

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID TLEMCEN  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers  
**Département des Ressources forestières**  
Labo n°31 : Gestion conservatoire de l'eau, du sol et des forêts et développement  
durable des zones montagneuses de la région de Tlemcen



# THÈSE de Doctorat

en

## Sciences Agronomiques



Spécialité : Foresterie

Présentée par :  
**Mme BENDJEBBAR Khedidja**

Thème :

**Etude des endophytes fongiques s'attaquant au chêne liège "*Quercus  
Suber* " dans les subéraies de l'Algérie occidentale**

**Cas du : *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze**

Soutenue le 17/10/2024 Devant le jury composé de :

**Président :** Mr BOUHRAOUA R. T.

**Directrice de thèse :** Mme BELHOUCINE-GUEZOULI L.

**Co-Directrice de thèse :** Mme HENRIQUES J.

**Examinateur :** Mr BELLAHCENE M.

**Examinatrice :** Mme SOUIDI Z.

**Examinatrice :** Mme CHOUIKHI-SMAHI H.

Pr Université de Tlemcen

Pr Université de Tlemcen

Dr INIAV de Oeiras- Portugal

Pr Université de Ain Temouchent

Pr Université de Mascara

MCA Université de Tlemcen

Année Universitaire : 2023/2024

*La théorie, c'est quand on sait tout et que rien ne fonctionne. La pratique, c'est quand tout fonctionne et que personne ne sait pourquoi. Ici, nous avons réuni théorie et pratique : Rien ne fonctionne... et personne ne sait pourquoi !*

*« N'essayez pas de devenir un homme qui a du succès. Essayez de devenir un homme qui a de la valeur »  
- Albert Einstein -*

Accomplir une thèse de doctorat, est un exercice rédactionnel important qui requiert d'importantes recherches scientifiques, apporter de nouvelles connaissances sur le sujet et un investissement sur le long terme. Il s'agit d'un travail, dont nous avons besoin d'un véritable engagement personnel, professionnel et intellectuel. De ce fait, Je voudrais adresser mes reconnaissances et mes gratitude à toutes celles et ceux qui ont contribué par un apport scientifique, technique ou humain à la réalisation de cette thèse, dont je tenterai ici de les énumérer.

Au bout de ces cinq ans, et ma profonde gratitude au dieu, je suis convaincue et n'aurais jamais pu réaliser ce travail doctoral, ainsi que l'encouragement d'un grand nombre de personnes dont une expérience unique et singulière, qui m'ont permis d'améliorer et se développer dans ma recherche minutieuse.

Premièrement, je tiens à remercier Madame Guezouli-Belhoucine Latifa, ma directrice de thèse, pour son encadrement exemplaire tout au long de ces cinq années. Elle m'a initiée à la recherche scientifique à l'aide de sa compétence apportées, pour sa patience, ses encouragements et son soutien pour réaliser ce travail dans les meilleures conditions. Son œil critique et ses conseils m'ont été très précieux pour structurer cette thèse. Je la remercie aussi pour sa gentillesse et sa qualité humaine m'ont permis de vivre cette expérience professionnelle et humaine de la meilleure façon qui soit.

Je tiens également à remercier Madame HENRIQUES Joana, Docteur à l'Institut National de Recherche Agronomique et Vétérinaire - Portugal, pour son Co-encadrement de ma thèse et m'avoir accueillie et m'a donné l'opportunité de travailler au sein de son laboratoire et d'apprendre toutes les astuces du métier de chercheur. Je souhaite la remercier fortement pour sa collaboration scientifique et pour toutes ses orientations et encouragement durant mon séjour en Oeiras. C'est grâce à ses connaissances théoriques et techniques que j'ai pu découvrir le monde des champignons endophytes pour la première fois, ainsi que sur la pathologie forestière en général, allant des techniques d'échantillonnage à la biologie moléculaire.

Je souhaiterais également exprimer ma gratitude aussi à toute l'équipe du laboratoire : Conservatoire de Gestion des Eaux, Sols et Forêts N° 31, Département des Ressources Forestières à Université de Tlemcen pour leur support et leurs aides.

Mes remerciements vont aussi à la directrice et aux ingénieurs de laboratoire au niveau de l'INIAV, pour l'aide continue qu'ils m'ont apportée. Leurs rigueurs scientifique et leurs compétences, m'ont beaucoup appris. Ils m'ont toujours apporté leurs soutiens techniques pour la mise en place de mes expériences au laboratoire. Un grand honneur pour moi de travailler avec eux.

Je remercie également les membres de jury qui m'ont honoré d'accepter l'évaluation de ce travail et pour leurs intérêts qu'ils ont porté au sujet :

- A Monsieur **Bouhraoua Rachid Tarik**, Professeur à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté de présider le jury. Je lui suis très appréciative ;
- Madame **Souidi Zahira**, Professeur à l'université de Mascara et Monsieur **Bellahcene Miloud**, Professeur à l'université d'Ain Temouchent, pour avoir bien agréé de faire partie de cet honorable jury. Qu'ils veuillent trouver ici ma profonde reconnaissance ;
- Madame **Chouikhi-Smahi Hadjer**, Maitre Conférence Classe "A" à l'université de Tlemcen, qui a bien voulu examiner ce travail et pour m'avoir prêté aide et conseils.

Enfin, je tiens à exprimer infiniment mes sincères remerciements aux enseignants du Département des Ressources forestières de l'université Abou-Bekr Belkaid- Tlemcen, pour avoir contribué à ma formation de Graduation et Post-Graduation, ainsi que à mes chers parents, mes collègues et amies par leur soutien.

**Merci à tous,  
Khedidja**

## SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Les endophytes fongiques associés au chêne liège	
1. Généralités.....	7
2. Classification des champignons endophytes.....	11
3. Interaction endophyte-plante.....	14
4. Les métabolites secondaires des champignons endophytes à effet pathogène.....	14
5. Les principaux pathogènes des subéraies .....	17
5.1. Les pathogènes des feuilles.....	18
5.2. Les pathogènes des racines.....	19
5.3. Les pathogènes du bois.....	20
5.4. Les champignons Ophiostomatoides.....	21
Chapitre II : <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (De Not.) Kuntze	
1. Généralités.....	24
2. Position taxonomique.....	33
3. Historique et évolution .....	34
4. Plantes hôtes et Aire de distribution.....	37
5. Infection par <i>Biscogniauxia mediterranea</i> .....	39
5.1. La maladie du charbon de la mère.....	40
5.1.1. Symptômes et éléments de diagnostic.....	41
5.1.2. Aspects des dégâts.....	47
6. Cycle biologique.....	49
6.1. Phase endophytique.....	49
6.2. Phase parasitaire.....	50
6.3. Phase saprophyte.....	52
7. Les facteurs de risque.....	54

## Chapitre III : Milieu d'étude

1. Milieu physique.....	57
1.1. Choix des forêts .....	57
1.2. Situation géographique.....	57
1.3. Géologie et Pédologie.....	61
1.4. Description forestière .....	66
2. Climat.....	68
2.1. Précipitation.....	69
2.1.1. Régime annuelle et mensuelle.....	70
2.1.2. Régime saisonnier.....	72
2.2. Température .....	74
2.2.1. Températures moyennes mensuelles et annuelles.....	74
2.2.2. Températures moyennes des « minima » et des « maxima ».....	75
2.3. Synthèse climatique .....	76
2.3.1. Amplitude thermique extrême moyenne ou indice de continentalité.....	76
2.3.2. Indice de sécheresse estivale .....	77
2.3.3. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger.....	78
2.3.4. Etage de végétation ou zonation altitudinale.....	80
2.3.5. Diagramme ombrothermiques de Bagnols et Gausson.....	81

## Chapitre IV Matériels et méthodes

1. Prospections et échantillonnage.....	83
1.1. Présentation des sites prospectés .....	84
1.1.1. La forêt de M'sila.....	84
1.1.2. La forêt de Hafir.....	84
1.1.3. La forêt de Djebel Saadia.....	85
1.2. Caractérisation des stations d'étude et des arbres échantillons.....	86
1.2.1. Localisation géographique et topographique.....	86
1.2.2. Relevés dendrométriques et d'exploitation.....	86

1.2.3. Relevés sylvicoles.....	87
1.2.4. Relevés floristiques.....	88
1.2.5. Relevés sanitaires.....	89
1.3. Méthodes d'échantillonnage.....	93
2. Diagnostic : Symptômes d'attaques.....	93
3. Caractérisation de l'infection des arbres par <i>Biscogniauxia mediterranea</i> .....	94
3.1. Niveau d'infection des peuplements .....	94
3.1.1. Distribution des arbres infectés selon la hauteur et la circonférence.....	94
3.1.2. Distribution des arbres infectés selon leurs mesures et leurs modalités d'exploitation.....	94
3.1.3. Distribution des arbres infectés selon l'état de santé.....	94
3.1.4. Distribution des arbres infectés selon l'âge des arbres.....	95
4. Etude du <i>Biscogniauxia mediterranea</i> .....	95
4.1. Echantillonnage.....	95
4.1.1. Méthodes d'échantillonnage.....	95
4.2. Isolement, identification et caractérisation de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> .....	97
4.2.1. Milieux de cultures utilisés.....	97
4.2.2. Méthodes d'isolement.....	98
4.2.3. Conservation des isolats.....	98
4.2.4. Identification et caractérisation des isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> .....	99
4.2.4.1. Caractérisation morphologique.....	99
4.2.4.2. Identification moléculaire.....	100
4.2.4.2.1. Extraction de l'ADN.....	100
4.2.4.2.2. Amplification et séquençage de l'ADN.....	101
4.2.4.2.3. Analyse des séquences.....	105
4.3. Développement à différentes température.....	106
4.4. Test d'antagonisme.....	106
4.5. Test de Pathogénicité.....	107
4.6. Traitements statistiques des données.....	111

## Chapitre V : Résultats

1. Caractérisation des stations d'observation et de suivi.....	113
1.1. Localisation géographique et topographie.....	113
1.2. Disposition cartographique des arbres-échantillons.....	115
1.3. Sylviculture.....	115
1.4. Dendrométrie.....	117
1.4.1. La hauteur des arbres.....	118
1.4.2. La circonférence des arbres.....	119
1.5. Les modalités d'exploitation du liège des arbres-échantillons.....	120
1.5.1. Hauteur d'écorçage.....	121
1.5.2. Coefficient d'écorçage.....	122
1.6. Végétation.....	123
1.7. Etat des cimes.....	128
1.8. Indice de santé (Indice de dépérissement).....	129
2. Caractérisation de l'infection des arbres par <i>Biscogniauxia mediterranea</i> .....	129
2.1. Caractéristiques des arbres infectés.....	130
2.1.1. Distribution des arbres infectés selon la hauteur et la circonférence.....	131
2.1.2. Distribution des arbres infectés selon leurs âges.....	134
2.1.3. Distribution des arbres infectés selon leurs mesures et leurs modalités d'exploitation.....	135
2.1.4. Distribution des arbres infectés selon leur état sanitaire .....	138
2.1.5. Relation de la présence d'insectes avec l'infection par <i>B.</i> <i>mediterranea</i> .....	139
2.1.6. Relation de la présence de fissures et de plaies sur le tronc et les exsudats noirs avec l'infection par <i>B. mediterranea</i> .....	139
3. Isolement, identification et caractérisation de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> .....	140
3.1. Symptomatologie.....	140
3.2. Isolement.....	142
3.3. Identification et caractérisation des isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> .....	147
3.3.1. Caractérisation morphologique.....	147

3.3.2. Identification moléculaire.....	149
3.4. Développement à différentes températures.....	160
3.5. Test d'antagonisme.....	162
3.6. Test de Pathogénicité.....	165
3.6.1. Effet des isolats de <i>B. mediterranea</i> sur les plantules de <i>Quercus</i> <i>suber</i> .....	165
3.6.1.1. Symptomatologie.....	165
3.6.1.2. Analyse statistique.....	167
3.6.2. Etat sanitaire des plants inoculés.....	173

## Chapitre VI : Discussion générale

1. Caractérisation des stations d'observation et de suivi.....	176
2. Caractérisation de l'infection par <i>Biscogniauxia mediterranea</i> .....	179
3. Caractérisation de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> .....	184

Conclusion générale et perspectives.....	191
--	-----

Références bibliographiques.....	197
----------------------------------	-----

## Annexes

## Liste des abréviations

**A.E.F.C.O.** : Administration des eaux et des forêts de la conservation d'Oran.  
**ADN** : Acide Desoxyribonucléique.  
**alt.** : Altitude.  
**ARN** : Acide Ribonucléique.  
**ARNr** : Acide Ribonucléique Ribosomique.  
**B.N.E.D.E.R.** : Bureau National des Etudes de Developpement Rural.  
**°C** : Degré Celsius.  
**C.F.W.T.** : Conservation des forêts de la wilaya de Tlemcen.  
**C.F.W.O.** : Conservation des forêts de la wilaya d'Oran.  
**Cl** : Classe.  
**Cm** : Centimètre.  
**Cm<sup>2</sup>** : Centimètre carré.  
**C.O.I.O.** : Conservation d'Oran, Inscription d'Oran.  
**C.O.I.T.** : Conservation d'Oran, Inscription de Tlemcen.  
**°** : Degrés.  
**D.G.F** : Direction générale des forêts.  
**D.S.F.** : Département de la santé des forêts.  
**dm<sup>3</sup>** : Décimètre cube.  
**et al.**: Collaborateurs.  
**Fig.**: Figure.  
**g** : gramme.  
**G.G.A** : Gouvernement général d'Algérie.  
**h** : Heure.  
**ha** : Hectares.  
**I.D** : Indice de dépérissement.  
**I.e**: Indice de sécheresse estivale  
**INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique.  
**I.M** : Indice de maladie.  
**ITS** : Internal Transcribed Spacer.  
**Km** : Kilomètre.  
**L** : Litres.  
**m** : Mètre.  
**m<sup>2</sup>**: Surface observée en mètre carré  
**MEA** : Malt Extract Agar.  
**Min** : Minutes  
**mg** : Milligramme  
**ml** : Millilitre.  
**mm** : Millimètre.  
**Moy.** : Moyenne.  
**NE** : Nord-Est.  
**NO** : Nord-Ouest.  
**IOBC** : International Organisation for biological and Integrated Control of Noxious

Animals and Plants.

**O.N.M.** : Office Nationale de Météorologie

**PCR** : Polymerase Chain Reaction.

**PDA** : Milieu à la pomme de terre.

**P.e** : Pluviométrie estivale.

**pH** : Potentiel hydrogène.

**P.N.T** : Parc National de Tlemcen.

**Qx** : Quintaux.

**Q.** : Quercus.

**RH** : Humidité relative de l'air.

**sp** : espèce.

**T°** : Température.

**t** : Tonnes.

**U.V.** : Ultraviolet.

**W** : Wilaya

**%** : Pourcent.

**µl** : Microlitre.

**µm** : Micromètre.

**'** : Minute.

**Φ** : Diamètre.

**<** : Inférieur.

**>** : Supérieur.

## Liste des tableaux

Titre	Page N°
Tableau I.1. La classification des endophytes fongiques	11
Tableau I. 2. Subdivisions des endophytes de classe 1	12
Tableau III.1 : Coordonnées géographiques des trois forêts oranaises	58
Tableau III.2. Cantons de forêt de Hafir	61
Tableau III.3. Caractéristiques des stations de référence et périodes d'observation	69
Tableau III. 4. Les données pluviométriques des trois forêts durant les périodes de référence	70
Tableau III.5. Régime saisonnier des précipitations dans les trois forêts	73
Tableau III.6. Températures moyennes mensuelles et annuelles T (°C) enregistrées dans la forêt de Hafir, M'Sila et Djebel Saadia	75
Tableau III.7. Valeurs thermiques moyenne des minima et des maxima du mois le plus froid et le plus chaud en (°C) enregistrées dans les forêts de Hafir, M'Sila et Djebel Saadia	75
Tableau III.8. Indice de continentalité des trois forêts : Hafir, M'sila et Djebel Saadia	77
Tableau III.9. Indice de sécheresse estivale des trois forêts: Hafir, M'sila et Djebel Saadia	78
Tableau III.10. Valeur du « Q2 » et étages bioclimatiques des trois forêts	79
Tableau III.11. Etage de végétation auquel appartient du chêne liège des trois forêts d'étude	81
Tableau IV.1. Principales classes de relevés dendrométriques et d'exploitation	87
Tableau IV.2 : Principaux descripteurs de relevés sylvicoles	88
Tableau IV.3. Echelle d'évaluation du dépérissement des arbres de chênes	90
Tableau IV.4. Classes de décoloration des feuilles	91
Tableau IV.5. Principales catégories de santé du peuplement de chêne-liège prises en compte en fonction de « I.D »	91
Tableau IV.6. Principales classes d'âge	95
Tableau IV.7. Le protocole réactionnel pour le processus de PCR	101
Tableau IV.8. Les régions amplifications pour les analyses phylogénétiques de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> et les conditions PCR correspondantes.	103

Tableau V.1. Principales caractéristiques géographiques et topographiques des placettes d'observation des trois subéraies : M'sila (Oran) Hafir (Tlemcen) et Djebel Saadia (Relizane)	113
Tableau V.2. Les principales caractéristiques sylvicoles des stations d'observation des trois forêts (Bouhraoua (2003), Belhoucine (2013) et Serir (2017)).	116
Tableau V.3. Distribution des relevés dendrométriques des arbres-échantillons exprimés en %.	118
Tableau V.4. Etat d'exploitation du liège des arbres dans les trois subéraies exprimés en %.	120
Tableau V.5 : Inventaire de la flore accompagnatrice du chêne-liège et taux de recouvrement des espèces et des strates dans les différentes stations.	123
Tableau V.6. Distribution des relevés dendrométriques des arbres symptomatiques des trois forêts exprimés en %.	132
Tableau V.7. Distribution des arbres symptomatiques de chêne liège selon l'âge de trois forêts : M'sila, Hafir et Djebel Saadia en %.	134
Tableau V.8. Distribution des relevés d'exploitation des arbres symptomatiques de chêne-liège dans les trois subéraies exprimés en %.	135
Tableau V.9. Distribution les modalités d'exploitation des arbres symptomatiques de chêne-liège dans les trois subéraies.	137
Tableau V.10. Caractéristiques des arbres symptomatiques échantillons sources d'isolement de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> dans les trois subéraies de M'sila (CB : Cheikh Ben Khalifa ; GE : Guedara), Hafir (KH : Koudiat Hafir ; OF : Oued Fernane) et Djebel Saadia (DS : Djebel Saadia ; RI : Riacha).	143
Tableau V.11. Isolats et séquences d'ADN de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> et des sous-groupes inclus dans l'analyse	156
Tableau V.12. Test de température et la croissance mycélienne des isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> en jours sur un intervalle de température limité de $7^{\circ}\text{C} < T (^{\circ}\text{C}) < 42^{\circ}\text{C}$ .	161
Tableau V.13. L'étendue des lésions nécrotiques sur les plantules de chêne-liège inoculées par <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (Bm. M1) mesurée en (mm) sous différents traitements hydriques.	168
Tableau V.14. L'étendue des lésions nécrotiques sur les plantules de chêne-liège inoculées par <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (Bm. H1) mesuré en (mm) sous différents traitements hydriques.	169
Tableau V.15. L'étendue des lésions nécrotiques sur les plantules de chêne-liège inoculées par isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (Bm. D1) mesurée en (mm) sous différents traitements hydriques.	170
Tableau V.16. L'étendue des lésions nécrotiques sur les plantules de chêne-liège sous l'effet du stress hydrique inoculées par différents	171

isolats de <i>Biscogniauxia</i>	
Tableau V.17. L'étendue de la décoloration vasculaire, provoquée par chaque isolat de <i>B. mediterranea</i> testé (Bm. M1, Bm. H1 et Bm. D1), mesurée en (mm) sur les plantules de chêne-liège sans stress hydrique.	172
Tableau V.18. La répartition des classes de santé chez les plantes de <i>Quercus suber</i> inoculées par trois isolats de <i>B. mediterranea</i> (Bm. M1, Bm. H1 et Bm. D1) avec et sans stress hydrique	174

## Liste des figures

Titre	Page N°
Figure I.1. Classification phylogénétique du monde vivant	7
Figure I.2. Classification phylogénétique du règne Fungi	8
Figure I.3. Classification générale du règne des champignons	8
Figure I.4. Modes de croissance des champignons endophytes dans les tissus des plantes hôtes	10
Figure I.5. Modes de transmission observés chez les champignons endophytes : l'exemple du cycle d' <i>Epichloë festucae</i>	11
Figure I.6. Les classes d'endophytes selon la localisation des tissus colonisés	12
Figure I.7. Les principales voies des métabolites secondaires fongiques	15
Figure I.8. Les champignons, une existence, plusieurs modes de vie	16
Figure I.9. Les champignons endophytes et l'écosystème.	17
Figure II.1. Monographie sur les 14 genres de Xylariaceae dont (1 : <i>Ascovirgaria</i> ; 2 : <i>Biscogniauxia</i> ; 3 : <i>Creosphaeria</i> ; 4 : <i>Daldinia</i> ; 5 : <i>Discoxylaria</i> ; 6 : <i>Entoleuca</i> ; 7 : <i>Hypoxylon</i> ; 8 : <i>Jumillera</i> ; 9 : <i>Kretzschmariella</i> ; 10 : <i>Kretzschmaria</i> ; 11 : <i>Vivantia</i> ; 12 : <i>Nemania</i> ; 13 : <i>Stilbohypoxylon</i> ; 14 : <i>Whalleya</i>	26
Figure II.2. <i>Biscogniauxia mediterranea</i> chez le chêne-liège : a) aspect de la surface du stroma carboné ; b) les ascospores ; c-e) aspects des périthèces avec ascospores ; f) conidiophores à conidies en culture axénique	32
Figure II.3. Présence du chancre à <i>B. mediterranea</i> sur chêne liège en Algérie	37
Figure II.4. Une carte de répartition géographique fournie pour <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (de Notaris) Kuntze.	38
Figure II.5. Croûte carbonacée apparaissant entre les fissures longitudinales du liège	40
Figure II.6. Formation de stroma charbonneux situé sur le tronc et les branches du chêne liège	43
Figure II.7. Symptômes et diagnostic de la maladie du charbon de la mère	44
Figure II.8. Structures de phytotoxines isolées de filtrats de la culture de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (A : la 5-méthylmelleine ; B : l'acide phénylacétique et C : le biscoopyran)	51
Figure II.9. Cycle biologique de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> sur le chêne liège	53
Figure III.1 : Situation géographique de la forêt de M'Sila	59
Figure III.2 : Localisation du massif forestier Hafir	60
Figure III.3: Situation administrative et géographique de la forêt de Djebel Saadia	62
Figure III.4. Extrait du schéma géologique du littoral Oranais	63
Figure III.5. Carte des principaux sols de la région oranaise	64
Figure III.6. Carte géologique du Nord-Ouest Algérien	65

Figure III.7. Carte Pédologie du de massif Hafir-Zariffet	66
Figure III.8. Variation mensuelle des précipitations au niveau de la forêt de M'sila pour les deux périodes de référence (ancienne et nouvelle)	71
Figure III.9. Variation mensuelle des précipitations au niveau de la forêt de Hafir pour les deux périodes de référence (ancienne et nouvelle)	71
Figure III.10. Variation mensuelle des précipitations au niveau de la forêt de Djebel Saadia pour la période de référence (1982-2007)	72
Figure III.11. Variation saisonnière des précipitations au niveau de trois forêts	74
Figure III.12. Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger de trois (03) forêts	80
Figure III.13. Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gausson des forêts de Hafir, M'Sila et Djebel Saadia	81
Figure IV.1. Les principales catégories d'arbres atteints selon les proportions de feuillage affecté ; (A) arbre sain (Cl 0 de défoliation), (B) arbre dépérissant (Cl 1 de défoliation), (C) arbre dépérissant (Cl 2 de défoliation), (D) arbre dépérissant (Cl 3 de défoliation), (E) arbre mort (Cl 4 de défoliation)	92
Figure IV. 2. Prélèvement des échantillons du tronc et d'une branche présentant le stroma charbonneux d'un arbre de chêne-liège ( <i>Quercus suber</i> L.)	96
Figure IV.3. La technique de confrontation par contacte directe	107
Figure IV.4. Le test de pathogénicité de l'espèce de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> sur le chêne liège : (A) et (B) Les plants de <i>Q. suber</i> de la pépinière de Kissir de INFR-Jijel ; (C) et (D) Une blessure superficielle de 1,5 cm longue pratiquée sur la tige ; (E) souche fongique de <i>B. mediterranea</i> ; (F) Un bouchon mycélien (5 mm de diamètre) en croissance active placé sur la plaie ; (G) et (H) Les plaies recouvrent avec du Para film plus l'aluminium.	109
Figure V.1. Situation géographique des trois suberaies : M'sila (Oran) Hafir (Tlemcen) et Djebel Saadia (Relizane) (Google maps, modifié).	114
Figure V.2. Distribution des relevés dendrométriques des arbres symptomatiques et asymptomatiques exprimés en % pour chaque forêt.	115
Figure V. 3. Distribution des classes de hauteurs totales des arbres de chêne-liège dans les forêts de M'sila, Hafir et Djebel Saadia.	119
Figure V.4. Distribution des classes de circonférence des arbres de chêne-liège dans les trois forêts M'sila, Hafir et Djebel Saadia.	120
Figure V.5. Distribution des arbres de chêne-liège démasclés dans les trois subéraies exprimés en %.	121
Figure V.6. Distribution des classes de hauteurs d'écorçage des arbres de chêne-liège dans les trois forêts M'sila, Hafir et Djebel Saadia.	122

Figure V.7. Distribution des classes de coefficient d'écorçage des arbres de chêne-liège dans les trois forêts M'sila, Hafir et Djebel Saadia.	123
Figure V.8. Etat sanitaire des arbres dans les forêts de chêne liège : M'sila, Hafir et Djebel Saadia.	128
Figure V.9. L'incidence de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> sur les arbres de chêne liège exprimés en % dans chaque forêt et pour chaque station.	131
Figure V. 10. Distribution des relevés dendrométriques des arbres symptomatiques de chêne-liège dans les trois forêts M'sila, Hafir et Djebel Saadia.	132
Figure V.11. Distribution des arbres symptomatiques de chêne liège selon l'âge de trois subéraies (M'sila, Hafir et Djebel Saadia) en %.	134
Figure V.12. Distribution les classes de hauteur d'écorçage des arbres symptomatiques de chêne-liège dans la forêt de M'sila, Hafir et Djebel Saadia.	135
Figure V.13. Distribution les classes de coefficient d'écorçage des arbres symptomatiques de chêne-liège dans la forêt de M'sila, Hafir et Djebel Saadia	136
Figure V.14. Distribution des arbres symptomatiques de chêne-liège selon les modalités d'exploitation dans la forêt de M'sila, Hafir et Djebel Saadia.	138
Figure V.15. Etat sanitaire des arbres symptomatiques de trois subéraies : M'sila, Hafir et Djebel Saadia.	139
Figure V.16. Symptômes d'attaques par <i>Biscogniauxia mediterranea</i> : (A) Aspect générale d'un arbre infecté par <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (B) Chlorose des feuilles. (C) Dessèchement et chute des branches latérales et une partie de la cime, (D) et (E) Chancre de l'écorce et d'une branche.	141
Figure V.17. <i>Biscogniauxia mediterranea</i> : (A) Aspect macroscopique d'une colonie après 7 jours de croissance en PDA à 25 °C et (B) Aspect microscopique	149
Figure V.18. Vérification de l'ADN des isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> par l'électrophorèse.	150
Figure V.19. Analyse MSP-PCR de quinze isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> . résolu par des profils de bandes d'amplification à partir de (CAG) 5.	151
Figure V.20. Analyse MSP-PCR de quinze isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> . résolu par des profils de bandes d'amplification à partir de (GACA) 4	152
Figure V.21. Analyse MSP-PCR de quinze isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> . résolu par des profils de bandes d'amplification à partir de M13.	153

Figure V.22. Analyse MSP-PCR de quinze isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> . résolu par des profils de bandes d'amplification à partir de (GTG) <sup>5</sup> .	153
Figure V.23. Analyse MSP-PCR de quinze isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> . résolu par des profils de bandes d'amplification à partir de (ACAC) <sup>5</sup> .	154
Figure V.24. Analyse MSP-PCR de quinze isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> . Dendrogramme consensus à partir de (CAG) 5, (GACA) 4, et des profils MSP-PCR de séquence centrale du phage M13 réalisés dans NTSYSpc2 en utilisant le coefficient de corrélation de DICE et l'UPGMA. La barre d'échelle représente le pourcentage de similarité.	155
Figure V.25. Analyse de l'évolution par la méthode du maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood) de la région ITS des séquences d'ADN de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> et des sous-groupes	158
Figure V.26. Analyse de l'évolution par la méthode du maximum de vraisemblance (Maximum likelihood) des séquences d'ADN de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> et des sous-groupes basée sur $\beta$ Tubuline.	159
Figure V.27. Test de température et la croissance mycélienne des isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> sur un intervalle de température limité de 7°C < T (°C) < 42°C.	161
Figure V.28. Quelques exemples de l'effet antagoniste de <i>B. mediterranea</i> contre <i>B. Corticola</i> .	162
Figure V.29. Test d'antagonisme entre <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (B.M) et <i>Botryosphaeria corticola</i> (B.C) en fonction du milieu de culture et de la température.	163
Figure V.30. Exemples sur l'action antagoniste de <i>Trichoderma harzianum</i> sur <i>Biscogniauxia mediterranea</i> .	164
Figure V.31. Test d'antagonisme entre <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (B.M) et <i>Trichoderma harzianum</i> (Tri) en fonction du milieu de culture et de la température.	164
Figure V.32. Effet des isolats de <i>B. mediterranea</i> sur les jeunes plantules de chêne-liège ayant subi un stress hydrique après 30 jours d'inoculation : (1 et 2) Les plants au début du test, (3 et 4) Chlorose des feuilles, (5 ; 6 et 7) Chute des feuilles, (8 ; 9 et 11) Dessèchement des feuilles, (10 ; 12 et 13) Lésions nécrotiques dans les tissus vasculaires.	167
Figure V.33. La longueur des lésions nécrotiques (en mm) causées par <i>B. mediterranea</i> (Bm. M1) sur les plantules de chêne-liège avec et sans stress hydrique après 30 jours d'inoculation. La lettre (a) indique les moyennes significativement différentes (Test de Tukey, P<0.05).	168
Figure V.34. La longueur des lésions nécrotiques (en mm) causées par l'isolat de <i>B. mediterranea</i> provenant de la forêt de Hafir (Bm. H1) sur les plantules de chêne-liège avec et stress hydrique après 30 jours d'inoculation.	169

Figure V.35. La longueur des lésions nécrotiques (mm) causée par l'isolat de <i>B. mediterranea</i> (Bm. D1) sur les plantules de chêne-liège avec et sans stress hydrique après 30 jours d'inoculation.	170
Figure V.36. La longueur des lésions nécrotiques (en mm) causées par trois isolats de <i>B. mediterranea</i> (Bm. M1, Bm. H1 et Bm. D1) sur les plantules de chêne-liège ayant subi un stress hydrique, après 30 jours d'inoculation.	171
Figure V.37. La longueur des lésions nécrotiques (mm) de plantules de <i>Quercus suber</i> inoculées par les trois isolats de <i>B. mediterranea</i> (Bm. M1, Bm. H1 et Bm. D1) sous un régime hydrique normal après 30 jours d'inoculation.	172
Figure V.38. La longueur des lésions nécrotiques (mm) de plantules de <i>Quercus suber</i> inoculées par les trois isolats de <i>B. mediterranea</i> (Bm. M1, Bm. H1 et Bm. D1) sous un régime hydrique normal après 30 jours d'inoculation (test ANOVA).	173
Figure V.39. La répartition des classes de santé chez les plantes de <i>Quercus suber</i> avec/ sans stress hydrique inoculées par les trois isolats de <i>Biscogniauxia mediterranea</i> (Bm. M1, Bm. H1 et Bm. D1).	174

---

*INTRODUCTION*

*GENERALE*

---

## Introduction générale

La subéraie est un espace forestier dominé par une essence du genre *Quercus* ; elle est reconnue, particulièrement en région méditerranéenne tant pour son intérêt économique que écologique dans l'étage bioclimatique subhumide et humide (Quezel et Medail, 2003). Elle constitue un écosystème par excellence où l'on voit se concrétiser un remarquable équilibre entre ses différentes composantes naturelles.

Elle contribue à une meilleure qualité de l'environnement, à une régulation du régime hydrique et à la sauvegarde du patrimoine forestier mais sa particularité réside essentiellement dans son écorce, le liège.

Le chêne (*Quercus*) appartient à la famille des *Fagaceae* avec plusieurs centaines d'espèces dans le monde, dont une vingtaine en Europe, certaines à feuilles caduques, d'autres à feuilles persistantes (chênes méditerranéens). Les chênes poussent généralement dans les régions où les précipitations sont modérées. Ils affectionnent les flancs de collines où ils trouvent des conditions d'éclairage optimum et des sols bien drainés mais ils peuvent tout aussi bien pousser sur des sols calcaires ou acides (Bary-Lenger et Nebout, 1993).

Le *Quercus suber* L. algérien, est l'arbre le plus emblématique. Il constitue une des importantes richesses (Battistini, 1938). Ses forêts tenaient et tiennent toujours une place primordiale en raison de sa haute valeur environnementale et dans la vie socio-économique de la population riveraine car elles constituent, grâce à leur abondant sous-bois dont un riche terrain de parcours pour un cheptel varié. Elles fournissent également le bois de chauffage, le charbon et le liège. Ce dernier occupait au début du siècle dernier le premier rang des produits forestiers et son exploitation représentait les  $\frac{3}{4}$  de la recette forestière totale (Marc, 1916 ; Peyerimhoff, 1941).

Les subéraies algériennes s'étendent sur tout le nord mais sont en majeure partie localisées à l'Est du pays. Sur une superficie totale d'environ 450.000 ha, un peu plus de la moitié (229.000 ha) est productive tandis que le reste est occupé par le maquis (Zine, 1992).

