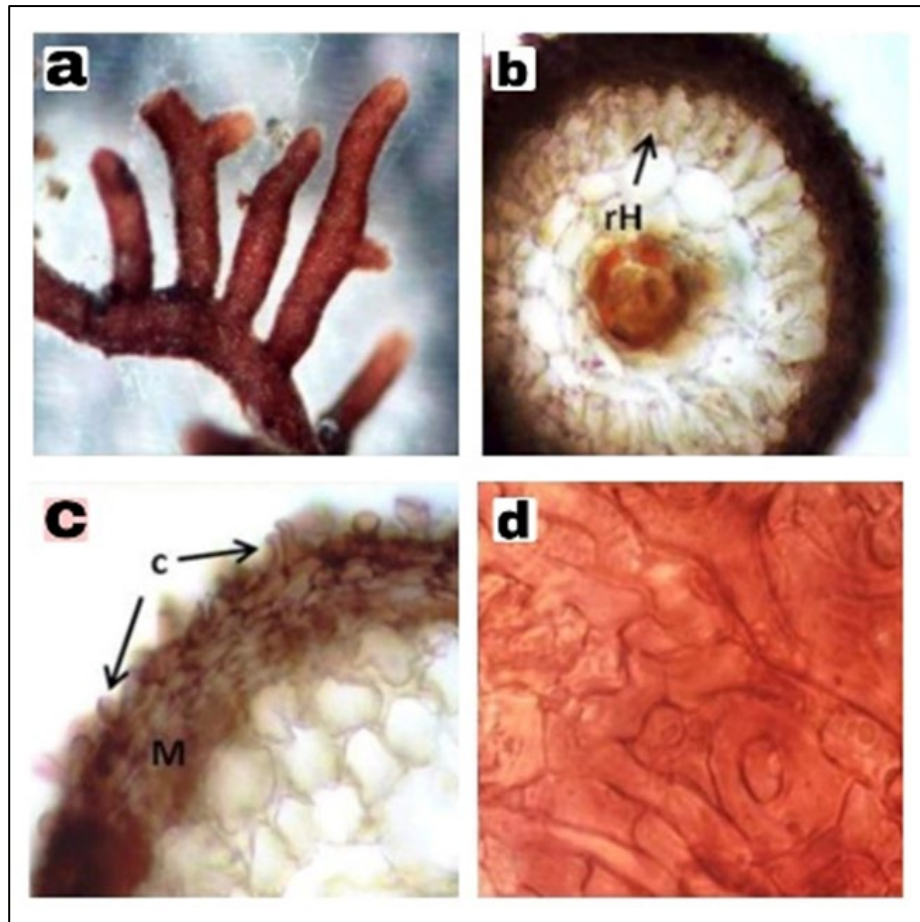


Figure 38: Morphotype 3; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe transversale (20x) montrant le réseau Hartig (rH); c– La structure du manteau (M) et des cystides (C) globuleuses est représentée (100x); d– Manteau externe (40x) type K : Pseudoparenchymateux.

Morphotype 4 (Fig.39)

Mycorhize simple à irrégulière-pennée rouge foncé à jaune à extrémités droites à torsadées, à apex cylindriques, à surface du manteau légèrement cotonneuse, à mycélium dense blanc brillant, présents sous forme de patches. Les branches avec une teinte rouge foncé et de jeunes racines jaunes, de plus, du rouge foncé, du brun rougeâtre et des apex rouges ont été observés. Jaunâtre, dans la coupe transversale, le manteau était plectenchymateux, tandis que dans la partie avec un mycélium moins cotonneux, le manteau était plectenchymateux à pseudoparenchymateux avec des cellules arrondies, avec une épaisseur de (11,80)-19,90-(29,40) μm . Le réseau de Hartig englobait deux à trois couches de cellules corticales arrondies, sa structure est de type H (Agerer, 1991) avec une couche de tanins qui atteignait la première couche de cellules du manteau. Les manteaux externe et interne sont de type A : Plectenchymateux, avec des hyphes épais sur le manteau externe orange clair.

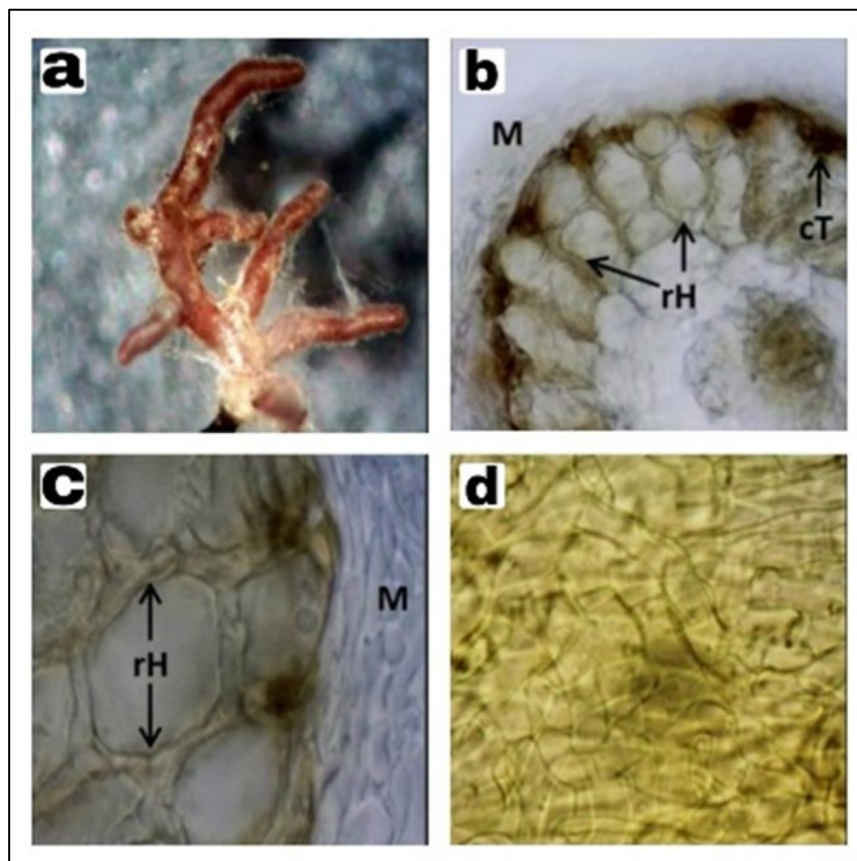


Figure 39: Morphotype 4; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe transversale montrant le manteau (M), le réseau de Hartig (rH) et une couche de tanin (cT) (40x); c– La structure du manteau (M) et le réseau de Hartig (rH) (100x); d– Manteau externe et interne (100x) type A : Plectenchymateux.

Morphotype 5 (Fig.40)

Ramification simple à dichotomique et irrégulière-pennée, le système mycorhizien était robuste, avec un manteau cotonneux avec des agrégats de sol et légèrement brillant. Axe principal du système coloré en jaune rouge faible, rouge pâle et gris foncé. Extrémités droites et légèrement tordues, non ramifiées, aux extrémités arrondies, présentant un manteau blanc avec des hyphes émanant du même ton et se terminant par un ton rouge faible, rouge pâle et un gris foncé. Les apex sont bruns et jaune rougeâtre. Les mycorhizes anciens sont noirs à rouge foncé. Le manteau interne était de type plectenchymateux E et un manteau externe de type pseudoparenchymateux M. En surface, des restes d'hyphes épais avec des péronés peuvent être observés, ainsi que des rhizomorphes rouges. En coupe transversale, les cellules arrondies à ovales formaient un type de manteau pseudoparenchymateux d'une épaisseur de (19,50)-26,45-(50,50) μm avec une marge irrégulière et lâche, avec de légères structures circulaires rouges auxquelles sont appelés tanins. De même, une couche de tanins était présente. De son côté, le réseau Hartig en coupe longitudinale couvrait une cellule corticale, de même, le réseau Hartig entoure complètement de nombreuses cellules.

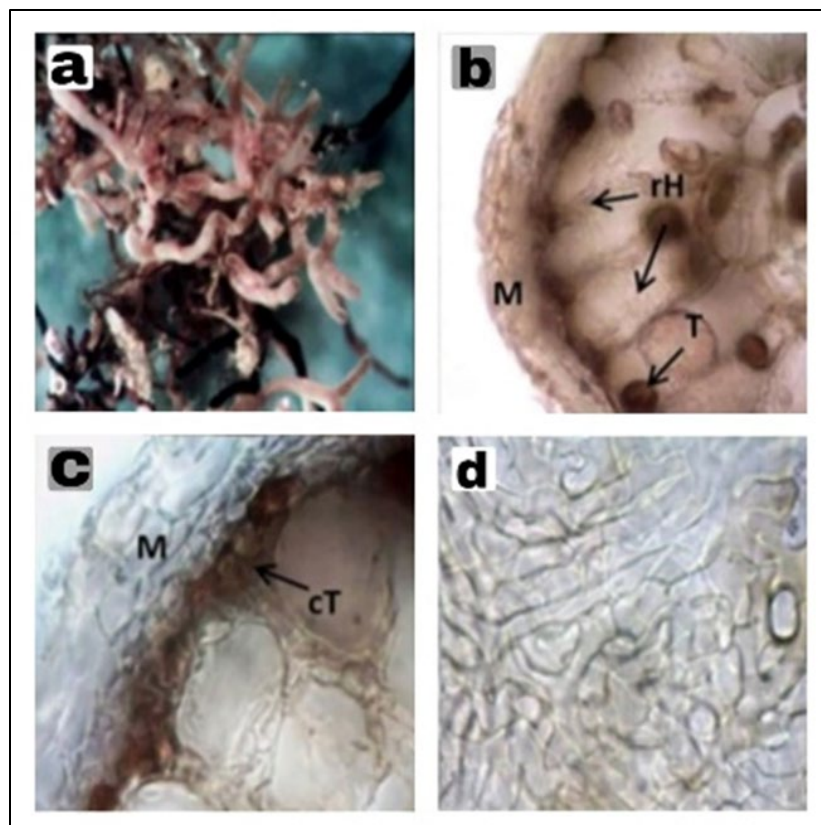


Figure 40: Morphotype 5; a- Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées. b- Coupe longitudinale montrant le manteau (M) et le réseau de Hartig (rH) enveloppant la cellule

corticale (40x); c– Montre la structure du manteau, le réseau de Hartig et la couche de tanin (cT) (100x); d– Manteau interne (100x) type E : Plectenchymateux.