Le problème que connaissent les forêts de chênes est celui du déclin, qui a été signalé pour la première fois en Italie (Parc national du Circeo) par Ragazzi *et al.* (1986) sur *Quercus cerris* L., *Q. frainetto* Ten., *Q. pubescens* Willd et *Q. robur* L. Après 1986, le déclin s'est étendu à toute l'Italie. D'autres espèces sont également impliquées de manière marginale : *Q. ilex* L., *Q. macrolepis* Kotschky, *Q. trojana* Webb. et *Q. suber* L. en Sardaigne apparus aux débuts des années 90. Ils se sont manifestés en premier dans les subéraies où les effets négatifs de périodes prolongées de sécheresse se sont

ajoutés à des conditions édaphiques peu favorables, un état végétatif précaire et une sylviculture inadéquate (Marras *et al.*, 1995). Au cours de la décennie qui a suivi, ces phénomènes se sont progressivement étendus, atteignant même les subéraies aménagées de façon rationnelle. Sachant que ce phénomène touche presque tous les pays d'Europe, y compris l'Allemagne, le premier pays à signaler ce déclin, dès 1739 (Hartmann et Blank, 1992). Au cours des quinze dernières années, nous avons assisté à une augmentation spectaculaire du déclin du chêne dans toute l'Europe, et aussi la région méditerranéenne qui s'est manifesté depuis le début des années 1980 impliquant parfois des chênes dans un seul pays, parfois dans plusieurs pays.

Les peuplements forestiers méditerranéens sont affectés par ce processus depuis quelques décennies (Luciano, 1995 ; Villemant, 1999). Les forêts algériennes n'en sont pas à l'abri et, chaque année, la dégradation des sols, les incendies, le surpâturage, les maladies fongiques et les attaques d'insectes ravageurs font disparaître des surfaces considérables. Les peuplements de chêne vert (*Quercus ilex*) et surtout de chêne liège (*Q. suber*) sont particulièrement concernés par ce phénomène et leur état sanitaire actuel est préoccupant. 60% environ des 440 000 ha de subéraies algériennes sont ainsi fortement dégradés et déjà en partie voués à disparaître (Messaoudène, 2000).

Actuellement, il est dans une situation inquiétante et son avenir apparaît sérieusement menacé. Les causes d'une telle situation sont multiples et complexes ; on les retrouve pour la plupart dans les autres pays subéricoles : France (Nageleisen *et al.*, 1990), Espagne (Elena, 1992), Portugal (Sousa *et al.*, 1995), Italie (Marras *et al.*, 1995) et Maroc (Bakry et Abourouh, 1996), en particulier : l'absence de sylviculture appropriée, la sécheresse, les incendies, le surpâturage et les attaques d'insectes ravageurs et de champignons pathogènes. Ces derniers ont tous une influence directe sur la santé de l'arbre.

Depuis lors, deux préoccupations majeures retiennent l'attention des gestionnaires forestiers : la quantification du déclin et l'identification des agents responsables (Sousa et Kadiri, 2005).

Des efforts et des ressources considérables ont été consacrés ces dernières années pour effectuer un bilan sanitaire des peuplements de l'ouest algérien afin d'apprécier la contribution de ces différents facteurs, et plus particulièrement du climat, des insectes xylophages et surtout sur le dépérissement des arbres dû aux champignons pathogènes. De tels travaux sont parfois coûteux et longs, en particulier lorsqu'il s'agit d'étudier des agents pathogènes fongiques latents dans des arbres asymptomatiques. Certains de ces agents pathogènes sont difficiles à isoler, tandis que d'autres sont masqués par des micro-organismes endophytes qui les envahissent sur milieu gélosé (Catal *et al.*, 2001).

Dans le cas du dépérissement du chêne, il est possible que la croissance et le développement des maladies soient dus à des causes multiples, abiotiques et biotiques qui peuvent varier selon le type, l'intensité, la durée et la fréquence des différentes situations forestières. Parmi les facteurs contributifs de ce déclin, l'action des pathogènes fongiques. Ces derniers ont attiré l'attention de beaucoup de chercheurs européens spécifiquement à la phytopathologie que ce soit dans une perspective écologique ou pour mieux connaître les relations qu'ils établissent avec leur hôtes (Carroll, 1988 ; Petrini, 1991).

Sur le chêne-liège, on compte plus de 300 espèces de champignons et oomycètes signalés, dont au moins 100 sont pathogènes (Franceschini *et al.*, 1993 ; Luque *et al.*, 2000). La majorité sont des agents pathogènes secondaires opportunistes qui colonisent les tissus de chênes lorsqu'ils s'affaiblissent par des facteurs abiotiques ou biotiques (Luque *et al.*, 2000). Récemment, certaines espèces de champignons opportunistes ont reçu une plus grande attention car elles peuvent coloniser les tissus végétaux en tant qu'endophytes, en phase de latence, sans induire de symptômes et pendant une longue période (Moricca *et al.*, 2012 ; 2016). Une fois les arbres sont affaiblis, ces champignons, initialement confinés, peuvent coloniser les tissus adjacents, entraînant un déclin progressif et finalement la mort de l'arbre (Saikkonen *et al.*, 1998 ; Moricca et Ragazzi, 2008).

Concernant les agents pathogènes fongiques associés au déclin du chêne-liège en Algérie, ils sont peu nombreux et lacunaires. Beaucoup de données sur les périodes d'infection, les aires de répartition et les plantes hôtes sont encore fragmentaires et nécessitent d'être mises à jour par des études de terrain plus nombreuses et plus régulières.

De ce fait, nous avons attribué dans cette étude une importance de plus en plus grande à l'investigation sur le champignon endophyte *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) O. Kuntze qui compte parmi les facteurs les plus importants et les plus influents provoquant le dépérissement des chênes.

Depuis longtemps, le *B. mediterranea* (de Not.) Kuntze est reconnu comme l'agent causal d'une maladie nécrotique des tiges et des branches des feuillus, connue sous le nom du chancre charbonneux (Vannini *et al.*, 1999). Le champignon est présent sur une large gamme d'hôtes, en particulier du genre *Quercus*. Il a été considéré comme un facteur important contribuant au déclin du chêne-liège (*Quercus suber* L.) en Europe et en Afrique du Nord (Nugent *et al.*, 2005). Malgré cette association étroite avec le déclin des peuplements de chênes lièges, plusieurs avis discordants ont été émis quant aux relations entre ce champignon et son hôte privilégié. Il a été considéré comme un parasite opportuniste qui attaque les arbres déjà endommagés par d'autres facteurs biotiques ou abiotiques.

Des études précédentes en Europe sur ce pathogène, nous aident à structurer des questions très diverses que nous pouvons nous poser à propos de l'incidence possible de cet agent sur les peuplements de chêne liège en Algérie, et leur relation avec le dépérissement. Alors, des observations récentes sur des peuplements de chênes lièges de l'Algérie occidentale (Smahi *et al.*, 2014) ont révélé une incidence accrue du chancre charbonneux et la présence de symptômes, ce qui remet en question l'existence d'une altération de l'épidémiologie de la maladie. Au Portugal, peu d'attention a été accordée au chancre charbonneux du chêne-liège, car il ne se développait que sur les arbres matures déjà affaiblis par d'autres agents (Santos, 2003). Néanmoins, depuis peu, de nombreux jeunes chênes lièges subissent un processus de dépérissement brutal témoignant d'une expansion atypique de cette maladie (Henriques, 2015).

Habituellement, la symptomatologie de l'infection par *B. mediterranea* se manifeste sur des arbres prédisposés à la sécheresse ou à la défoliation par les insectes. La grande abondance d'inoculum produit sur les parties colonisées de l'arbre et la probabilité que les ascospores fongiques soient dispersées par les insectes sont des facteurs importants expliquant la propagation des champignons dans les forêts (Capretti et Mugnai, 1987; Vannini, 1987; Vannini et Valentini, 1994), d'une part son pouvoir pathogène peut être réduit à la limite de son aire de répartition, mais il n'y a aucune garantie que cela le reste à l'avenir, en raison du changement climatique global. En fait, l'aire de répartition géographique de *B. mediterranea* semble être élargie dans différentes parties du monde au cours de la dernière décennie, (Jurc et Ogris, 2006; Henriques *et al.*, 2014 ; Henriques *et al.*, 2016 ) car de nouveaux rapports font état de ce champignon ou de la maladie du charbon qui lui est associée, en Slovénie (Jurc et Ogris, 2006), en Sardaigne (Marras *et al.*, 1995), dans les forêts du Golestan, dans le nord de l'Iran, sur *Quercus castaneifolia* CA.Mey. et *Zelkova carpinifolia* (Pall.) K. Koch. (Mirabolfathy *et al.*, 2013) ainsi que sur *Q. brantii* dans les forêts occidentales de l'Iran (Mirabolfathy *et al.*, 2011 ; Mirabolfathy *et al.*, 2013), au Portugal (Henriques *et al.*, 2014), en Afrique, en Amérique centrale, en Amérique du Nord, Russie, Autriche, France, Géorgie, Allemagne, Italie, Ukraine, Mauritanie, Nigéria, Mexique, États-Unis (Ju *et al.*, 1998) et bassin méditerranéen (Bouhraoua, 2002; Franceschini *et al.*, 2005 ; Jiménez *et al.*, 2005a ; Assali et Falki, 2006 ; Sousa *et al.*, 2007 ; La Porta *et al.*, 2008 ; Khouja *et al.*, 2010, Yangui *et al.*, 2019 ; 2021 ; Bendjebbar *et al.*, 2020 ; 2023). Les changements globaux vers un climat plus chaud et plus sec, et l'augmentation conséquente du stress hydrique chez les hôtes, pourraient être la principale raison de la propagation. Ce n'est donc peut-être pas une coïncidence si le champignon a été découvert pour la première fois en République tchèque en 2015, une année exceptionnellement chaude et sèche.

L'épidémie du chancre charbonneux est connue sous ce nom en raison des stromates noirs d'un champignon de la famille des Xylariaceae qui se développent dans l'écorce des arbres malades (Mirabolfathy *et al.*, 2013). Elle a été signalée sur différentes espèces de chênes. *B. mediterranea* est connu comme un problème sérieux dans les peuplements de chênes lièges, étant l'un des agents impliqués dans son processus actuel d'affaiblissement de centaines d'hectares de forêts dans le monde.

Sur les parties colonisées de l'arbre, une grande abondance d'inoculum est produit, Le champignon pourrait à la fois se propager par dispersion aérienne de spores fongiques (Henriques *et al.*, 2014) et par des insectes vecteurs (Inácio *et al.*, 2011 ; Martín *et al.*, 2005 ; Henriques, 2007 ; Belhoucine *et al.*, 2011 ; Belhoucine, 2013). Le transport vertical au moyen de graines n'a pas été confirmé (Henriques *et al.*, 2014 ; Mazzaglia *et al.*, 2001). La susceptibilité des hôtes à la colonisation (Capretti et Battisti, 2007) ainsi que les dégâts (Vannini et Mugnozza, 1991) causés par le pathogène ont été associés aux périodes de stress prolongées. La répartition réelle de l'espèce pourrait être beaucoup plus large, puisqu'elle vit comme endophyte dans des chênes autrement exempts de symptômes (Luchi *et al.*, 2005). En fait, la stratégie des « envahisseurs latents » pourrait être plus répandue au sein du genre (Nugent *et al.*, 2005), car de nombreux champignons xylariacés ont été détectés comme endophytes (Petrini et Petrini, 1985 ; Whalley, 1996). À l'instar de *B. mediterranea*, d'autres espèces du genre *Biscogniauxia* ont également été associées à la maladie du charbon (Raimondo *et al.*, 2016) ou au déclin de leurs hôtes, en particulier en bordure de l'occurrence naturelle de ces hôtes (Granata et Sidoti, 2004).

Ce pathogène est désormais présent sur un large spectre d'hôtes, mais avec une préférence pour les genres de la famille des Fagaceae, comme *Castanea* (Spooner, 1986), *Fagus*, *Lithocarpus*, *Quercus* (Ju *et al.*, 1998) en particulier *Quercus cerris* (Vannini *et al.*, 1996) et *Q. suber* (Henriques *et al.*, 2012), et Betulaceae : *Carpinus* et *Corylus* (Fournier et Magni, 2004a). Cependant, ses stromates ont également été signalés sur des plantes ligneuses d'autres genres, tels que : *Acer*, *Eucalyptus*, *Juglans*, *Pisonia* (Ju *et al.*, 1998) et *Fraxinus* (Ragazzi *et al.*, 2012).

Dans ce cadre-là, l'objectif de la présente étude, dans un premier lieu est d'affirmer la présence des infections de *B. mediterranea* dans les subéraies de l'ouest Algérien : M'sila -W. Oran-, de Hafir -W. Tlemcen- et de Djebel Saadia -W. Relizane-, par la prise en compte de certains paramètres liés aux variables stationnels, sanitaires et dendrométriques des arbres échantillons attaqués et déterminer la relation entre eux. De plus, pour approfondir les connaissances sur la biologie de ce champignon est à travers l'isolement et l'identification sur la base des caractéristiques morphologiques et moléculaire ; puis étudier, ensuite, les conditions de son développement, l'activité antifongique d'une souche endophyte contre ce champignon phytopathogène et leur pathogénicité vis-à-vis de l'essence forestière *Quercus suber* sous différents

traitements hydrique (sans et avec un stress hydrique) pour mieux comprendre: (i) L'effet du stress et comment cet agent de la maladie du charbon seul ou en combinaison, affectent-ils la croissance et les réponses physiologiques des plants de *Q. suber* ? et (ii) la différence entre l'incidence et/ou la gravité de la maladie causée par cet agent fongique sur les plantules de *Q. suber* face aux conditions de stress.

Dans cette situation inquiétante, il s'avère nécessaire d'aborder, pour la première fois en Algérie, une recherche intensifiée pour atteindre ces objectifs.

Pour cela, nous avons structuré le présent travail en six chapitres distincts :

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique sur les champignons endophytes où nous abordons les principaux pathogènes fongiques des subéraies :

Dans le deuxième chapitre, nous avons exposé la maladie et son agent pathogène (*Biscogniauxia mediterranea*) avec l'historique et l'évolution de la maladie, symptômes et éléments de diagnostic, aspect des dégâts, le cycle biologique, les facteurs de risque.

Le troisième chapitre a été destiné à la présentation des trois forêts d'étude : la forêt de M'sila, Hafir et celle de Djebel Saadia ainsi que leurs caractères physio géographiques et climatiques.

Le quatrième chapitre, a été réservé au matériel utilisé et l'approche méthodologique adoptée sur le terrain ainsi que dans le laboratoire.

Le cinquième chapitre est consacré aux résultats avec une illustration bien détaillée. Le sixième chapitre porte sur une discussion générale des différents résultats obtenus dans le cinquième chapitre.

Le document se termine par une conclusion générale et perspective.

---

**CHAPITRE I :**

*Les endophytes fongiques  
associés au chêne liège*

---

## Chapitre I : Les endophytes fongiques associés au chêne liège

### 1. Généralités

O'Brien *et al.*, 2005, estiment que le règne des champignons ou règne Fungi regroupe entre 3,5 et 5,1 millions d'espèces. Près de 100 000 espèces sont décrites, ce qui représente environ 2,5% de leur nombre total. Les champignons constituent un règne à part entière, au même titre que les animaux, les plantes, les protistes, les protozoaires, les chromistes, les archées et les bactéries (Ruggiero *et al.*, 2015) (Fig.I.1).

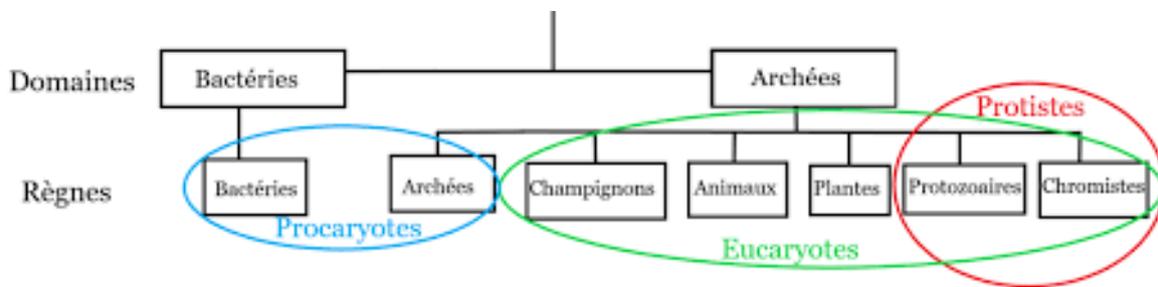


Figure I.1. Classification phylogénétique du monde vivant (Ruggiero *et al.*, 2015)

Selon la systématique morphologique utilisée par Fries (1821), jusqu'au début du XX siècle a constaté deux règnes (animal et végétal) où les champignons s'intègre dans le règne végétal qui se situe parmi les Cryptogames non vasculaires, formant un thalle enfoui dans le substrat.

La classification interne aux *fungi*, hautement artificielle puisque fondée sur des convergences d'aspect, a rapidement été remise en question par l'observation microscopique (distinction Ascomycète-Basidiomycète, etc).

Depuis 1950, la classification des champignons a connu de nombreuses modifications par intégration notamment le concept évolutionniste par l'intermédiaire du cladisme. Pour faire classier les espèces des paramètres sont utilisés relèvent non seulement des caractères macroscopiques, mais également de la biochimie et de la génétique. A l'heure actuelle, la nouvelle classification des champignons a considérablement simplifiée et le règne fongique est subdivisé en cinq phyla : Microsporidia, Chytridiomycota, Glomeromycota, Zygomycota et Dikarya (Ascomycota et Basidiomycota) (Fig.I.2.3), définis par le caractère cloisonné ou non du thalle, la présence ou l'absence de gamètes ou de spores mobiles et les caractères morphologiques des organes différenciés de la reproduction sexuée (Kendrick, 2000).

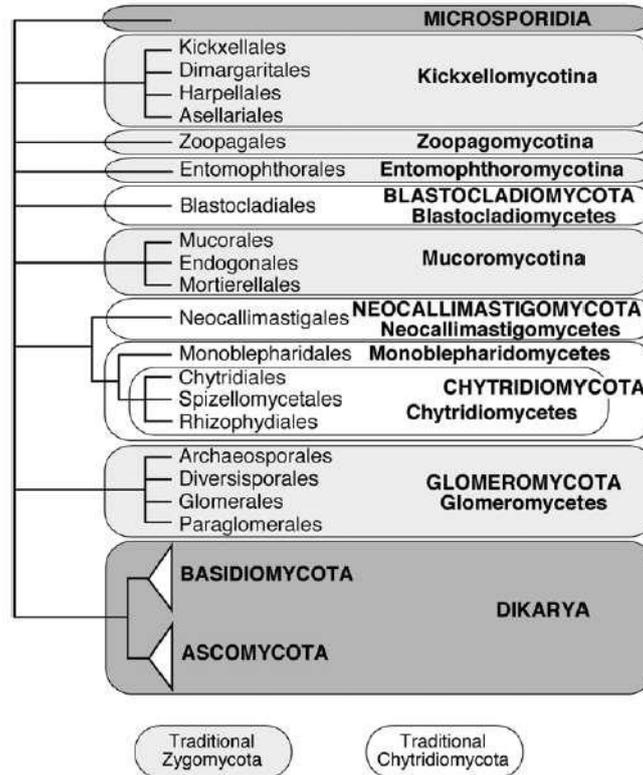


Figure I.2. Classification phylogénétique du règne Fungi (Hibbett *et al.*, 2007)

Les Chytridiomycota et les Zygomycota sont actuellement considérés comme polyphylétiques

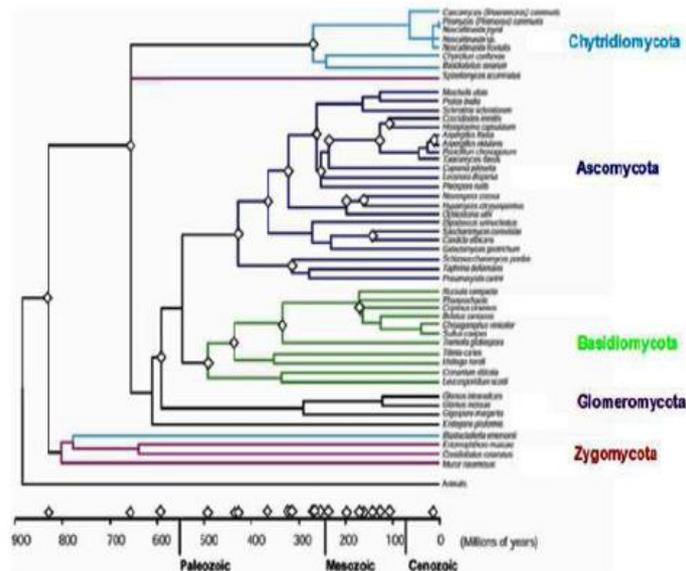


Figure I.3. Classification générale du règne des champignons (Kendrick, 2000)

L'endophytisme des champignons un mot provient du Grec ancien endo = dans, et phyton = plante (végétal), littéralement (à l'intérieur d'un végétal) (De Bary, 1866 ; kandel *et al.*, 2017) est une interaction biologique qui se caractérise par le fait de coloniser l'intérieur d'un organisme végétal, par une bactérie ou un champignon (Bourdel, 2015), de manière asymptomatique. Il est parfois retrouvé dans la littérature, que l'endophytisme donne systématiquement lieu à une interaction biologique, mutuellement positive ou à défaut, au moins non délétère pour la plante hôte, auquel cas cette interaction pourrait être qualifiée de mutualisme. A la différence de la symbiose, l'endophytisme n'est pas une interaction systématiquement durable (De Bary, 1866).

Ravlomanantsoa, (2004), classe les endophytes en trois types:

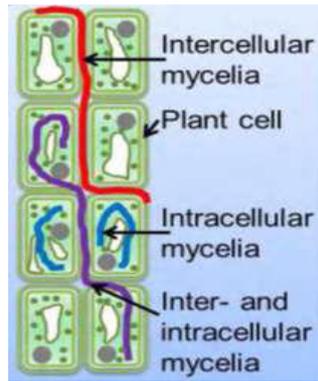
1/Endophytes asymptomatiques : Ceux sont des microorganismes qui ne provoquent pas de maladie à la plante hôte durant presque toute la durée de leur cycle à l'intérieur de la plante comme certaines bactéries (*Bacillus* spp) et champignons *Cladosporium* sp.) ;

2/Endophytes symbiotiques: Ils sont asymptomatiques et forment des associations bénéfiques et mutuelles avec la plante hôte. C'est le cas des bactéries fixatrices d'azote (*Acetobacter diazotrophicus*), ou certains champignons comme *Rhizotonia* dans les graines des orchidées ;

3/Endophytes pathogènes latents : Ceux sont de véritables phytopathogènes (ex : *Colletotrichum* sp. *Alternaria alternata*, ect) mais qui ne s'expriment que si la plante se trouve dans des conditions défavorables ou de stress tel que la sécheresse ou l'attaque par les insectes.

L'existence de ces champignons est connue depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle (Guerin, 1898). Les premiers fossiles d'endophytes remontent aux temps où les plantes supérieures sont apparues sur terre (Stierle *et al.*, 1993). Bourdel, 2015, déclare que les organismes endophytes sont des bactéries et des champignons, mais on peut aussi trouver des algues comme endophytes qui occupent principalement les espaces intercellulaires des tissus végétaux. C'est aussi le cas de certaines bactéries endophytes qui colonisent les espaces intracellulaires (Ravlomanantsoa, 2004).

Les champignons endophytes sont des champignons microscopiques qui vivent dans les feuilles, les rameaux, les troncs et les racines des arbres, majoritairement issus du phylum Ascomycota (Arnold, 2007) et présentent une grande diversité. Ils sont hétérotrophes et prélèvent des nutriments à l'hôte sans que celui-ci ne manifeste des signes de maladie. De plus ils peuvent croître dans le milieu intracellulaire ou extracellulaire (Fig.I.4).



**Figure I.4. Modes de croissance des champignons endophytes dans les tissus des plantes hôtes (Kusari et Spiteller, 2012)**

Les champignons endophytes sont ubiquistes : ils ont été détectés dans pratiquement toutes les espèces de plantes (Saikkonen *et al.*, 1998), à toutes les latitudes (Arnold, 2007). Une même espèce de champignon endophyte est capable de coloniser plusieurs hôtes différents (Andéol et Benjamin, 2016).

Deux modes de transmission sont observés chez les champignons endophytes (Fig.I.5) : le mode de transmission est le moyen par lequel le champignon peut coloniser un autre individu végétal à partir de l'hôte initial :

- **La transmission verticale** qui se caractérise par la colonisation d'un nouvel hôte progéniture de l'hôte primaire.

Elle résulte de la pénétration d'une hyphes de champignon endophyte dans une graine, un grain de pollen (Hodgson *et al.*, 2014) ou une propagule de la plante hôte. Elle permet ainsi la contamination de la descendance de l'hôte primaire. Il reste génétiquement identique (propagation par reproduction asexuée) mais il peut s'implanter soit dans un clone (colonisation d'une propagule), soit dans un hôte génétiquement différent, issu d'une nouvelle génération (colonisation d'un grain de pollen ou d'une graine).

La transmission verticale par la graine a principalement été observée chez quelques espèces de champignons endophytes de la famille des Clavicipitaceae qui colonisent les Poaceae, les Cypéraceae et les Juncaceae. Nous verrons cependant qu'elle existe chez d'autres espèces d'endophytes ayant été observés comme pouvant coloniser plusieurs espèces non graminoides (*Pinus spp.*, *Vigna unguiculata*, *Theobroma cacao*, *Castanea spp.*, *Colophospermum mopane*) (Currie *et al.*, 2014).

- **La transmission horizontale** se caractérise par la colonisation d'un nouvel hôte n'ayant, la plupart du temps, pas de lien avec l'hôte primaire. Elle procède de la dissémination de spores par un vecteur de dispersion. Après germination, l'hyphes pénètre le nouvel hôte soit par les stomates, soit par pénétration directe au travers de

l'épiderme. La plupart des espèces d'endophytes, colonisant la plus grande partie des végétaux présentent ce mode de transmission. Les spores peuvent être issues de la reproduction sexuée ou asexuée du champignon.

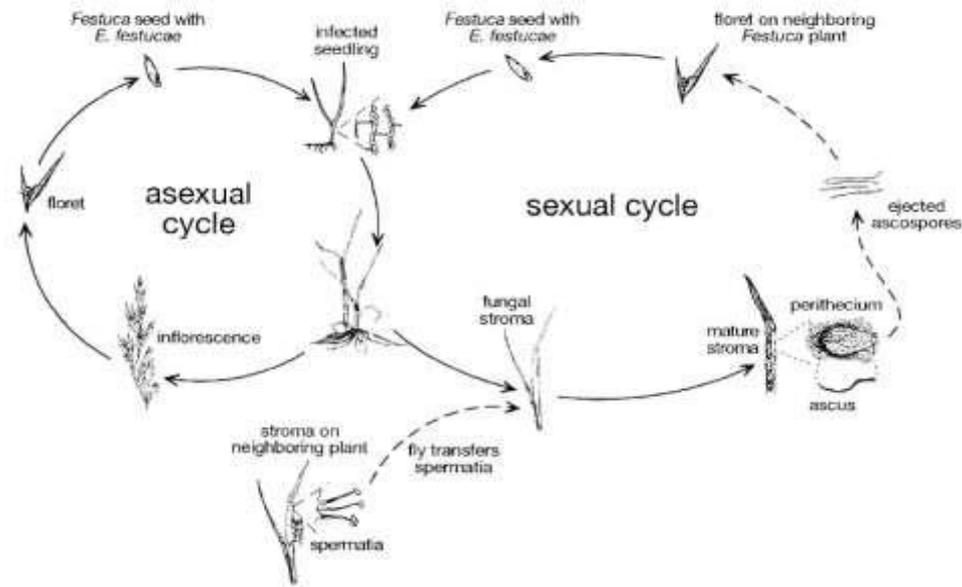


Figure I.5. Modes de transmission observés chez les champignons endophytes : l'exemple du cycle d'*Epichloë festucae* (Clay et Schardl, 2002)

## 2. Classification des champignons endophytes

Actuellement, les endophytes sont divisés en 4 classes (Tab. I.1) (Rodriguez *et al.*, 2009), selon la famille de l'endophyte concerné, la localisation dans les tissus de l'hôte (Fig.I.6) et le mode de transmission.

Tableau I.1. La classification des endophytes fongiques (Rodriguez *et al.*, 2009)

Les critères symbiotiques utilisés pour caractériser les classes des champignons endophytes				
Critères	Clavicipitaceous	Nonclavicipitaceous		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Gamme d'hôtes Tissus colonisés	Étroit Pousses et rhizome	Large Pousses, racine et rhizome	Large Pousses	Large Racine
Colonisation végétale	Extensive	Extensive	Limité	Extensive
Dans la biodiversité végétale	Faible	Faible	Haute	Inconnue
Transmission	Verticale et horizontale	Verticale et horizontale	Horizontale	Horizontale
Avantages de remise en forme*	NHA	NHA et HA	NHA	NHA

\*Les avantages non adaptés à l'habitat (NHA), tels que la tolérance à la sécheresse et l'amélioration de la croissance, sont courants chez les endophytes, quel que soit l'habitat d'origine. Les avantages adaptés à l'habitat (HA) résultent de pressions sélectives spécifiques à l'habitat telles que le pH, la température et la salinité

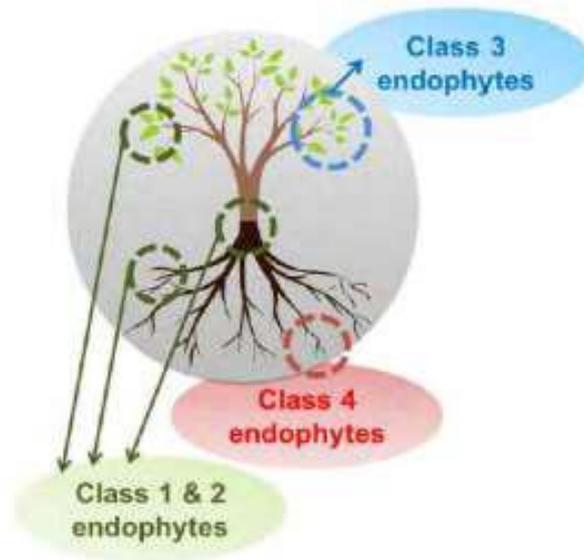


Figure I.6. Les classes d'endophytes selon la localisation des tissus colonisés (Andéol et Benjamin, 2016).

## 2.1. Classe 1

Ils sont constitués par des champignons appartenant à la famille des Clavicipitaceae (Ascomycota) qui regroupe des champignons essentiellement parasites de plantes, d'insectes ou autres (Sung *et al.*, 2007). Cette famille est constituée actuellement de 37 genres (NCBI, 2015) dont quatre possèdent des espèces capables d'endophytisme : *Balansia*, *Ephelis*, *Epichloë* et *Neotyphodium* (White *et al.*, 2000). D'un autre côté l'endophytisme des espèces des genres *Balansia* et *Ephelis* est peu documenté.

Les endophytes de cette classe sont subdivisés en trois types selon leur mode de transmission et l'interaction établie avec l'hôte (Clay et Schardl, 2002) (Tab. I.2).

Tableau I. 2. Subdivisions des endophytes de classe 1 (Clay et Schardl, 2002)

	Symbiotique (Type I)	Mixte (Type II)	Asymbiotique (Type III)
<b>Champignons :</b>			
<b>Reproduction</b>	Sexuée	Les deux	Clonale
<b>Transmission</b>	Horizontale	Les deux	Verticale
<b>Propagule</b>	Ascospores	Les deux	Graines
<b>Hôtes :</b>			
<b>Reproduction</b>	Stérile/clonale	Stérilité partielle	Sexuée
<b>Interaction</b>	Pathogène	Intermédiaire	Mutualiste
<b>Fréquence d'infection</b>	Faible-moderé	Intermédiaire	Haute
<b>Taxonomie</b>	Toute la famille des graminées	C3 herbes poïdes	C3 herbes poïdes

## 2.2. Classe 2

Ils sont tous issus de Dikarya. Ils sont en majorité constitués d'Ascomycota (uniquement des Pezizomycotina), mais ils comprennent également quelques représentants de Basidiomycota (Agaricomycotina, Pucciniomycotina) (Rodriguez *et al.*, 2009).

Les champignons endophytes de cette classe présentent un spectre d'hôte large. Ils peuvent coloniser toutes les parties de la plante et croissent de manière extensive dans le milieu intercellulaire principalement (Rodriguez *et al.*, 2009).

La transmission est le plus souvent verticale, mais il y a parfois transmission horizontale, en particulier lorsque l'hôte est en sénescence : le champignon émerge de l'hôte et sporule. Certains de ces endophytes sont également saprophytes et peuvent coloniser le sol (Rodriguez *et al.*, 2009).

Ils ont la particularité, dans le cadre de leur mutualisme, de fournir des avantages à l'hôte dits « habitats adaptés ». C'est-à-dire qu'ils apportent à l'hôte un avantage lié à une spécificité de l'habitat à l'origine d'un stress. La fréquence de colonisation des hôtes en milieux à haut stress abiotique pour l'hôte est très importante (90-100%). Ils sont souvent cultivables et peuvent croître sur plusieurs milieux de culture (Rodriguez *et al.*, 2009).

## 2.3. Classe 3

En particulier les Pezizomycota : familles des Sordariomyceta, Dothideomyceta, Pezizomyceta et Eurotiomyceta, on trouve également les Basidiomycota, plus souvent présents dans les tissus ligneux que dans les tissus foliaires (Higgins *et al.*, 2007). Ils peuvent coloniser en grand nombre les parties aériennes d'une plante.

Le spectre des hôtes est très large. Les individus de cette classe peuvent coloniser, en grand nombre, les parties aériennes d'une plante mais de manière très localisée.

Ainsi, chaque hôte peut présenter une grande diversité d'individus, d'espèces différentes (jusqu'à une centaine d'espèces) (Sélosse et Gibert, 2011).

## 2.4. Classe 4

Leur position phylogénétique n'est pas encore clairement établie. Ils appartiendraient aux Ascomycota du sous-embranchement des Pezizomycotina, en particulier les ordres des Pleosporales, Pezizales et Helotiales (Higgins *et al.*, 2007).

Ils présentent un spectre d'hôte large, bien qu'on les retrouve souvent associés à des arbustes ou arbres, en particulier les espèces de conifères (Rodriguez *et al.*, 2009). Ils ne colonisent uniquement que les racines de la plante, de manière extensive. Ils sont

caractérisés par la nature de leurs hyphes. Ces dernières sont septées et de couleur sombre de par la présence de mélanine. Ce sont les Dark Septate Endophyte (DSE). Dans les racines, ces champignons forment de façon occasionnelle des micro-sclérotés et pour certaines espèces une structure similaire au réseau de Hartig, structure formée par les champignons ectomycorrhiziens (Rodriguez *et al.*, 2009).

Ils colonisent asymptomatiquement les milieux intra- et extracellulaires de l'hôte. Ils sont présents principalement dans le cortex de la racine (Higgins *et al.*, 2007). Ils semblent se reproduire par reproduction asexuée principalement (conidies et croissance/fragmentation mycélienne). Le mode de transmission est strictement horizontal (Rodriguez *et al.*, 2009). Ils ont un rôle particulièrement important dans les milieux arides, semi-arides, alpins ou subalpins (environnement à haut-stress abiotique) (Higgins *et al.*, 2007), et sont ubiquitaires du point de vue du biotope et se retrouvent dans le monde entier (Rodriguez *et al.*, 2009). Ils ont une importance similaire à celle des mycorhizes : leur distribution est large et leur taux de colonisation est important (Higgins *et al.*, 2007). Ils peuvent coloniser des plantes mycorhizées ou non. Les plantes qui présentent ces endophytes de classe 4 peuvent également être colonisées par des endophytes foliaires (Rodriguez *et al.*, 2009).

### **3. Interaction endophyte-plante**

L'interaction plante hôte-endophyte est complexe et varie d'un hôte à l'autre et d'un endophyte à l'autre. En effet, les deux organismes synthétisent des composés qui ne sont pas directement impliqués dans le processus de croissance comme les métabolites secondaires (Saliba, 2015).

Dans le cas d'une interaction mutualiste, l'endophyte et la plante retirent tous deux avantages c'est-à-dire, les bénéfices retirés sont tous aussi variés pour les deux organismes.

La plante peut obtenir une résistance envers les stress biotiques par la production de métabolites secondaires tels que des alcaloïdes induisant une toxicité luttant contre l'ingestion de la plante par les insectes ou encore des antibiotiques contre l'attaque des microorganismes pathogènes (Bourdel, 2015).

### **4. Les métabolites secondaires des champignons endophytes à effet pathogène**

Généralement, il est défini par opposition à un métabolite primaire qui intervient dans le fonctionnement vital d'un organisme tels les acides nucléiques et les acides aminés. Les métabolites secondaires ne sont pas impliqués de façon directe dans le développement ou la reproduction de l'organisme, mais lui procurent un avantage généralement écologique.

Certaines de ces molécules peuvent avoir un intérêt thérapeutique pour l'homme. Chez le champignon endophyte, le rôle des métabolites secondaires est diversifié, on y retrouve par exemple des toxines et des phytohormones. Aussi, ils sont capables de produire des substances à utilisation potentielle en médecine, en agriculture ou encore en industrie. Ces composés possèdent un spectre d'activité pharmacologique très large. Nous retrouvons d'après Venugopalan et Srivastava, (2015) des anticancéreux, des antimigraineux, des antibiotiques, des antidépresseurs, des antidiabétiques, des anti-inflammatoires, des immuno suppresseurs et des hypolipémiants.

Ces molécules sont synthétisées à partir des métabolites primaires au travers de voies métaboliques bien définies. Ce sont des métabolites secondaires, très variés. Les classes chimiques les plus retrouvées sont les alcaloïdes, les peptides non ribosomiques, les polycétides et les terpènes (Spatafora et Bushley, 2015 ; Spiteller, 2015) (Fig.I.7).

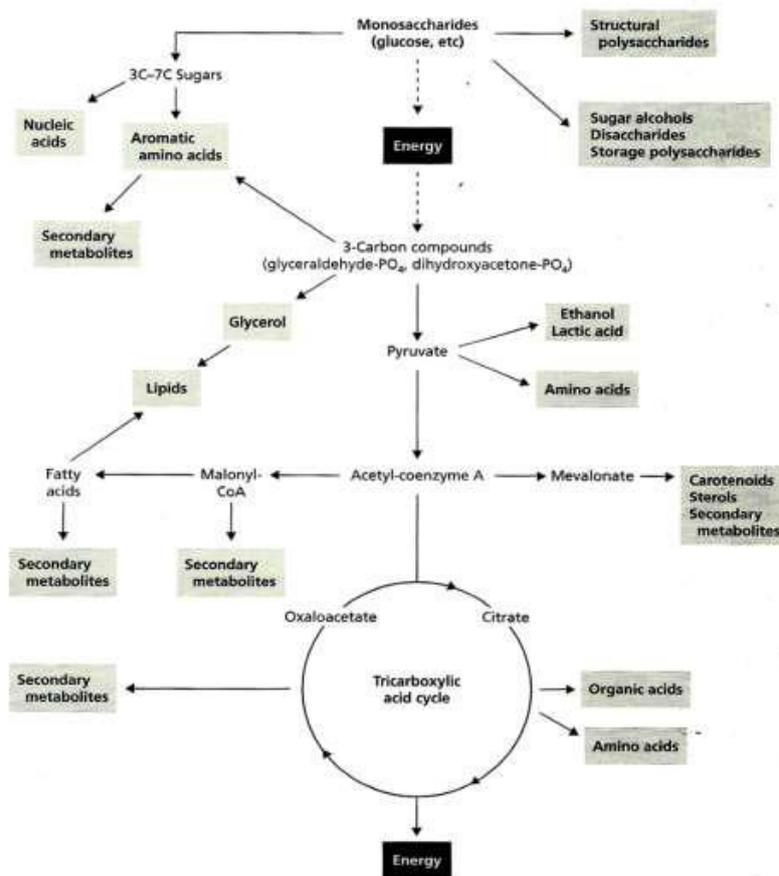


Figure I.7. Les principales voies des métabolites secondaires fongiques (Deacon, 2005)

Les principaux systèmes enzymatiques producteurs de métabolites secondaires des champignons endophytes sont donc les polycétides synthases (PKS pour poly ketide synthase en anglais), les non ribosomal peptid synthases (NRPS), et les enzymes responsables de la synthèse d'alcaloïdes indoliques (Spatafora et Bushley, 2015 ; Keller *et al.*, 2005).

La présence d'endophyte semble parfois provoquer une diminution de la tolérance de certaines plantes hôtes à la présence de pathogènes. L'explication la plus probable serait le coût de la présence de l'endophyte en nutriments pour l'hôte qui s'ajoute au stress induit par le pathogène. La présence des deux organismes colonisateurs représente un surcoût en nutriments pour l'hôte, probablement responsable de la présence de symptômes plus sévères chez ces plantes (Rodriguez *et al.*, 2009).

En réalité, les champignons endophytes présentent un mode de vie intermédiaire entre un parasitisme et un mutualisme (Saikkonen *et al.*, 1998). Cela est déterminé par les conditions environnementales et l'état physiologique de l'hôte. Un impact positif qui apporte à l'endophyte un avantage lié au stress environnemental et un impact négatif où l'endophyte devient parasite par un surcoût en nutriments délétère sur l'hôte.

Il est intéressant de remarquer que chaque individu d'une espèce de champignon peut parfois adopter plusieurs modes de vie au cours de son existence (Fig.I.8), selon le biotope et les conditions environnementales :

- un endophyte selon les facteurs environnementaux et l'état physiologique de l'hôte peut devenir parasite ;
- à la mort de l'hôte, certaines souches d'endophytes peuvent devenir saprophytes.

Les conditions environnementales sont déterminantes (Fig.I.9). C'est pourquoi il est important d'étudier l'impact des champignons endophytes en milieu naturel.

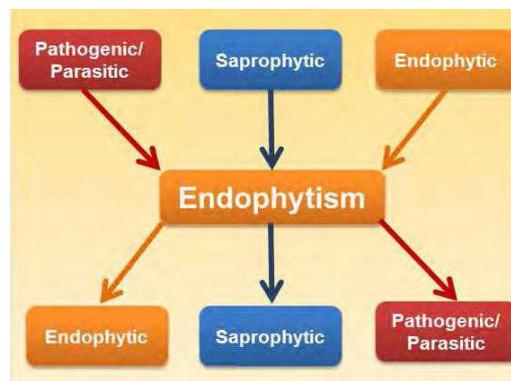


Figure I.8. Les champignons, une existence, plusieurs modes de vie (Kusari et Spiteller, 2012)

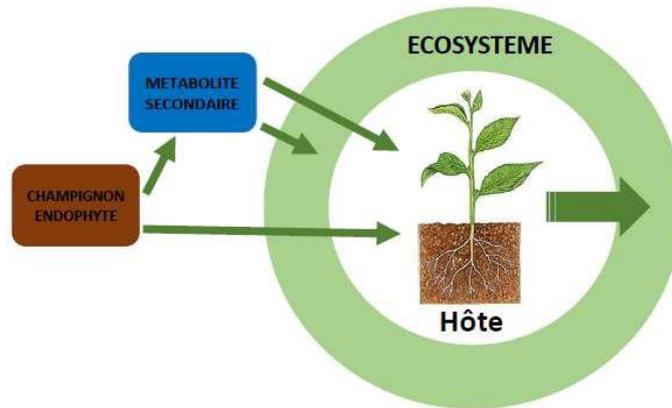


Figure I.9. Les champignons endophytes et l'écosystème (Andéol et Benjamin, 2016)

Les champignons endophytes produisent des métabolites secondaires. Ils ont un impact sur l'hôte par leur présence (coût en nutriments) et par leur production de métabolites secondaires bioactifs. La modification de la compétitivité de l'hôte a un impact sur l'équilibre de l'écosystème. Les facteurs environnementaux sont décisifs sur la nature de l'interaction champignon/hôte.

## 5. Les principaux pathogènes des subéraies

Plusieurs genres de champignons sont capables d'infecter les plantes et de causer des dégâts importants, l'ensemble de ces champignons provoquent des maladies cryptogamiques (Agrios, 2005). Ces derniers se définissent par une succession de réponses invisibles et/ou visibles à un champignon phytopathogène qui se manifeste par des bouleversements de la forme, de la fonction ou de l'intégrité de la plante. Les maladies cryptogamiques sont facilement transportées par le vent et la pluie qui favorisent le transport des spores de champignons, qui se disséminent et se déposent sur d'autres plantes saines (Brouillard, 2013).

Environ 1 000 espèces différentes représentent les champignons phytopathogènes (Emile et Michel, 2004). La plupart de ces espèces peuvent produire des mycotoxines conduisant aux différents symptômes de l'infection chez les plantes (Boudih, 2011).

Au cours des dernières années, le déclin et la mortalité des chênes notamment du genre *Quercus* ont été progressivement signalés malgré les nombreuses études réalisées jusqu'à présent. Le déclin du chêne continue d'être le principal problème pathologique des chênaies dans la région méditerranéenne (Fernandez-Escobar *et al.*, 1999; Luque *et al.*, 2008 ; Maddau *et al.*, 2009 ; Solla *et al.*, 2009).

Sous ce dernier aspect et parmi les importants facteurs contribuant dans ce déclin est celui des endophytes fongiques. Ce qui attribue, en effet, une importance de plus en plus grande à l'étudier, que ce soit dans une perspective écologique ou pour mieux connaître les relations qu'ils établissent avec leur hôtes (Carroll, 1988 ; Petrini, 1991).

Comme tous les arbres forestiers, le chêne-liège héberge plusieurs espèces de champignons qui lui provoquent des maladies remarquables. Dans ce contexte, il existe trois grands types de pathogènes fongiques. : (i) foliaires, qui réduisent la surface photosynthétique du feuillage ; (ii) des tiges et des pousses, qui entraînent une diminution de la croissance en interférant avec les mouvements de l'eau et des nutriments et (iii) racinaires, qui perturbent la disponibilité en eau et en nutriments pour les arbres (Cherubini *et al.*, 2002). Ces pathogènes peuvent être transmis d'arbre en arbre, mais aussi par les insectes qui peuvent attaquer l'arbre (Swedjemark et Stenlid, 2001). Cela est particulièrement vrai pour les maladies fongiques dont les vecteurs sont des insectes telle la maladie de la graphiose de l'orme causée par le champignon *Ophiostoma ulmi* (sensu lato) transmis par le scolyte de l'orme (*Scolytus scolytus*), coléoptère de la sous-famille des Scolytinae (Desprez Loustau *et al.*, 2006).

### 5.1. Les pathogènes des feuilles

Sur le chêne-liège, les pathogènes fongiques les plus fréquemment observés comprennent *Discula quercina* connue pour provoquer l'anthracnose et la brûlure des pousses sur les chênes en Amérique du Nord et en Europe, est probablement l'espèce la plus étudiée (Hecht-Poinar et Parmeter 1986 ; Moricca et Ragazzi 2008, 2011 ; Ragazzi *et al.*, 2002, 2007b). *Cystodendron dryophilum* est un champignon pathogène des feuilles qui provoque des taches brun-cuir avec une marge distincte, *Lembosia quercina* provoque des taches typiques, semblables à des gousses, sombres et veloutées (Moricca *et al.*, 2016). Les attaques de ces deux champignons sont signalées dans des peuplements denses, où ils provoquent une défoliation lente mais progressive et parfois totale (Marras, 1962 a). *Dendrophoma myriadea* est un champignon assez rare qui provoque une nécrose foliaire, principalement en automne, lorsque des zones nécrotiques brun clair apparaissent sur la pointe de la feuille (Moricca *et al.*, 2016). Ces zones ont un bord brun rougeâtre distinctif qui les distingue clairement de la feuille verte saine. Il est bien connu que les maladies des feuilles peuvent affaiblir les arbres en interrompant la photosynthèse, le taux de respiration et le métabolisme en compromettant la régulation thermique (Marçais et Desprez Loustau, 2014). Cependant, à ce jour, peu d'informations sont disponibles sur la pathogénicité, la répartition géographique, la gamme d'hôte de chêne et la variabilité génétique, à travers le monde, des principaux agents pathogènes du chêne-liège (Moricca *et al.*, 2016).

D'autres agents pathogènes foliaires ont été identifiés sur le chêne-liège, notons l'exemple de *Erysiphe sp* agent de l'oïdium, *Uredo quercus* agent de la rouille (Marras, 1962 a) et *Phytophthora ramorum*, un pathogène primaire polyphage qui crée des dommages sur une large gamme d'hôtes ligneuses forestières et ornementales (environ 120 espèces). Il se transmet principalement par le vent et de proche en proche par le biais de gouttes d'eau infectées. Il peut causer des dommages sur de nombreux végétaux mais sporule mieux sur certains (bons vecteurs). Ce pathogène a une grande capacité d'adaptation (INRA, 2017). Selon la même source, l'infection se manifeste par des nécroses foliaires plus ou moins étendues, des rougissements des feuilles, le flétrissement et la chute, la descente de cimes mais tous ces symptômes dépendent de l'hôte. Les lésions corticales sont très semblables à celles causées par d'autres espèces de *phytophthora* sur le tronc et les branches. Il entraîne la mort plus ou moins rapide de son hôte. Aux Etats-Unis, il est responsable de la SOD (Suden Oak Death) ou maladie dite de "la mort subite des chênes", à l'origine de la mort de plus d'un million de Fagacées depuis le milieu des années 90, essentiellement des chênes et autres Fagacées en Californie et dans l'Oregon.

A ce jour, il existe peu d'informations sur l'impact écologique et le rôle joué par ces agents pathogènes foliaires dans l'étiologie du chêne-liège (Moricca *et al.*, 2016).

## 5.2. Les pathogènes des racines

L'espèce *Phytophthora cinnamomi*, appartenant au règne des Chromista, est l'espèce la plus associée à la pourriture des racines des chênes en déclin, notamment *Q. suber*, *Q. ilex*, *Q. robur* et *Q. petraea* (Brasier, 1992 ; Cobos *et al.*, 1992 ; Brasier, 1993 ; Brasier et Ferraz, 1993 ; Brasier *et al.*, 1993 a et b ; Gallego *et al.*, 1999 ; Sánchez *et al.*, 2002). Il a été décrit par Jung *et al.* (1996 ; 1999) et a eu un impact majeur dans le déclin du chêne-liège dans les pays européens méditerranéens dont la France, l'Italie, l'Espagne et le Portugal (Brasier, 1992 ; Robin *et al.*, 1998 ; Scanu *et al.*, 2013). Les informations sur l'apparition du pathogène en Afrique du Nord sont très rares (Brasier *et al.*, 2003 ; Smahi, 2019).

Brasier (1991 ; 1992 a, b) et Brasier *et al.* (1993b) ont supposé que *P. cinnamomi* peut être associée à la mortalité rapide des chênes dans certaines régions de Tunisie et au Maroc. En Algérie, la présence des espèces du genre *Phytophthora* dans les suberaies a fait l'objet d'une étude scientifique par Smahi *et al.*, (2017a).

D'autres espèces de *Phytophthora*, à savoir *P. quercina*, *P. gonapodyides* et *P. psychrophila*, ont récemment été associées à des chênes méditerranéens en déclin en Italie et en Espagne et leur pathogénicité a été démontrée sur *Quercus faginea*, *Q. Ilex* et *Q. suber* (Pérez-Sierra *et al.*, 2013 ; Linaldeddu *et al.*, 2014 ; Seddaiu *et al.*, 2014), en Algérie sur le *Q. suber* (Smahi *et al.*, 2018).

De plus, le oomycète *Pythium spiculum*, a été fréquemment isolé des racines de chêne-liège en déclin et de la rhizosphère dans le sud de l'Iberia (Serrano *et al.*, 2012 a). Il se trouve souvent simultanément avec *Phytophthora cinnamomi* dans des peuplements de chêne dans le sud-ouest de l'Espagne et le sud du Portugal (Moricca *et al.*, 2016). En raison de leurs différentes structures de reproduction asexuée et donc des besoins en eau du sol, les deux agents pathogènes peuvent être les plus actifs en différentes saisons, avec un faible niveau de compétition entre eux pour la colonisation des racines de chêne (De Vita *et al.*, 2011).

### 5.3. Les pathogènes du bois

Depuis le début des années 1980, certains de ces champignons ont reçu une attention particulière car ils ont toujours été associés à l'étiologie de la mortalité du chêne-liège dans de nombreux pays (Luque et Girbal, 1989 ; Franceschini *et al.*, 1999).

Deux espèces en particulier, *Diplodia sp.* et *Biscogniauxia mediterranea*, les agents pathogènes les plus largement diffusés dans les forêts de chêne-liège en déclin.

Les espèces de la famille des Botryosphaeriaceae sont pathogènes, nécrotrophes ou saprophytes, en particulier sur les plantes ligneuses (Phillips *et al.*, 2013). Elles infectent usuellement les gymnospermes, mais aussi les angiospermes. Au nombre de 2 000 espèces, moins de 50 semblent avoir été décrites à partir de gymnospermes (Slippers et Wingfield, 2007). La majorité des genres appartenant à cette famille, a été décrite comme des endophytes (Crous *et al.*, 2006), mais aussi comme saprophyte ou parasite (Smith *et al.*, 1996 a ; Denman *et al.*, 2000). Elles sont associées aux espèces ornementales ou forestières. En effet, elles ont été isolées à partir de *Quercus spp.* (Vajna, 1986 ; Ragazzi, 1987 ; Marras *et al.*, 1990), *Pinus sp.* (Zhong et Liang, 1990), *Eucalyptus sp.* (Smith *et al.*, 1996a), *Fraxinus sp.* (Sidoti et Granata, 2004) et beaucoup d'autres espèces. Elles sont aussi associées aux espèces fruitières comme l'amandier (Gramaje *et al.*, 2012), le pommier (Phillips *et al.*, 2012), l'avocatier (Twizeyimana *et al.*, 2013), les agrumes (Linaldeddu *et al.*, 2013), la vigne (Urbez-Torres, 2011), l'olivier (Lazzizzera *et al.*, 2008 ; Morales *et al.*, 2012) et le kaki (Palou *et al.*, 2013) parmi beaucoup d'autres.

Elles se reproduisent sur les monocotylédones, les dicotylédones, sur les branches ligneuses, les feuilles herbacées, les tiges et les fanes de graminées, sur des brindilles et dans les thalles des lichens (Barr, 1987).

La famille des Botryosphaeriaceae a une distribution cosmopolite avec une richesse en espèces. En effet, elles ont été détectées dans plusieurs pays à travers le monde : En Europe, au Portugal (Phillips *et al.*, 2008), en Espagne (Alves *et al.*, 2004), en Italie (Linaldeddu *et al.*, 2010 ; Deidda *et al.*, 2012) et en France (Molot *et al.*, 2006) ; En dehors de l'Europe, les espèces ont été isolées en Australie (Taylor *et al.*, 2005 ; Pitt *et*

*al.*, 2010), en Californie (Úrbez-Torres *et al.*, 2006), au Chili (Besoain *et al.*, 2013), au Mexique (Candolfi-Arballo *et al.*, 2010) et en Nouvelle- Zélande (Amponsah *et al.*, 2009, Baskarathevan *et al.*, 2012) ; En Afrique du nord : elles ont été détectées en Tunisie (Chebil *et al.*, 2014), en Algérie (Berraf-Tebbal *et al.*, 2014), et au Maroc (Haimed, 2007) ; En Afrique du sud (Van Niekerk *et al.*, 2004 ; White *et al.*, 2011).

Plusieurs auteurs ont pensé précédemment que l'infection par les espèces de Botryosphaeriaceae survient par les blessures (Von Arx et Muller, 1954 ; Smith *et al.*, 1994). Ainsi, les chancres commencent à se développer à partir des blessures sur les feuilles, les branches ou les tiges. Et d'autres auteurs ont montré que les infections se font directement sur les lenticelles, les stomates ou d'autres ouvertures naturelles (Brown et Hendrix, 1981 ; Michailides, 1991 ; Kim *et al.*, 1999 ; Smith, 2001), ou même pénétrer directement dans le tissu hôte (Pusey et Bertrand, 1993). Les plaies d'élagage ou de démasclage semblent être aussi les principaux points d'entrée des espèces de Botryosphaeriaceae.

#### 5.4. Les champignons Ophiostomatoïdes

En forêt, il existe plusieurs exemples d'insectes qui établissent des symbioses avec des champignons causant de graves dommages aux arbres attaqués, notamment la maladie hollandaise de l'orme causée par *Ophiostoma ulmi* et *O. novo-ulmi* (Buisman) Nannf, transmis par *Scolytus spp.* (Jacobi *et al.*, 2007; Six *et al.*, 2005) ou *Ophiostoma spp.* du pin maritime, porté par *Ips sexdentatus* (Lieutier et Levieux, 1985 ; Levieux *et al.*, 1989).

Beaucoup de scolytes peuvent être vecteurs de champignons ophiostomatoïdes, économiquement importants en tant qu'agents pathogènes des arbres et agents de décoloration du bois.

Les champignons ophiostomatoïdes sont les principaux associés aux scolytes et aux xylomycetophages. Les coléoptères individuels sont souvent porteurs d'une grande variété de ces champignons, mais en général, seuls quelques-uns semblent avoir une association étroite avec le coléoptère vecteur (Yamaoka *et al.*, 1997 ; Jacobs et Wingfield, 2001 ; Belhoucine *et al.*, 2011). Il a été suggéré que certains scolytes dépendent des champignons vecteurs comme source de nutriments nécessaires à leur reproduction et/ou développement, comme protection contre les champignons nuisibles ou pour surmonter les mécanismes de défense des arbres (Harrington, 1993 ; Wingfield *et al.*, 1995 ; Paine *et al.*, 1997 ; Klepzig *et al.*, 2001). À leur tour, les champignons dépendent de leurs vecteurs pour se disperser vers de nouveaux hôtes là où un substrat frais et humide est disponible. Les champignons ophiostomatoïdes sporulent dans les galeries du scolyte vecteur et dans l'aubier sous-jacent.

Les champignons ophiostomatoïdes constituent un groupe artificiel de plus de 100 espèces qui ont été subdivisées en genres téléomorphes morphologiquement similaires : *Ophiostoma* et *Ceratocystis* (Harrington, 1981 ; De Hoog et Scheffer, 1984 ; Hausner et Reid, 2003). Ces champignons ont une variété d'anamorphes différents tels que *Leptographium*, *Pesotum*, *Hyalorhinoclaadiella*, *Sporothrix* et *Graphium* (Wingfield, 1993; Okada *et al.*, 1998; Paulin-Mahady *et al.*, 2002). Les espèces de *Leptographium* se reconnaissent à leurs conidiophores uniques, hauts et sombres, et à leurs cellules conidiogènes complexes qui produisent des masses visqueuses de conidies hyalines (Kendrick, 1962). *Pesotum*, les anamorphes synnémateux d'*Ophiostoma*, et *Graphium*, les anamorphes synnémateux apparentés à *Microascales*, sont similaires à *Leptographium* (Seifert, 1993). *Hyalorhinoclaadiella* est caractérisée par des conidiophores micronémateux dépourvus de denticules proéminents au niveau des détachements des conidies (De Hoog, 1993).

En raison de la morphologie relativement simple des anamorphes et des téléomorphes et du chevauchement fréquent des caractéristiques entre les espèces, les espèces ophiostomatoïdes sont morphologiquement difficiles à identifier (Upadhyay, 1981 ; Lee *et al.*, 2003).

Actuellement, les approches moléculaires utilisant des caractères ADN sont essentielles pour identifier les espèces ophiostomatoïdes et clarifier les relations phylogénétiques au sein de ces espèces. Les coléoptères portent ces champignons sous forme de spores qui peuvent affaiblir ou tuer les arbres et/ou diminuer la valeur des produits ligneux en raison des taches (Yamaoka *et al.*, 1998 ; Haberkern *et al.*, 2002 ; Jacobs *et al.*, 2004; Yamaoka *et al.*, 2004). La présence de ces champignons peut susciter des problèmes phytosanitaires dans les pays importateurs de produits ligneux, surtout si les champignons ne sont pas présents dans le pays importateur. Il est donc important de développer davantage de données sur la diversité

Parmi les insectes porteurs de champignons ophiostomatales, *Platypus cylindrus* est connu dans certains pays méditerranéens sur le chêne liège, tels le Portugal (Henriques, 2007 ; Inacio *et al.*, 2008), la France (Morelet, 1998) , l'Algérie (Belhoucine *et al.*, 2011, 2012, 2013 ; Amoura *et al.*, 2021) et la Tunisie (Bellahirech *et al.*, 2018). Ce groupe de champignons est directement lié à l'alimentation de l'insecte et forme les champignons ambrosia.

Le genre *Ophiostoma*, dont certaines espèces sont connues pour leur pathogénicité envers le genre *Quercus* (Franceschini *et al.*, 1993) est représenté par trois espèces, isolées de *P. cylindrus* et de ses galeries dans le nord-ouest algérien (Belhoucine *et al.*, 2011 ; 2012 ; Belhoucine, 2013). La première, *O. quercus* a été reliée à plusieurs scolytes dont *Scolytus rafzeburgi* dans les galeries de *Betula sp.* (Linnakoski *et al.*, 2009) ; elle a été impliquée dans le déclin de différentes espèces de chênes en Europe

centrale (Cech *et al.*, 1990). En Espagne, Luque *et al.*, (2000) ont prouvé sa pathogénicité pour le chêne-liège ; elle provoque des chancres et lésions menant parfois à la mort de l'arbre. La deuxième espèce, *O. stenoceras*, est considérée comme potentiellement pathogène quand les conditions le permettent (Piontelli *et al.*, 2006). La troisième espèce, *O. nigrocarpum* similaire à *Raffaelea sp* sur le plan moléculaire (Belhoucine, 2013). Cette dernière a été aussi reliée à d'autres xylophages comme *Dendroctonus frontalis* aux USA (Harrigton, 2005).

A l'est de L'Algérie, 3 espèces d'Ophiostoma identifiées au genre seulement, ont été associées au *Platypus cylindrus* (*Ophiostoma sp.* 001, *Ophiostoma sp.* 002 et *Ophiostoma sp.* 003) (Amoura *et al.*, 2021).

En Tunisie, *Ophiostoma sp.* et *O. tsotsi* ont été isolées à partir des mycangia de *P. cylindrus* et de ses galeries de chêne-liège (Bellahirech *et al.*, 2018). Au Portugal, aucun représentant des *Ophiostoma* n'a été isolé du *P. cylindrus*. Par contre, il a été lié à l'insecte deux représentants du genre *Raffaelea* : *R. ambrosiae* et *R. montetyi* (Henriques, 2007; Inacio *et al.*, 2008). Cette dernière espèce a également été isolée en France (Morelet, 1998), en Algérie (Belhoucine *et al.*, 2011 ; 2012 ; 2013 ; Amoura *et al.*, 2021) et en Tunisie (Bellahirech *et al.*, 2018).

L'effet des *Raffaelea spp.* sur le chêne-liège reste encore mal connu (Belhoucine *et al.*, 2012). Au Japon, néanmoins, la pathogénicité de *R. quercivora* véhiculé par *P. quercivorus* a été démontrée sur des Fagacées comme *Quercus serra*, *Q. mongolia* et *Q. cripula* (Kubono et Ito, 2002), de même que celle de *R. lauricola*, isolé des mycangia de *Xyleborus glabratus* aux USA, sur le laurier (Fraedrich *et al.*, 2008).

Des champignons du complexe *Ophiostoma/Ceratocystis* sont de fréquents pathogènes du genre *Quercus* (Badler, 1992). Cependant, jusqu'à présent aucune espèce de ce genre n'a été associée à *P. cylindrus*. Mais des études phylogénétiques des espèces de *Raffaelea* isolées au Portugal ont montré des similitudes avec des espèces d'*Ophiostoma* (Inacio *et al.*, 2008).

---

**CHAPITRE II :**

*Biscogniauxia mediterranea*

**(De Not.) Kuntze**

---

## Chapitre II : *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze

### 1. Généralités

Les Xylariaceae sont l'un des groupes d'ascomycètes les plus couramment rencontrés, la plupart de ses membres étant stromatiques, périthéciaires, avec un anneau apical d'asque positif à l'iode et des ascospores sombres unicellulaires sur lesquelles on peut trouver une fente de germination. La plupart, sont couramment des habitants du bois, des graines, des fruits ou des feuilles d'angiospermes. Certains sont associés aux insectes. Ils sont aussi des agents pathogènes et endophytes des plantes.

Les Xylariaceae (Xylariales, Ascomycotina) constituent une grande famille de champignons filamenteux, avec au moins 73 genres acceptés à ce jour (Eriksson, 2006). Ils sont, en général, considérés comme des saprotrophes ou des parasites faibles, bien que certaines espèces de cette famille soient connues pour être de graves phytopathogènes (Whalley, 1996).

D'après la monographie de Rogers et Ju (2002), nous avons 14 genres de Xylariaceae (Fig.II.1) dont :

1. *Ascovirgaria* Rogers J.D. et Ju Y.M., est un genre monotypique, elle ne contient qu'une seule espèce: *A. occulta* Rogers J. D. et Ju Y.M.
1. *Biscogniauxia* Kuntze, possède 49 taxa.
2. *Creosphaeria* Theiss., est un genre monotypique, il ne contient qu'une seule espèce : *C. sassafra* (Schwein. : Fr.) Ju Y.M., San Martín et Rogers J.D.
3. *Daldinia* Ces. et De Not., renferme 19 taxa.
4. *Discoxylaria* Lindquist et Wright J., est un genre monotypique, il ne contient qu'une seule espèce : *D. myrmecophila* Lindq. J.C. et Wright J.E.
5. *Entoleuca* Syd., porte 2 taxa.
6. *Hypoxylon* Bull., tenu 132 taxa.
7. *Jumillera* Rogers J.D., Ju Y.M., et San Martín, contient 6 taxa.
8. *Kretzschmaria* Fr., possède 16 taxons.
9. *Kretzschmariella* Viégas, a un (1) taxon, l'espèce type, était considérée comme synonyme d'*Hypoxylon culmorum* Cooke par Petrak (1951). Cette systématique

a été acceptée par Miller en 1961. Des données culturelles récentes, dont un anamorphe inhabituel ou peut-être unique parmi les Xylariaceae, nous obligent à réintégrer *Kretzschmariella*.

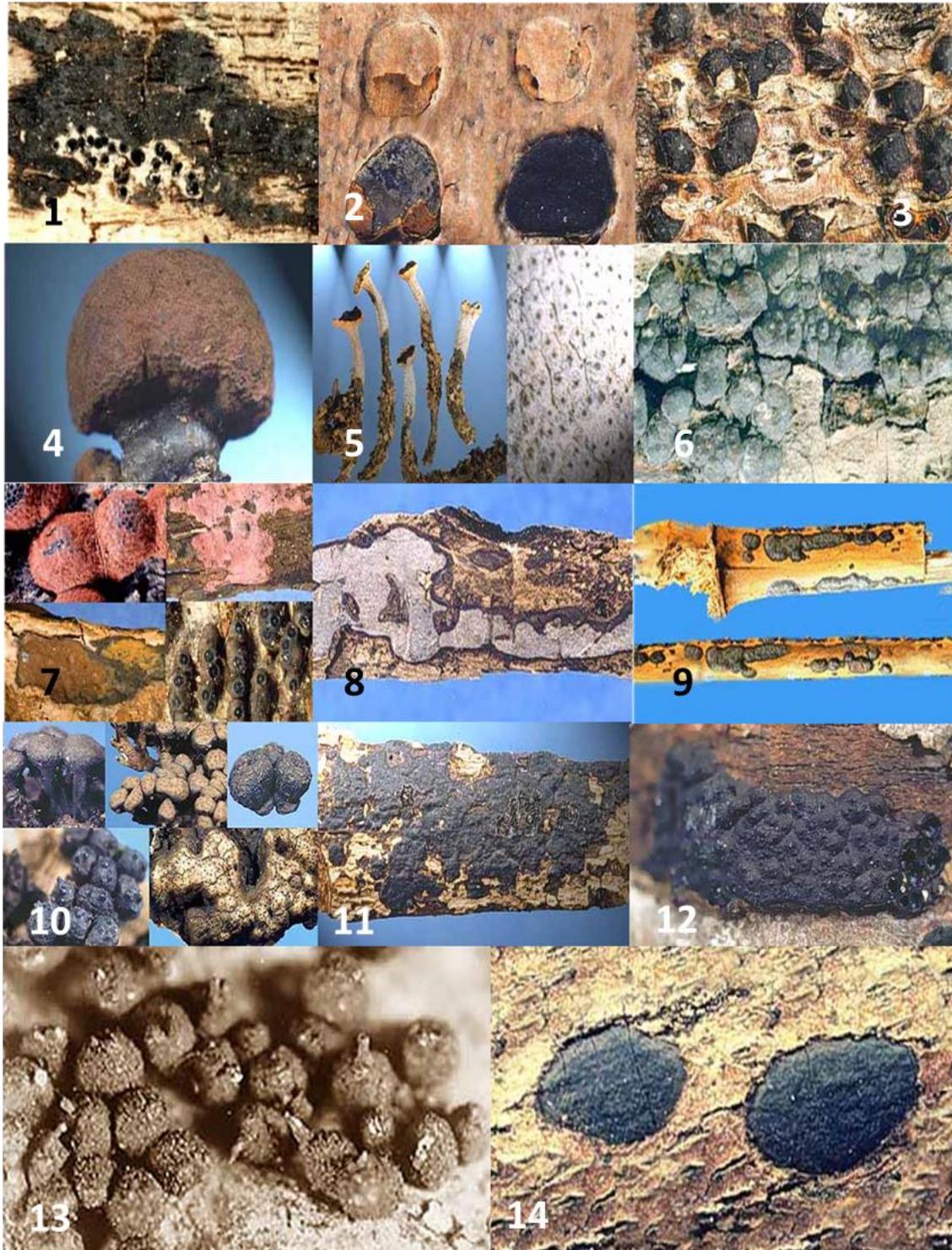
*Kretzschmariella* est un genre monotypique, il ne contient qu'une seule espèce : *K. culmorum* Cooke.