Morphotype 6(Fig.41)

Ramification simple à terminaisons monopodiales-pennées, non ramifiées, droites, lisses à tomenteuses et les mycorhizes avaient peu de manteau et étaient plus brillantes. Extrémités et pointes non ramifiées jaune rougeâtre à olive chez d'autres, apex arrondis à légèrement pointus, de même, terminaisons brun rougeâtre à rouge foncé et une couleur jaune sur les autres pointes. La surface du manteau avait un aspect gélatineux et il y avait des hyphes hyalins épais et septés. En coupe transversale, le manteau présentait des cellules irrégulières arrondies à ovales, avec une texture lâche-gélatineuse de type pseudoparenchymateux à plectenchymateux à la marge, l'épaisseur était de (23,45)-40,08-(58,66) μm . Manteau externe (type B) et interne (type A) : Plectenchymateux. Le réseau de Hartig englobait deux cellules corticales arrondies et présentait une couche de tanins rouge très foncé.

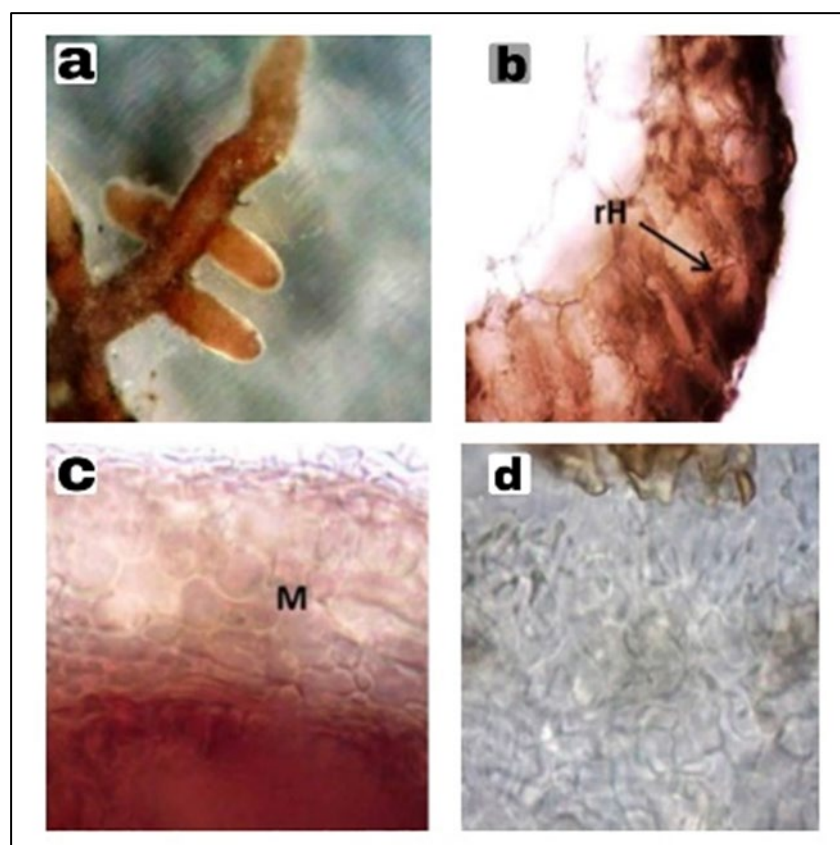


Figure 41: Morphotype 6; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe longitudinale montrant le manteau (M) et le réseau Hartig (rH) avec manteau lâche en marge (40x); c– Cystidies globuleuses (100x); d– Manteau interne (100x) type A : Plectenchymateux.

Morphotype 7 (Fig.42)

Le système mycorhizien simple à dichotomique avec des branches droites à sinueuses, une surface de manteau lisse et dans d'autres tomenteuses, avec des agrégats de sol et des branches à apex cylindriques. Système mycorhizien rouge pâle et rouge. Branches de couleur rouge pâle avec des apex rouge foncé et dans d'autres d'un rouge très foncé. De leur côté, les mycorhizes anciennes présentaient une nuance allant du noir à un rouge faible. Le manteau interne était de type A, plectenchymateux et un manteau externe était de type H, plectenchymateux. Au microscope, en coupe transversale, le manteau était pseudoparenchymateux, avec des cellules ovales à arrondies et parfois les cellules du manteau n'étaient pas observées en raison d'un manteau gélatineux de type plectenchymateux, d'une épaisseur de (21,50) -27,70-(36,15) μm . Le réseau Hartig en coupe longitudinale comprenait une couche de cellules corticales et en coupe transversale, il couvrait jusqu'à deux couches de cellules corticales arrondies, observant que les cellules étaient considérées comme faiblement rouges en raison du tanin, en plus de nombreux cellules corticales.

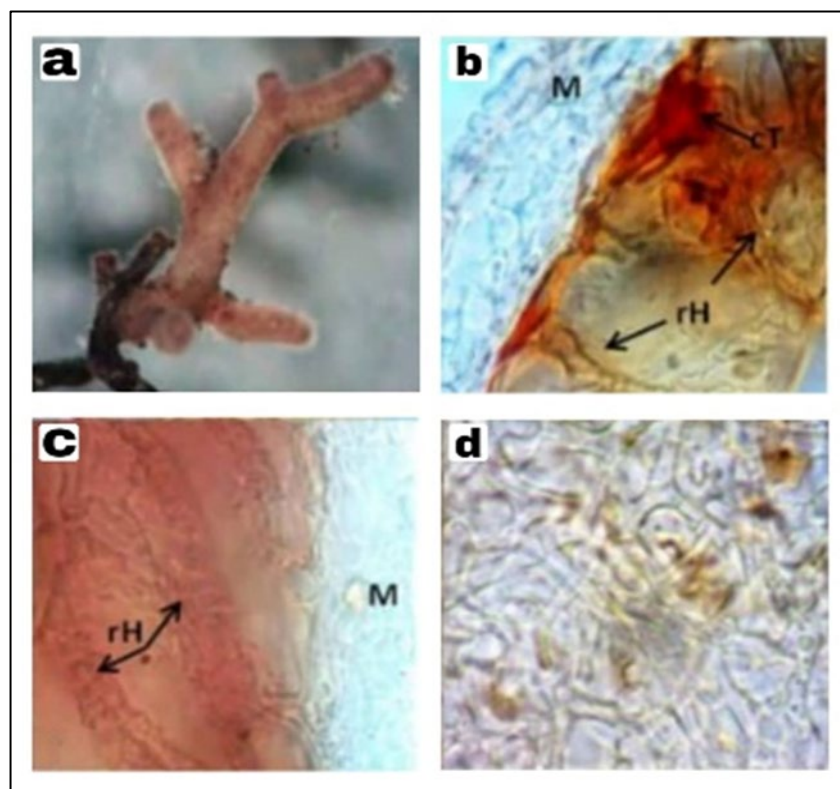


Figure 42: Morphotype 7 : a- Ectomycorrhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; .b- coupe transversale et coupe longitudinale montrant le manteau (M), le réseau Hartig (rH) et une couche de tanin rougeâtre (cT) (40x); c- La structure du manteau, le réseau de Hartig (100x); d- Manteau interne (100x) type A : Plectenchymateux.

Morphotype 8; Ectomycorhize de *Sebacina epigeae* (Fig.43)

Ramification pennée simple à monopodiale, droite, la surface du manteau lisse légèrement laineuse, le système mycorhizien avait une teinte jaune pâle avec un aspect translucide aux apex, chez certains l'axe principal avait une coloration blanche à rouge jaunâtre. Extrémités non ramifiées brun très pâle à brun jaunâtre. Les apex présentaient une couleur blanche, d'autres bruns foncé et un blanc rosé dans d'autres apex. Des cystidies de type L étaient présentes. Les parties âgées du système présentaient une faible couleur rouge. Un manteau externe pseudoparenchymateux de type Q et un manteau interne plectenchymateux de type E ont été observés, avec des hyphes cloisonnés dans les deux. De même, il y avait un réseau d'hyphes épais, avec des septa sur le manteau externe. En coupe transversale, le manteau était pseudoparenchymateux avec un mycélium légèrement laxiste, constitué de cellules ovales arrondies à irrégulières à six couches, d'une épaisseur de 13,68-(23,44)-37,13 μm , il y avait une couche de tanins rouges. Le réseau Hartig couvrait la deuxième couche de cellules corticales, celles-ci avaient une forme arrondie.

Le genre *Sebacina* présente un manteau pseudoparenchymatique, avec l'absence de rhizomorphes, émanant des hyphes sans fibules et lisses, le système mycorhizien de teinte brunâtre (Agerer, 2006). Cependant, le ton change en fonction du type d'hôte associé, qui dans certains cas a tendance à être similaire en termes de couleurs. Différentes espèces d'arbres, comme le rapportent Garibay-Orijel et al. (2013) mentionnent des colorations grisâtres et brun foncé à noires chez *Sebacinas sp.* associé à *Pinus montezumae*, avec un mycélium noir émanant. De leur côté, Baeza-Guzmán et al. (2017) chez les mycorhizes de *Pinus hartwegii*, l'espèce mycorhizienne *S. vermifera* était de couleur brun clair à brun foncé, voire blanchâtre aux extrémités. Kühdorf et al. (2014) signalent des tons jaunes, jaune pâle et blanchâtres chez les espèces identifiées comme *Sebacina sp.* associé à *Comarostaphylis arbutoides* Lindl. et *Quercus costaricensis* Liebm. Agerer et Rambold (2004-2019) citent pour *S. incrustans* (Pers.) Tul. & C. Tulle. associé à *Picea sp* les colorations jaune crème pâle ou légèrement jaunes et blanchâtres. Ils ont un manteau externe plectenchymateux de type E ou C avec un manteau interne pseudoparenchymateux de type M ou H. Moser et coll. (2009) dans la description morphologique de la maladie ectomycorhizienne associée à *Q. garryana*, signalée pour *Sebacina sp.* De teinte jaune blanchâtre à gris cannelle, branches monopodiales pennées, tortueuses à courbées, rugueuses, à manteau externe plectenchymateux et manteau interne pseudoparenchymateux.