10. *Nemania* Gray S.F., comporte de 37 taxa.
11. *Stilbohypoxylon* Henn., englobe 3 taxa.
12. *Vivantia* Rogers J.D., Ju Y.M., et Cand., est un genre monotypique, il ne contient qu'une seule espèce : *V. guadalupensis* Rogers J. D., Ju Y.M.
13. *Whalleya* Rogers J.D., Ju Y.M. et Saint-Martin. est composé de 2 taxa.

De plus, les taxons des Xylariaceae ont été signalés comme des endophytes dans nombreuses plantes (Petrini et Petrini, 1985 ; Promputtha *et al.*, 2005) et même de lichens (Li *et al.*, 2007). La plupart de ces champignons xylariacés endophytes sont généralement isolés sous forme d'anamorphes hyphomycètes d'une grande variété de plantes, bien que les téléomorphes se développent sur une gamme d'hôtes plus étroites (Bills et Pelàez, 1996 ; Collado *et al.*, 2001 ; Petrini et Petrini, 1985).

Martin (1967 a) et Ju et Rogers (1996), relèvent que les caractères morphologiques sont largement acceptés pour définir les limites de la famille des Xylariaceae en incluant la présence de la morphologie du stroma (unipartite, bipartite, unipérithécie, multipérithécie, etc...), le type de centrum, la structure de l'appareil apical des asques (bleuissement dans le réactif iodé de Melzer), ainsi que le nombre, l'arrangement et la morphologie des ascospores.

Ces derniers temps, il a été admis que les Xylariaceae peuvent être divisés en deux principaux groupes : les Hypoxyloideae qui sont caractérisés par la production de pigments stromataux dans du KOH et des anamorphes de type *Nodulisporium* (à titre d'exemple : *Hypoxylon*, *Biscogniauxia*, *Camillea*, *Daldinia*), tandis que les Xylarioideae ne donnent pas de pigments stromataux dans du KOH, ils produisent des anamorphes de type *Geniculosporium* (tels *Xylaria*, *Rosellinia*, *Nemania*) (Stadler et Hellwing, 2005 ; Tang *et al.*, 2009).



**Figure II.1. Monographie sur les 14 genres de Xylariaceae dont (1 : *Ascovirgaria* ; 2 : *Biscogniauxia* ; 3 : *Creosphaeria* ; 4 : *Daldinia* ; 5 : *Discoxylaria* ; 6 : *Entoleuca* ; 7 : *Hypoxylon* ; 8 : *Jumillera* ; 9 : *Kretzschmariella* ; 10 : *Kretzschmaria* ; 11 : *Vivantia* ; 12 : *Nemania* ; 13 : *Stilbohypoxyton* ; 14 : *Whalleya* (Rogers et Ju, 2002)**

Les taxons de *Biscogniauxia* sont exclusivement des parasites des angiospermes dicotylédones. Le plus récent d'index hôte-champignon 5 taxons répertorient pour

les États-Unis sur divers hôtes (Farr *et al.*, 1989). Certains autres taxons ne sont pas tous considérés ici comme *Biscogniauxia*. Ils sont répertoriés sous *Nummularia* dont les hôtes sont des dicotylédones. La collecte des données suggèrent des préférences d'hôte (une spécificité d'hôte), parmi les taxons de *Biscogniauxia* en Grande-Bretagne (et probablement dans toute l'Europe) *B. nummularia* (Bull. : Fr.) Kuntze se rencontre habituellement sur *Fagus spp.* (Canon *et al.*, 1985). *Biscogniauxia marginata* (Fr. : Fr.) Pouzar (classiquement connu sous le nom de *Nummularia discreta* (Schwein.) Tul. et C. Tul.) se rencontre souvent mais pas exclusivement sur des arbres de la famille des Rosacées. Il provoque un chancre classique appelé clou-tête, en référence aux stromas à sommet plus ou moins plat ; c'est aussi souvent appelé maladie vésiculeuse (Hepting, 1971). Le *Biscogniauxia atropunctata* (Schwein. : Fr.) Pouzar (comme *Hypoxyton*) cause une maladie de l'écorce des espèces *Carya*, *Fagus* et *Quercus* dans le nord de la Géorgie; il soupçonne que le manque de vigueur prédispose les arbres à l'invasion par le champignon (Hepting, 1971). Bassette *et al.* (1982) ont mis en cause le même champignon que celui responsable des chancres sur les chênes de l'Arkansas.

Bassett et Fenn (1984) ont montré expérimentalement que l'annélation des arbres d'apparence saine de *Quercus spp.* ont entraîné la production de stromas de *B. atropunctata* sur 70 % des chênes blancs (sous-genre *Leucobalanus*) et 77 % des chênes noirs (rouges) (sous-genre *Erythrobalanus*) en 5 mois. Ils ont aussi conclu que la fructification se produisait après l'annélation en stimulant l'activité du mycélium provenant d'infections latentes.

Tainter et Gubler (1973), croyaient que la baisse des niveaux de survie du champignon est celle du flétrissement du chêne (*Ceratocystis fagacearum* (Bretz) Hunt), qui résultent de la décomposition rapide de l'aubier par *B. atropunctata*. *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze a été impliqué dans la mort et la destruction de *Quercus robur* au Portugal et en Afrique du Nord (Barbosa, 1958 ; Malençon et Marion, 1951). Roger (1953), mentionne deux taxons (comme *Nummularia*) qui les considère comme des "semi-parasites" sur Hevea.

La plupart des mycologues ont accepté le concept Tulasne de *Biscogniauxia* et de nombreuses espèces supplémentaires ont été décrites. Un grand étudiant des Xylariaceae, Miller J. H., a déplacé la plupart des espèces aplanées de *Biscogniauxia* (comme *Nummularia*) dans la section *Applanata* d'*Hypoxyton* (Miller, 1961). Ce dernier a visiblement choisi de diminuer l'importance des différences de développement entre *Biscogniauxia* et *Hypoxyton*. La section *Applanata* contient ainsi des taxons de *Camillea* Fr., *Jumillera* J. (Rogers D., Ju Y.M. et San Martín), *Whalleya* J. (Rogers D., Ju Y.M. et San Martín), ainsi que *Biscogniauxia* (Laessøe, 1994; Rogers *et al.*, 1997). Plus un concept présenté par Martin en 1969 (b) qui a élargi *Biscogniauxia* (comme *Nummulariola* House) comprenant des taxons de *Camillea*, *Camarops* P. Karst., *Peridoxylon* Shear et *Bolinia* Nitschke, et d'autres.

Les espèces de *Biscogniauxia* sont probablement, sans exception, des pathogènes de l'écorce. Ils se développent dans l'écorce, entre les couches stromales internes et externes et les bords surélevés dont le bois sous l'écorce est pourri dans une certaine mesure, la pourriture étant une pourriture blanche physiologique, c'est-à-dire que la cellulose et la lignine sont dégradées. Des sacs composés d'hyphes foncés se forment parfois et des coupures à travers eux apparaissent comme de délicates lignes brunâtres ou noirâtres.

Nous croyons que toutes les espèces de *Biscogniauxia* sont des agents pathogènes faibles, envahissant les hôtes affaiblis par la sécheresse,...etc. et fructifiant lorsque l'hôte est fortement affaibli ou mort. Ces champignons pourraient être classés comme saprophytes facultatifs, c'est-à-dire passant la plupart de leurs cycles en tant que parasites, mais capables de persister pendant des périodes sur du matériel mort.

Selon Hepting (1971), les espèces de *Biscogniauxia* (tels que : *Hypoxyylon* et *Nummularia*) ne sont généralement pas considérées comme des agents pathogènes sérieux des arbres forestiers.

Toutes les preuves expérimentales et observationnelles indiquent que les espèces de *Biscogniauxia* sont adaptées aux habitats secs, ou du moins secs de façon saisonnière. Le développement dans l'écorce protège probablement les stromas en développement du séchage. L'eau suffisante pour les activités de ces champignons dans les arbres morts ou en train de sécher passe probablement par la décomposition de la cellulose avec la production consécutive de molécules d'eau.

Au total, 49 taxons sont acceptés. Nous citons ci-dessous (Ju *et al.*, 1998) :

1. *B. africana* Ju Y.M et Rogers J.D.;
2. *B. albosticta* (Ellis et Morg.) Ju Y.M et Rogers J.D. ;
3. *B. anceps* (Sacc.) Rogers J.D., Ju Y.M. et Cand. ;
4. *B. arima* San Martín, Ju Y.M. et Rogers J.D.;
5. *B. atropunctata* (Schwein.: Fr.) Pouzar ;
6. *B. atropunctata* (Schwein.: Fr.) Pouzar *var. intermedia* Ju Y.M., Rogers J.D. et San Martín ;
7. *B. atropunctata* (Schwein.: Fr.) Pouzar *var. maritima* (Lar. N. Vasilyeva) Ju Y.M. et Rogers J.D.;
8. *B. baileyi* (Berk. et Broome ex Cooke) Kuntze ;
9. *B. bartholomaei* (Peck) Vasilyeva Lar. N.;

10. *B. capnodes* (Berk.) Ju Y.M. et Rogers J.D.;
11. *B. capnodes* (Berk.) Ju Y.M. et Rogers J.D. *var. limoniispora* Ju Y.M. et Rogers J.D.;
12. *B. capnodes* (Berk.) Ju Y.M. et Rogers J.D. *var. rumpens* (Cooke) Ju Y.M. et Rogers J.D.;
13. *B. capnodes* (Berk.) Ju Y.M. et Rogers J.D. *var. theissenii* (Syd. et Syd .P.) Ju Y.M. et Rogers J.D.;
14. *B. cinereolilacina* (Miller J.H.) Pouzar ;
15. *B. citriformis* (Whalley, Hammelev et Taligoola) Van der Gucht et Whalley ;
16. *B. citriformis* (Whalley, Hammelev et Taligoola) Van der Gucht et Whalley *var. macrospora* Van der Gucht et Whalley ;
17. *B. communapertura* Ju Y.M. et Rogers J.D.;
18. *B. dennisii* (Pouzar) Pouzar ;
19. *B. divergens* (Theiss.) Whalley et Laessøe ;
20. *B. doidgeae* (Miller J.H.) Whalley et Laessøe ;
21. *B. fuscella* (Rehm) San Martín et Rogers J.D.;
22. *B. grenadensis* (Miller J.H.) Whalley et Laessøe ;
23. *B. kalchbrenneri* (Sacc.) Ju Y.M et Rogers J.D.;
24. *B. marginata* (Fr.: Fr.) Pouzar ;
25. *B. mediterranea* (De Not.) Kuntze ;
26. *B. mediterranea* (De Not.) Kuntze *var. macrospora* (Miller J.H.) Ju Y.M. et Rogers J.D.;
27. *B. mediterranea* (De Not.) Kuntze *var. microspora* (Miller J.H.) Ju Y.M. et Rogers J.D.;
28. *B. mucigera* Van der Gucht ;
29. *B. nothofagi* Whalley, Laessøe et Kile ;
30. *B. nummularia* (Bull.: Fr.) Kuntze ;
31. *B. philippinensis* (Ricker) Whalley et Laessøe,

32. *B. philippinensis* (Ricker) Whalley et Laessøe *var. microspora* Ju Y.M. et Rogers J.D.;
33. *B. pithodes* (Berk. et Broome) Whalley et Laessøe;
34. *B. plana* (Petch) Ju Y.M. et Rogers J.D.;
35. *B. plumbea* Ju Y.M. et Rogers J.D.;
36. *B. pruni* Granmo, Laessøe et Scheuer ;
37. *B. querna* Pouzar ;
38. *B. repanda* (Fr.: Fr.) Kuntze ;
39. *B. reticulospora* Ju Y.M. et Rogers J.D.;
40. *B. schweinitzii* Ju Y.M. et Rogers J.D.;
41. *B. simplicior* Pouzar ;
42. *B. sinuosa* (Theiss.) Ju Y.M. et Rogers J.D.;
43. *B. uniapiculata* (Penz. et Sacc.) Whalley et Laessøe ;
44. *B. uniapiculata* (Penz. et Sacc.) Whalley et Laessøe *var. indica* (Sacc.) Ju Y.M. et Rogers J.D.;
45. *B. uniapiculata* (Penz. et Sacc.) Whalley et Laessøe *var. macrospora* (Rogers J.D.) Whalley et Laessøe ;
46. *B. waitpela* Van der Gucht ;
47. *B. weldenii* (Rogers J.D.) Whalley et Laessøe ;
48. *B. weldenii* (Rogers J.D.) Whalley et Laessøe *var. microspora* (Rogers J.D.) Whalley et Laessøe ;
49. *B. zelandica* Ju Y.M. et Rogers J.D.

De nombreux agents de nécrose d'écorce se comportent également en parasites secondaires et présents de façon permanente dans l'écosystème. Ils ne provoquent des lésions que suite à un affaiblissement de leur hôte. On peut citer par exemple *Biscogniauxia mediterranea* (= *Hypoxyylon mediterraneum*) sur Chênes méditerranéens.

Les synonymes de *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze, sont énumérées ci-dessous:

° *Sphaeria mediterranea* De Not.

- ° *Nummularia mediterranea* (De Not.) Sacc.
- ° *Hypoxylon mediterraneum* (De Not.) Miller J.H.
- ° *Numulariola mediterranea* (De Not.) Martin P., African J. S.
- ° *Nummularia regia* (De Not.) Sacc. *var. mediterranea* (De Not.) Traverso.  
= *Sphaeria clypeus* Schwein., Schrift.
- ° *Hypoxylon clypeus* (Schwein.) Curtis M.A.
- ° *Diatrype clypeus* (Schwein.) Berk.,
- ° *Nummularia clypeus* (Schwein.) Cooke.  
= *Hypoxylon regium* De Not., Sfer.
- ° *Nummularia regia* (De Not.) Sacc.  
= *Sphaeria sertata* Durieu et Mont.
- ° *Hypoxylon sertatum* (Durieu et Mont.)
- ° *Nummularia sertata* (Durieu et Mont.) Cooke.  
= *Hypoxylon repandooides* Fuckel, Symb.
- ° *Nummularia repandooides* (Fuckel) Sacc.  
= *Hypoxylon stigmatum* Cooke.

Trois variétés de cette espèce ont été décrites sur la base des caractéristiques morphologiques des dimensions du stroma et des ascospores (Ju *et al.*, 1998) :

La description générique de *Biscogniauxia mediterranea* est comme suit (Fig.II.2):

**Stroma** : aplanis, 1,8-7 cm de long x 0,5-4 cm de large x 0,6-1 mm d'épaisseur ; couche externe déhiscente brun foncé de 0,4-0,8 mm d'épaisseur ; surface mature noirâtre à noir brillant; carboné immédiatement sous la surface et entre les périthèces ; tissu sous les périthèces discret.

**Périthèces** : obovoïdes à tubulaires, aplatis latéralement de 0,1-0,2 mm de diamètre x 0,5-0,8 mm de haut, généralement avec plusieurs emballés à l'intérieur du même locule stromal de 0,3-0,4 mm de diamètre, et partageant un canal ostiulaire commun.

**Ostioles** : plus hautes que la surface du stroma, avec des ouvertures grossièrement papillées.

**Asques** : de 160-185 mm de longueur, totale x 9-12,5 mm de large, les parties porteuses de spores de 120-150 mm de long, les stipes de 20-35 mm de long, avec un anneau apical bleuissant dans le réactif iodé de Melzer, discoïde de 2-3 mm de haut x 4-5 mm de large.

**Ascospores** : brunes à brun foncé, unicellulaires, ellipsoïdes, presque équilatérales, avec des extrémités étroitement à largement arrondies, lisses, de 15,5-21 x (6,5-) 7-10 mm, avec une longueur de spore droite.

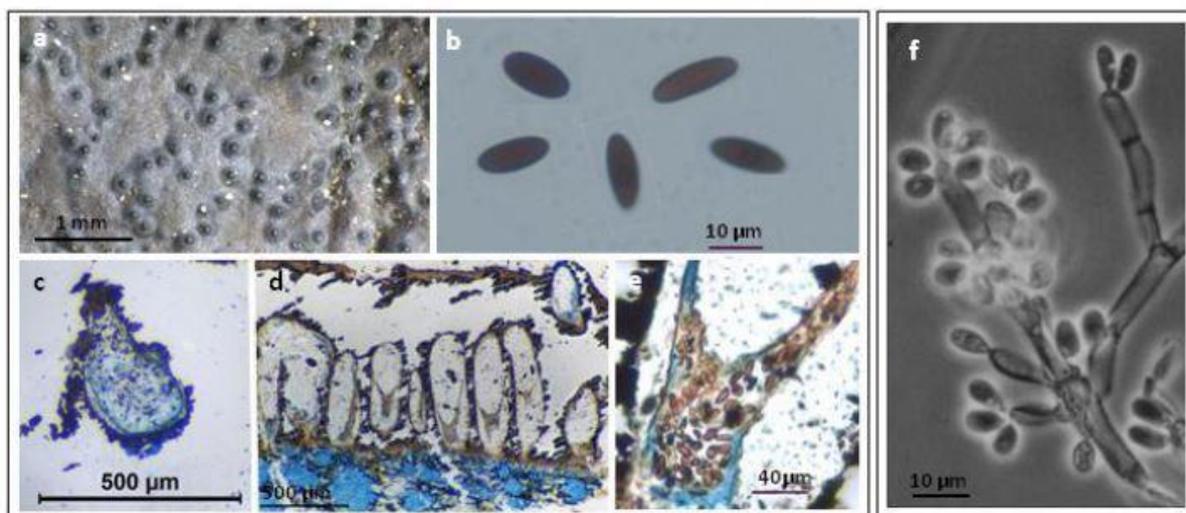


Figure II.2. *Biscogniauxia mediterranea* chez le chêne-liège : a) aspect de la surface du stroma carboné ; b) les ascospores ; c-e) aspects des périthèces avec ascospores ; f) conidiophores à conidies en culture axénique (Henriques, 2015)

*Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze var. *macrospora* (Miller J. H.) Ju Y.M. et Rogers J.D.

° *Hypoxylon mediterraneum* (De Not.) Ces. et De Not. var. *macrospora* Miller J. H.

Le téléomorphe ressemble beaucoup à celui de la variété typique, sauf qu'il a des ascospores plus grandes de 20-26 x 11,5-13 mm.

*Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze var. *microspora* (Miller J.H.) Ju Y.M. et Rogers J. D.

° *Hypoxylon mediterraneum* (De Not.) Ces. et De Not. var. *microspora* Miller J.H.

Le téléomorphe ressemble beaucoup à celui de la variété typique, sauf qu'il a des ascospores plus petites de 12-17 x 5,5-7,5 mm et une fine couche stromale externe déhiscente d'environ 0,1 mm d'épaisseur.

*Biscogniauxia mediterranea* Appelé aussi *Hypoxylon mediterraneum* (De Not.) Mill, est un pathogène fongique opportuniste et potentiellement invasif répandu dans la région méditerranéenne, le plus souvent dans *Quercus spp.* Il joue un rôle très important dans l'étiologie des phénomènes de déclin graves qui ont affecté la forêt de Chêne-liège en Italie et dans d'autres pays méditerranéens pour plusieurs années (Anselmi *et al.*, 2000 ; Franceschini *et al.*, 2005).

Il est un Ascomycète - Pyrénomycète, Xylariale. C'est un parasite de faiblesse ne s'attaquant pas spécifiquement aux chênes-lièges mais dont la présence sur cet hôte est souvent observée. Les circonstances d'affaiblissement prédisposant aux attaques sont variables : démasclage mal effectué, blessures diverses, passage des incendies, période de sécheresse, pauvreté stationnelle (Franceschini *et al.*, 2002 ; Santos, 2001).

La fréquence de ses attaques sur les chênes a considérablement augmenté au cours des dernières décennies dans la région méditerranéenne (Moricca *et al.*, 2016).

*Biscogniauxia mediterranea* est un champignon qui se développe sur la mère d'où provient le nom "charbon de la mère". Il prend l'apparence de plaques sous-corticales carbonacées, noires et dures. Elles apparaissent entre les fissures longitudinales de l'écorce (Franceschini *et al.*, 1999).

## **2. Position taxonomique**

La famille des Xylariaceae est composée de deux genres ; le *Biscogniauxia* généralement responsable de la maladie "charbon de la mère" et le *Daldinia*, qui se distinguent par quelques caractères morphologiques majeurs.

Domaine : Biota Endl. (Don D.)

Règne : Fungi (Moore R.T., 1980)

Sous-Règne : Dikarya (Hibbett, James T.Y. et Vilgalys, 2007)

Embranchement : Ascomycota (Caval. Sm., 1998)

Sous-Phylum : Pezizomycotina (Erikss. O.E. et Winka, 1997)

Classe : Sordariomycètes (Erikss. O.E. et Winka, 1997)

Sous-Classe : Xylariomycetidae (sensu Erikss. O.E. et Winka)

Ordre : Xylariales (Nannf., 1932)

Famille : Xylariacées (Tul. et Tul. C., 1863)

Genre : *Biscogniauxia* (Kuntze, 1891)

Espèce : *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze, 1891

Au cours du XIX siècle, et sous sa forme parfaite le *Biscogniauxia mediterranea* a été retrouvé et décrit, à plusieurs reprises sur des supports différents et dans des stations éloignées les unes des autres ; il n'a pas toujours été reconnu par les spécialistes qui l'ont de ce fait nommé plusieurs fois :

*Hypoxylon mediterraneum* (De Not.) Ces. et De Not., 1863

*Hypoxylon repandoides* Fuckel, 1870

*Hypoxylon sertatum* (Durieu et Mont.) Mont., 1856

*Nummularia mediterranea* (De Not.) Sacc., 1882

*Nummularia repandoides* (Fuckel) Sacc., 1870

*Nummulariola mediterranea* (De Not.) Martin P.

*Sphaeria mediterranea* De Not., 1853

*Sphaeria sertata* Durieu et Mont., 1848

*Biscogniauxia repandoides* (Fuckel) Kuntze, 1891

Par l'application des règles actuelles de la nomenclature, c'est l'appellation *Hypoxylon mediterraneum* (D. Ntrs) Ces. et D. Ntrs ou bien *Biscogniauxia mediterranea* (De Not) O. Kuntze (1891), est un parasite de blessure et de faiblesse, qui doivent être retenue (Malençon et Marion, 1951).

### 3. Historique et évolution

De nombreux champignons sont associés au chêne-liège à savoir des champignons pathogènes, saprotrophes et symbiotiques. Sousa *et al.* (2007), ne considèrent que *Biscogniauxia mediterranea* comme agent pathogène secondaire.

Le chancre carboné est une maladie largement distribué. Au Portugal, il a été décrit pour la première fois affectant le chêne-liège (*Q. suber*) (Baeta Neves, 1948; 1949; 1954), au Maroc un travail de 1952 effectué par Malençon et Manion, décrit la maladie du charbon causé par *Hypoxylon mediterraneum* (Baeta Neves, 1954 ; Oliva et Molinas, 1984 ; Vannini et Mugnozsa, 1991). La première référence en Espagne date de 1963, a été attribuée à *Hypoxylon mediterraneum* (Torres, 1985). A partir de 1963 jusqu'en 1985, il a été considéré comme le parasite le plus important causant des dommages sur le chêne vert et le chêne-liège (Torres, 1985). Le même auteur prétend que le champignon limite son activité seulement aux pieds faibles. Ainsi peu d'informations existent sur son étiologie les travaux exécutés sur cette maladie sont

rares. En Italie, l'attention des phytopathologistes n'est pas tombée sur le chancre jusqu'aux années 80, comme une maladie associée à la carie des *Quercus* (Vannini et Mugnozza, 1991).

En Europe, sa première apparition aurait eu lieu en France sur le noyer (Malençon et Marion, 1951). Puis, ce pathogène a souvent été observé dans la mort progressive des taillis dans le sud de l'Italie (Granata et Whalley 1994 ; Paoletti *et al.*, 1996 ; Luchi *et al.*, 2006 ; Granata et Sidoti, 2004) et une forte concentration en Sardaigne, sur le chêne liège (*Quercus suber*), le chêne chevelu (*Quercus cerris*), *Quercus frainetto* et *Quercus pubescens* (Ragazzi *et al.*, 1989 ; Vannini et Mugnozza, 1991 ; Kaltenbach, 2007). Au Portugal, il a été détecté pour la première fois par Camara (1930). Il a été également rapporté en Afrique du Nord. En 1986, Lanier l'a signalé en Amérique centrale, aux États-Unis et en Russie.

Concernant le déclin du chêne liège, plusieurs évaluations quantitatives ont été réalisées un peu partout dans le bassin méditerranéen où la fréquence d'attaques de *B. mediterranea*, notamment au Portugal, a causé un problème grave pendant une longue période. Une étude de terrain faite en 1974 dans la forêt portugaise a indiqué que 41,5% des chênes-lièges étaient affaiblis et *B. mediterranea* s'est révélé être le principal facteur entraînant un déclin du chêne-liège (Macara, 1975) et associé aux arbres dans un état avancé de déclin (Santos, 2003 ; Sousa *et al.*, 2007 ; Inácio *et al.*, 2011b ; Henriques *et al.*, 2012). Son incidence dans les forêts portugaises augmente rapidement, en particulier sur les jeunes chênes-lièges (Henriques *et al.*, 2014), avec un rôle très important dans l'étiologie des phénomènes de déclin graves qui ont affecté parallèlement la forêt de chêne-liège en Italie (Franceschini *et al.*, 1999 ; 2005) et dans d'autres pays méditerranéens pour plusieurs années (Oliva et Molinas de Ferrer, 1984 ; Capretti et Mugnai , 1987 ; Santos, 1995 ; Bakry et Abourouh, 1996 ; Anselmi *et al.*, 2000 ; Franceschini *et al.*, 2005 ; Ragazzi *et al.*, 2000a), en France (Mirault, 1996), en Espagne (Jiménez *et al.*, 2005 ; Serrano *et al.*, 2012), , au Maroc (Assali et Falki, 2006), en Algérie (Khouja *et al.*, 2010 ; Smahi *et al.*, 2014 ; Bendjebbar *et al.*, 2023) et en Tunisie (Linaldeddu *et al.*, 2010 ; Yangui *et al.*, 2019 et 2021).

L'impact de ce pathogène a nettement augmenté sur plusieurs espèces de chêne tels *Quercus Ilex*, *Quercus faginea*, dans les forêts où ces essences sont en mélange avec le chêne-liège. Au Portugal, sur divers autres *Quercus*, sur *Castanea* (le châtaignier), sur peuplier et sur eucalyptus, en Rhénanie sur peuplier tremble et sur hêtre (*F. sylvatica*). Enfin, au Maroc, il a été isolé, à plusieurs reprises déjà sur divers Eucalyptus: *E. camaldulensis*, *E. gomphocephala*, *E. robusta* (Lanier, 1986a). Sur aucune de ces espèces, il ne paraît prendre une allure épiphytique, comparable à celle qu'il manifeste sur le chêne-liège (Malençon et Marion, 1951).

Malgré l'association fréquente du champignon au dépérissement et la mortalité du chêne-liège, il a été recensé, également sur des arbres déjà attaqués par les pathogènes primaires *Phytophthora cinnamomi* ou *Diplodia corticola* (Branco *et al.*, 2014).

En Tunisie, les premières observations de symptômes de champignons dans les subéraies tunisiennes ont été effectuées par de Delatour (1969) qui a signalé la présence de champignons en relation avec le dépérissement du chêne sans préciser leur nature. Par la suite, très peu de travaux portant sur l'inventaire fongique associé au chêne-liège ont été réalisés. Les résultats de ces recherches ont montré la présence de nombreux champignons pathogènes à savoir *Biscognauxia mediterranea*, *Botryosphaeria corticola*, *Cytospora sp.*, *Discula quercina*, *Fusicoccum sp.*, *Hypoxyton sp.*, *Phomopsis sp.* et *Pleurophoma cava* (Khouja *et al.*, 2010 ; Linaldeddu *et al.*, 2010).

Depuis la seconde moitié du XXe siècle, les chênes lièges tunisiens ont souffert du déclin et de la mortalité, notamment dans les montagnes de Khmir-Mogod, avec une réduction de 47,55% pendant les 45 ans (Campos *et al.*, 2008).

En Algérie, il a été signalé par Lanier (1986) et Lieutier *et al.* (1992). Sa présence a été constatée et confirmée par le laboratoire de pathologie I.N.R.F sur le chêne liège dans la forêt de Béni-Aïcha à El-Ancer (Jijel), dans la forêt de Ouamchache (Chlef), dans la forêt de l'Arbatache (Boumerdes), et dans la forêt de Baïnem (Alger) (Sai et Chaibeddra, 1996 ; Kerris *et al.*, 2008). Ainsi, il existe à Oran (la forêt de M'sila) depuis le début des années 80 sur les rameaux et troncs des arbres morts sur pieds (Laniers *et al.*, 1986 ; Belhoucine *et al.*, 2012), à Mascara, à Mila, à Chlef, et à Tipaza (Sai et Chaibddra, 1996) (Fig.II.3).

En 2011, Mirabolathy a fait des études très approfondies menées sur l'apparition de la maladie du « charbon de la mère » sur les chênaies de la forêt de Glestan située en Iran, affirment que le déclin des subéraies, associé à la présence de ce champignon, a commencé par une décoloration et un brunissement des feuilles, résultant du séchage du feuillage, et la décoloration brun-noir du phloème et de l'écorce.

Depuis l'apparition de cette pathologie jusqu'à nos, la maladie du charbon de la mère a fait l'objet de plusieurs études afin de mieux connaître la relation qu'il établit avec ses hôtes.

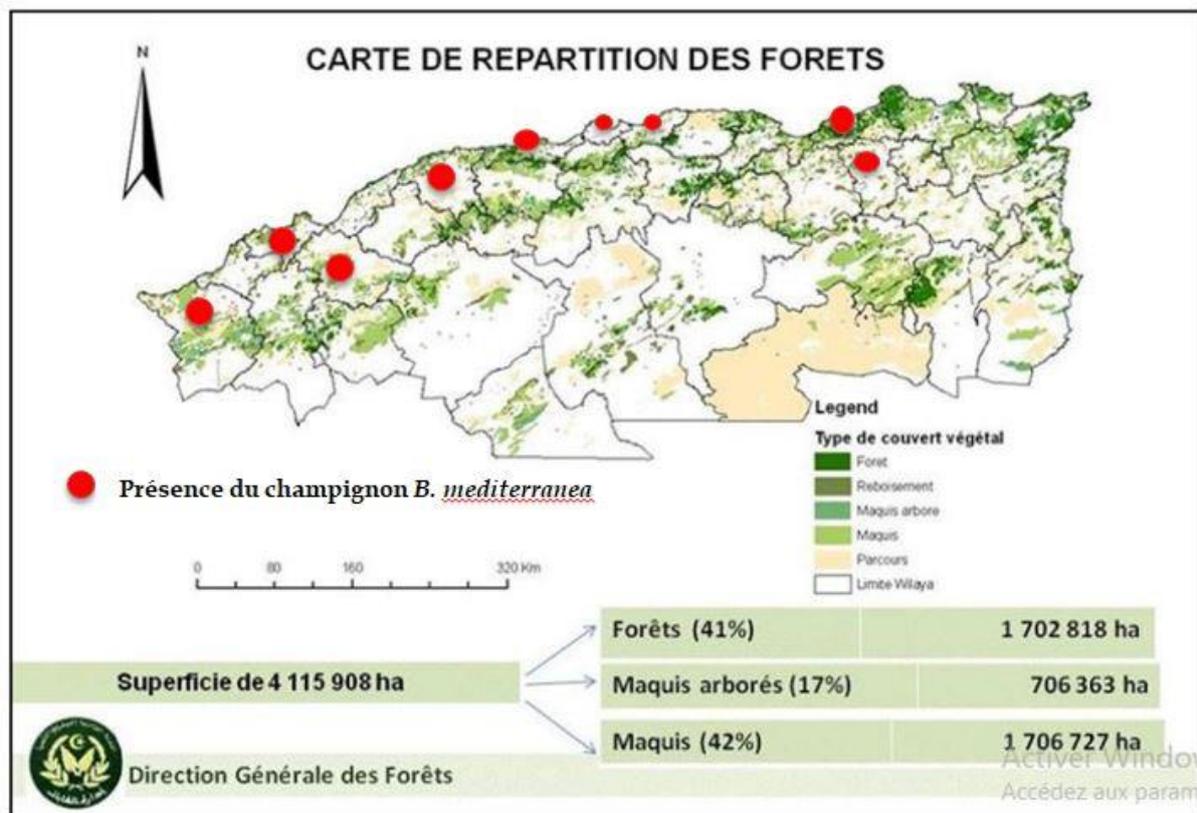


Figure II.3. Présence du chancre à *B. mediterranea* sur chêne liège en Algérie (B.N.E.D.E.R, 2009 modifié par Bendjebbar)

#### 4. Plantes hôtes et Aire de distribution

*Biscogniauxia mediterranea* est un champignon très répandu et connu pour causer le charbon de bois, maladie qui sévit dans la région méditerranéenne (Sinclair *et al.*, 1987). Son aire de répartition géographique n'est pas bien connue, mais on l'a trouvé dans des forêts de chêne-liège dans différents bioclimats (Costa *et al.*, 2022). Ce champignon a été diagnostiqué au Portugal en 1930 (Câmara, 1930), considéré comme un agent pathogène secondaire (Santos, 2003). Son incidence a augmenté depuis les années 1980. il a été citée au Maroc, le nord du Maroc et la péninsule ibérique (Baeta Neves, 1948 ; 1949 ; 1954 ; Natividade, 1950; Torres, 1985 ; Bakry et Abourouh, 1995), en Amérique du Nord (Sinclair *et al.*, 1987) et centrale, en Nouvelle-Zélande et en Asie (Chine et Inde) (Jurc et Ogris *et al.*, 2006 ; Mirabolfathy *et al.*, 2011), aux États-Unis et en Russie (San Martin Gonzáles et Rogers, 1993 ; Ju *et al.*, 1998), en Italie (Amorini *et al.*, 1995 ; Vannini *et al.*, 1996 c) et en Espagne (Oliva et Molinas 1984 ; Torres, 1985 ; Navarro et Fernández, 2000 ; Sánchez *et al.*, 2000), en Afrique du Nord (Malençon et Marion, 1952), au Portugal (Rogers, 1979 ; Henriques, 2015).