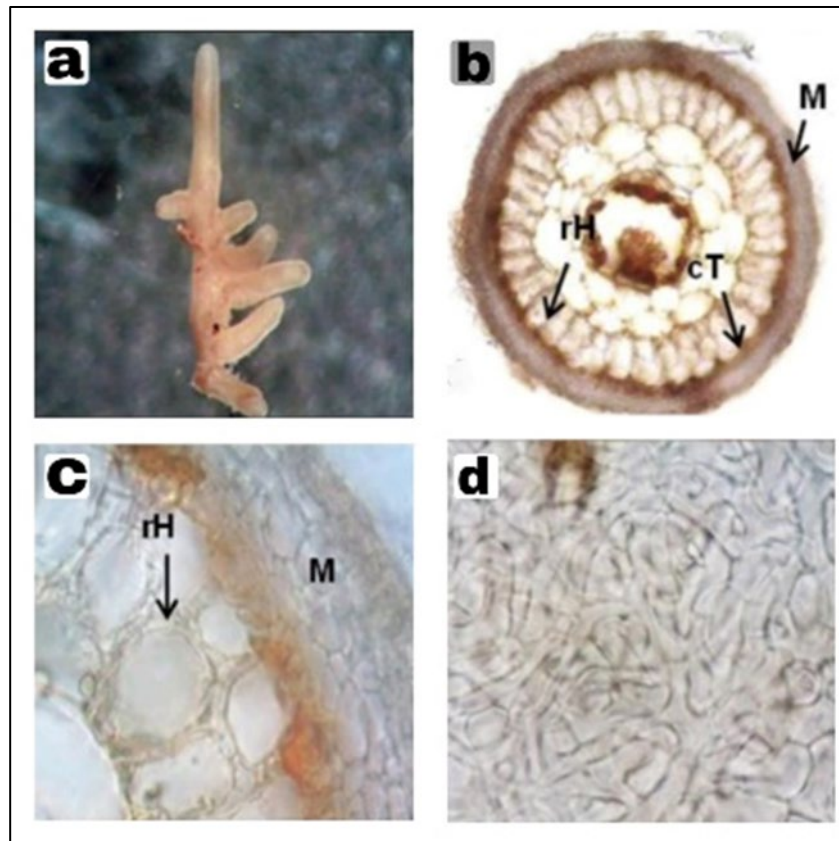


Figure 43: Morphotype 8 ; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, des caractéristiques macroscopiques sont observées (couleur, type de manteau et ramification); b– Coupe longitudinale et transversale (20x) montrant le manteau (M), le réseau Hartig (rH) et une couche de tanins (cT) ; c– Structure du manteau (M) et du réseau Hartig (rH) (100x); d– Manteau interne de type E : Plectenchymateux.

Morphotype 09 (Fig. 44)

Le système mycorhizien est simple irrégulièrement pennée, à branches droites légèrement courbées. Axe principal rouge foncé à jaune rougeâtre. Les ramifiés sont rouges à brun rougeâtre. Jeunes racines jaunes et parfois jaune pâle en raison d'un manteau fin. Le manteau externe et interne est constitué de tissus de type H plectenchymateux avec des hyphes cloisonnés et fibulés épais à la surface du manteau avec du mycélium lâche. En coupe transversale, le manteau a une épaisseur de (7,81)-1,21-(19,54) μm , composé de cellules ovales arrondies à irrégulières avec un mycélium lâche. Le réseau Hartig comprenait une à deux cellules corticales arrondies.

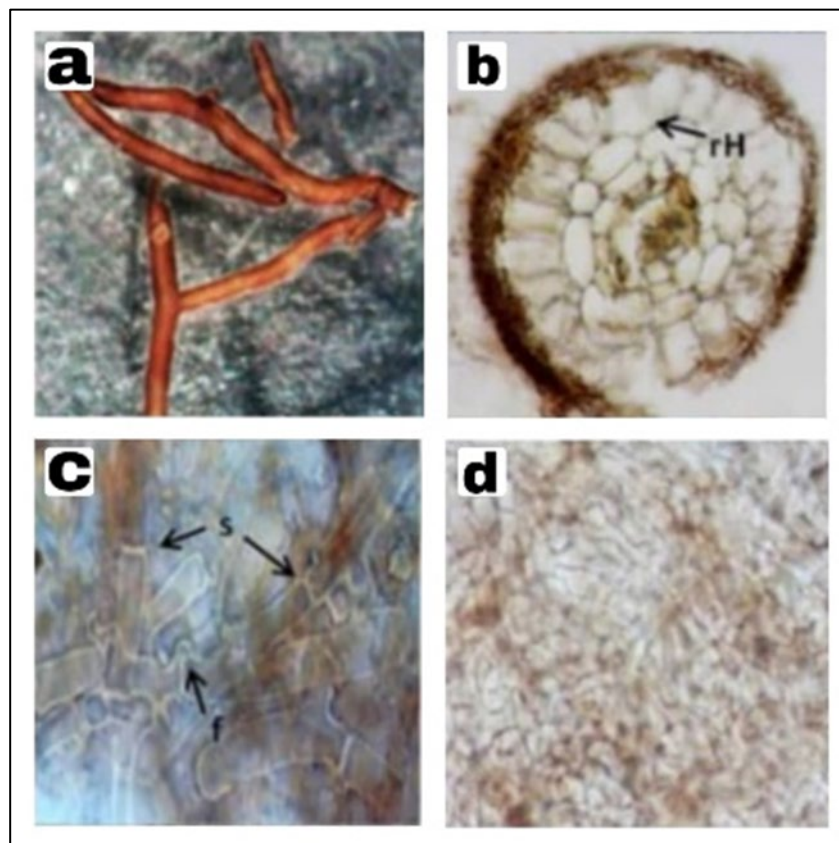


Figure 44: Morphotype 09 ; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe longitudinale montrant le manteau (M) et le réseau Hartig (rH) (40x); c– Hyphes disposés en réseau sur le manteau et avec septa (s) et péronés (f) (100x); d– Manteau externe et interne (100x) type H : Plectenchymateux.

Morphotype 10 ; (Fig.45)

Le système mycorhizien est simple, irrégulier-penné à pyramidal monopodial, légèrement brillant avec des branches droites et des sommets arrondis, la surface du manteau était lisse avec des agrégats de terre noire à brun foncé et en autres systèmes avec des tons gris rougeâtre foncé. De leur côté, les mycorhizes âgées présentaient une teinte brun rougeâtre foncé et des rhizomorphes bruns forts ont été observés, avec des hyphes émanant de couleur blanche fibulés et un petit mycélium laineux de la même couleur sur le manteau, un réseau d'hyphes d'aspect rugueux. Le manteau interne était de type plectenchymateux B et un manteau externe de type plectenchymateux H. En coupe transversale, des cellules pseudoparenchymateuses arrondies à ovales d'une épaisseur de (21,49) -29,96-(39,08) μm ont été observées dans le manteau, le réseau Hartig couvrant un à deux couches de cellules corticales dans le cas de petites cellules, la structure du réseau est de type E avec une couche

de tanins rouges et en coupe longitudinale le Réseau Hartig recouvrait la première couche de cellules corticales.

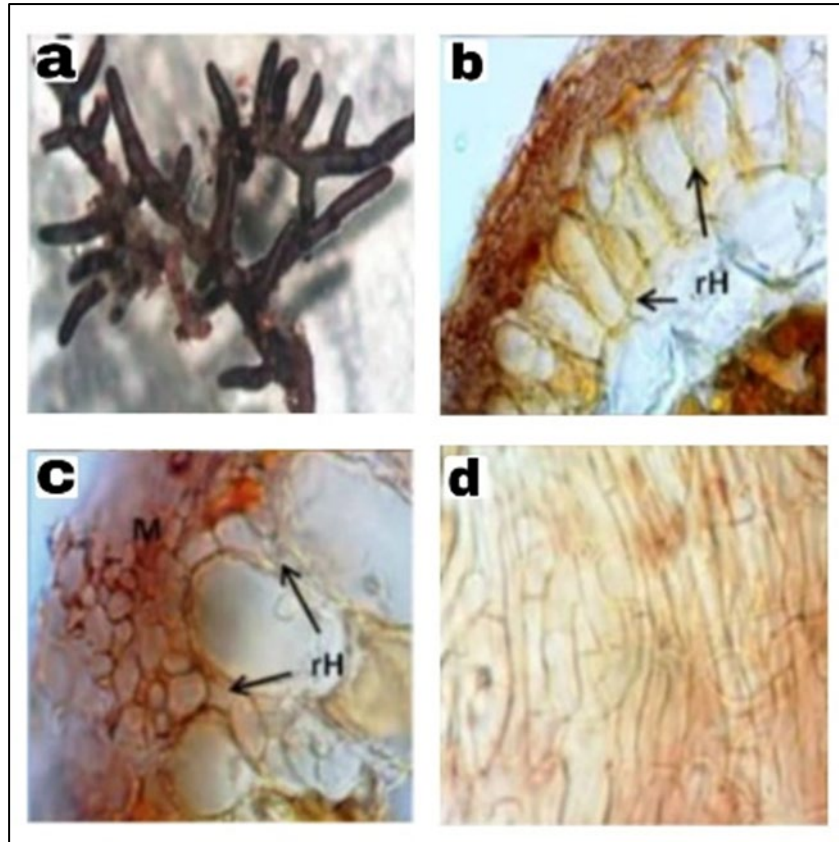


Figure 45: Morphotype 10 ; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe transversale et coupe longitudinale montrant le manteau (M), le réseau Hartig (rH) et une couche de tanin rougeâtre (cT) (40x); c– Structure du manteau (M) et réseau de Hartig (rH) (100x); d– Manteau interne (100x) type B : Plectenchymateux.

Morphotype 11 (Fig.46)

Mycorhize simple à coralloïde, surface du manteau lisse et légèrement brillante avec des agrégats de sol, avec des branches droites et des extrémités cylindriques, émettant des hyphes brun rougeâtre clair et un mycélium laineux légèrement blanchâtre. Le système mycorhizien va du brun rougeâtre au jaune rougeâtre au brun rougeâtre. Des apex ramifiés et brun rougeâtre, émanant d'hyphes hyalins semblables aux cystidies de type A, étaient présents. Le manteau interne plectenchymateux de type B et le manteau externe plectenchymateux de type A avec un réseau d'hyphes septés épais sur le manteau. En coupe longitudinale, il présentait un manteau pseudoparenchymateux, le réseau de Hartig englobait une cellule corticale, il y a des cellules tannifères. De son côté, en coupe transversale un manteau de cellules arrondies à ovales, de type pseudoparenchymateux d'une épaisseur de (11,72)-21,52-(39,08) μm et le Réseau Hartig recouvrait deux couches de cellules corticales arrondies.

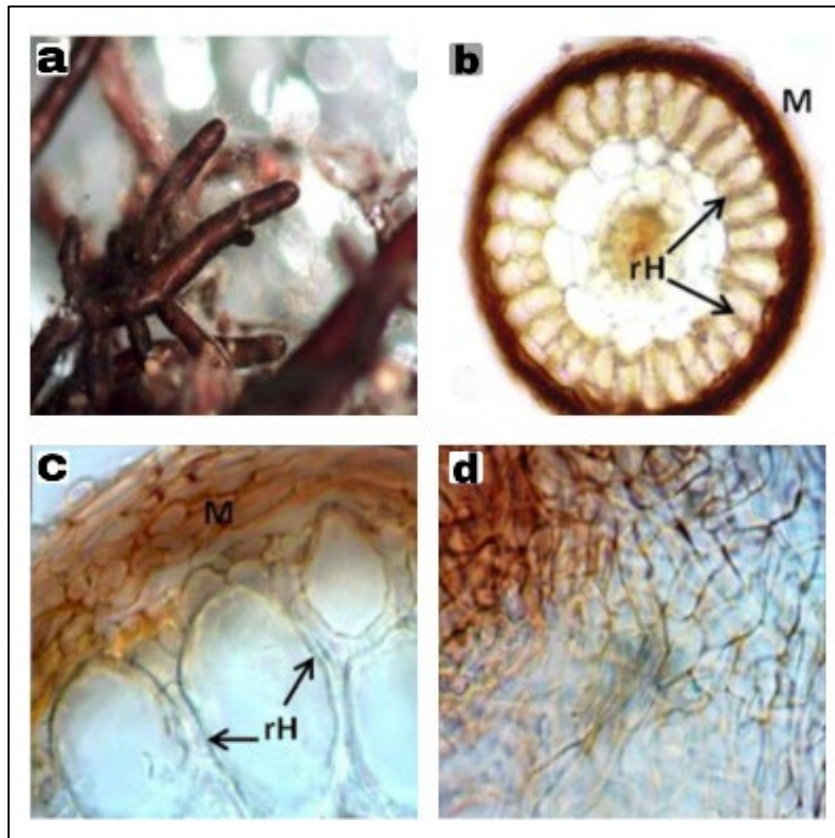


Figure 46: Morphotype 11 ; a– Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques macroscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b– Coupe transversale et coupe longitudinale montrant le manteau (M), le réseau de Hartig (rH) et les tanins arrondis (T) (40x); c– La structure du manteau et le réseau de Hartig sont observés (100x); d– Manteau interne (100x) type B : Plectenchymateux.

Morphotype 12 ; (Fig.47)

Mycorhizes à trois types de branches simples, irrégulières-pennées et monopodialpinées, de teinte brun rougeâtre foncé, présentant un manteau jaune pâle dense et brillant, et dans d'autres systèmes un manteau tomenteux à couleur jaune à rhizomorphes jaunes. Les apex présentaient des terminaisons arrondies allant du rouge jaunâtre au gris rougeâtre foncé et ceux avec le manteau tomenteux de couleur jaune. De leur côté, les racines vieilles ont une tonalité jaune et un rouge faible. Les manteaux externe et interne étaient de type plectenchymateux H, tandis que le manteau externe présentait un réseau d'hyphes avec des septa à la surface du manteau. Le manteau en coupe transversale était constitué de cellules pseudoparenchymateuses rondes à ovales, irrégulièrement disposées, d'une épaisseur de (15,72) -33 - (60,60) μm . Le réseau Hartig englobait une à deux cellules corticales et présentait une couche de tanins de faible teinte rouge.

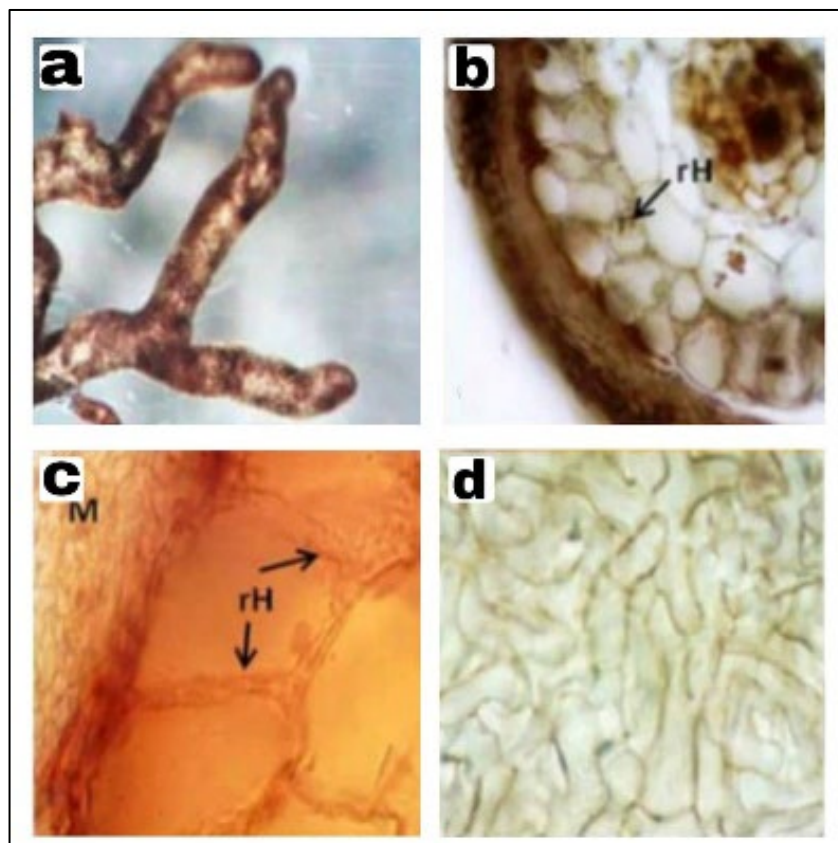


Figure 47: Morphotype 12 ; a- Ectomycorhize vue au microscope stéréoscopique, les caractéristiques microscopiques (couleur, type de manteau et ramification) sont observées; b- Coupe transversale montrant le manteau (M) et le réseau Hartig (rH) (40x); c- Structure du rhizomorphe (r). (40x); d- Manteau externe et interne (40x) type H: Plectenchymateux.

Conclusion

Conclusion

Malgré les limites méthodologiques développées tout au long du document, nous sommes parvenus à trouver des résultats intéressants sur la diversité des basidiomycètes dans les forêts domaniales de Tebessa. Ce travail a permis d'un enrichissement d'un herbier, aussi une actualisation de la connaissance sur les champignons.

Ce travail a prouvé que l'étage bioclimatique actuel de la région de Tebessa est aride.

Si l'on compare notre travail aux études antérieures réalisées en Algérie, on peut noter les points suivants :

Les études réalisées en Algérie par des mycologues renommés (René Maire, Malençon et Bertault) au début du siècle dernier s'appuyaient sur les méthodes anatomo-morphologiques et de nombreuses descriptions des espèces trouvées ont été publiées. Aucune étude spécifique de la mycoflore de la forêt mixte de chêne vert, pin d'Alep de la wilaya de Tebessa n'avait été publiée.

Un inventaire de la mycoflore du *Cedrus atlantica* de Nezzar-Hocine et al, (1998) du massif du Djurdjura en Algérie a été réalisé, mais le sol étudié (acide) et l'hôte (cèdre) étant très différents et la quasi-totalité des espèces mentionnées diffèrent de celles que nous avons identifiées. De plus Ils n'ont pas concentré leurs études sur l'importance de l'utilisation des champignons ectomycorhiziens comme bio-indicateurs des milieux et de ce point de vue, nous confirmons que les forêts de chênes verts de la wilaya de Tebessa, au Nord-Est de l'Algérie, sont confrontées à un problème croissant de dégradation environnementale due à des causes anthropiques, auquel on n'a pas accordé l'importance qu'il mérite. Cependant, avec ce travail nous prouvons que le site offre des opportunités d'utilisation de champignons ectomycorhiziens comme bio-indicateurs pour la restauration écologique.

Même lorsque davantage de champignons ont été détectés qui pourraient aider à la restauration ou à des projets connexes, nous pouvons affirmer qu'ils ne représentaient pas le groupe d'intérêt proposé par les objectifs, car ils ne répondaient pas aux deux caractéristiques souhaitées.

L'index généré est un bon option de systématiser la recherche de champignons ectomycorhiziens de restauration écologique, car elle offre la possibilité d'inclure d'autres caractéristiques souhaitables ou conformes aux objectifs des projets. Par conséquent, nous exhortons davantage de chercheurs à mettre en œuvre son utilisation.

Conclusion

Perspectives

Notre étude n'est pas exhaustive et notre échantillonnage représente certainement qu'une petite partie de la richesse fongique de la wilaya de Tebessa. D'autres espèces candidates pour la mycorhization des jeunes plants de chêne vert pourront sans doute être identifiées. En particulier, les mycorhizes présentes sur les racines de jeune chêne vert issus de semis naturels devront être étudiées pour déterminer les espèces fongiques associées aux premiers stades de développement de ces arbres.

Il s'agit d'une part l'utilisation de la biologie moléculaire pour identifier, la mycoflore des forêts de la wilaya de Tebessa dans le Nord-Est algérien et de repérer des espèces potentiellement mycorhiziennes, et de démontrer le potentiel de l'utilisation de la biologie moléculaire à l'aide de gènes spécifiques aux basidiomycètes, pour la détermination des espèces caractéristiques de cette zone semi- aride à partir d'un d'échantillonnage de sporophores.