Récemment, il a été trouvé dans la province de Guilan, Iran sur les arbres forestiers (kazemzadeh-chakusary *et al.*, 2020), et également en Bulgarie sur les plantations de chêne-liège (Bencheva et Doychev, 2022).

La maladie du charbon de bois est désormais présente sur *Q. brantii* dans toutes les forêts de chênes de l'ouest de l'Iran couvrant les monts Zagros situés dans les provinces d'Illam, Lorestan, Kermanshah, Kordestan, Fars et Kohkilouieh-Boyerahmad.

Dans le bassin méditerranéen, suivant la distribution géographique du chêne-liège, *B. mediterranea* est associée à son déclin au Portugal (Santos 2003, Henriques, 2015), en Espagne (Jiménez et al. 2005a), en Italie (Franceschini et al., 2005), au Maroc (Assali et Falki 2006), Algérie (Bouhraoua, 2002 ; Khouja et al., 2010 ; Smahi et al., 2014 ; Bendjebbar et al., 2020 ; 2023), Tunisie (Linaldeddu et al., 2010 ; Yangui et al., 2019 ; 2021).

Selon Cabi et Eppo, 2022, une nouvelle carte de répartition (Fig.II.4) est fournie pour *Biscogniauxia mediterranea*, dont des informations sont données sur la répartition géographique en Afrique (Algérie, Mauritanie, Maroc, Afrique du Sud, Tunisie), en Asie (Géorgie, Hong Kong, Inde, Assam, Madhya Pradesh, Uttar Pradesh, Uttarakhand, Iran, Pakistan), en Europe (Autriche, Bulgarie, Croatie, Tchéquie, France, Allemagne, Hongrie, Italie, Sardaigne, Sicile, Pays-Bas, Portugal, Russie, Extrême-Orient russe, Slovénie, Espagne, Suisse, Ukraine, Royaume-Uni, Angleterre), Amérique du Nord (Canada, Colombie-Britannique, Ontario, Cuba, Mexique, États-Unis, Alabama, Arizona, Californie, Géorgie, Indiana, Iowa, Kansas, Massachusetts, Montana, New Jersey, New York, Caroline du Nord, Dakota du Nord, Ohio, Oregon, Pennsylvanie, Rhode Island, Texas, Virginie, Washington, Virginie-Occidentale, Wisconsin), Amérique du Sud (Brésil).



Figure II.4. Une carte de répartition géographique fournie pour *Biscogniauxia mediterranea* (de Notaris) Kuntze (OpenStreetMap contributors, © OpenMapTiles, GBIF, (DATES-AGO, 2022) modifié.

Ce champignon est présent sur un grand nombre d'hôtes de feuillus et en particulier sur le genre *Quercus* (Vannini *et al.*, 2009). Franceschini *et al.*, 2005 affirment que ce champignon est sans doute le plus fréquemment associé au dépérissement de plusieurs espèces de chênes.

Il cause des chancres sur les arbres du genre *Quercus* (Whalley, 1985). Cette espèce a été associée à la pourriture des chênes, étant particulièrement alarmante sur *Q. suber* (Mazzaglia *et al.*, 2001), mais elle a également été signalée sur *Q. alba* L., *Q. castaneifolia* Mey., *Q. cerris* L., *Q. coccifera* L., *Q. faginea* Lam., *Q. frainetto* Ten., *Q. imbricaria* Michx., *Q. lusitanica* Lam., *Q. palustris* Münchh., *Q. pubescens* Willd., *Q. pyrenaica* Willd., *Q. robur* L., *Q. rotundifolia*, *Q. virgiliana* Ten. (Ragazzi *et al.*, 1989 ; Vannini et Mugnozza, 1991 ; Vannini *et al.*, 1996 ; Collado *et al.*, 2001 ; Mazzaglia *et al.*, 2001 ; Jiménez *et al.*, 2005a ; Giambra *et al.*, 2009 ; Mirabolfathy *et al.*, 2011). La maladie peut également survenir sur *Acer sp.*, *Alnus sp.*, *Castanea sp.*, *Ceanothus sp.*, *Eucalyptus sp.*, *Eucalyptus camaldulensis* (gommier rouge), *Eucalyptus gomphocephala*, *Eucalyptus robusta* (eucalyptus des marais), *Fagus sp.*, *Fagus sylvatica* (hêtre), *Carpinus betulus* (charme), *Corylus avellana* (noisetier), *Juglans sp.*, *Juglans regia* (noyer), *Lithocarpus sp.*, *Platanus sp.*, *Populus sp.* et *Rubus sp.* ainsi que d'autres feuillus (Ju et Rogers, 1996 ; Nugent *et al.*, 2005).

*Biscogniauxia mediterranea* est connue pour avoir une phase latente au cours de laquelle elle vit de manière asymptomatique en tant qu'endophyte au sein de l'hôte (Biocca et Motta, 1995). Lorsque l'arbre est soumis à un stress, généralement après une période de sécheresse (Vannini et Mugnozza, 1991 ; Vannini et Valentini, 1994), le champignon se propage rapidement et un grand nombre de stromas noirs hébergeant des périthèces éclatent simultanément de l'écorce morte (Vannini *et al.*, 1999).

Selon les derniers critères taxonomiques, la caractérisation de la morphologie de leurs colonies et la caractérisation microscopique des structures de la reproduction sexuée et asexuée, ont montré la grande variabilité des populations naturel du champignon bien que les caractéristiques des isolats concordent avec la description de l'espèce *B. mediterranea*, la taille des ascospores est un paramètre qui permet de distinguer les variétés décrites pour cette espèce (Ju *et al.*, 1998). Les études phylogénétiques plus récentes confirment ce réarrangement taxonomique (Mazzaglia *et al.*, 2001a ; 2001b).

## 5. Infection par *Biscogniauxia mediterranea*

*Biscogniauxia mediterranea* est un champignon répandu dans le monde surtout connu pour causer le charbon de la mère maladie des chênes, dans la région méditerranéenne (Sinclair *et al.*, 1987). Les mêmes auteurs le considèrent comme un

champignon opportuniste, incapable de causer des dégâts sur les arbres d'une vitalité normale, cette situation se stabilise jusqu'au moment où l'arbre subit un affaiblissement, stress ou blessure. A partir de là, le développement très rapide à coloniser l'arbre.

La caractéristique morphologique la plus notable, est une formation de stroma sur la mère de l'arbre (présence d'une tache noire localisée sur le tronc et les branches) (Malençon et Marion, 1952 ; Santos, 2003) (Fig.II.5). Ainsi, Vannini *et al.*, 1996 (b), ont fait une description des principaux symptômes de la maladie provoquée dont : la chlorose des feuilles, dépérissement de la cime, chancres de l'écorce, exsudats tanniques, réduction de la croissance des cernes et la mortalité de l'arbre.



**Figure II.5. Croûte carbonacée apparaissant entre les fissures longitudinales du liège (photo originale)**

Il détruit toute la zone subéro-phellodermique qui sera remplacée par une croûte à consistance stomatique noire, dure, détachant peu à peu le liège de la mère. Le champignon apparaît dans les fissures du liège (Kerris *et al.*, 2008 ; Mazzaglia *et al.*, 2001).

Harrachi, 2000; Luque et Gibrat, 1989; Brasier *et al.*, 1993, ont cités que *B. mediterranea* est régulièrement lié dans le contexte du chêne méditerranéen au déclin. Il est communément, appelé pathogène opportuniste sur hôtes prédisposés (Sinclair et Lyon, 2005 ; Sinclair *et al.*, 1987).

### **5.1. La maladie du charbon de la mère**

Cette maladie constitue, probablement un des exemples pour lesquels l'augmentation de la sensibilité de l'hôte survient en cas de stress. D'après Lieutier *et al.* (1992), elle cause d'importants dégâts dans les subéraies. Il s'agit du dessèchement des rameaux qui s'étend aux branches puis au tronc. Les feuilles jaunissent se dessèchent et tombent. L'arbre dépérit progressivement par défaut d'alimentation causée par le chancre.

De Sousa (2003) et Franceschini *et al.* (2002), constatent qu'il existe une forte corrélation entre la maladie et le dépérissement des peuplements de plusieurs espèces de chênes dans la région méditerranéenne.

### 5.1.1. Symptômes et éléments de diagnostic

*Biscogniauxia mediterranea* a été au centre d'attention dans la plupart des forêts de chênes du monde (Jurc et Ogris 2006 ; Vasilyeva *et al.*, 2007 ; Whalley, 1996 ; Vanini et Valentini, 1994). Plusieurs auteurs comme Vannini *et al.*, 2009 ; Vanini et Valentini, 1994 ; Vannini et Mugnozza, 1991 ; Ragazzi *et al.*, 2001 ; Linaldeddu *et al.*, 2011 ; Luchi *et al.*, 2005, ont notés que le plus marquant aspect de la pathologie est la relation entre le rôle du stress dû à la sécheresse et l'éclosion de la maladie, l'identification moléculaire des causes et le traçage de la maladie avant l'apparition des symptômes (Mazzaglia *et al.*, 2001 ; Luchi *et al.*, 2005 ; Safaee *et al.*, 2017).

Il est l'un des pathogènes fongiques les plus courants des forêts de chênes lièges, à l'origine de la maladie du chancre du charbon de bois. Nugent *et al.* (2005) ont signalé que le stress hydrique était le facteur majeur de prédisposition des arbres aux attaques de ce champignon.

Ce parasite opportuniste vit généralement de manière asymptomatique en tant qu'endophyte au sein des tissus des chênes sains et vigoureux (Sinclair *et al.*, 1987 ; Biocca et Motta, 1995 ; Mazzaglia *et al.*, 2001). Les différentes espèces de chênes ont des niveaux de susceptibilité à ce parasite qui varient, en fonction de leur performance et selon les conditions de sécheresse (Desprez -Loustau *et al.*, 2006). Cependant, les conditions nécessaires au passage de la phase endophytique à la phase pathogène ne sont pas bien connues (Collado *et al.*, 2001; Mazzaglia *et al.*, 2001) tandis que Desprez-Loustau *et al.*, 2006 ont noté que l'abondance de *B. mediterranea* dans les tissus et sa capacité de passer de la phase endophytique à la phase pathogène dépendent des conditions de stress hydrique de l'hôte c'est à dire les périodes de sécheresse ont considérablement accru la vulnérabilité des arbres aux agents pathogènes induits par le stress.

Le champignon semble être doté d'une grande capacité d'adaptation aux conditions environnementales et survivre dans un grand nombre de plantes hôtes. Il tolère une large gamme de températures et de valeurs de pH (Vannini *et al.*, 1996). De plus, le champignon est capable de se développer et se propage rapidement avec un grand nombre de stromas noirs hébergeant des périthèces éclatent simultanément de l'écorce morte (Vannini *et al.*, 1999) arrivant à une accélération de la mort des arbres. Yanguí *et al.* (2017) sont parmi les plusieurs auteurs qui ont soutenu ces idées. Ils ont aussi signalé sa résistance envers plusieurs huiles essentielles végétales Tunisiennes bien connues comme antifongiques puissants. Ces études préalables soulèvent des

informations sur la plasticité et la tolérance de ce champignon aux changements environnementaux et traitement fongicide. Cependant, aucune étude approfondie n'a été réalisée sur *B. mediterranea* en Algérie.

*Biscogniauxia mediterranea* pourrait se caractériser par un niveau élevé de variabilité due à son taux élevé de reproduction sexuelle et le système d'accouplement hétérothallique. Cependant, les spécificités de l'hôte sont définies pour ce champignon et son niveau de variabilité pourrait être différent exprimé en fonction des parties de l'arbre hôte et sous diverses conditions environnementales dans les mêmes espèces hôtes en croissance dans différentes zones éco-géographiques (Yangui *et al.*, 2019).

L'une des caractéristiques morphologiques extérieures la plus notable de l'activité du champignon est la présence de taches noires « formation de stroma » situées sur le tronc et les branches au niveau de la dégénérescence du tissu sous-jacent ou des tissus morts (Azevedo, 1958 ; Malençon et Marion, 1952) (Fig.II.6).

Les stromas ont une épaisseur de 1 à 2 mm et peuvent atteindre des dimensions allant de quelques centimètres jusqu'à plusieurs décimètres et sont de couleur noire, avec une surface rugueuse qui ressemble au charbon (Sinclair *et al.*, 1987 ; Harrachi, 2000).

*Biscogniauxia mediterranea* est un agent pathogène nécrotrophique qui augmente sa virulence avec la présence des conditions défavorables à l'hôte (Luque et Giral, 1989; Luque *et al.*, 2008). Au fil du temps, son activité entraîne la dégradation progressive des différents tissus jusqu'à l'aubier (Vannini et Valentini, 1994). Une fois à l'intérieur du liber, le parasite a tendance à pénétrer dans les vaisseaux et les rayons libéro-ligneux. Pour se défendre de l'attaque, la zone malade sécrète des exsudations sombres filant des parties infestées avec une odeur de tanin forte et apparaissant très tôt après la colonisation des tissus végétaux (Moricca *et al.*, 2016). Le liber présente à ce stade, des zones irrégulièrement humidifiées allant d'une coloration rosâtre à noirâtre (les symptômes initiaux de la maladie) (Kerris *et al.*, 2008).

L'exsudation en séchant laisse un résidu partiellement goudronné appelé le stroma qui apparaît graduellement sous forme de plaques noires, dures et charbonneuses dans les crevasses de l'écorce des parties malade (Torres, 1993).

Sur les tissus infectés, le champignon développe les chancre à charbon de la mère caractéristiques (Moricca *et al.*, 2016). Ces chancres apparaissent lorsque l'écorce est déchirée par le stroma charbonneux noir exerçant une pression dans le ritidome. A cette étape (phase saprophyte sur les tissus morts), *B. mediterranea* augmente sa biomasse en produisant un grand nombre de propagules (ascospores et conidies)

facilement dispersées par le vent, l'eau et les insectes (Franceschini *et al.*, 2002 ; Inácio *et al.*, 2011).



**Figure II.6. Formation de stroma carbonneux situé sur le tronc et les branches du chêne liège (photo originale)**

Le mycélium passe dans le bois, où il chemine longitudinalement dans les fibres et vaisseaux, et radialement dans les cellules rayons médullaires (Malençon et Marion, 1951) ; ce qui induit une décoloration des tissus ligneux (Vannini et Valentini, 1994). Le dépérissement des tiges et des branches cancrés, évolue vers l'apparition de plaques carbonées noires caractéristiques appelés stroma sur des tissus morts (Santos, 2003). L'infection peut progresser dans des sens très divers, afin de conduire l'arbre vers le dessèchement jusqu'à la mort du sujet.

Dans la surface stromale, des petites protubérances matures en forme de papilles sont observées correspondant aux sous périthéciaux. Dans les périthèces sont produites des ascospores considérées comme les unités de propagation les plus importantes de *B. mediterranea*. Aussi les conidies et les fragments de mycélium, constituent un inoculum efficace pour la dissémination du champignon (Jiménez *et al.*, 2005). Une grande abondance de propagules est produite sur les parties colonisées de l'arbre (Fig.II.7).

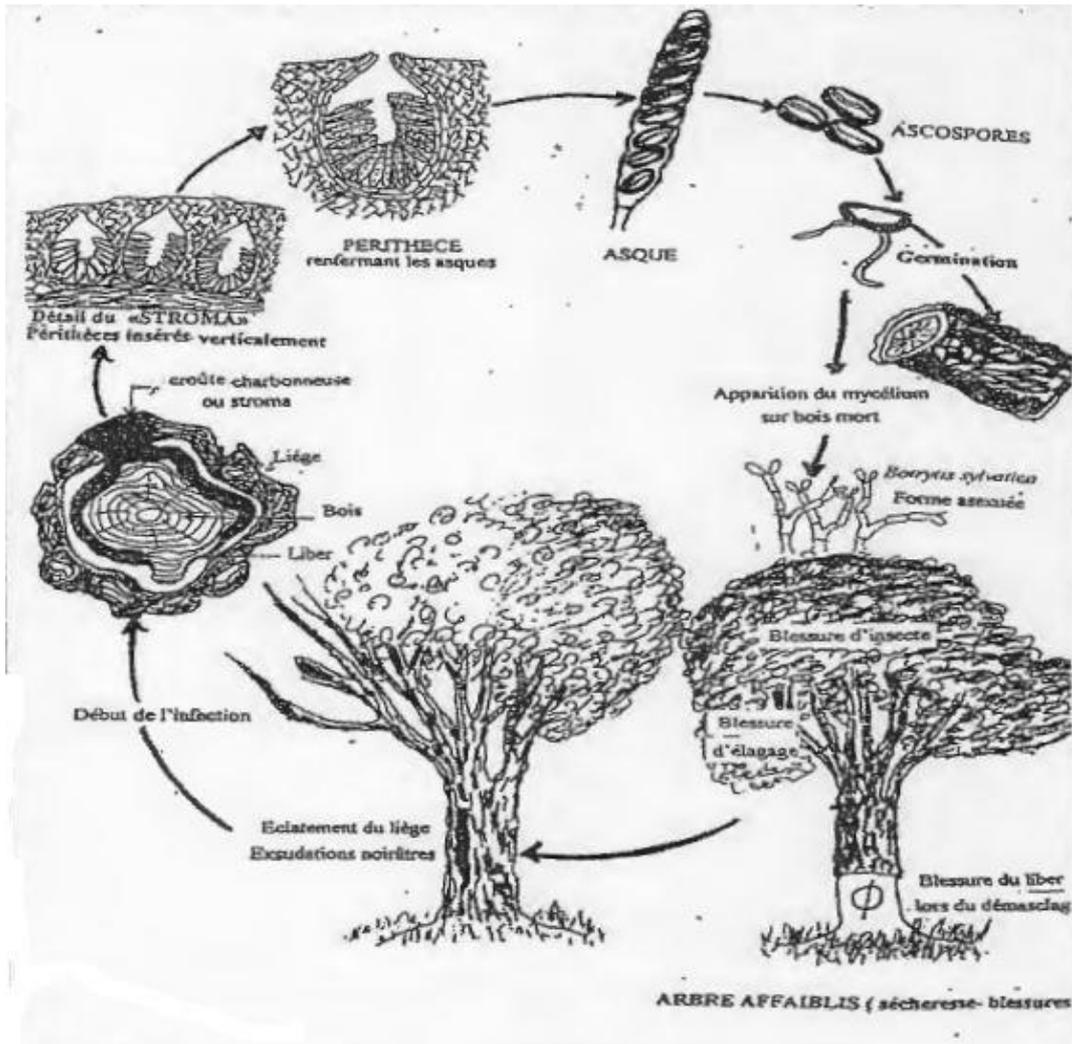


Figure II.7. Symptômes et diagnostic de la maladie du charbon de la mère (Torres, 1985)

Aussi, Jiménez *et al.*, 2005 ont fait une description du processus de déclin chez les jeunes chênes lièges qui commencent par la décoloration et le séchage du feuillage, des exsudats liquides visqueux présents sur le tronc et la fissuration du liège d'une part et dans le liber d'autre part, sont témoins de la présence d'un champignon poudreux brun.

Habituellement, les symptômes de l'infection par ce champignon se développent sur des arbres prédisposés par la sécheresse ou la défoliation par les insectes. La grande abondance de l'inoculum produit sur les parties colonisées de l'arbre et la probabilité que les ascospores fongiques soient dispersées par les insectes sont des facteurs importants expliquant la propagation des champignons dans les forêts (Capretti et Mugnai 1987; Vannini 1987; Vannini et Valentini 1994).

Parmi les conditions les plus contribuant pour la libération des ascospores, est associée en premier lieu à la précipitation ou à l'humidité relative élevée et pendant la période sèche fortement réduite (Vannini *et al.*, 1996b) et également le vent (Henriques *et al.*, 2014 a), en outre les insectes qui ont une action importante non seulement en tant que vecteurs d'inoculum, mais aussi parce que les plaies qu'elles causent peuvent servir de point d'infection (Martín *et al.*, 2005). Les insectes les plus connus comme vecteurs de *B. mediterranea* sont *Agrilus sp.*, *Tropideres sp.* associé au *Quercus cerris* en Italie (Vannini *et al.*, 1996 a) ; *Platypus cylindrus* associé au chêne-liège au Portugal et en Algérie (Inácio *et al.*, 2011 ; Belhoucine *et al.*, 2011 ; Belhoucine, 2013 ; Amoura *et al.*, 2021) et *Cerambyx spp.* a été associé à l'incidence de la maladie sur *Q. suber* en Espagne et Maroc (Martín *et al.*, 2005).

Les ascospores une fois libérées des asques (Sai, 1997), vont germer sur du bois mort ce qui constitue un foyer de contamination et affectent des arbres par son pouvoir de pénétration à la présence de blessures causées lors de l'élagage, de démasclages, d'insectes,...etc.

Lors de la germination des ascospores, se forme un mycélium indifférencié, un champignon de forme conidienne asexuée nommé *Botrytis sylvatia* (Torres, 1993). Cette forme asexuée de conidies apparaît comme une poudre brune au-dessus du stroma (Harrachi, 2000 ; Balbalian et Henn, 2006; Kaltenbach, 2007). Une démonstration faite par Vannini *et al.* (1996 b), montre que sur tissus blessés, les ascospores germent mieux que sur les tissus non blessés.

Dans les conditions naturelles, les conidies sont produites sur un stroma en formation sous le liège qui devient plus épais et plus dur que le stade sexuel du champignon se développe. Les conidies deviennent visibles et sont libérés sur des branches minces; dans les branches épaisses leur présence n'a été enregistrée qu'après avoir retiré le liège, et ne sont jamais rejetées dans l'environnement (Jiménez *et al.*, 2005).

La dispersion des unités d'inoculum est essentielle pour que les agents phytopathogènes puissent infecter de nouveaux hôtes et parachever leur cycle de vie, pour le flux génétique et la diversification des populations de pathogènes (Henriques *et al.*, 2014).

La transmission directe de maladies des plantes peut se produire par des tissus de plantes infectées, y compris la transmission verticale lorsque l'agent pathogène infecte la graine descendante d'une plante infectée (Zabalgogea, 2008) et par le biais de racines et de souche pousse. *B. mediterranea* a été trouvé comme endophyte chez différents hôtes tissus et organes, y compris les feuilles, les bourgeons, les rameaux, les branches et le tronc, le bois et l'écorce (Franceschini *et al.*, 2002).

L'effet considérable de la teneur en eau sur l'activité de *B. mediterranea* a été prouvé. Il paraît que le développement du champignon dans la phase endophytique dépend de la réduction du potentiel hydrique de l'hôte (Vannini et Mugnozza, 1991).

Vannini *et al.* (1996) ont étudié les facteurs influençant la libération et la germination des ascospores de *B. mediterranea* sur Chêne turc (*Q. cerris*) sous conditions naturelles et du laboratoire et a conclu que la libération des ascospores et la germination dépend de la présence de l'eau libre ou une humidité relative élevée, mais ils n'ont pas testé la pathogénicité des ascospores.

En Espagne, Martin *et al.* (2005) ont enquêté sur la corrélation entre les mauvaises opérations appliquées pour la récolte du liège sur *Q. suber* et les perforations causées par des coléoptères et la contamination par *B. mediterranea* dans les forêts de chênes. Ils ont réalisé qu'il y avait une forte corrélation ( $r = 0,86$ ) entre les mauvaises opérations de récolte et les trous causés par les coléoptères (*Cerambyx* spp.) aussi bien qu'entre les dommages causés par les coléoptères et la contamination par *B. mediterranea* ( $r = 0,91$ ).

Montoya Oliver, 1988, aperçoit que parmi les voies de propagation de *B. mediterranea* (spores fongiques transportées), on note les opérations d'aménagement de forêts telles que l'élagage par les équipements forestiers qui peut infecter d'autres arbres. En outre, une pratique malveillante d'élimination du liège empêche la guérison naturelle des blessures et facilite le développement des maladies.

Sous sa forme périthéciale; Il s'agit du premier rapport portugais en 2012 par Henriques *et al.*, sur la présence et la caractérisation de sa forme mitosporique dans des conditions naturelles. De plus, il est considéré comme un agent pathogène secondaire (Santos, 2003) et son incidence chez les jeunes chênes lièges sans autre déclin, les symptômes suggèrent une possible perturbation du comportement de cet agent pathogène qui pourrait devenir plus agressive. Ces observations pourraient être liées au scénario de changements climatiques globaux, particulièrement sévère dans la région méditerranéenne (Desprez-Loustau *et al.*, 2006 ; Lindner *et al.*, 2010).

A partir de ce contexte, Henriques *et al.*, 2012 inspirent que les changements climatiques semblent favoriser l'impact du chancre du charbon de bois dans les forêts de *Q. suber*.

Sous les conditions favorables de son développement (l'arbre hôte affaibli), le *B. mediterranea* est une espèce hautement thermophile capable de s'accroître sous un très faible potentiel hydrique (Vannini *et al.*, 1996) et la maladie favorise cet ensemble du pathosystème.

### 5.1.2. Aspects des dégâts

Il est important de comprendre les mécanismes de dispersion dans afin de concevoir de meilleures méthodes pour détecter les phytopathogènes et contrôler la maladie qu'ils causent (West, 2014).

*B. mediterranea* étant un parasite non agressif facultatif qui prend un caractère épidémique dès que des conditions défavorables surviennent dans un peuplement (Sai, 1997); et il est apparemment peu dangereux, et il ne doit en aucun cas être diffusé car ces grandes facultés de conservation, sous forme saprophyte, et sa dissémination aisée, sous forme parasite, en font un ennemi potentiel non négligeable (Lanier, 1986 a).

Ces attaques sont considérées parmi les principales causes de la mort du chêne-liège touché par le déclin. En effet, il a souvent été isolé dans ces cas. Au Portugal, par exemple, il a été signalé une réduction de la production de liège durant les périodes 1970-78, 1979-87 et 1988-96 qui a atteint respectivement 89%, 73% et 69% de la production des années 1961-69 (Mendes, 1996). En Sardaigne, 85 % des forêts en déclin ou mortes, en 2001, l'ont été par les "chancres de charbon du bois". Luciano et Prota (1995) rapportent une diminution de 40 à 60% de la production de liège en Italie. Aussi, au Maroc, la situation est alarmante où les subéraies du Nord-Ouest ont été réduites de 30% au cours des 15 dernières années (Graf *et al.*, 1992).

Dans la région méditerranéenne, les conditions climatiques, toutefois, prend vraiment une importance dans l'épidémiologie du dépérissement, parce qu'elle conduit à maintenir une pression d'inoculum élevée et permet donc de multiplier les centres d'infection sur les arbres durant une grande partie de l'année, accélérant ainsi leur déclin végétatif (Vannini *et al.*, 1996 a).

Quand l'hôte est soumis au stress hydrique, l'agent pathogène peut facilement se propager dans les vaisseaux creusés, et par la suite coloniser les tissus de l'écorce et du bois. Il est ainsi capable de tuer l'arbre hôte en une seule saison de sa croissance (Mirabolfathy *et al.*, 2011). Alors, il ne s'étend pas dans les tissus corticaux qui réagissent vigoureusement, mais pousse son mycélium dans le bois, où il chemine longitudinalement dans les fibres et vaisseaux, et radialement dans les cellules des rayons médullaires, selon des bandes brunâtres que l'on peut suivre à l'œil nu (Malençon et Marion, 1951). Il détruit ainsi toute la zone subéro-phellodermique qui sera remplacée par une croûte à consistance stomatique noire, dure, détachant peu à peu le liège de la mère. Le champignon apparaît dans les fissures du liège. La conjonction de facteurs favorables fait passer de cet état latent à sa phase parasitaire (Mazzaglia *et al.*, 2001).

Il est à noter que la progression de la maladie n'est pas irréversible. Quand la croissance des chênes liège est vigoureuse, l'infection se paralyse et passe inaperçue, jusqu'à ce que des facteurs défavorables (en général la sécheresse) accroissent la virulence du parasite (Sai et Chaibeddra, 1996).

Lors d'un dépérissement des arbres, tel que ce dernier qui s'étend aux branches, puis au tronc; ainsi que le jaunissement des feuilles, qui se dessèchent et tombent, on doit chercher avec attention des manifestations externes du parasite qui peut être à l'origine de la maladie (Morelet, 1986 a).

Après la chute des anciennes feuilles, qui coïncide chez le chêne-liège avec la sortie printanière des nouvelles feuilles, on assiste ici et là, vers la fin de l'été, sur des surfaces variables ou "taches" atteignant plusieurs hectares, à des défeuillages précoces et intégraux de tous les arbres. Au printemps suivant, une partie des arbres ne se refeuille pas et se couvre simultanément des fructifications typiques de *Biscogniauxia mediterranea*. Ce processus peut se renouveler plusieurs années de suite au même endroit jusqu'à la disparition locale de l'état boisé (Malençon et Marion, 1951).

Récemment, chez *Quercus* a été constaté que la conjonction de facteurs favorables fait passer le *B. mediterranea* de l'état latent à sa phase parasitaire (Vannini, Biocca et Papparatti 1996 ; Mazzaglia *et al.*, 2001). Sa capacité de survivre dans une phase latente dans les tissus sains pourrait représenter une stratégie importante de ce champignon. Afin d'étudier la localisation de *B. mediterranea* dans les tissus hôtes au cours de la phase latente, des approches traditionnelles, telles que l'isolement du pathogène à partir des tissus, ont plusieurs limitations et difficultés. Différents paramètres affectent la fiabilité des résultats et la possibilité de détecter le champignon, par exemple le type de tissu, la taille de l'échantillon et la concurrence avec d'autres organismes.

À cette fin, une approche alternative utilisant les techniques moléculaires pourrait offrir plusieurs avantages afin de fournir une détection sensible de l'organisme cible dans les tissus de l'hôte. À partir de là, différentes méthodologies ont été utilisées pour identifier des séquences d'ADN efficaces comme sondes ou amorces pour les espèces fongiques cibles, y compris RAPD-PCR (Kelly *et al.*, 1998 ; Nicholson *et al.*, 1998) ou le séquençage des régions d'ADN (Lee, White et Taylor 1993 ; Lovic, Martyn et Miller 1995 ; Trout *et al.*, 1997). Dans une étude tenue par Vanini *et al.* (1999) sur la structure génétique de *B. mediterranea* utilisant « Random Amplified polymorphe DNA » (RAPD), les auteurs ont trouvé qu'il existait une grande diversité génétique au sein de la population dérivée à partir d'un seul stroma et parmi divers isolats collectés dans une zone limitée. Ils ont donc proposé un système de type d'accouplement hétéroathallique pour champignon.

## 6. Cycle biologique

Sur le chêne-liège, le cycle de vie de *B. mediterranea* se déroule en trois phases premièrement une phase endophytique latente, deuxièmement une phase parasite, et dernièrement une phase saprophyte (Franceschini *et al.*, 2002). Chacune d'elles a ses propriétés où le pathogène agit d'une façon particulièrement distincte (Fig.II.9).

### 6.1. Phase endophytique

Dans cette étape, les sujets en état vigoureux sans qu'elle ne manifeste de symptômes, restant en état de latence jusqu'à ce que le sujet s'affaiblisse. Et donc son incidence endophytique dans différents tissus végétaux semble être liée à l'intensité des dégâts (Anselmi et Mazzaglia, 2005).

Le comportement endophytique de *B. mediterranea* est apparemment lié au stade phénologique de l'hôte. Il persiste, en effet, une grande partie de son cycle à l'état d'endophyte dans les organes aériens de la plante en particulier les bourgeons et, avec une fréquence limitée les racines (Linaldeddu *et al.*, 2005a ; 2011), mais lorsque l'état sanitaire de l'hôte se détériore, il passe à une action pathogène sur les organes ligneux compte tenu des remarquables capacités de survivance du champignon dans les tissus végétaux (Biocca et Motta, 1995). Semblablement, il est susceptible de passer de longues périodes de latence dans les tissus des plantes de façon asymptomatiques, néanmoins, il peut aussi devenir un parasite de faiblesse lorsque ces dernières traversent des périodes de souffrance végétative sous l'action d'autres facteurs adverses (Franceschini *et al.*, 2002).

Malençon et Marion, 1951, proclament que ce pathogène n'est pas compétent d'un haut pouvoir de parasitisme, C'est un parasite à la fois de blessure et de faiblesse qui bénéficie de circonstances favorables, stabilise d'abord et aggrave ensuite tout état de déficience des arbres, sans être capable d'attaquer des sujets intacts et vigoureux.

À l'aide d'un vecteur ou d'une blessure, il peut se propager rapidement au cours de sa phase pathogène (Mazzaglia *et al.*, 2001). Généralement, nous observons la minuscule blessure, souvent une attaque d'insecte, là où il peut croître d'une façon radiale (Malençon et Marion, 1951). Aussi, sa dispersion est assurée par le vent et la pluie (Franceschini *et al.*, 2002).

*B. mediterranea* est influencé par des changements dans la physiologie de l'hôte avec certains facteurs de stress, en particulier le stress hydrique, qui favorisent la colonisation du tissu de chêne par ce pathogène et favorisent son passage d'une phase endophytique à la phase parasite (Linaldeddu *et al.*, 2011).