Références Bibliographiques

- Adrien C, 2013. Impact de l'approche moléculaire sur la classification des Agaricomycetidae, thèse de doctorat en pharmacie, France, 95 p.
- AFNOR. 2004. Détermination de la distribution granulométrique des particules du sol (NF X 31 107). In : Evaluation de la qualité des sols. Volume 1 : Méthodes d'analyse chimique. AFNOR (Ed.). Paris.
- Agerer R., 1988-1990. Colour atlas of ectomycorrhizae, Agerer (ed.). einhorn-Verlag, Schwabish Gmund.
- Agerer, R. 1991. Characterization of Ectomycorrhiza. Methods in microbiology, volume 23.
- Agerer R., 1995. anatomical characteristics of identified ectomycorrhizas : an attempt towards a natural classification. In : Mycorrhiza : structure, function, molecular biology and biotechnolog. A. Varma & B Hock (eds). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 85-734 p.
- Agerer, R. 2006. Fungal relationships and structural identify of their ectomycorrhizae. *Mycol Progress*. 5:67-107 p.
- Agerer, R. ed. 1987–2012. Colour Atlas of Ectomycorrhizae, 1st – 15th del., Einhorn-Verlag, Schwäbisch Gmünd.
- Agerer, R., et G. Rambold. 2004-2019. DEEMY-An information System for Characterization and Determination of Ectomicorrhizae.
<http://www.deemy>
- Aimé, S. 1991. Étude écologique de la transition entre les bioclimats subhumide, semi-aride et aride dans l'étage thermo-méditerranéen du tell Oranais (Algérie occidentale). Thèse Doctorat, Univ. d'Aix-Marseille III, Faculté de Droit, d'Économie et des Sciences, 194 p.
- Alarcón, A. 2007. Micorriza arbuscular. In: Ferrera-Cerrato, R. et Alarcón, A. (eds.). Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta- microorganismo. *Trillas*. 90-119 p.
- Alvarado-Rosales, D., Saavedra-Romero, L., Almaraz-Sánchez, A., Tlapal-Bolaños, B., Trejo-Ramírez, O., Davidson, J. M., Kliejunas, J. T., Oak, S., O'Brien, J. G., Orozco-Torres, F. et Quiroz-Reygadas, D. 2007. Agentes asociados y su papel en la declinación delgado y muerte de encinos (*Quercus*, fagaceae) en el centro-oeste de México. *Polibotánica*. 23:1-21 p.
- Arnolds E. 1992. The analysis and classification of fungal communities with special reference to macrofungi. In : Winterhoff, W. – Fungi in vegetation science. Handbook in vegetation science, 19: 113–149 p.
- Attal-Bedreddine A., 1994. Contribution à l'étude des insectes du chêne vert, *Quercus ilex L.*, dans le parc national de Chréa- Thèse de Magister. Inst. Nati. Agro. El-Harrach, Alger. 97 p.
- Azul, A. M., Castro, P., Sousa, J. P., Freitas, H. 2009. Diversity and fruiting patterns of ectomycorrhizal and saprobic fungi as indicators of land-use severity in managed woodlands dominated by *Quercus suber*—a case study from southern Portugal. *Canadian journal of forest research*, 39 (12) : 2404–2417 p.
- Bâ A., Duponnois D., Diabaté M. & Dreyfus B., 2011. Les champignons ectomycorrhiziens des arbres forestiers en Afrique de l'Ouest : Méthodes d'étude, diversité, écologie, utilisation en foresterie et comestibilité, IRD, 268 p.
- Bâ A., Duponnois R., Moyersoen, Abdala G. & Diédhiou A., 2012 a. Ectomycorrhizal symbiosis of tropical African trees ? *Mycorrhiza*, 22, 1 -29 p.
- Baeza-Guzmán, Y., Medel-Ortiz, R. & Garibay-Orijel, R. 2017. Caracterización morfológica y genética de los hongos ectomicorrízicos asociados a bosques de *Pinus hartwegii* en el

- Parque Nacional Cofre de Perote, Veracruz. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88:41-48 p.
- Baise D., 2000. Guide Des Analyses En Pédologie 2^{ème} (Ed). I.N.R.F. Paris.172 p.
- Baize, D et Jabiol, B. 1995. Guide pour la description des sols: Techniques et pratiques.
- Barbero M., Loisel R. ,1980. Le chêne vert en région méditerranéenne. *Revue forestière de France* .N°6, 531-543 p.
- Barkman J.J. 1976. Algemeene inleiding tot de ecologie van macrofungi. *Coolia*, 19: 57–66 p.
- Barry, J.P. Celles, J.C et Faurel, L. 1976. Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques - Feuille d'Alger au 1/1.000.000., Soc. Hist. Nat. Nord, Alger. 42 p.
- Beddiar A., 2003. Les symbioses racinaires chez les principales essences forestières spontanées ou introduites dans le Nord–Est algérien (étude particulière de la symbiose quadriparti chez l’aulne glutineux). Thèse Doctorat d’Etat, Univ. Badji Mokhtar, Annaba, Algérie. (non paginer)
- Benazza-Bouregba M, Savoie JM, Fortas Z, Billette C, 2016. A new record of *Tricholoma caligatum* (Tricholomataceae) from North Africa with a discussion of related species. *Phytotaxa.*, 282: 119-128 p.
- Ben Hassine Ben Ali, M., Aschi–Smiti, S. 2013. Mycocoenologic study of the macrofungi on the forest of Jbel elbir (Ain Draham, Jendouba, Tunisia). *African Journal of Ecology*. 1: 9 p. doi: 10.1111/aje.12080
- Benarfa N., 2005. Inventaire de la faune apoidienne dans la région de Tébessa. Thèse Magister, Univ. Constantine, 123 p.
- Benazza-Bouregba, M., 2017. Inventaire et identification des Basidiomycetes de la forêt de M’sila (Oran), Doctoral dissertation, Ahmed Ben Bella University of Oran.
- Bessette, A., W.C., Roody & A.R., Bessette, 2000. North American Boletes: a Color Guide to the Fleshy Pored Mushrooms, Syracuse University Press, New York, USA, 396 p.
- Biolabo. 2011a. Fer. Méthode directe (fèrene). www.biolabo.fr
- Biolabo. 2011b. Phosphore Inorganique Méthode U.V. www.biolabo.fr
- Boa, E. R. 2004. Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people.
- Boling, B.C., Naab, F.U; Smith, D., Duggan J.L. & McDaniel, F.D. 2006. Leaf elemental analysis in mycorrhizal post oak seedlings. *Nucl. Instr. And Meth. In Phys. Res. B* 251:182-190 p.
- Bordenave, B. G. et DE Granville, J. J. 1998. Les mesures de la biodiversité : un outil de conservation en forêt guyanaise. *JATBA, Revue d'Ethnobiologie*, 40: 433–446 p.
- Boudy, P. 1950. Économie forestière Nord–Africaine. Monographie et traitement des essences. Tome II, Fascicules 1, Larose Ed., Paris, 525 p.
- Bouguessa-cheriak L., Contribution à l’identification des ectoparasites de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia* L., 1758) en milieu urbain à Tébessa (extrême EST de l’Algérie), Premier Congrès Nord-Africain d’Ornithologie, Quatrième Colloque International d’Ornithologie Algérienne, Bejaia: 24 et 25 octobre 2017.
- Brazel, A. 2006. “The Encyclopedia of World Climatology. Encyclopedia of Earth Sciences Series.” *Annals of the Association of American Geographers*, 96 (4): 829–30. Doi:10.1111/j.1467–8306.2006.00517_1.x.
- Bruns, T.D., L.C. Grusiba, J.M. Trappe, J.F. Kerekes & E.C. Vellinga, 2010. *Suillus quiescens*, a new species commonly found in the spore bank in California and Oregon, *Mycologia*, 438–446 p.
- Burgess T., Dell B., Malajczuk N., 1994. Variation in mycorrhizal development and growth stimulation of 20 isolates of *Pisolithus* inoculated onto *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *New Phytologist*, 127:731-739 p.
- Cairney, J. W. G. and S. M. Chambers. 1999. Ectomycorrhizae fungi: Key genera in profile.

- Ed. Springer. Berlin. 369 p.
- Camus A., 1939. Les chênes. Ed. Lechavalier, T.II, 830 p.
- Carrasco-Hernández, V., Pérez-Moreno, J., Espinosa-Hernández, V., Almaraz-Suárez, J. J., Quintero-Lizaola, R. & Torres-Aquino, M. 2010. Caracterización de micorrizas establecidas entre dos hongos comestibles silvestres y pinos nativos de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(4): 567-577 p.
- Chamley H. 1966. Guide des techniques du laboratoire de Géologie Marine de Luminy'', 198 p.
- Champon B, 2009. Clef d'identification systématique, université Joseph Fourier, France, 1-95 p.
- Chehema, A. 2005. Etude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara septentrional Algérien cas des régions de Ouargla et Ghardaïa. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- Chung, G. P. 2005. Hongos micorrícicos comestibles: Opción productiva aplicada a las plantaciones forestales. Aspectos generales. 1ª edición. Instituto forestal. Concepción. Chile. 1-61 p.
- Comandini O, Pacioni G, Rinaldi AC. 2012. An assessment of below-ground ectomycorrhizal diversity of *Abies alba* Miller in central Italy. *Plant Biosystems* 135: 337–350 p.
- Clavería, V. & De Miguel A. M. 2005. Diversidad ectomicorrícica en una formación natural de carrasca (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.). En: 4º Congreso Forestal Español: CD de Actas; 2005 Sep 26-30; Zaragoza, España. Zaragoza: Sociedad Española de Ciencias forestales.
- Courtecuisse R, Duhem B. 1995. Mushrooms & toadstools of Britain and Europe. London: HarperCollins.
- Courtecuisse, R., Duhem, B., 2013. Champignons de France et d'Europe, Delachaux et Niestlé, France.
- Cypress Diagnostics. 2010. Calcium—Arsenazo III. <https://diagnostics.be>
- Cypress Diagnostics. 2016a. Potassium – sodium tétraphénylboron. <https://diagnostics.be>
- Cypress Diagnostics. 2016b. Sodium – magnésium acétate d'uranyl. <https://diagnostics.be>
- Cypress Diagnostics. 2019. Magnésium – xylidyl bleu EGTA. <https://diagnostics.be>
- Dahmani -Megrerouch, 1984. Contribution à l'étude des groupements à chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lamk) des monts de Tlemcen (ouest Algérien) approche phytoécologies et phytosociologiques .Thèse. Doct. 3^{ème} cycle. Inst .Bio. USTHB. 238 p.
- Dahmani-Megrerouch, 1997. Le chêne vert en Algérie- Syntaxonomie, Phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse. Doct. Etat. Inst .Bio. USTHB. Alger. 384 p.
- Dajoz R., 1971 - Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434 p.
- Dajoz R., 1975- Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 549 p.
- Dajoz R., 1982-Précis d'écologie. Éd. Gauthier-Villars, Paris, 503 p.
- Dajoz R., 1985- Précis d'écologie. Ed. © BORDAS, Paris, 505 p.
- De Kesel A., Codjia J.T.C. & Yorou S.N., 2002. Guide des champignons comestibles du Bénin Cotonou, République du Bénin, Jardin Botanique National de Belgique et Centre International d'Écodéveloppement Intégré (CECODI). Impr. Coco-Multimedia, 275 p.
- Delgado F., A., Villegas R., M., & Cifuentes B., J. 2005. *Glosario ilustrado en Basidiomycetes con himenio laminar*. Las Prensas de Ciencias.
- De Martonne E., 1942. Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. In: *Annales de Géographie*, t. 51, (288) : 241–250 p.
- Doi : 10.3406/geo.1942.12050
- Diédhiou A.G., Ebenye H.C.M., Selossé M A., Awan A.N.O. & Bâ A.M., 2013. Diversity and community structure of ectomycorrhizal fungi in mixed and monodominant African tropical rainforest, In *Tropical and Neotropical forest*. (eds) Bâ AM, McGuire KL and Diédhiou AG (2013) CRC Press.
- Díez, J. 2005. Invasion biology of Australian ectomycorrhizal fungi introduced with eucalypt