L'activité nécrotrophique du champignon est liée à la production de substances enzymatiques et/ou toxiques, cas de bonnes conditions végétatives (Magro et

Vannini, 1991). A l'opposé, chez des hôtes déjà souffrants, une telle activité entraîne la dégradation progressive des différents tissus jusqu'à l'aubier. La destruction de ces tissus est suivie par la diffusion du mycélium dans le xylème.

Collado *et al.* (2001), soutiennent que ce champignon doit être considéré comme un phellophyte (un champignon ne colonisant que l'écorce externe, contrairement aux vrais endophytes, habitant le xylème). La préférence de *B. mediterranea* pour coloniser l'écorce, par rapport au bois décoratif, a déjà été signalée (Whalley, 1985).

## 6.2. Phase parasitaire

Sous l'effet de facteurs biotiques ou abiotiques qui font l'objet d'affaiblissement de l'hôte, le *B. mediterranea* se manifeste et prend un caractère épidémique.

Sous le liège fissuré, la formation du stroma commence et résulte de l'exsudation, secrété par le sujet atteint, puis sèche sous forme de plaques noires dures et charbonneuses (Torres, 1993). Le champignon prend vraiment de l'importance dans l'épidémiologie du dépérissement, parce qu'elle conduit à maintenir une pression d'inoculum élevée et permet donc de multiplier et de se propager rapidement à partir de plusieurs centres d'infection sur les arbres durant une grande partie de l'année, accélérant ainsi leur déclin végétatif (Vannini *et al.*, 1996a ; Mazzaglia *et al.*, 2001). Son infection quand il se manifeste, étant capable de tuer l'hôte en une seule saison de croissance (Vannini et Valentini 1994).

Dans le xylème, et par une observation microscopique effectuée par Vannini et Valentini (1994), ils confirment la propagation de *B. mediterranea* (le mycélium) dans les vaisseaux, de plus ils ont observé une croissance fongique accrue dans le xylème des semis sous l'effet du stress hydrique. Et donc, à partir de là nous concluons qu'il y avait une relation étroite entre la surface de la décoloration et la perte de conductivité hydraulique. La formation d'espaces vides dans le système vasculaire pourrait constituer un moyen efficace pour le champignon de se propager par élongation mycélienne. Après la pénétration dans le système vasculaire, *B. mediterranea* diffuse son mycélium dans le xylème (Torres, 1993), contribuant à un déclin des arbres infectés et par conséquent un manque de fonctionnalité du xylème (généralement ou partiellement), disfonctionnement du transport d'eau vers la couronne (Vannini et Valentini, 1994).

A l'intérieur du stroma, les organes reproducteurs sexuels sont clairement différenciés, en particulier chez le chêne liège (Bakry et Abourouh, 1996 ; Franceschini et Luciano 2009 ; Franceschini *et al.*, 2002). Un grand nombre de billes est inséré verticalement les unes contre les autres, en formes de périthèces avec une taille de 0.5 - 1mm X 0.4 - 0.5mm, dans lesquels se développent des asques unicellulaires (thèques), chacun d'eux contenant huit ascospores qui vont germer dès

que les conditions sont défavorables à la plante hôte (Vannini *et al.*, 1996 a) afin de constituer un foyer de contamination des plus importants pour le *B. mediterranea* (Vannini *et al.*, 1999). Ces formes apparaissent sur des arbres en phase terminale de dépérissement ou sur les parties mortes tombées au sol.

L'infection par ce champignon peut progresser dans des sens très divers afin de conduire l'arbre vers le dessèchement, jusqu'à la mort. Cette dernière réfère à une étude menée par Evidente *et al.* en 2005, estiment que à partir des filtrats de culture liquides de *B. mediterranea* ont été obtenus trois composés phytotoxiques tels que : le biscopyran, l'acide phénylacétique et la 5-méthylmelleine (Fig.II.8.A) (Maddau *et al.*, 2002). L'acide phénylacétique (Fig.II.8.B), est un acide de faible poids moléculaire, isolé pour la première fois sous forme de métabolite toxique de ce champignon, dosé à des concentrations allant de 0,26 à 0,026 mM. Il a été constaté qu'il est toxique pour le *Q. suber*. Une apparition des lésions nécrotiques sur les feuilles survient 5 jours après l'absorption de la solution toxique. Le troisième métabolite qui constitue la toxine principale est appelé biscopyran (Fig.II.8.C) (Evidente *et al.*, 2005). Lorsqu'il est testé sur des boutures de chêne-liège, un dosage conformément de concentrations allant de 0,26 à 0,026 mM. Une émergence d'un flétrissement à 0,26 mm sur les boutures a été enregistrée en 10 jours. Pour le composé 5-méthylmelleine, il joue un rôle dans la maladie induite sur la plante hôte et provoque une épinastie.

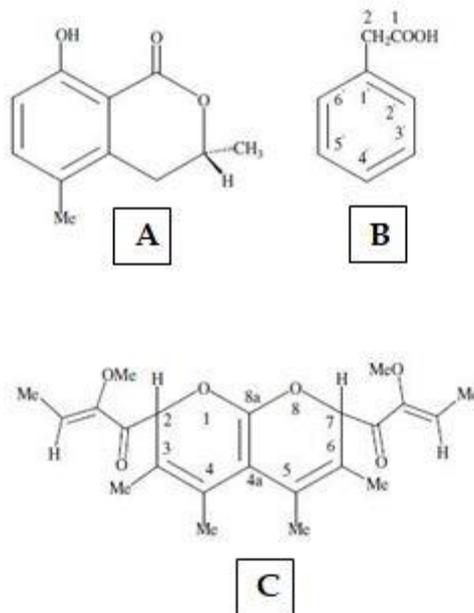


Figure II.8. Structures de phytotoxines isolées de filtrats de la culture de *Biscogniauxia mediterranea* (A : la 5-méthylmelleine ; B : l'acide phénylacétique et C : le biscopyran) (Evidente *et al.*, 2005)

### **6.3. Phase saprophyte**

Dans la dernière phase de son cycle vital, le champignon se comporte alors non comme un saprophyte facultatif et se développe sur des tissus déjà morts où il forme ses structures reproductives.

En général, cette étape saprophytique est limitée par le développement d'autres saprophytes qui colonisent en un temps relativement court le stroma du champignon (Ju *et al.*, 1998). C'est pourquoi cette phase terminale prend vraiment une importance dans le processus du dépérissement car elle conduit à maintenir une pression d'inoculum élevée et donc durant une grande partie de l'année permet de proliférer les centres d'infection sur les arbres, accélérant ainsi leur déclin végétatif (Vannini *et al.*, 1996).

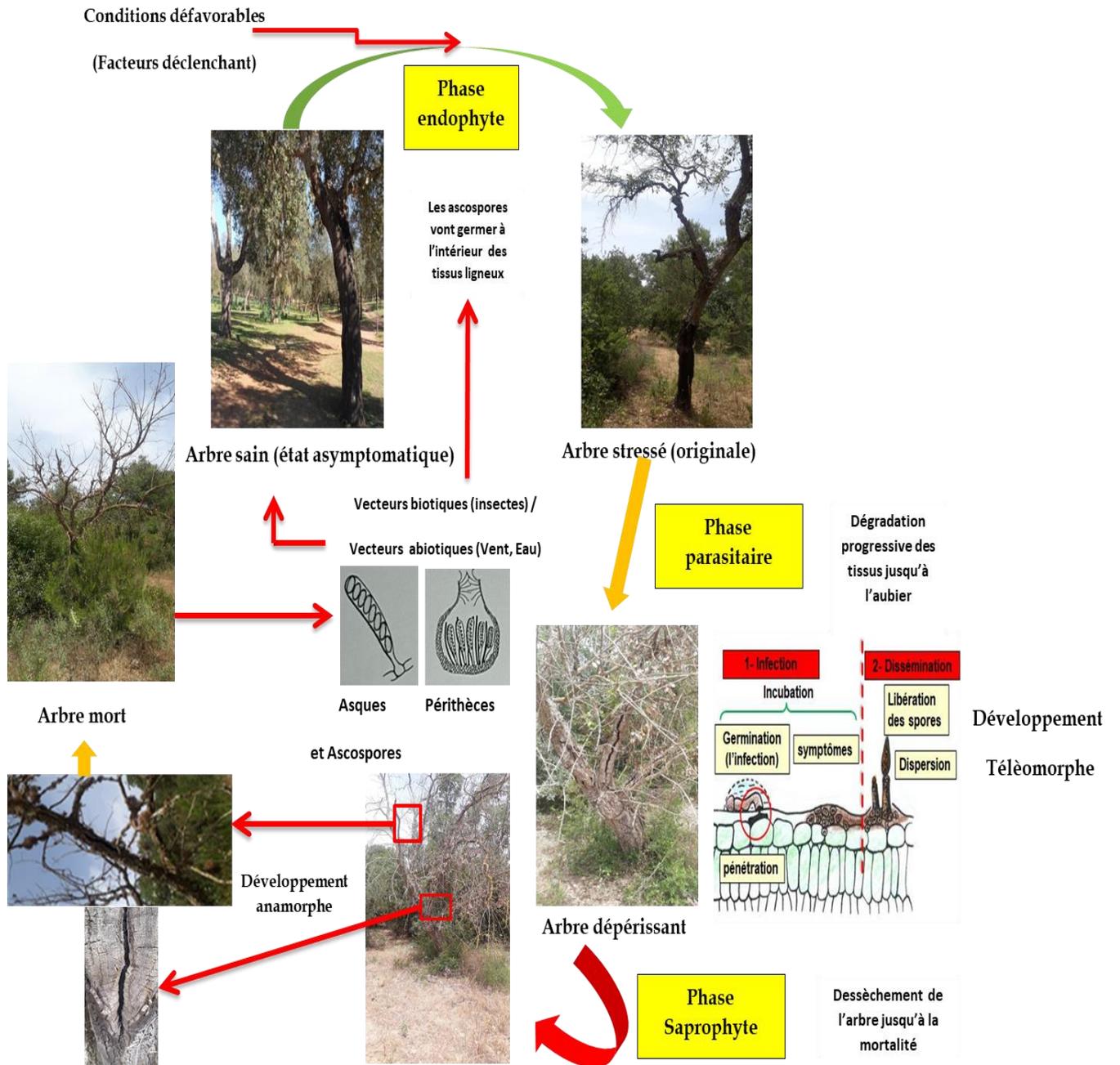


Figure II.9. Cycle biologique de *Biscogniauxia mediterranea* sur le chêne liège.

## 7. Les facteurs de risque

Au cours des différents stades de développement de la maladie, plusieurs contributeurs sont mis en cause pour faire comprendre la combinaison de facteurs favorables qui fait pousser le champignon de son état latent à sa phase parasitaire. En effet, sa présence est conditionnée par des facteurs qui lui permettent de surmonter à la phase parasitaire pour devenir un agent pathogène, dès que la plante s'affaiblit. De ce fait, les stress environnementaux tels que la sécheresse, les températures basses ou élevées, l'irradiance élevée et le manque de certains éléments nutritifs du sol qui peuvent entraîner des modifications physiologiques des plantes et influencer la sensibilité des plantes aux pathogènes fongiques (Linaldeddu *et al.*, 2011).

En revanche, des modifications dans la sensibilité des plantes aux maladies peuvent être observées à la suite d'un changement dans la nutrition de l'hôte, dont l'apport d'azote de la plante hôte qui a un effet considérable à la fois sur l'hôte et sur l'agent pathogène. En plus des acides aminés qui peuvent stimuler ou inhiber le développement des parasites fongiques (une modification de leur équilibre dans les tissus de l'hôte), résultant des changements dans les conditions nutritionnelles du champignon.

Le comportement de *B. mediterranea* *in vitro* est influencé par la présence de milieu de base nutritif d'acides L-aminés (alanine, asparagine, glycine et proline) par lequel sur un milieu enrichi en asparagine, il a été observé une croissance considérable des colonies et une masse sèche de mycélium, tandis que sur le milieu enrichi en glycine, ont été remarquées des performances limitées. En revanche, il a été rapporté une variabilité du comportement des isolats lorsque l'alanine et la proline étaient les seules sources d'azote (Turco *et al.*, 2005). D'après Vannini *et al.* (1996 b), il tolère une large gamme de pH.

Encore, parmi les facteurs de stress abiotiques, celui de la pollution atmosphérique qui affecte de plus en plus les forêts méditerranéennes, à savoir la couche d'ozone (Lindner *et al.*, 2010). La pré-exposition à l'ozone intensifie la sensibilité des feuilles de *Q. cerris* aux attaques fongiques réussies par *B. mediterranea* (Paoletti *et al.*, 2007). Cependant, la principale cause de l'augmentation des dommages aux feuilles chez les semis exposés à l'ozone semble être le taux de germination des spores plus élevé que chez les feuilles témoins. L'ozone peut modifier la composition chimique des cires épicuticulaires, modifiant ainsi l'environnement pour la fixation et la germination des spores, et modifiant la teneur et la qualité de l'azote et des glucides des feuilles, faisant ainsi des feuilles un meilleur substrat pour les champignons (Henrique, 2015).

Le développement du chancre charbonneux est plus appréciable dans les zones où la disponibilité de l'eau est faible (stress hydrique) et les arbres sont plus stressés

(Desprez - Loustau *et al.*, 2006). Dans les conditions du stress, Vannini et Valentini (1994) expliquent qu'ils y a des altérations du métabolisme cellulaire entraînant des modifications qualitatives et quantitatives de la composition en glucides et en acides aminés qui peuvent améliorer la disponibilité des nutriments pour les agents pathogènes. Aussi, un autre effet du stress hydrique sur l'interaction plante-pathogène est une diminution de la capacité de la plante à développer une barrière physique contre les pathogènes, car l'élargissement et la division cellulaire sont affectés par les changements dans les relations hydriques. De plus, le changement de la teneur en eau dans les tissus de l'hôte est un facteur d'interaction qui peut déclencher l'activité de *B. mediterranea*. Des études menées principalement sur *Q. cerris* mais aussi sur *Q. suber*, ont confirmés que le champignon s'accumule dans les tissus de l'hôte et pendant les saisons sèches de croissance il a plus de chances d'avoir une prolifération dans les tissus de manière asymptotiques (Vannini et Mugnozza, 1991 ; Collado *et al.*, 2001).

Le champignon colonise rapidement les tissus de l'écorce et du bois des arbres qui résistent au stress hydrique ou à une sécheresse prolongée et / ou sont endommagés par le feu. Les périthèces noirs et oblongs sont complètement immergés dans le stroma carbonacé ce qui fait éclater l'écorce. En une seule saison de croissance, la plante entière peut mourir (Vannini et Valentini, 1994).

Durant la phase endophytique de son cycle vital, Vannini *et al.* (1996) a constaté et confirmé la relation étroite entre l'incidence de l'infection et le stress hydrique de la plante. Ils montrent aussi que l'infection peut être retrouvée à des températures comprises entre 5°C et 40°C. Cette large gamme de températures a, sans aucun doute, contribué à la large diffusion de *B. mediterranea* en climat méditerranéen où les saisons d'hiver sont de plus en plus douces et la distribution des précipitations plus irrégulière.

Sur des coupes de branches ou des semis de *Q. suber*, *Q. cerris*, *Q. rotundifolia* et *Q. coccifera*, des tests de pathogénicité ont été effectués et ont montré que *B. mediterranea* a une capacité dominante à se développer sur les tissus morts et bien qu'il soit capable de coloniser la plante de manière endophytique, la nécrose corticale ne se développe que lorsque les plantes souffrent d'un stress hydrique sévère, ce qui montre que le chêne-liège est le plus résistant et que des températures élevées favorisent le développement de nécrose corticale et la formation de stroma carboné (Vannini et Valentini, 1994 ; Santos 1999 ; Luque *et al.*, 2000 ; Jiménez *et al.*, 2005 ; Vannini *et al.*, 2009).

Linaldeddu *et al.* (2011), ont aussi signalé que le stress hydrique favorise les infections endophytes de certains pathogènes fongiques opportunistes et de provoquer une réduction de la biodiversité microbienne - endophyte du chêne-liège,

semble influencer négativement sur le développement de certaines espèces fongiques antagonistes, comme *Trichoderma citrinoviride* Bissett (Linaldeddu *et al.*, 2011).

Dans le même contexte, la dissémination et la germination des ascospores dépendent de la présence d'eau ou d'une humidité relative élevée de l'air dont, les ascospores éjectent des stromas en forêt pendant la majeure partie de l'année après les périodes de fortes précipitations (Vannini *et al.*, 1996b ; Jiminéz *et al.*, 2005b ; Linaldeddu *et al.*, 2005 a). A titre d'exemple, En Italie, la libération d'ascospores peut se produire en toutes saisons, tandis que les conidies sont généralement libérées à la fin de l'été (Linaldeddu *et al.*, 2005a).

Pour la germination des ascospores, ils se maintient à 5 °C et ont pu germer après une courte exposition à des températures comprises entre 20 - 35 °C (Vannini *et al.*, 1996b). Selon Linaldeddu *et al.* (2005a) l'infection peut se trouver à des températures allant de 5 à 40 °C. Et pour la croissance de *B. mediterranea*, la température idéale est de 30 °C (Vannini et Valentini 1994). Sans doute, cette large amplitude de température contribue à une large diffusion de *B. mediterranea* dans les régions méditerranéennes, où les hivers deviennent plus doux et la répartition des pluies plus irrégulière, même pendant la saison la plus chaude. Le chêne-liège est extrait des arbres pendant l'été, ce qui expose de vastes zones de tissus vivants du tronc, ce qui le rend particulièrement sensible à l'infection de ce champignon (Franceschini et Luciano, 2009).



---

**CHAPITRE III :**

*Milieu d'étude*

---

## **Chapitre III : Milieu d'étude**

### **1. Milieu physique**

#### **1.1. Choix des forêts**

L'ouest Algérien est un territoire géographique caractérisé par ses exceptions climatiques, édaphiques, orographiques, et même floristiques et forestières (Thintoin, 1948). Dans ce compartiment, les peuplements de chêne-liège sont situés dans deux grandes divisions phytogéographiques différentes en fonction de l'influence maritime et de la structure géographique (Boudy, 1955). Nous distinguons :

- Au nord, les subéraies littorales dans une région recouvrant les sahels et les plaines.
- Au sud, les subéraies de montagne, localisées dans l'Atlas tellien.

Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi trois forêts représentatives de l'ouest Algérien : la forêt de M'sila (W. Oran) qui demeure l'une des principales subéraies du littoral algérien, et de subéraies de montagne à savoir la forêt de Djebel Saadia (W. Relizane) et la forêt de Hafir (W. Tlemcen).

Comme la plupart des subéraies algériennes, ces trois forêts se trouvent dans un état pénible et une grande partie est condamnée encore à disparaître (Messaoudene, 2000). Le phénomène du dépérissement et la mort incompréhensible des arbres du chêne liège sont les critères qui nous ont poussés à s'inquiéter et s'interroger sur la cause et l'origine de cette situation et en même temps sur l'avenir de cette région.

#### **1.2. Situation géographique**

Les trois forêts sur lesquelles porte notre étude à savoir la forêt de M'sila, la forêt de Hafir et la forêt de Djebel Saadia s'inscrivent entre les coordonnées Lambert suivantes (Tab.III.1).

Tableau III.1 : Coordonnées géographiques des trois forêts oranaises

sites	Coordonnées géographiques		Altitude (m)	Distance à la mer (km)	Superficie total (ha)	Superficie en chêne liège (ha)	Exposition	Carte d'état-major
	latitude	longitude						
<b>M'sila</b>	35°38'49,95''N 0°53'01,10''O	35°37'13,83''N 0°53'37,41''O	260 à 568	14	1570	1080	Ouest (Oran)	Andalous es Feuilles n°152,153
<b>Hafir</b>	34°77'79,4''N 0°14'29,45''O	34°77'70,3''N 0°14'29,44''O	1000 à 1420	60	10157	3 500 à 4 000	Sud-ouest (Tlemcen)	Terny Feuilles n°299,300
<b>Djebel Saadia</b>	35°53'39,9'' N	01°19'24,7'' E	956	65	588	500	Sud-est (Relizane)	<small>Carte topographique au 1/25 000 de Ammi Moussa (NI - 31- XX- 12 ouest) établie en 1991 par l'INCT</small>

La forêt domaniale de **M'sila** se situe à 30 km à l'Ouest de la ville d'Oran et à 7km de Boutlélis. Elle s'étale sur une superficie totale d'environ 1 570 ha divisée en six (6) cantons (C.F.W.O, 1996). Elle est limitée géographiquement par Misserghine et les monts Murdjadjo à l'Est, Ain Kerma à l'Ouest, El Ancor et les Andalouses au Nord et les peuplements de Tarziza au Sud (Fig.III.1). La forêt est sous la tutelle de la Conservation des forêts de la wilaya d'Oran, la Circonscription d'Oran et le District de Boutlellis (C.F.W.O., 1996).



Figure III.1 : Situation géographique du forêt de M'Sila (a : Ziani-Cherif, 2013, b : google earth, 2020)

La forêt domaniale de **Hafir**, est une aire favorisée qui a capté l'attention de nombreux chercheurs. Elle se développe sur les subdivisions d'un massif montagneux et est décelée en totalité au sud-ouest du chef-lieu de la wilaya de Tlemcen, avec une altitude de 1 000 à 1 420 m et compte entre 9 872 ha et 10 156 ha, découpée en huit (8) cantons et chaque canton renferme un seul ou plusieurs groupes (Tab.III.2), dont un situé dans la commune de Ain Ghoraba et le reste au niveau de la commune de Sebra (C.O.I.T., 1900 ; 1933 ; Bouhraoua, 2003). Cependant elle forme un massif continu d'environ 12 000 ha avec la forêt de Zariéffet.

Administrativement, elle est gérée par la conservation des forêts de la wilaya de Tlemcen et la circonscription de Tlemcen et une partie de cette dernière appartient au parc national de Tlemcen (Fig.III.2).

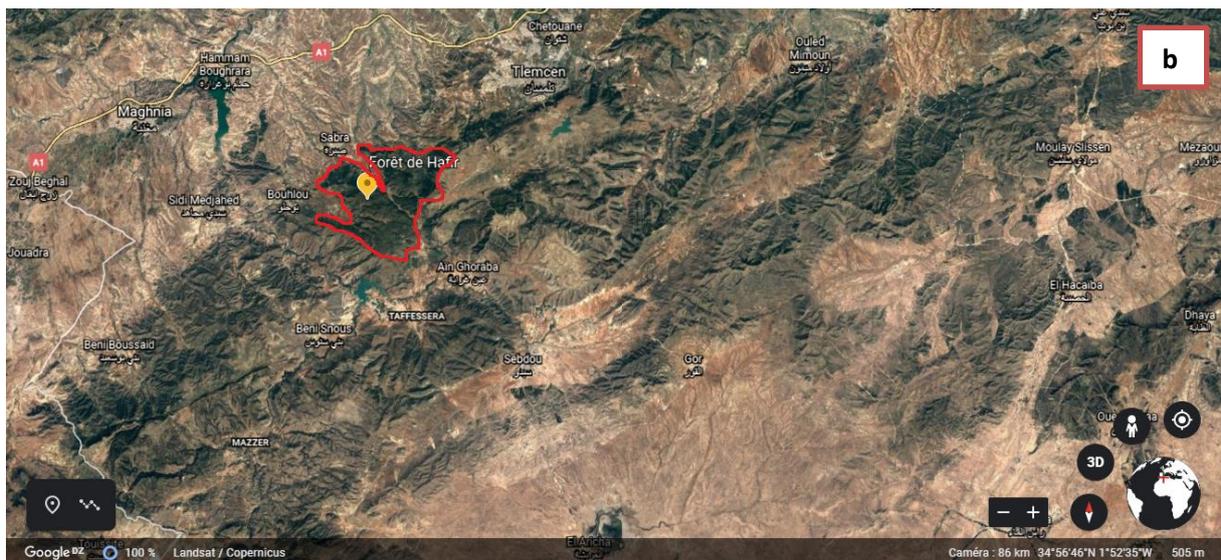
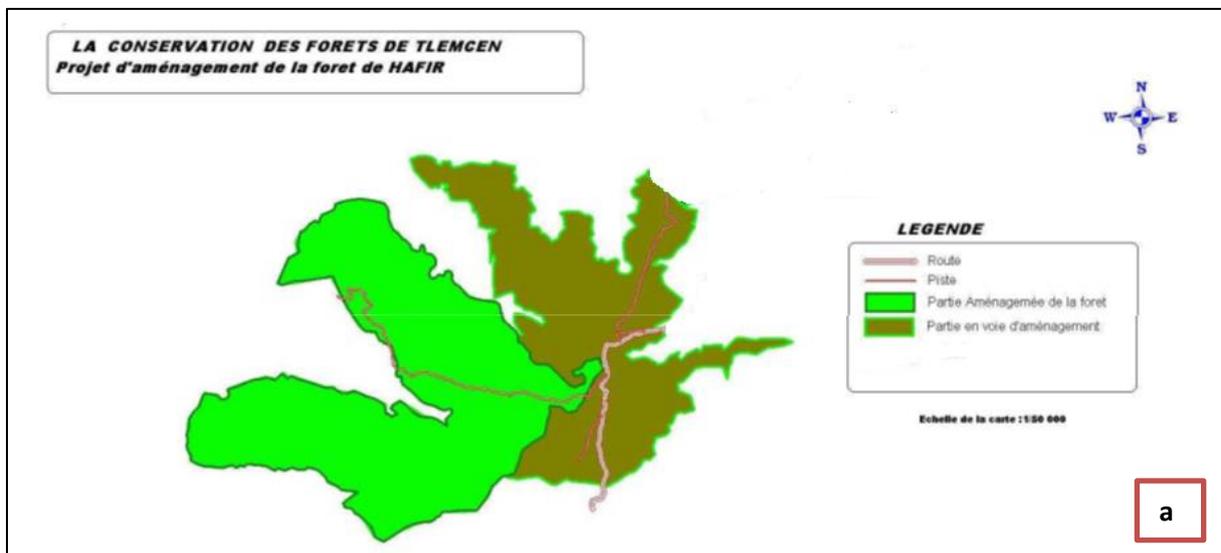


Figure III.2 : Localisation du massif forestier Hafir (a : Conservation des forêts de Tlemcen ,2007 modifiée par Bendjebbar, b : google earth, 2020).

Tableau III.2. Cantons de la forêt de Hafir (PNT, 1999)

Les cantons et leur superficie en hectare	Hafir
	Maison forestière ; 188 ha 37 a 70 c Tidjit; 264 ha Krean ;22 ha 07a 69 c Oued Tlet ; 414 ha 40 a Tibrouine; 120 ha El Kroun; 146 ha Tatsa; 430 ha Bled Aini; 36 ha 60 a 00 c

La forêt domaniale de **Djebel Saadia** est localisée dans la quotité sud-est de massif d'Ouarsenis. De point de vue administratif, elle appartient au district de Ramka avec une couverture d'une superficie de 20 617 Ha (C.F.W.R, 2017) à la circonscription forestière de Ammi Moussa et la Conservation des forêts de la wilaya de Relizane. D'après C.F.W.R (2017), l'essence primodiale de cette forêt est le chêne liège sur 450 ha (Fig.III.3).

Sa limitation au Nord par la commune de Souk El Had, au Sud par la commune de Melaab et la commune de Lardjem (W. Tissemsilt), à l'Est par la commune d'Ouled Ben Abdelkader (W. Chlef) et la commune de Lardjem (W. Tissemsilt), à l'Ouest par la commune d'Ammi Moussa.

### 1.3. Géologie et Pédologie

Dans le cadre d'une étude du milieu naturel, la géologie prend une place privilégiée (Benest, 1985). La nature de la roche mère influence largement le processus pédogénétique, en particulier par sa composition granulométrique (Durand, 1954). D'après Thintoin, 1948 et Quézel, 2000, du fait de son histoire, le Tell oranais est particulièrement diversifié d'un point de vue géologique.

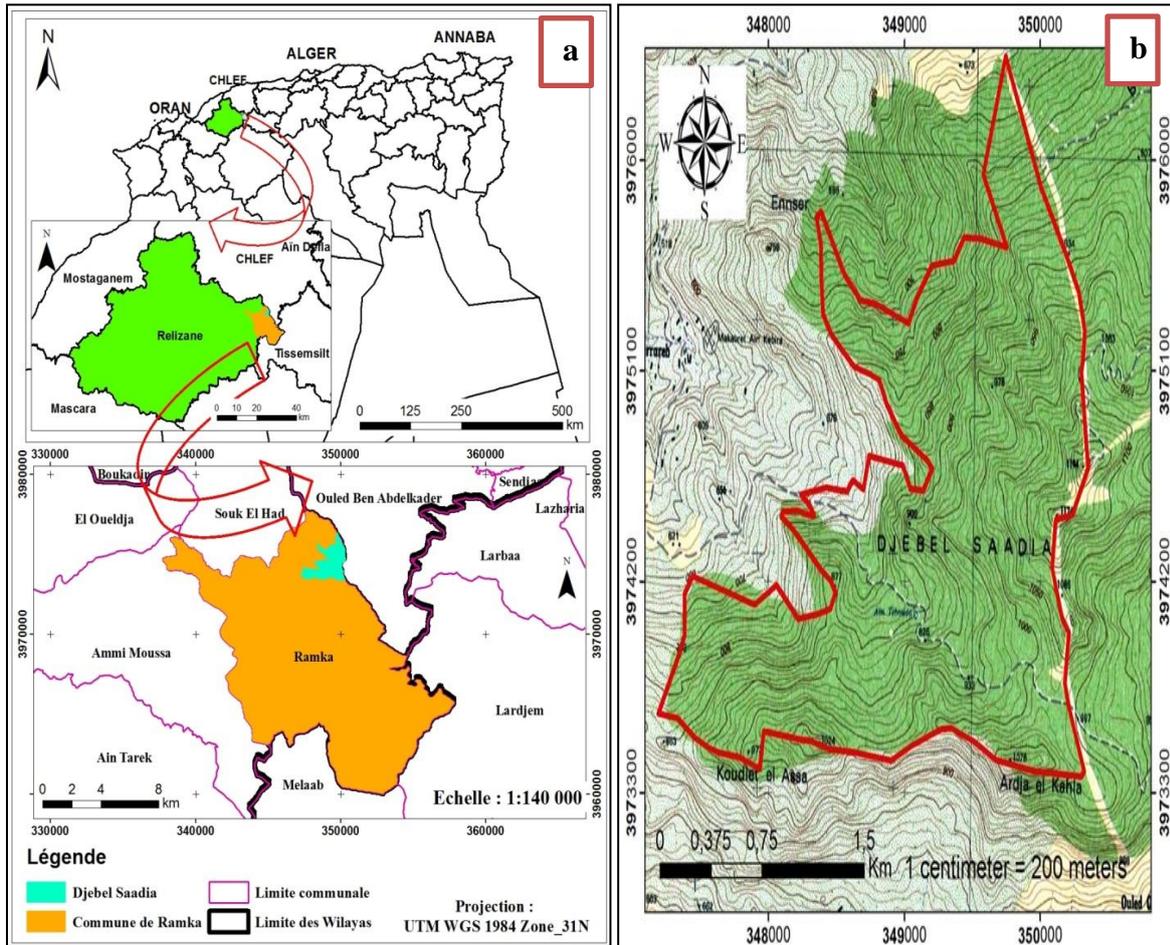


Figure III.3: Situation administrative et géographique de la forêt de Djebel Saadia (a,b: C.F.W.R 2017, c: google earth 2020)

### La subéraie de M'Sila

Le tell oranais est particulièrement diversifié d'un point de vue géologique et pédologique (Thintoin, 1948 ; Quézel, 2000) dont la forêt de M'Sila couvre une ancienne surface d'abrasion callabrienne localement couverte depuis longtemps de dépôts marins ou dunaires (Gourinard, 1958). Ce même auteur note la présence

d'une falaise morte correspond à l'extension de la mer callabrienne, constituée de calcaire à Lithothamnée du Miocène supérieur sur la route menant à la forêt par la ferme Saint Pierre près de la source de la maison forestière. Les différents substrats géologiques caractéristiques de la forêt sont: du sable pliocène et des schistes jurassiques mis en place au miocène moyen (Boudy, 1955 ; Gourinard, 1958) (Fig.III.4).

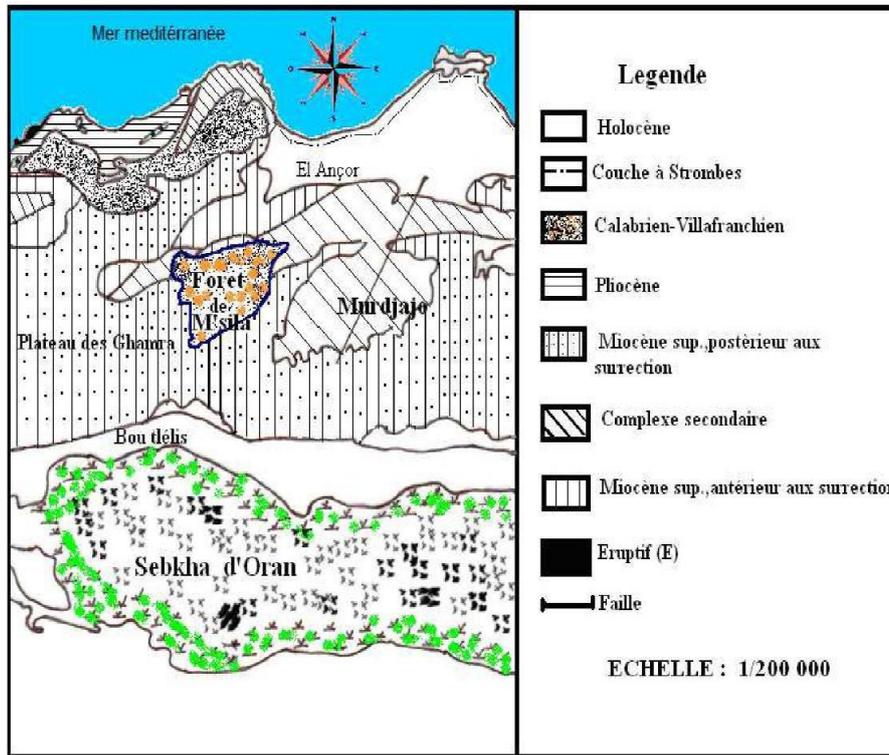


Figure III.4. Extrait du schéma géologique du littoral Oranais (Gourinard, 1958 modifiée par Dehane, 2006)

La majorité de la forêt de **M'Sila** présente un relief moins accidenté, sans pentes abruptes (> 3 %) (Thintoin, 1948 ; Boudy, 1955). Djabeur (2001) signale que le point culminant de cette forêt est « le signal de M'Sabieh » et se situe à 591 m d'altitude.