- plantations into the Iberian Peninsula. *Biological Invasions* 7:3-15 p.
- Djelloul, R., 2014. Cartographie des champignons au niveau du Parc National d'El Kala (Nord Est Algérien) (Doctoral dissertation, Univ. Badji Mokhtar, Annaba).
- Djelloul, R., Samraoui, B. 2011. Distribution and ecology of the superior mushrooms of the Aulnaie of Ain Khiair (El Kala National Park, Northeastern Algeria). *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(6): 448–456 p. doi.org/10.1080/14772000.2014.967823
- Dommergues Y. & Mangenot F., 1970. *Écologie Microbienne du sol*. Masson, Paris, 796 p.
- Dorleans, G., 1972. Étude mycologique – Région de Chréa. *Ann. L'Institut Natl. Agron. El Harrach*, 27–42 p.
- Durand, M, 1969. Les sols d'Algérie *Annale de Géographie* E 42 ; No 239, 56 – 58 p.
- Emberger L, 1955. Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Lab. Bot. Geo. Zool; Fac. Sci. Univ. Montpellier*, Fasc. 1 – 43 p.
- Estrada-Torres, A. 2003. Ecología de los hongos ectomicorizógenos. En: A. Estrada-Torres; G. Santiago-Martínez (eds). *Avances en el Estudio de la Ectomicorriza en el Estado de Tlaxcala, México*. UAT, SIZA, *Fundación Produce Tlaxcala*, A.C. México. 26-34 p.
- Eyindong H, Degreef J, De Kesel A, 2011. Champignons comestibles des forêts denses d'Afrique centrale, taxonomie et identification. *ABC Taxa.*, **10**: 262 p.
- Eyssartier, G., Pierre, R., 2017. *Le guide des champignons France et Europe 3100 espèces 1500 photos*, 4th ed. Belin, Paris, France.
- Falissard B., 1998. Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie. Collection Evaluation et Statistique. Masson (ed.), Paris, 332 p.
- Frutis M., I., & Huidobro S., M. E. 2013. *Micología básica Manual Teórico Práctico*. FES Iztacala.
- Galindo-Flores, G., Castillo-Guevara, C., Campos-López, A. y Lara, C. 2015. Caracterización de las ectomicorizas formadas por *Laccaria trichodermophora* y *Suillus tomentosus* en *Pinus montezumae*. *Botanical Sciences*. 93(4):855–863 p.
- Garbaye J. 2013. La symbiose mycorrhizienne. Synthèse edit-Quae. 251p.
- Garibay-Orijel, R., Morales-Maranon, E., Domínguez-Gutiérrez, M. & Flores-García, A. 2013. Caracterización morfológica y genética de las ectomicorizas formadas entre *Pinus montezumae* y los hongos presentes en los bancos de esporas en la Faja Volcánica Transmexicana. *Rev. Mex. Biodiv.* 84(1):153-169 p.
- Garnica S., Weiß M., Oertel B., Oberwinkler F. 2005. A framework for a phylogenetic classification in the genus *Cortinarius* (Basidiomycota, Agaricales) derived from morphological and molecular data. *Can. J. Bot.*, 83: 147–1477 p.
- Gerhardt E, 2008. *Guide Vigot des champignons, plus de 1200 espèces, plus de 1000 photos couleur*. Vigot, Paris, 714 p.
- Gianinazzi P & Trouvelot A., 1982. Mycorrhizae, an integral part of plants: biology and perspectives of their use. INRA –Presses, Paris-France.
- Gomes-Luna, B.E., Vázquez-Marrufo, G., Herrera-Méndez, C.H., Hernández-Morales, A., & Olalde-Portugal, V., 2012. Utilización de marcadores moleculares para el estudio de hongos basidiomicetes silvestres. *Ra Ximhai*, vol.8 (3):131–141 p.
- Guillaumin, D. 1980. *La pratique du microscope électronique à Balayage en Biologie* Paris, Masson.
- Guinberteau, J., Courtecuisse, R., 1997. Diversité des champignons (surtout mycorrhiziens) dans les écosystèmes forestiers actuels. *Revue forestière française*, 49: 25–39 p.
- Guminska B., 1962. The fungi of the bach forests of Rabsztyn and Maciejawa. *Monogr.Bot.*, 13,3-85 p.
- Heckman, S. D., M. D. Geiser, R. B. Eidell, L. R. Stauffer, L. N. Kardos, & S. B. Hedges. 2001. Molecular evidence for the early colonization of land by fungi and plants. *Science*

- 293:1129-1133 p.
- Huang, J., Nara, K., Zong, K., Wang, J., Xue, S., Peng, K., Shen, Z. & Lian, C. 2014. Ectomycorrhizal fungal communities associated with Masson pine (*Pinus massoniana*) and white oak (*Quercus fabri*) in a manganese mining region in Hunan Province, China. *Fungal Ecology* 9:1-10 p.
- Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org/>). Consulté le 25/12/2021.
- Jakucs, E., Kovács, GM, Agerer, R. 2005a. Morphological-anatomical characterization and molecular identification of *Tomentella stuposa* ectomycorrhizae and related anatomotypes. *Mycorrhiza* 15:247- 258 p.
- Jakucs, E. & Erős-Honti, Z. 2008. Morphological-anatomical characterization and identification of *Tomentella* ectomycorrhizas. *Mycorrhiza*. 18:277-285 p.
- Khelili, N., & Houhamdi, M. 2019. Etude écologique de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) Dans les Hauts Plateaux algériens.
- Krioui, A., & Akroum, S. E. 2010. Utilisation des champignons en industrie alimentaire. Doctoral dissertation, université de jijel.
- Krishna G, Samatha B, Himabindu SV, Prasad MR, Rajitha B, Charaya MAS, 2015. Macrofungi in some forests of Telengana State, India. *J. Mycol.*, 2015: Article 382476.
- Kühdorf, K., Münzenberger, B., Begerow, D., Karasch-Wittmann, C., Gómez-Laurito, J. & Hüttl, F. R. 2014. *Sebacina* sp. is a mycorrhizal partner of *Comarostaphylis arbutoides* (Ericaceae). *Mycol. Progress*.12 p.
- Kuo, M., The genus *Suillus*, 2004.
<http://www.mushroomexpert.com/Suillus.html>
- Lange L., 2014. The importance of fungi and mycology for addressing major global challenges, *IMA Fungus*, 5, 2, 463- 471 p.
- Lanier L, Bondoux P, Joly P et Bellemère A., 1976. Mycologie et pathologie forestières. Ed. Masson. Paris. Tome II. 478 p.
- Largent, D. L., D. Johnson y R. Watling, How to identify mushrooms to genus III: microscopic features, 3rd ed. Eureka: Mad River Press Inc. Eureka, USA, 1977, 148 p.
- Lavoir A.V., 2004. Résistance au stress thermique et lumineux et émissions de CO₂ chez deux espèces de chêne méditerranéens (*Quercus ilex* et *Quercus suber*). Thèse. DEA. Univ. Marseille. 50 p.
- Le Poutre B. & Chilvers G. A ; 1968. Some distinctive types of encalypt mycorrhiza. *Aust. J. bot* 16. 49-70 p.
- Leski, T., Pietras, M, and Rudawska, M. 2010. Ectomycorrhizal fungal communities of pedunculate and sessile oak seedlings from bare-root forest nurseries. *Mycorrhiza*. 20:179-190 p.
- Leutreuch- Belarouci N., 1995. Sylviculture spéciale- Eléments de réflexion de la mise en valeur des taillis de chêne vert. Etude d'un cas concret. Ed. Office des publications universitaires. Alger. 69 p.
- Losange, 2015. Guide encyclopédique des champignons. Artémis, Chamalières France, 320 p.
- Louni D., 1994. Les forêts algériennes. Forêt Méditerranéenne.XV (1). 59-63 p. fhal-03557266f
- Maire R., 1916. Les champignons vénéneux d'Algérie. *Thèse, Doctorat en Médecine, Université d'Alger*, 81 p.
- Maire, R., Excursions mycologiques de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord dans la forêt de la Réghaia les 18 novembre 1923 et 23 novembre 1924. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord* 18, 1927, 121–124 p.
- Maire, R., 1927. Excursions mycologiques de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord dans la forêt de la Réghaia les 18 novembre 1923 et 23 novembre 1924, *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, vol. 18, 121–124 p.