Au plan édaphique, la forêt possède un sol très profond (supérieur à 2 m) et perméable, ce qui montre la quasi inexistence des affleurements de la roche mère et des pierres (Belabbes, 2004). En revanche, c'est un sol pauvre d'une texture argilo-siliceuse, provenant de la décomposition de schistes et quartzites néocomiens et de désagrégation des grès sableux pliocènes (Thintoin, 1948). Aime (1991) a distingué quatre types de sols : les sols rouges sur formation quartzique, les sols rouges décarbonatés sur grès calcaire, les sols rouges tersifiés et des sols polycycliques (Fig.III.5).

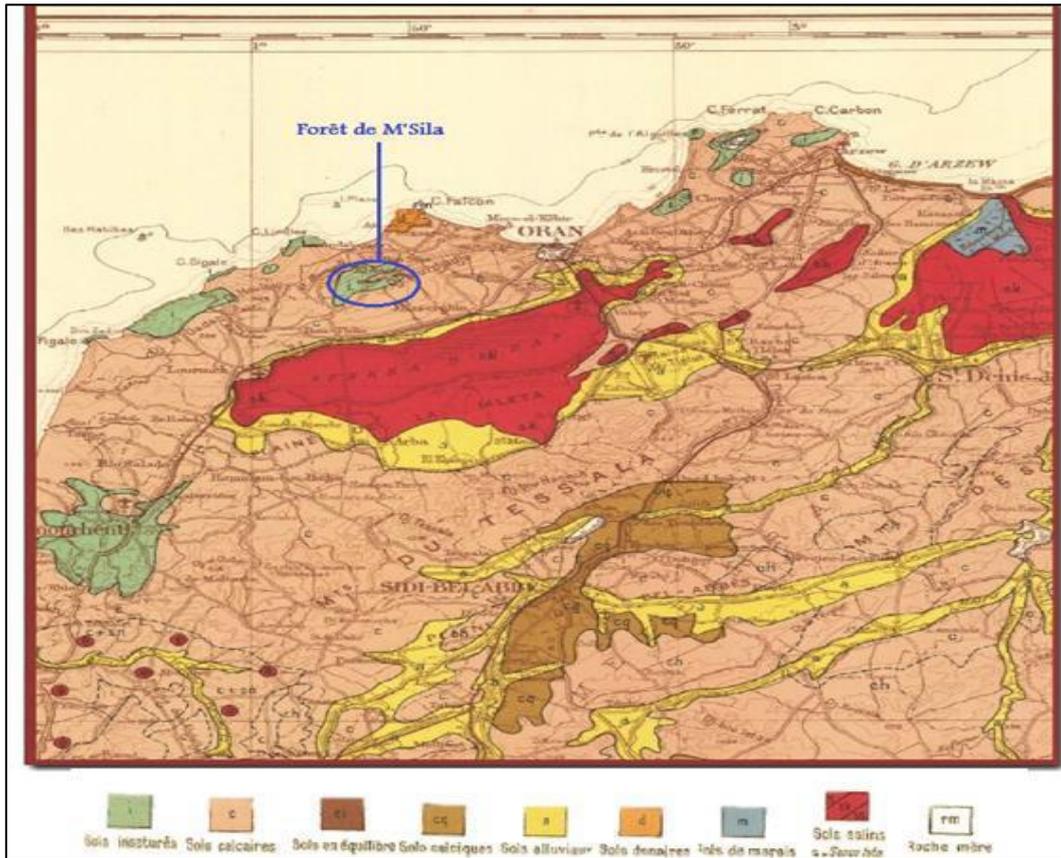


Figure III.5. Carte des principaux sols de la région oranaise (Durand, 1954)

### La subéraie de Hafir

La géologie des monts de Tlemcen a été décrite par de nombreux auteurs (Thintoin, 1948 ; Boudy, 1950 ; 1955 ; Bricheteau, 1954 ; Sauvagnac, 1956 ; Elmi, 1970 ; Gaouar, 1980 ; Benest, 1985 ; et Bensid, 1986). La forêt de Hafir repose sur un massif datant du Jurassique supérieur constitué dans sa majorité de grès Séquanien et d'alluvions Quaternaire.

Les peuplements de chêne-liège reposent sur des formations gréseuses, des sables de décomposition ou des accumulations de produits de décalcification (Bouhraoua, 2003).

La forêt de Hafir est caractérisée par un relief accidenté à différentes expositions et classes de pentes favorisant l'action de l'érosion hydrique (Fig.III.6).

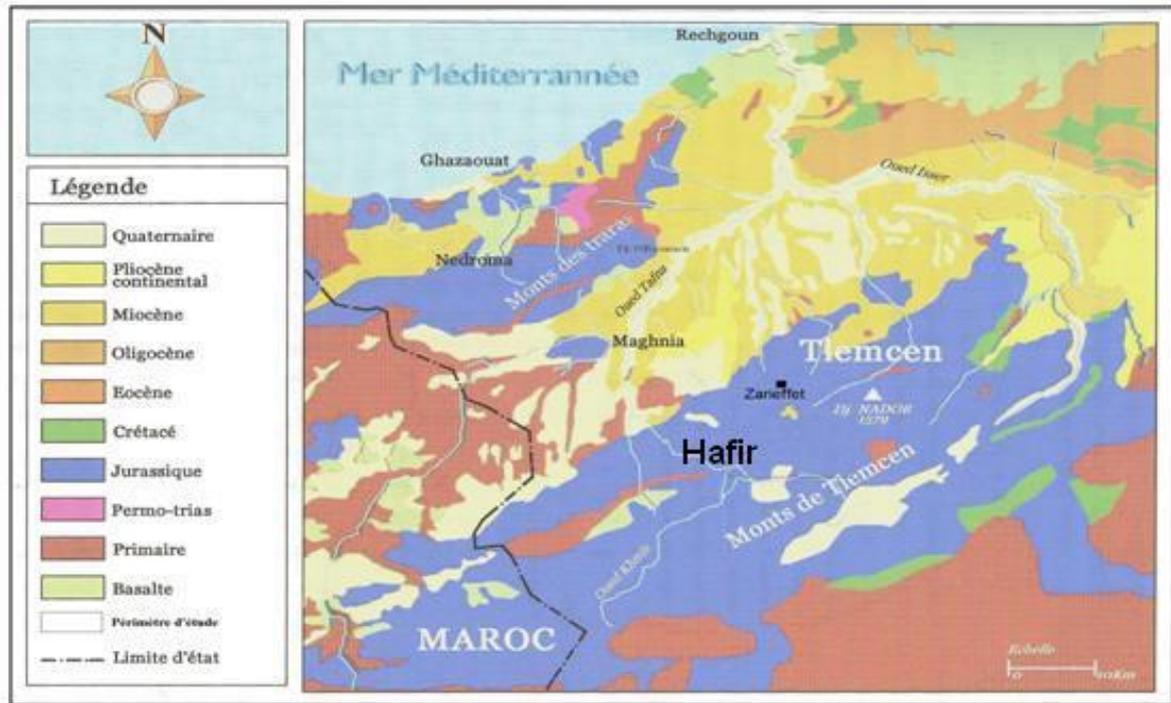


Figure III.6. Carte géologique du Nord-Ouest Algérien (Cornet, 1952)

En ce qui concerne la nature du sol, nous distinguons trois principaux types de sols. Il s'agit des sols bruns fersiallitiques typiquement lessivés. D'après PNT (2014), ce sont des sols calcimagnésium qui prennent naissance sur une roche-mère calcaire, sous l'influence d'un climat froid, à saison sèche moins marquée, des sols fersiallitiques rouges, lourds très pauvres en réserves d'eau mais riches en bases ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$ ), des sols fersiallitiques rouges et mosaïque sur dolomie. Globalement, les peuplements forestiers reposent sur un sol superficiel (moins de 30 cm de profondeur) traversé par des surfaces rocheuses et rocailleuses affleurant (Gaouar, 1980 ; Kazi-Tani, 1996 ; Belabbes, 2004 ; Loukas, 2006) (Fig.III.7).

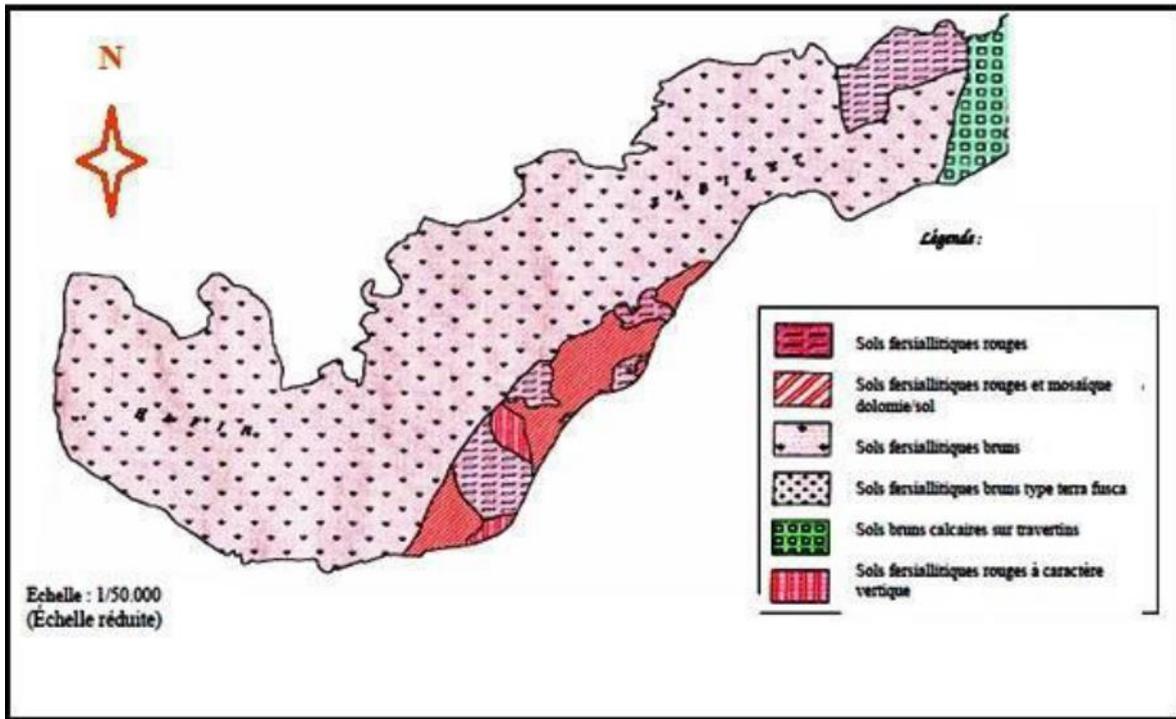


Figure III.7. Carte Pédologie du de massif Hafir-Zariffet (P.N.T, 2014)

#### La suberaie de Djebel Saadia

Du point de vue pédologique, les sols de cette forêt sont représentés par trois classes : les sols minéraux bruts, les sols peu évolués, les sols brunifiés (Lescomplekt, 1983).

La forêt domaniale de Djebel Saadia est répartie entre diverses altitudes. Ces dernières varient entre 577 m et 1 141 m comme le point le plus haut. Elle s'étale sur un terrain très accidenté et dénudé jusqu'à la roche mère avec des accumulations épaisses et des éboulements. En surface, on trouve des morceaux rocheux de différentes tailles (30-70%). Le seul groupe existant dans la zone est sol brun foresterie en mélange avec les sols peu évolués (Duchauffour, 1977).

#### 1.4. Description forestière

La subéraie de Hafir, qui est l'un des peuplements reliques de l'Oranie, fournissait selon Boudy (1955), le meilleur liège d'Algérie. Cette vieille futaie est composée essentiellement de peuplements naturels de chêne liège. On aperçoit que la régénération naturelle par semis est faible partout et depuis très longtemps, elle a été cependant meilleure sur les versants exposés au nord. Actuellement, cette régénération est inexistante pour des raisons diverses (absence de glands, sécheresse, abondance du maquis, dernier incendie, etc.) (Bouhraoua, 2003).

A l'état naturel, la subéraie est composée essentiellement de feuillus, tels que les trois espèces de chêne (*Quercus suber*, *Q. rotundifolia* et *Q. faginea* ssp. *tlemcenensis*), l'olivier sauvage (*Olea europaea* ssp. *oleaster*) et quelques pieds de frênes oxyphylles (*Fraxinus oxyphylla*), mais aussi de résineux comme le thuya de berberie (*Tetraclinis articulata*) et le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*). Le pin d'Alep, le pin pignon, le cyprès commun et l'eucalyptus se rencontrent dans certains cantons dégradés. La moitié des peuplements (2 300 ha) sont purs tandis que les autres sont en mélange. Dans les stations fraîches à humidité élevée telles que les versants exposés au Nord, le bas des ravins et les bords des ruisseaux, le chêne-liège est mélangé au chêne zéen. En revanche, dans les stations chaudes et sèches aux expositions sud, il est plutôt associé au chêne-vert (Thintoin, 1948 ; Boudy, 1955 ; Sauvagnac, 1956).

Le sous-bois est très riche en plantes, nous mentionnons : le lierre (*Hedera helix*), le chèvrefeuille (*Lonicera implexa*), la salsepareille (*Smilax aspera*), la ronce à feuille d'orme (*Rubus ulmifolius*), la daphnie ou laurier des bois ou garou (*Daphne gnidium*), l'arbousier (*Arbutus unedo*), le petit houx (*Ruscus aculeatus*), la bruyère arborescente (*Erica arborea*), le romarin (*Rosmarinus officinalis*) et la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*). Dans les zones dégradées, plus chaudes, nous trouvons plus d'essences secondaires telles que le chêne kermes (*Quercus coccifera*) et le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), mais aussi les Cistes (*Cistus ladaniferus*, *C. salviaefolius*, *C. monspeliensis*), le diss (*Ampelodesmos mauritanicus*) et le doum (*Chamaerops humilis*) (Bouhraoua, 2003).

La subéraie de M'Sila est une vieille futaie naturelle, de structure jardinée, à un âge moyen supérieur à 120 ans et repose sur une partie sablonneuse (Boudy, 1955). Les arbres de plus de deux siècles y sont assez fréquents. La densité du peuplement est variable. Elle est en général de 100 à 200 sujets à l'hectare ou plus faible (< 80 tiges/ha) par endroits à la suite des incendies. D'après Bouhraoua (2003), les parcelles de forte densité (400 tiges à l'hectare en moyenne), sont issues de différents reboisements.

L'espèce dominante est le chêne-liège, nous y trouvons aussi des peuplements purs de pin d'Alep issus de différents travaux de reboisement et d'autres essences secondaires telles que le cyprès, le pin maritime et l'eucalyptus, qui toutes proviennent de reboisement. Nous trouvons également à l'état naturel quelques pieds de caroubier (C.F.A., 1877 ; Anonyme, 1914 ; Boudy, 1955).

D'après les auteurs Tinthoin, 1948; Bekhdra, 1991; Bouhraoua, 2003 et Belhoucine, 2008, sur le plateau, le sous-bois qui accompagne le chêne-liège est composé de : *Cytisus triflorus*, *Ulex africanus*, *Ranunculus monophyllus*, *R. flabeliatus*, *Cistus monspeliensis*, *C. salvifolius*, *Teline linifolia*, *Arbutus unedo*, *Smilax asperata*, *Globularia alypum*, *Lonicera implexa*, *Quercus coccifera*, *Phillyrea angustelia*, *Helianthemum*

*halimifolium*, *Pistacia lentiscus*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula stoechas*, *Hedera helix*, *Ampelodesmos mauritanicus* et *Stipa tenacissima*. Sur le versant nord (exposé à la mer), on rencontre surtout *Asteriscus maritimus*, *Salvia algeriensis*, *Calycotome intermedia*, *Echium* sp., *Solenanthus* sp., *Lanatus* sp. et *Erica arborea*.

La forêt domaniale de Djebel Saadia se caractérise par une belle futaie de chêne liège qui s'est dégradée suite à plusieurs facteurs (politique, climatique, anthropique...). Les essences se répartissent ainsi : chêne liège (500 hectares) et repose sur un substrat géologique de type grès de Numidie, le chêne vert (2/10), pousse en périphérie avec diverses plantes par places comme le pistachier (Boudy, 1955). La forêt a été parcourue par les incendies en 1893 (310 hectares) en 1914 (118 hectares). Dans certaines parcelles, la densité du chêne liège est grande pouvant arriver à 1 200 sujets à l'hectare.

La forêt présente un mélange de plusieurs espèces floristiques et essences forestières. Ces dernières sont composées de chêne liège, de chêne zeen, de caroubier, de genévrier oxycèdre et de chêne vert. Les espèces floristiques accompagnatrices sont riches comme *Erica arborea*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus salvifolius*, *Cytisus triflorus*, *Blackstonia perfoliata*, *Hordeum murinum*, ect.

## 2. Climat

Divers études analytiques et synthétiques antérieurs ont permis de rappeler et de préciser, qu'est-ce le bioclimat méditerranéen dans son acception compréhensive, tels que les travaux de Daget, 1977a 1977b, Ahdali et Tayeb, 1976 ; Quézel, 2000 ; Bethemont, 2003 ; Egnacio *et al.*, 2009 ; Meddi et Meddi, 2009 ; en région méditerranéenne, dont une particularité fondamentale d'une dissociation saisonnière en chaleur et humidité : une sécheresse estivale longue et une pluviosité centrée en hiver. Ce type de climat a fait l'objet de nombreux travaux ; les premières études reviennent à Emberger (1955), puis reprises et approfondies par Stewart (1969).

Les études du climat sont peu fréquentes pour l'Algérie du nord, elles se résument à celles de Seltzer (1946), Bagnouls et Gaussen (1953), Chaumont et Paquin (1971) et Halimi (1980). Parfois l'absence ou la pénurie de station météorologique forestière provoque une complication du choix des données climatiques pouvant mieux représenter la zone d'étude.

L'étude du climat est l'étape la plus importante qui se définit par l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, humidité, ensoleillement, pression, vent, précipitations), car elle joue un rôle essentiel dans la croissance, la formation des plantes et leur productivité (Legrain, 2002).

L'étude et la caractérisation du climat d'une zone et le suivi de son évolution, nécessitent de longues et nombreuses séries d'observation et contrôle (Meddi et Meddi, 2009).

Dans cette étude, et pour bien cerner les influences climatiques zonales sur les conditions locales, nous avons choisi trois stations de références pour caractériser au mieux le climat de la forêt, nous avons recueilli des données anciennes qui proviennent principalement de Seltzer (1946). Les caractéristiques de ces stations de référence et les périodes d'observation sont mentionnées dans le tableau III.3 :

**Tableau III.3. Caractéristiques des stations de référence et périodes d'observation**

Forêt	Station	Longitude et Latitude	Altitude (m)	Situation	Distance au forêt	Période d'observation
<b>Hafir</b>	Mefrouche	1°16'W 34°51'N	1100	Barrage	12 km	P et T (1913-1938) P et T (1982-2016)
<b>M'sila</b>	Misserghine	0°46'W 25°37'N	100	Station INPV	10 km	P et T (1913-1934) P et T (1982-2016)
<b>Djebel Saadia</b>	Sidi Yakoub	1°16'E 36°01' N	160	station de Sidi Yakoub	16 km	P et T (1982-2007)

## 2.1. Précipitation

Une définition donnée par Djebaili (1978) cite la pluviosité comme étant un facteur capital qui permet de déterminer le caractère du climat. En effet, celle-ci conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal d'une part, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion de l'autre part.

La région orientale est une zone supérieure en pluviométrie que le Nord-Ouest algérien. Cependant, la hauteur des pluies et sa variabilité spatiale est fortement influencée par la disposition topographique de la forêt, son altitude et sa localisation géographique (Aubert et Monjauze, 1946 ; Boudy, 1955 ; Meddi et Meddi, 2009).

### 2.1.1. Régime annuel et mensuel

Dans les trois forêts, les répartitions annuelles et mensuelles des précipitations sont étudiées pendant une période de 34 ans (1982-2016) pour Hafir et M'Sila, et 25 ans (1982-2007) pour Djebel Saadia (Tab.III.4).

Le tableau III.4 consigne sur les quantités de pluies qui varient d'une forêt à une autre, et au sein de la même forêt d'une année à une autre.

**Tableau III. 4. Les données pluviométriques des trois forêts durant les périodes de référence**

Forêt	Période	J	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	moy
Hafir	1913-1938	108	109	106	67,0	63,0	20,0	6,0	4,0	28,0	49,0	45	102	707
	1982-2016	82	73	92	62	63	13	3	6	23	37	68	68	589
M'sila	1913-1934	71,3	59,4	48,6	40,0	31,3	10,8	1,1	3,2	20,5	44,3	82,1	86,4	499
	1982-2016	55	47	38	33	27	9	1	2	15	36	62	68	393
Djebel Saadia	1982-2007	29,5	36,6	32,3	22,4	20,8	2,9	1,3	2,8	13,9	22,1	31,2	32,9	248,7

Selon le tableau, nous remarquons que cette variabilité interannuelle est corroborée par un coefficient de variation de 13% à Djebel Saadia, 11,6% à M'Sila et 8,1% à Hafir. Ceci représente l'un des traits originaux du climat de l'Oranie qui s'exprime par l'irrégularité où les pluies sont abondantes en automne et en hiver et parfois en printemps et presque nulles en été (Aubert et Monjauze, 1946 ; Meddi et Meddi, 2009).

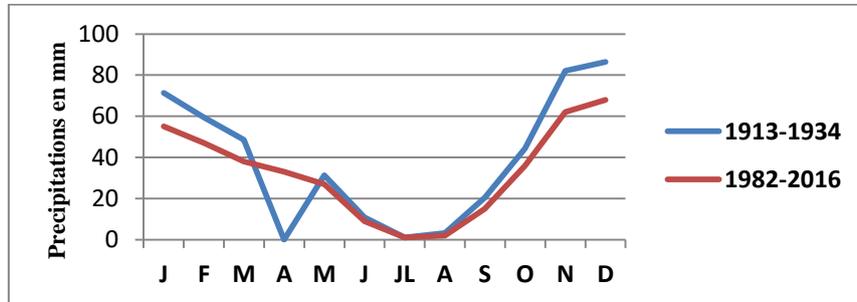
En effet, la station la moins arrosée est celle de Djebel Saadia avec 248.7 mm/an durant la période entre 1982-2007. Alors que, la station la plus arrosée est enregistrée à Hafir durant les deux périodes allant de 589 mm à 707 mm avec une diminution annuelle de 118 mm. Cette réduction de pluie est nettement remarquable dans la forêt de M'Sila avec 106 mm/an.

En Algérie, la diminution des précipitations enregistrée surtout dans les années 80 est due aux années de sécheresses sévères qui ont sévi plus de 20 ans (Meddi et Meddi, 2009).

La figure III.8, regroupe les chutes de pluies moyennes mensuelles pendant les deux périodes (1913-1938) et (1982-2016) où les valeurs moyennes des précipitations mensuelles varient globalement d'une période à l'autre. Dans la forêt de M'sila, le régime pluvial est plus marqué durant les mois de janvier, novembre et décembre. Les autres mois affichent des tranches pluviométriques moins accusées surtout entre

juin et septembre pour les deux périodes de références, ce qui indique un déficit hydrique important (Fig.III.8).

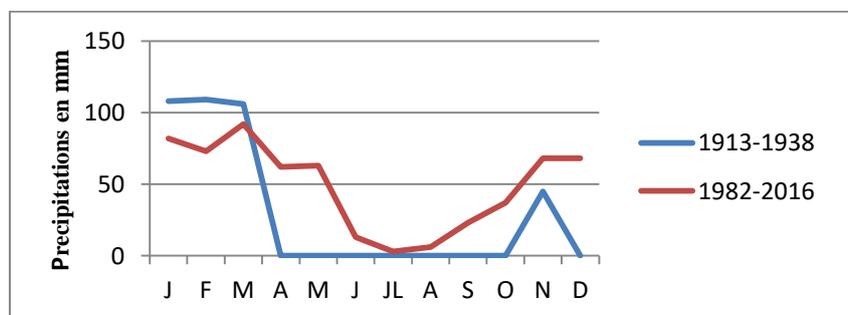
L'irrégularité des premières pluies conditionne la durée de la période végétative du chêne liège.



**Figure III.8. Variation mensuelle des précipitations au niveau de la forêt de M'sila pour les deux périodes de référence (ancienne et nouvelle)**

La figure III.9 regroupe les chutes de pluies moyennes mensuelles pendant les deux périodes (1913- 1938) et (1982- 2016) dans la forêt de Hafir où la saison pluviale démarre difficilement à partir de septembre qui coïncide avec l'approche de la fin de la saison végétative du chêne-liège. Les valeurs extrêmes pour les deux périodes sont cantonnées entre les mois de novembre et mai. Les mois de juillet à août restent toujours secs.

La répartition mensuelle pour les deux périodes d'observation se caractérise par des précipitations avec une grande variabilité durant les douze mois de l'année et elle est variable aussi d'une période à l'autre. La période marquée de sécheresse reste bien définie dans le temps : la pluie se raréfie entre Juin et Septembre ne dépassant pas les 23 mm pour la période récente et, entre Juin et Aout, ne dépassant pas les 20 mm, pour la période ancienne (Fig.III.9). L'irrégularité des premières pluies influe largement sur le rythme des saisons et par conséquent sur la durée de la période végétative du chêne-liège.



**Figure III.9. Variation mensuelle des précipitations au niveau de la forêt de Hafir pour les deux périodes de référence (ancienne et nouvelle)**

D'après les données recueillies au niveau de la station de Sidi yakoub (Tab.III.4), nous remarquons que la forêt de Djebel Saadia a connu durant la période entre 1988 et 1994 des cycles de sécheresse assez marqués. Le régime pluviométrique se caractérise par une irrégularité interannuelle des pluies avec des proportions remarquables selon les années, avec une moyenne annuelle des précipitations de 248.7 mm pour la période 1982-2007.

la figure III.10, relative aux précipitations moyennes mensuelles fait ressortir deux périodes en cours de l'année dont, la première, pluvieuse, s'étale de novembre à mars avec un premier maximum en Février (36,6 mm) et un deuxième en décembre (32,9 mm) et la seconde, sèche, coïncide avec la saison la plus chaude. Elle présente un premier maximum de sécheresse en juillet (1,3 mm). Le deuxième maximum de sécheresse se situe en août (2,8 mm).

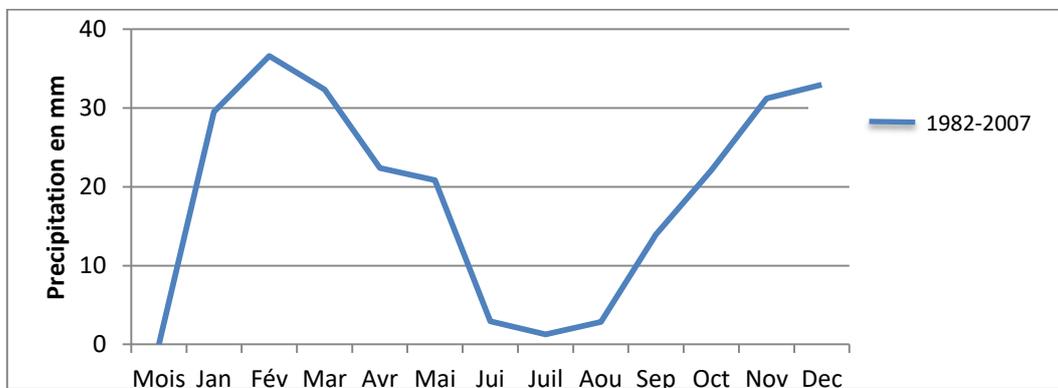


Figure III.10. Variation mensuelle des précipitations au niveau de la forêt de Djebel Saadia pour la période de référence (1982-2007)

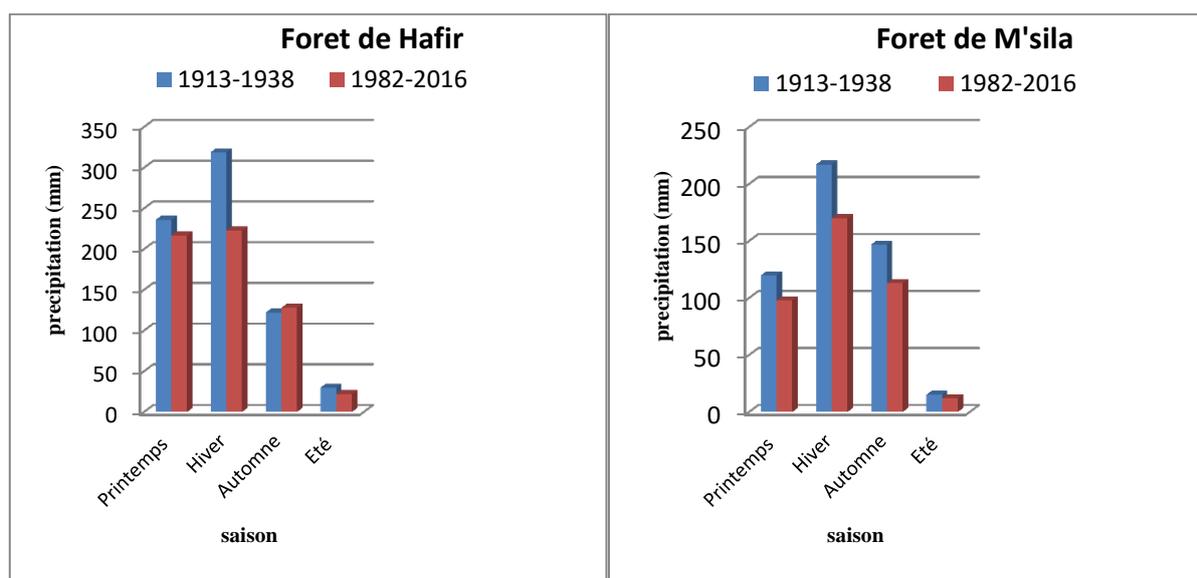
### 2.1.2. Régime saisonnier

Pour faciliter le traitement des données climatiques, un découpage en saisons de la pluviosité annuelle est indispensable dont le rôle est souvent prédominant dans la physionomie de la végétation. Corre (1961), déclare que si les pluies d'automne et de printemps sont suffisantes, elles seront florissantes; si le contraire leur extension sera médiocre. Musset (1935) est le premier qui a défini la notion du régime saisonnier. Il a calculé la somme des précipitations par saison et a effectué le classement des saisons par ordre de pluviosité décroissante.

Tableau III.5. Régime saisonnier des précipitations dans les trois forêts

Forêt	Période/ saison	Printemps (M-A-M)	Hiver (D-J-F)	Automne (S-O-N)	Été (J-JT-A)	Type de régime saisonnier
Hafir	1913-1938	236	319	122	30	HPAE
	1982-2016	217	223	128	22	HPAE
M'sila	1913-1934	119,9	217,1	146,9	15,1	HAPE
	1982-2016	98	170	113	12	HAPE
Djebel saadia	1982-2007	75,5	99	67,2	7	HPAE

La lecture de la figure III.11 et le tableau III.5, montrent que durant la nouvelle période une concentration des pluies en hiver et en printemps avec un degré moindre en automne (HPAE) à Hafir, cette répartition des pluies permet au chêne-liège d'acquérir une activité biologique optimale et procure à l'arbre les réserves hydriques dans le sol, très défaillantes durant la saison. Tandis qu'à M'Sila, la concentration des pluies est notée en hiver et en automne avec un régime de type HAPE. Ce régime correspond aux zones littorales à ambiance maritime (Musset, 1935). Ceci explique que le maximum des pluies est concentré en hiver et en automne et avec un degré moindre au printemps. Ce régime correspond plus au moins à la bonne croissance des arbres mais aussi aux bons accroissements du liège (Dehane, 2012). A Djebel Saadia, les fortes pluies tombent en hiver et en printemps avec un degré moindre en automne et rare en été.



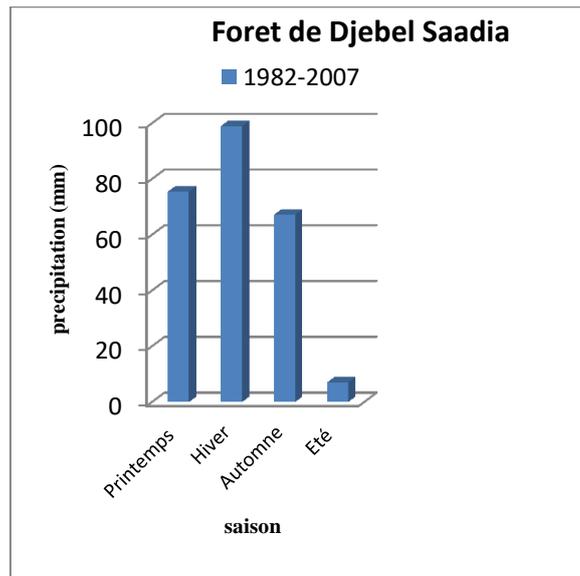


Figure III.11. Variation saisonnière des précipitations au niveau de trois forêts

## 2.2. Température

Les paramètres thermiques sont parmi les facteurs climatiques les plus importants après les pluies (Dreux, 1974), qui jouent un rôle déterminant dans le déroulement des diverses fonctions physiologiques des végétaux (Emberger, 1930). Son excès maximale et minimale conduit à la mortalité des espèces. De ce fait chaque individu s'adapte à un seuil de température spécifique à son organisme. En effet, la température est considérée comme le facteur écologique fondamental, elle contrôle la croissance, la reproduction, la survie et par conséquent la répartition géographique, générant les paysages les plus divers (Soltner, 1992). Les températures influent sur le développement de la végétation et ce sont surtout les températures extrêmes qui ont une influence directe sur la végétation par rapport aux moyennes, sauf si elles sont exceptionnelles et de courte durée (Fritts, 1976 ; Berriah, 2014).

La détermination du climat régional se révèle aux températures moyennes annuelles « T » et aux valeurs moyennes des minima du mois le plus froid « m » et des maxima du mois le plus chaud (Quezel, 2000) (Tab.III.7).

### 2.2.1. Températures moyennes mensuelles et annuelles

Le tableau III.6, présente les températures moyennes mensuelles et annuelles dans les trois forêts : Hafir, M'sila et Djebel Saadia.