- Maire R., 1931. Les progrès des connaissances botaniques en Algérie depuis 1830. *Coll. Du Centenaire de l'Algérie, Masson Ed.*, 231 p.
- Maire R., 1936. Titres et travaux scientifiques. *Alger, Minerva*, 79 p.
- Majou AH . L. Etude des propriétés de rétention en eau des sols argileux 5^{ème} Colloque du groupe Français des Argiles 18- 19 Avril 1007 Mulhouse.
- Malençon G., Bertault R., 1975. Flore des champignons supérieurs du Maroc, Tome II. Trav. Inst. Sci.Chérifien et Fac. Sci. Rabat, sér.Bot . Biol.veg. n° 33, 1-541 p.
- Marx D. H., 1973. growth of ectomycorrhizal and nonmycorrhizal shortleaf pine seedlings in soil with *phytophthora cinnamomi*. *Phytopathology*, 63 : 18-23 p.
- Marmeisse, R., A. Guidot, G. Gay, R. Lambilliotte, & H. Sentenac. 2004. *Hebeloma cylindrosporum* - A model species to study ectomycorrhizal symbiosis from gene to ecosystem. *New Phytologist*. 163:481-498 p.
- Mesfek F, Fortas Z, Dib S, 2022. Inventory and ecology of macrofungi and plants in a northwestern Algerian forest. *J. Biodivers. Conserv. Bioresour. Manage.*, 7: 33-46 p.
- Molina, R., H. B. Massicotte, & J.M. Trappe. 1992. Ecological role of specificity phenomena in ectomycorrhizal plant communities: potentials for interplant linkages and guild development. In: Read, D. J., D. H. Lewis, A.H. Fitter, I. J. Alexander, (Eds.), and Mycorrhizas in Ecosystems. CAB International, Wallingford, Oxon, UK. 106–112 p.
- Morozova, O. V., Noordeloos, M. E., & Vila, J. 2014. Entoloma subgenus Leptonia in boreal-temperate Eurasia: towards a phylogenetic species concept. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 32(1), 141-169 p.
- Morris, M. H., Smith, M. E., Rizzo, M. D., Rejmánek, M. & Bledsoe, C. S. 2008a. Contrasting ectomycorrhizal fungal communities on the roots of co-occurring oaks (*Quercus spp.*) in a California woodland. *New Phytologist*. 178:167-176 p.
- Morris, M. H., Pérez-Pérez, M. A., Smith, M. E. and Bladsoe C. S. 2008b. Multiple species of ectomycorrhizal fungi are frequently detected on individual oak root tips in a tropical cloud forest. *Mycorrhiza*. 18:375-383 p.
- Moser, M. A., Frank, L. J., D'Allura, A. D. J. & Southworth, D. 2009. Ectomycorrhizal communities of *Quercus garryana* are similar on serpentine and nonserpentine soils. *Plant. Soil*. 315:185-194 p.
- Navarro, A. J. P., Aguilar A. I., López-Moya J. R. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*.16(2):1-17 p.
- N'douba, A.P.; Touhami Ouazzani, A.; Benkirane, A.; Zidane, R.; Douira, A. 2012. Etude de Cinq Espèces Coprophiles Du Genre *Panaeolus* (Fr.) Quélet. Dont Trois Nouvelles Pour Le Maroc : *Panaeolus Ater*, *P. Olivaceus* et *P. Semiovatus*. Bull. L'Institut Sci. Rabat Sect. Sci. Vie, 34, 71–74 p.
- Nezzar-Hocine, H., Bouteville, R.J., Halli-Hargas, R., Chevallier, G., La macroflore fongique de *Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex Carriere.1996. I - Inventaire des espèces d'une cédraie du massif du Djurdjura (Algérie) et connaissances actuelles sur les champignons des cédraies. *Cryptogam. Mycol.* 17, 85–103 p.
- Nezzar-Hocine, H., Bouteville, R.J., Guinberteau, J., Perrin, R., Chevalier, G., 1998. La macroflore fongique de *Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex Carriere II - Les champignons ectomycorhiziens d'une cédraie du massif d Djurdjura (Algérie). *Cryptogam. Mycol.* 19, 139– 161 p.
- Ouelmouhoub S, 2005. Gestion multi-usage et conservation du patrimoine forestier : cas des subéraies du Parc National d'El Kala (Algérie). Série « Master of Science » n°78.
- Pauwels, J. M. 1992. Manuel de laboratoire de pédologie : Méthodes d'analyse de sols et de plantes, équipement, gestion de stocks de verrerie et de produits chimiques. Centre universitaire de Dschang. Département des sciences du sol.

- Perry J. N., Liebhold A. M., Rosenberg M. S., Dungan J., Miriti M., Jakomulska A., CitronProusty S., 2002. Illustrations and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data. *Ecography* 25: 578-600.
<http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0587.2002.250507.x>.
- Peterson R.L., Massicotte H.B., Melville L., 2004. Mycorrhizas: anatomy and cell biology. NRC Research Press and CABI Publishing, Ottawa and Wallingford.
- Piché Y., Peterson R. L., Howarth m. J., Fortin J. A., 1983. A structural study of the interaction between the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius* and *Pinus strobus* roots. *Can. J.Bot.*, 61, 1185-1193 p.
- Piélou E.C., 1966. Species diversity and patten diversity in study of ecological succession. *Journal of Theoretical. Biology*, 10: 370–383 p.
- Pillai, C. K. S., Paul, W., & Sharma, C. P. 2009. Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. *Progress in polymer science* 34.7: 641-678 p.
- Piou, D. 1979. Importance de la mycorrhization dans la résistance au calcaire de diverses espèces forestières. *R. F.F. XXXI (2)* : 116–125 p.
- Quezel, sd. 1964 Les chênes sclérophylles en région méditerranéenne- CIHEAM.N.35., 25-29 p.
- Quiñónez-Martínez, M., Lavin Murcio, P., Garza Ocañas, F., De la Mora Covarribias, A., Lebgue Keleng, T. & Woocay Prieto A. 2009. Riqueza y frecuencia de hongos ectomicorizógenos en el municipio de Urique, Chihuahua, México. En: *Ciencias en la frontera: Revistas de ciencias y tecnología de la UACJ. (2)*:33-400 p.
- Raabe, D., Sachs, C., & Romano, P. 2005. The crustacean exoskeleton as an example of a structurally and mechanically graded biological nanocomposite material. *Acta Materialia* 53.15: 4281-4292 p.
- Read, D. J. & J. Pérez-Moreno. 2003. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems—a journey towards relevance? *New Phytol* 157:475-492 p.
- Redeuilh G, Eyssarter G, Masson-Deblaise I, Joly P, 2015. Larousse des champignons - 400 espèces de France et d'Europe. LAROUSSE, France, 408 p.
- Richard, F., Moreau, P. A., Selosse, M. A., Gardes, M. 2004. Diversity and fruiting patterns of ectomycorrhizal and saprobic fungi in an old-growth Mediterranean forest dominated by *Quercus ilex* L. *Canadian Journal of Botany*, 82(12): 1711–1729 p.
- Richard, F., Millot, S., Gardes, M., Selosse, M. A. 2005. Diversity and specificity of ectomycorrhizal fungi retrieved from an old growth Mediterranean forest dominated by *Quercus ilex*. *New Phytologist*, 166(3) : 1011–1023 p.
- Rinaldi AC, Comandini O, Kuyper TW. 2008. Ectomycorrhizal fungal diversity: separating the wheat from the chaff. *Fungal Diversity* 33:1-45.
- Rincón A, Parladé J, Pera J. 2007. Influence of fertilization method in controlled ectomycorrhizal inoculation of two Mediterranean pines. *Annals of Forest Science* 64: 577-783 p.
- Roux, P., 2006. Mille et un champignons. Roux, Sainte-Sigolène, France.
- Shannon C. E. 1948. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27: 379–423.
- Salgado Salomón, M. E., Barroetaveña, C., Pildain, M. B., Kuhar, F., & Rajchenberg, M. 2017. *Tomentella* (Thelephorales, Basidiomycota) en bosques de Nothofagaceae de Patagonia, Argentina: micorrizas de nuevas especies. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 52(3), 423-434.
- Salmon Y., 2004. Déphasages phénologiques chez le chêne vert (*Quercus ilex* L) et conséquences fonctionnelles. Thèse .DEA. Ecol. Natio. Sup. Agro. Montpellier. 105p.
- Santana, B.O., Lodge, D.J., Baroni, T.J., & Both, E.E., 2007. Boletes from Belize and the Dominican Republic, *Fungal Diversity*, 247–416 p

- Sayemuzzaman, M., & Jha, M. K. 2014. Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States. *Atmospheric Research*, 137, 183-194 p.
- Seguin, B. 2010. Le changement climatique: conséquences pour les végétaux. *Quaderni*, 71(1), 27-40 p.
- Seigue, A. 1985. La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes, techniques agricoles et productions méditerranéennes. Ed. Maisonneuve, Larose et A.C.C.T., Paris, 502 p.
- François Le Tacon et Marc-André Selosse La place des symbioses mycorhiziennes dans l'évolution et la colonisation des continents par la vie INRA, Laboratoire de Microbiologie forestière, F-Centre de Nancy, société botanique de France 1994. JSSN 1253-8078.
- François Le Tacon & Marc-André Selosse (1994) La place des symbioses mycorhiziennes dans l'évolution et la colonisation des continents par la vie, *Acta Botanica Gallica*, 141:4, 405-419, DOI: 10.1080/12538078.1994.10515177
- Sesli, E., 2022 *Suillus mediterraneensis* (Jacquet. & J. Blum) Redeuilh (Suillaceae): Türkiye Mikotasi İçin Yeni Bir Kayıt, *MANTAR DERGİSİ, The Journal of Fungus*, vol. 13, no. 1, 66–70 p.
<https://doi.org/10.30708.mantar.1080463>
- Smith SE, Read DJ. 2008. Mycorrhizal symbiosis, 3rd ed. Academic, London Soil Survey Staff. USDA Soil Taxonomy 1975. Agric. Handbk., 436, U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C.
- Srinivasan M, Natarajan K, Nagarajan G. 2000. Growth optimization of an ectomycorrhizal fungus with respect to pH and temperature in vitro, using *Design of Experiments. Bioprocess Engineering* 22: 267-273 p
- Souna M., Tefiani Ch., Chaouche T. Med., Azzi r., Habi S., Chaalel A., Souna Née Kerman S., Boukezzoula N., LN Gh., Jang Kab-yeul, The first check-list of macro-fungi in Tlemcen Wilaya (North-West of Algeria) reveals the discovery of 5 new records for Algeria. *Genetics & Biodiversity Journal*, 2022, pp. 108-109.
<https://doi.org/10.46325/gabj.v7i1.319>.
- Station météorologique de Tebessa
- Thoen D., 1971. Etude mycosociologique de quelques associations forestières des districts picardo-brabançon, mosan et ardennais de Belgique. *Bull. rech. agron. (Gembloux)*, 6, 215-243 p.
- UNESCO; 1963- Bioclimatic map of the Mediterranean region, Scale 1:5,000,000. Prepared by Emberger et al., and established by Bagnouls, drawn by Rinaldo. Ed. UNESCO-FAO.
- Véla, E., Benhouhou, S. 2007. Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *Comptes rendus biologiques*, 330(8) : 589–605 p.
- Vila J., Ortega A., Suárez–Santiago V.N., Llimona X. 2008. DNA *Cortinariarius mahiquesii*, a new subhypogeous species from Catalonia (Iberian Peninsula). *Persoonia*, 21: 153–157p.
www.persoonia.org. doi:10.3767/003158508X388380
- Vilain, M., 1997. Production végétale : les composantes de la production Volume 1.3^{ème} Edition *Tec et Doc - Lavoisier* 480 p.
- Walkley A. Black C. A. (1934) An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, Vol. 37, 29-38 p.
- Wang B. & Qiu Y-L. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16: 299-363.
- Wilcox H.E, 1996. Mycorrhizae. In: plant Roots: the hidden half – second edition. Waisel and unpolluted soils. *Plant and soil*. 167.189-196 p.
- Yakhlef D, Dib S, Fortas Z, 2020. Antibacterial activity and GC-MS analysis of *Trichaptum bifforme* extract. *Asian J. Microbiol. Biotechnol. Environ. Sci.*, 22: 7-14 p.

Références bibliographiques

Youcef Khodja, L., Rahmania, F., Courtecuisse, R., Moreau, P.-A., 2020. First check-list with the occurrence of new records of Agaricomycetes (Fungi, Basidiomycota) in Babors Kabylia (youcef khodjaNorthern Algeria). *Ecol. Mediterr.* 46, 5–25 p.

Youcef Khodja, L. 2021. *Contribution à l'inventaire, à la connaissance et à l'utilisation des macrochampignons en Algérie* (Doctoral dissertation).

Annexe



Les sorties de logiciel SPSS

1- CPA

Factor Analysis

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.473
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	177.038
	df	36
	Sig.	.000

Communalities

	Initial	Extraction
Altitude	1.000	.424
K (ppm)	1.000	.667
Na (Meq/100g)	1.000	.654
Mg (Meq/ 100g)	1.000	.743
Ca (Maq/100g)	1.000	.536
P(Meq/100g)	1.000	.546
N Total (mg/kg)	1.000	.852
C Total (%)	1.000	.709
pH	1.000	.477

Extraction Method: Principal Component

Analysis.

Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2.195	24.390	24.390	2.195	24.390	24.390
2	1.814	20.159	44.549	1.814	20.159	44.549
3	1.596	17.737	62.286	1.596	17.737	62.286
4	.951	10.570	72.857			
5	.879	9.767	82.623			
6	.570	6.331	88.954			
7	.417	4.629	93.583			
8	.379	4.216	97.798			
9	.198	2.202	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Component Matrix^a

	Component		
	1	2	3
Altitude	-.489	.293	.314
K (ppm)	-.057	-.591	-.561
Na (Meq/100g)	.097	-.689	.412
Mg (Meq/ 100g)	.779	.099	.356
Ca (Maq/100g)	.665	.292	.092
P(Meq/100g)	.276	.446	-.520
N Total (mg/kg)	-.556	.358	.644
C Total (%)	-.608	.386	-.436
pH	.373	.579	-.054

Extraction Method: Principal Component Analysis.

a. 3 components extracted.

Annexe

Corelation matrix			Abondance	Altitude	K (ppm)	Na (Meq/100g)	Mg (Meq/ 100g)	Ca (Maq/100g)
Spearman's rho	Abondance	Correlation Coefficient	1.000	.071	-.156	-.189	.229*	.251*
		Sig. (2-tailed)	.	.529	.166	.093	.041	.025
		N	80	80	80	80	80	80
	Altitude	Correlation Coefficient	.071	1.000	-.131	-.190	-.146	-.160
		Sig. (2-tailed)	.529	.	.247	.092	.196	.157
		N	80	80	80	80	80	80
	K (ppm)	Correlation Coefficient	-.156	-.131	1.000	.090	-.093	-.024
		Sig. (2-tailed)	.166	.247	.	.430	.411	.834
		N	80	80	80	80	80	80
	Na (Meq/100g)	Correlation Coefficient	-.189	-.190	.090	1.000	-.042	-.186
		Sig. (2-tailed)	.093	.092	.430	.	.714	.099
		N	80	80	80	80	80	80
	Mg (Meq/ 100g)	Correlation Coefficient	.229*	-.146	-.093	-.042	1.000	.634**
		Sig. (2-tailed)	.041	.196	.411	.714	.	.000
		N	80	80	80	80	80	80
	Ca (Maq/100g)	Correlation Coefficient	.251*	-.160	-.024	-.186	.634**	1.000
		Sig. (2-tailed)	.025	.157	.834	.099	.000	.
		N	80	80	80	80	80	80
	P(Meq/100g)	Correlation Coefficient	.049	.118	-.160	-.735**	.224*	.192
		Sig. (2-tailed)	.668	.298	.155	.000	.046	.087
		N	80	80	80	80	80	80
N Total (mg/kg)	Correlation Coefficient	-.106	.046	-.487**	.461**	.059	-.017	
	Sig. (2-tailed)	.347	.683	.000	.000	.605	.880	
	N	80	80	80	80	80	80	
C Total (%)	Correlation Coefficient	.061	.198	.000	-.417**	-.537**	-.283*	

	Sig. (2-tailed)	.589	.079	.999	.000	.000	.011
	N	80	80	80	80	80	80
pH	Correlation Coefficient	.247*	.196	-.028	-.669**	.069	.063
	Sig. (2-tailed)	.027	.081	.806	.000	.544	.578
	N	80	80	80	80	80	80
Conductivie (µs/cm)	Correlation Coefficient	.045	-.427**	.178	.128	-.013	.040
	Sig. (2-tailed)	.689	.000	.114	.259	.905	.726
	N	80	80	80	80	80	80
Matière organique	Correlation Coefficient	.135	-.304**	.028	-.262*	.629**	.485**
	Sig. (2-tailed)	.233	.006	.803	.019	.000	.000
	N	80	80	80	80	80	80
Humidité (%)	Correlation Coefficient	.212	-.202	.161	-.271*	.704**	.519**
	Sig. (2-tailed)	.059	.073	.154	.015	.000	.000
	N	80	80	80	80	80	80

2- Mutiregression analysis

Model Summary^e

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics			Sig. F Change	Durbin-Watson	
					R Square Change	F Change	df1			df2
1	.506 ^a	.256	.161	.243	.256	2.681	9	70	.010	
2	.510 ^b	.260	.153	.244	.004	.370	1	69	.545	
3	.511 ^c	.262	.142	.246	.001	.108	1	68	.744	
4	.515 ^d	.265	.134	.247	.004	.361	1	67	.550	1.757

a. Predictors: (Constant), Conductivie (µs/cm), C Total (%), K (ppm), P(Meq/100g), Ca (Maq/100g), Na (Meq/100g), N Total (mg/kg), Mg (Meq/ 100g), pH

b. Predictors: (Constant), Conductivie (µs/cm), C Total (%), K (ppm), P(Meq/100g), Ca (Maq/100g), Na (Meq/100g), N Total (mg/kg), Mg (Meq/ 100g), pH, Altitude

c. Predictors: (Constant), Conductivie (µs/cm), C Total (%), K (ppm), P(Meq/100g), Ca (Maq/100g), Na (Meq/100g), N Total (mg/kg), Mg (Meq/ 100g), pH, Altitude, Humidité (%)

Annexe

d. Predictors: (Constant), Conductivie ($\mu\text{s}/\text{cm}$), C Total (%), K (ppm), P(Meq/100g), Ca (Mq/100g), Na (Meq/100g) , N Total (mg/kg), Mg (Meq/ 100g), pH, Altitude, Humidité (%) , Matière organique

e. Dependent Variable: Abondance

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.423	9	.158	2.681	.010 ^b
	Residual	4.127	70	.059		
	Total	5.550	79			
2	Regression	1.445	10	.144	2.429	.015 ^c
	Residual	4.105	69	.059		
	Total	5.550	79			
3	Regression	1.451	11	.132	2.189	.025 ^d
	Residual	4.099	68	.060		
	Total	5.550	79			
4	Regression	1.473	12	.123	2.018	.036 ^e
	Residual	4.077	67	.061		
	Total	5.550	79			

a. Dependent Variable: Abondance

b. Predictors: (Constant), Conductivie ($\mu\text{s}/\text{cm}$), C Total (%), K (ppm), P(Meq/100g), Ca (Mq/100g), Na (Meq/100g) , N Total (mg/kg), Mg (Meq/ 100g), pH

c. Predictors: (Constant), Conductivie ($\mu\text{s}/\text{cm}$), C Total (%), K (ppm), P(Meq/100g), Ca (Mq/100g), Na (Meq/100g) , N Total (mg/kg), Mg (Meq/ 100g), pH, Altitude

d. Predictors: (Constant), Conductivie ($\mu\text{s}/\text{cm}$), C Total (%), K (ppm), P(Meq/100g), Ca (Mq/100g), Na (Meq/100g) , N Total (mg/kg), Mg (Meq/ 100g), pH, Altitude, Humidité (%)

e. Predictors: (Constant), Conductivie ($\mu\text{s}/\text{cm}$), C Total (%), K (ppm), P(Meq/100g), Ca (Mq/100g), Na (Meq/100g) , N Total (mg/kg), Mg (Meq/ 100g), pH, Altitude, Humidité (%) , Matière organique