**Tableau III.6. Températures moyennes mensuelles et annuelles T (°C) enregistrées dans la forêt de Hafir, M'Sila et Djebel Saadia**

Forêt	période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy.
Hafir	1913-1938	5,8	<b>5,3</b>	8,3	10,6	14,2	18,4	23,8	<b>24,2</b>	19,8	15,0	9,5	6,4	13,4
	1982-2016	6,4	7,2	8,8	11,2	14,5	18,7	23,9	<b>24,3</b>	20,2	15,5	10,0	7,08	14,0
M'sila	1913-1934	<b>11,1</b>	11,7	12,9	14,9	16,8	19,7	22,8	<b>23,5</b>	21,6	18,2	14,3	12,0	16,6
	1982-2016	11,2	12,9	14,1	16,0	18,5	21,7	24,6	<b>26,1</b>	23,4	19,9	15,9	13,3	18,1
Djebel saadia	1982-2007	<b>11,2</b>	12,3	14,6	17,5	21,2	26,3	<b>30,0</b>	29,9	26,1	21,1	15,8	12,4	19,9

L'analyse du tableau fait ressortir que lors de la comparaison de la période récente avec l'ancienne période, une légère élévation de températures, 1°C est enregistrée pour les forêts de Hafir et Djebel Saadia contre 2°C à M'Sila. Cette augmentation de température est constatée sur tout le Nord d'Algérie au cours de ces dernières années, et ceci à cause du réchauffement climatique global qui est un phénomène d'augmentation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère, à l'échelle mondiale et sur plusieurs années. En combinaison avec un déficit pluviométrique persistant, cette température contribue à une sécheresse sévère dans la région ayant des conséquences dramatiques sur l'écosystème végétal (Benabadji et Bouazza, 2000 ; Martin, 2007 ; Meddi et Meddi, 2009).

### 2.2.2. Températures moyennes des « minima » et des « maxima »

Le tableau III.7, regroupe les températures moyennes minimales et maximales des trois forêts, M'sila et Hafir pendant les deux périodes et Djebel Saadia pendant la période entre 1982 et 2007.

**Tableau III.7. Valeurs thermiques moyenne des minima et des maxima du mois le plus froid et le plus chaud en (°C) enregistrées dans les forêts de Hafir, M'Sila et Djebel Saadia**

Forêt	Période	Mois le plus froid	Moyenne des minima (m)	Mois le plus chaud	Moyenne des maxima (M)
Hafir	1913-1938	Janvier	1,8	Aout	33,1
	1982-2016	Janvier	1,2	Aout	31,7
M'sila	1913-1934	Janvier	8,3	Aout	27
	1982-2016	Janvier	6,5	Aout	29,5
Djebel Saadia	1982-2007	Janvier	7,0	Juillet	37,2

Les contrastes des températures minimales sont visibles à chaque passage d'une période à l'autre (Tab.III.7). La forêt de Hafir enregistre 5,8 °C pendant l'ancienne période et 6,4°C pour la période récente. Cette différence est due essentiellement au bourrelet montagneux de l'Atlas Tellien qui diminue fortement le minima « m » et provoque les gelées. En revanche, la forêt de M'sila soumise à l'influence régulatrice de la mer, les valeurs de « m » affichent respectivement au mois de janvier 11.1 °C pendant l'ancienne période et 11.2 °C pour la période récente ce qui indique une augmentation de la température hivernale de l'ordre de 0,1 °C, ce qui est important. Les risques de gelées dans cette forêt sont pratiquement nuls très occasionnels. Pour la forêt de Djebel Saadia, la température minimale du mois le plus froid est enregistrée en mois de janvier de 7,0°C pendant la période entre 1982 et 2007.

A travers le tableau III.7, nous constatons que le maxima de la forêt de Djebel Saadia est enregistré pendant le mois de Juillet (37,2°C). Ce qui donne un aperçu sur la résistance du végétal aux températures élevées. Dans la forêt de Hafir, les maxima sont enregistrés pendant le mois d'Août avec 33,1°C et 31,7 °C pendant l'ancienne période et la récente, respectivement. Les moyennes annuelles dans les périodes sont de 13,4°C et 20,03°C, soit une différence de 6,63 °C. Tandis que dans la forêt de M'sila, elles sont enregistrés pendant le mois d'Août (27,0°C et 29,5°C). Ces valeurs montrent une augmentation de la température estivale absolue de 2,5°C, ce qui est important.

Ce sont des températures douces résultant de l'influence maritime qui compense ainsi, en partie, la menace de la sécheresse et maintient une atmosphère humide favorisant les phénomènes de condensations et de rosées. La moyenne annuelle des maxima dans cette forêt est donc de l'ordre de 21,5°C pour la période récente contre 16,6 °C pour l'ancienne soit une hausse de 4,9°C.

### **2.3. Synthèse climatique**

La synthèse des données climatiques permet de décrire les caractéristiques du climat et ainsi de classer ce climat afin de mieux se rendre compte sur la répartition et le comportement des différentes associations végétales et animales. Cette synthèse fait appel à plusieurs indices, dont nous retenons particulièrement : l'amplitude thermique moyenne et l'indice de continentalité, l'indice de sécheresse estivale, l'étage altitudinal de végétation, le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen, et aussi le climagramme d'Emberger.

### 2.3.1. Amplitude thermique extrême moyenne ou indice de continentalité

Cet indice est appelé aussi l'amplitude thermique extrême, car il résulte de M-m qui a une valeur écologiquement importante car elle représente la limite thermique extrême à laquelle chaque année en moyenne les végétaux doivent résister. Il définit l'influence maritime ou continentale de la zone. Il permet aussi, à travers ses valeurs, de caractériser le mode de croissance de certaines essences, telle que le chêne liège (Tab.III.8).

Une classification a été établie par Debrach (1953) qui est fondée sur l'amplitude en fonction des écarts thermiques M-m. Cette méthode permet de définir les types de climat:

- Climat insulaire :  $M-m < 15\text{ °C}$  ;
- Climat littoral :  $15\text{ °C} < M-m < 25\text{ °C}$  ;
- Climat semi-continentale :  $25\text{ °C} < M-m < 35\text{ °C}$  ;
- Climat continental :  $35\text{ °C} < M-m$ .

Les résultats du calcul de cet indice sont mentionnés dans le tableau III.8.

**Tableau III.8. Indice de continentalité des trois forêts : Hafir, M'sila et Djebel Saadia**

Forêt	Période	M (°C)	m (°C)	M-m (°C)	Type de climat
Hafir	1913-1938	33,1	1,8	31,3	Semi-continentale
	1982-2016	31,7	1,2	30,5	Semi-continentale
M'sila	1913-1934	27,0	8,3	18,7	Littoral
	1982-2016	29,5	6,5	23	Littoral
Djebel Saadia	1982-2007	37,2	7,0	30,2	Semi-continentale

D'après les résultats du tableau III.8 et se référant à la classification de Debrach (1953), il apparaît clair que la forêt de M'Sila jouit d'un climat méditerranéen littoral. Tandis qu'à Tlemcen et Relizane, les deux forêts se rattachent par contre au climat méditerranéen semi-continentale ou d'altitude.

### 2.3.2. Indice de sécheresse estivale

Cet indice s'exprime par le rapport entre les valeurs moyennes de la pluviosité estivale «PE» et la moyenne des maxima du mois le plus chaud « M », selon la formule :  $I.e = P.E/M$ .

Il permet de caractériser le climat méditerranéen, selon Daget (1977) et Emberger (1942), sa valeur ne doit pas excéder 7 mais pour le climat méditerranéen elle est limitée à 5. Il oscille dans le même sens que les précipitations (Ennajah *et al.*, 2010). Les valeurs de cet indice calculé pour chaque forêt et période sont consignées dans le tableau III.9.

**Tableau III.9. Indice de sécheresse estivale des trois forêts: Hafir, M'sila et Djebel Saadia**

Forêt	Période	Pluviosité estivale P.E (mm)	M (°C)	I.e
Hafir	1913-1938	30	33,1	0,91
	1982-2016	22	31,7	0,69
M'sila	1913-1934	15,1	27,0	0,56
	1982-2016	12	29,5	0,41
Djebel saadia	1982-2007	7	37,2	0,19

En analysant les données du tableau III.9, les valeurs de l'indice de sécheresses sont inférieures à 2 dans les trois subéraies. Ceci indique que l'appartenance des forêts est donc typiquement méditerranéenne selon la grille de Daget (1977) mais avec une sécheresse significative. Cela est déjà confirmé par les études d'Alcaraz (1989) qui a montré, qu'en Oranie, certaines espèces végétales peuvent s'accorder avec la valeur d'Is < 2.

### 2.3.3. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger

Dans la région méditerranéenne, l'extrême irrégularité interannuelle des précipitations a permis de définir divers types de bioclimat. Quezel (2000) déclare que ces derniers, jouent un rôle majeur dans l'organisation des structures de végétation. Le climagramme d'Emberger est le moyen le plus souvent utilisé pour définir et caractériser le bioclimat de chaque zone d'étude. Il est établi par le calcul du quotient pluviométrique (Q2) et son positionnement par rapport à la valeur de "m". En effet, le «Q2» est déterminé par la formule suivante établie par Emberger (1955) :

$$Q2 = 2000 P / M2 - m2$$

P : moyenne des précipitations annuelles (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (°K = °C + 273.2)

m : moyenne des minima du mois le plus froid (°K = °C + 273.2)

Les résultats du calcul du Q2 (Tab.III.10), nous ont permis de positionner les forêts de Hafir, M'Sila et Djebel Saadia dans les étages correspondants (Fig.III.12).

**Tableau III.10. Valeur du « Q2 » et étages bioclimatiques des trois forêts**

Forêt	Période	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q2	Etage bioclimatique	Variante thermique
<b>Hafir</b>	<b>1913-1938</b>	707,0	33,1	1,8	77,72	Sub-humide supérieur	Frais
	<b>1982-2016</b>	589,0	31,7	1,2	66,67	Sub-humide inférieur	Frais
<b>M'sila</b>	<b>1913-1934</b>	499,0	27,0	8,3	91,75	Sub-humide inférieur	Chaud
	<b>1982-2016</b>	393,0	29,5	6,5	58,68	Semi-aride supérieur	Doux
<b>Djebel Saadia</b>	<b>1982-2007</b>	250,5	37,2	7,0	28,09	Aride supérieur	tempéré

D'après le tableau III.8 et le climagramme d'Emberger schématisé dans la figure III.12, nous apercevons un abaissement de la valeur de Q2 dans les trois (03) suberaies. Ceci provoque un décalage de ces forêts vers les étages bioclimatiques inférieurs voire même les sous étages.

En effet, nous observons un décalage de la forêt de M'Sila de l'étage bioclimatique sub-humide inférieur à hiver chaud vers l'étage semi-aride supérieur à hiver doux pour la période récente à une hauteur pluviométrique de plus de 350 mm et une température moyenne élevée (6°C). Ce passage est causé par l'influence de la sécheresse par conséquent la vitalité des peuplements de chêne liège est sauvegardée. En ce qui concerne la forêt de Hafir, celle-ci a subi un léger glissement dans le même étage bioclimatique sub-humide recevant plus de 580 mm, en passant du sous étage supérieur vers l'inférieur à hiver frais voire semi-aride supérieur avec des quantités annuelles de pluies entre 500 et 550 mm et une température minimale toujours inférieure à 5°C. La forêt de Djebel Saadia est décalée vers le sous étage bioclimatique aride supérieur à hiver tempéré avec une hauteur pluviométrique de 250 mm.

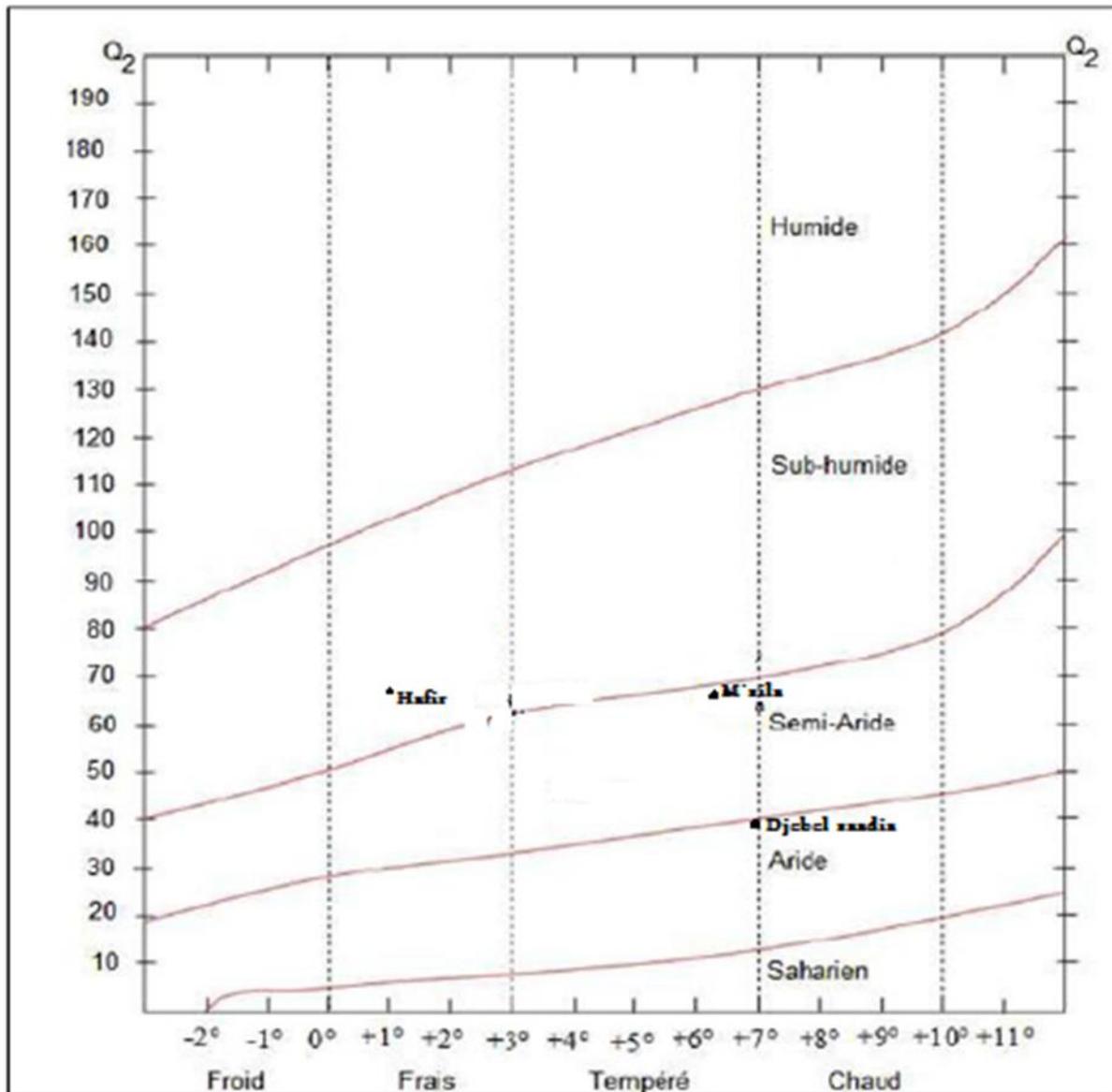


Figure III.12. Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger des trois (03) forêts

#### 2.3.4. Etage de végétation ou zonation altitudinale

Sur la base des travaux d'Emberger (1930), Quezel (2000), Rivas Martinez (1982) et M'hirit (1993), a été déterminé l'étage de végétation auquel appartient le chêne liège des trois forêts d'étude, et qui varie en fonction des gradients thermiques ( $m\ ^\circ C$ ) et altitudinal (m) (Tab.III.11).

Tableau. III. 11. Etage de végétation des trois forêts d'étude

Forêt	Période	T (°C)	m (°C)	Altitude moyenne (m)	Etage de végétation
Hafir	1913-1938	13,4	1,8	1200	Mésoméditerranéen
	1982-2016	14,0	1,2		
M'sila	1913-1934	16,6	8,3	260-568	Thermo-méditerranéen
	1982-2016	18,1	6,5		
Djebel Saadia	1982-2007	19,1	7,0	956	Mésoméditerranéen

D'après le tableau III.11, on remarque que le chêne liège de la forêt de Hafir et Djebel Saadia sont intégrés dans l'étage de végétation mésoméditerranéen ( $0 < m < 3^{\circ}\text{C}$  ;  $12 < T < 16^{\circ}\text{C}$  et  $600 < \text{alt} < 1200\text{m}$ ), Tandis qu'il s'intègre dans l'étage thermo-méditerranéen ( $m > 3^{\circ}\text{C}$ ,  $T \geq 16^{\circ}\text{C}$  et  $\text{alt} < 600\text{m}$ ) dans la forêt de M'Sila.

### 2.3.5. Diagramme ombrothermiques de Bagnols et Gausson

Les diagrammes ombrothermiques de Bagnols et Gausson des trois forêts sont présentés dans la figure III.13 :

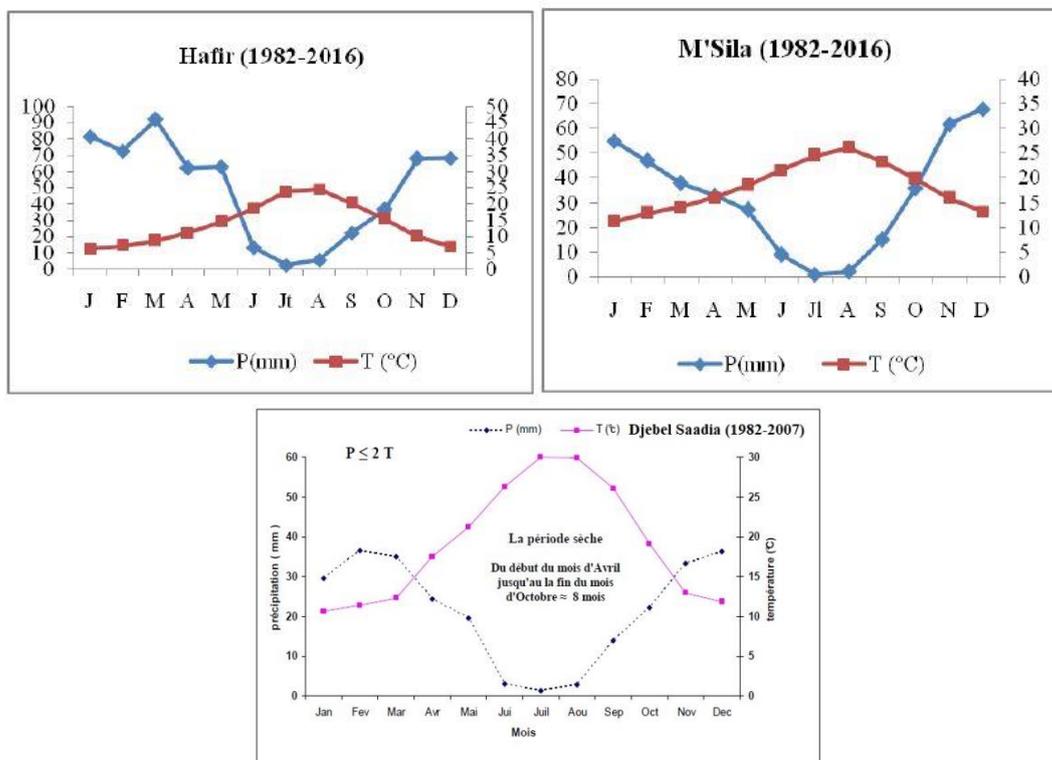


Figure III.13. Diagrammes ombrothermiques de Bagnols et Gausson de trois forêts celle de Hafir, M'Sila et Djebel Saadia

L'examen des diagrammes thermiques montre que la période de sècheresse est bien avancée dans la forêt de Hafir, cette période s'étend sur 5 mois à 6 mois, à partir du mois de juin jusqu'à la fin du mois d'octobre pour la période (1982-2016), Elle est atténuée par les pluies orageuses d'automne qui rafraîchissent les températures estivales. Et dans la forêt de M'sila, cette période s'étend sur 6 mois et même plus, qui s'étale du mois d'avril jusqu'à la mi-octobre.

D'un autre côté, dans la forêt de Djebel Saadia, la période sèche dure relativement pour le reste de l'année, toutefois les mois les plus secs demeurent le mois de juin, juillet et août.

---

**CHAPITRE IV :**

*Matériels et méthodes*

---

## Chapitre IV : Matériels et méthodes

La méthode d'étude est subdivisée en deux étapes, la première sur le terrain, et la seconde au niveau de trois laboratoires de recherche «Labo N°31 : Gestion conservatoire de l'eau, du sol et des forêts et développement durable des zones montagneuses de la région de Tlemcen à l'Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen » ; «Institut National de Recherche Agronomique et Vétérinaire, I.P. – Unité stratégique des systèmes agricoles et forestiers et de la santé des végétaux, Quinta do Marquês, 2780-159 Oeiras, Portugal» et «Laboratoire de la pathologie végétale, Université du KwaZulu-Natal, Afrique du Sud».

### 1. Prospections et échantillonnage

L'échantillonnage est une étape préliminaire dans chaque étude, il doit être réalisé avec une grande précision pour que le choix des éléments parmi un ensemble très volumineux soit représentatif de cet ensemble.

Notre étude a été menée dans trois forêts de chêne liège du nord-ouest Algérien, qui sont réparties dans deux grandes divisions phytogéographiquement distinctes à savoir:

- Une zone littorale au nord représentée par la forêt de M'sila (wilaya d'Oran).
- Une zone montagneuse représentée par la forêt de Hafir (wilaya de Tlemcen) au sud et la forêt de Djebel Saadia dans la partie sud-est du massif du Ouarsenis (wilaya de Relizane).

Les prospections sur le terrain ont été menées entre 2017 et 2021. Le choix de ces forêts, a été basé sur les caractéristiques stationnelles tels que les variations géographiques et climatiques très marquées, l'état sanitaire des arbres et la présence des symptômes d'infection à *Biscogniauxia mediterranea* comme ceux décrits par plusieurs auteurs (Malençon et Marion, 1952 ; Luque et Gibral, 1989; Brasier *et al.*, 1993 ; Vannini *et al.*, 1996 (b) ; Franceschini *et al.*, 2000 ; Kerris *et al.*, 2008 ; Henriques *et al.*, 2014) à savoir la présence d'une tache noire : Exsudation brunâtre à odeur tannique localisée sur le tronc et les branches, Chlorose des feuilles et dépérissement de la cime, Chancre de l'écorce et la croissance radiale réduite.

#### 1.1. Présentation des sites prospectés

##### 1.1.1. La forêt de M'sila

Elle fait partie de la circonscription forestière d'Oran et du district de Boutlélis (C.F.W.O, 1996), occupe une superficie totale d'environ 1 570 ha, dont un couvert

végétale de 1080 ha avec 60% de la superficie occupée par le chêne-liège (M'hamdia, 2012). La forêt est divisée en 6 cantons dont les deux cantons choisis pour cette étude à savoir: (i) le canton de Guedara et (ii) le canton de Cheikh Ben Khalifa, près de la maison forestière. Le premier canton est un jeune peuplement artificiel issu d'un reboisement réalisé vers la fin des années 50, démasclé pour la première fois en été 2007. Le second, celui de «Cheikh Ben Khalifa», appelé anciennement « Saint-Pierre » avec une superficie d'environ 500 ha, est par contre, une vieille futaie naturelle, de structure jardinée, à un âge moyen supérieur à 120 ans. Les arbres de plus de deux siècles y sont assez fréquents. La densité du peuplement est variable. En général, elle est de 100 à 200 sujets à l'hectare ou plus faible (< 80 tiges/ha) par endroits à la suite des incendies. Les parcelles de forte densité (400 tiges à l'hectare en moyenne), sont issues de différents reboisements (Bouhraoua, 2003). Dans ce peuplement plusieurs arbres ne sont pas démasclés pourtant ils ont déjà acquis les caractéristiques pour l'être d'autant plus qu'une opération de démasclage a été pratiquée en été 2012.

### 1.1.2. La forêt de Hafir

La grande partie de la forêt domaniale de Hafir appartient à la conservation des forêts de Tlemcen mais une autre partie est rattachée au parc national de Tlemcen. Elle relève des circonscriptions de Tlemcen (623 ha), Maghnia (7 586 ha) et Sebdou (1 750 ha) (C.O.I.T, 1900 ; B.N.E.D.E.R, 1979). La distance approximative du point le plus proche de la forêt au chef-lieu de Tlemcen est de 22 km.

Elle est l'un des peuplements reliques de l'Oranie, fournissant le meilleur liège d'Algérie. C'est une vieille futaie de chêne-liège de 200 à 250 ans, avec quelques taillis de cette essence (Boudy, 1955), d'un aspect jardiné en général. Le chêne-liège est l'essence la plus importante qui peuple cette forêt, mélangé avec d'autres espèces de chêne (*Quercus rotundifolia* ; *Q. fagineas* sp et *Q. tlemcenensis*). On ne trouve que de rares traces de régénération naturelle. La régénération est due en grande partie par voie de semi. Cela est dû à la forte présence du bétail qui tasse le sol et le rend impropre à la germination des semis. La forêt est très éclaircie, elle renfermait dans les années 1950 une densité moyenne de 70 sujets à l'hectare (C.O.I.T, 1969).

Actuellement, elle est répartie en 08 divisions, et chaque division renferme un ou plusieurs cantons, chacun de ces derniers à son tour est constitué d'une ou plusieurs parcelles dont les limites de chaque parcelles s'appuient sur le repère naturel du relief (crêtes, chaabets, pistes, ...etc.).

Dans cette forêt, nous nous sommes intéressés par deux cantons : «Koudiet Hafir » et « Oued Fernane ». Le premier est un peuplement de chêne-liège qui occupe une superficie totale d'environ 219 ha (P.N.T., 2017) dans une forêt qui occupe une superficie de 9 872 ha à 10 156 ha (C.O.I.T., 1900), à une distance de 60 Km de la mer.

Il est situé un peu au Nord-est de la maison forestière de Hafir d'une altitude dépassant 1 100 m jusqu'à 1420 m. Elle se situe sur une faible dépression, ayant une pente inférieure à 10%. Dans ce canton, en 2010 ont été menés des travaux de reboisement par semis direct en vue de la réhabilitation de la subéraie. Quant au canton de « Oued Fernane », il se localise au Nord-est de la forêt près du village de Hafir. C'est un Taillis sous futaie de chêne liège mélangé au chêne vert et au chêne zeen, sur une superficie de 465 ha avec une altitude de 1180 m. Il a été enregistré pendant la première période coloniale de 1830 à 1964, deux grands incendies, l'un a été déclenché en 1892 et l'autre en 1920. Ces feux ayant parcouru le canton de « Oued Fernane », ont détruit une superficie globale de 1203 ha, soit les superficies entières du canton en majorité couverts de chêne-liège (Anonyme, 1969). En 2007, les incendies ont, aussi, ravagé les peuplements de chêne-liège d'une surface de 150 ha. Au niveau de ce canton, les travaux sylvicoles ont surtout été pratiqués pendant l'époque coloniale et concernaient les soins culturaux, la régénération, le repeuplement d'enrichissement. Ces soins ont été complètement abandonnés après l'indépendance (Anonyme, 2002).

### 1.1.3. La forêt de Djebel Saadia

Elle s'étend sur 588 ha d'une altitude de 956 m. Il fait partie du bassin versant du Chellif et occupe la partie sud-est du massif de Ouarsenis qui se situe dans l'Atlas Tellien. Cette forêt appartient administrativement au district de Ramka à la circonscription forestière de Ammi Moussa et la Conservation des forêts de Relizane.

Elle se caractérise par une belle futaie de chêne liège sur 450 ha (C.F.W.R, 2017) et un mélange de plusieurs essences forestières tels que : chêne liège, chêne zéen, de chêne vert, le caroubier et le genévrier oxycèdre et des espèces floristiques accompagnatrices comme *Erica arborea*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus salvifolius*, *Cytisus triflorus*, *Blackstonia perfoliata*, *Hordeum murinum*, ...ect. En 1893, la forêt a été parcourue par les incendies avec 310 hectares brûlés et en 1914 avec 118 hectares. Dans certaines parcelles, la densité du chêne liège est assez grande pouvant arriver jusqu'à 1200 sujets à l'hectare.

Pour notre étude, nous avons pris aussi deux cantons, le premier est installé dans « Djebel Saadia » de la forêt de Adjama qui se trouve sur le versant Nord à 956 m d'altitude et le deuxième nommé « Riacha » qui se localise dans le versant sud de la même forêt sur une altitude de l'ordre de 1020 m. Les deux cantons sont occupés essentiellement par la strate arborescente du chêne liège (essence principale) mais aussi par le chêne zéen avec un taux de couverture relativement variable.

## 1.2. Caractérisation des stations d'étude et des arbres échantillons

Dans le but d'évaluer l'état de santé des arbres de chêne liège, en interaction avec différents facteurs dégradant la subéraie, et par conséquent le problème de dépérissement et pour bien caractériser les stations d'étude, nous avons pris en compte une méthode adoptée par Bouhraoua et Villemant (2005) qui a étudié certains paramètres liés aux variables sanitaires et dendrométriques des arbres échantillons sains et attaqués, mais aussi des relevés stationnels géographiques et topographiques, relatifs aux stations d'étude.

### 1.2.1. Localisation géographique et topographique

Les relevés géographiques et topographiques regroupent toutes les informations liées aux stations d'étude y compris le lieu-dit du canton, leurs coordonnées géographiques prélevées par GPS, la distance à la mer, la topographie du terrain, l'exposition, la pente et l'altitude.

### 1.2.2. Relevés dendrométriques et d'exploitation

Les mesures dendrométriques prises en considération sont la circonférence du tronc à 1,30 m du sol à l'aide d'un ruban mètre, et les hauteurs totales des arbres mesurées par l'intermédiaire du dendromètre Blum-Leiss. Nous avons choisi les classes de circonférence et de hauteur réparties comme mentionnées dans le tableau IV.1. Pour mettre en évidence la stratification actuelle de la subéraie.

Les mesures d'exploitation du liège (démasclé/non démasclé), ont été prises en considération dans ce travail, du fait que l'opération de démasclage expose de grandes parties de tissu vivant du tronc dénudé à l'infection aux différentes pathogènes notamment par les champignons. La hauteur d'écorçage et le coefficient de démasclage (cd) ont été calculé à partir de la formule «  $Cd = \text{hauteur démasclé} / \text{circonférence à 1.30 m}$  » donnée par (Boudy, 1950 ; 1952 ; Natividade, 1956) (Tab.IV.1).

**Tableau IV.1. Principales classes de relevés dendrométriques et d'exploitation**  
(Bouhraoua, 2003)

Descripteurs		Classes	Mesures
Dendrométrie	Circonférence (en cm)	Cl 1	<70
		Cl 2	entre 70-109
		Cl 3	entre 110-149
		Cl 4	entre 150-189
		Cl 5	>189
	Hauteur totale (en m)	H1	<6
		H2	entre 6-7
		H3	entre 7-10
		H4	>10
Exploitation	Hauteur d'écorçage (en m)	HE1	< 1.5
		HE2	entre 1.5- 2.4
		HE3	entre 2.5- 3.4
		HE4	> 3.5
	Coefficient d'écorçage (en m)	Coef E1	< 1.5
		Coef E2	entre 1.5- 2.4
		Coef E3	entre 2.5- 3.4
		Coef E4	> 3.5

### 1.2.3. Relevés sylvicoles

De nombreux descripteurs sont alors utilisés dont certains sont des mesures, d'autres des estimations relevés sous forme de notes, et d'autres de simples observation visuelles. Ils permettent de décrire et d'analyser le peuplement du point de vue de son histoire sylvicole (Bouhraoua, 2003) (Tab.IV.2).

### 1.2.4. Relevés floristiques

Ils consistent en un inventaire phyto-écologique de la végétation qui accompagne le chêne-liège dans la station. Cette végétation, prise dans son ensemble ou spécifique, est distribuée verticalement en trois strates définies comme suit: arborescent (>7m),

arbustive (5-7m) et sous arbustive haute (2-5m) et basse (<2m). Les plantes annuelles quelques soit leur hauteur ont été regroupés dans la strate herbacée. Par ailleurs, la distribution horizontale, qui exprime en fait l'abondance de l'espèce ou de la strate considérée, est estimée à l'aide de notes croissant en fonctions du taux de recouvrement : 1(<6%), 2(6-25%), 3(26-50%), 4(51-75%) et 5(>75%). Le signe « + » est réservé aux espèces rares.

**Tableau IV.2 : Principaux descripteurs de relevés sylvicoles**

<b>Descripteurs</b>	<b>Notes</b>
<b>Age</b>	1 (jeune : < 40 ans, Ø = < 70cm), 2 (adulte : 40 à 70 ans, Ø = 70-109cm) et 3 (vieux : > 80 ans, Ø = >110cm)
<b>Sous-bois</b>	1 (nul), 2 (réduit), 3 (moyen), 4 (dense mais pénétrable), 5 (dense et impénétrable)
<b>Régénération naturelle</b>	1 (aucune), 2 (rare), 3 (moyenne), 4 (forte)
<b>Fréquentation humaine</b>	1 (nulle), 2 (faible), 3 (moyenne), 4 (forte)
<b>Pâturage</b>	1 (nul), 2 (faible), 3 (moyen), 4 (abondant).
<b>Type de bois*</b>	Gaules (Ø : <7.5cm), Perches (Ø : 7.5-17.5cm.), Petits bois (Ø : 17.5-27.5cm), Bois moyen (Ø : 27.5-42.5cm), Gros bois (Ø : 42.5-62.5cm), Très gros bois (Ø : >62.5cm)**
<b>Autres descripteurs</b>	

<p><b>Origine**</b>: Naturelle (semis ou rejet naturel), Artificielle (reboisement)</p> <p><b>Structure**</b> : Régulière (dominance de 1 à 2 classes de diamètre) Irrégulière (Répartition harmonieuse de différentes classes de diamètre).</p> <p><b>Composition**</b> : - (Pur &gt; 80% du liège). - (Mélangé &lt; 80% du chêne liège).</p> <p><b>Régime et traitement**</b> : - Futaie (dominance des pieds issus de semis naturel au tronc unique &gt;65%). - Taillis (dominance de rejets de souche &gt; 65% : cépée à plus de 2 troncs).</p> <p><b>Densité**</b> : - Claire (&lt; 100 tiges par hectare). - Moyen (100-200 tiges/ ha). - Dense (&gt; 250 tiges/ha)</p> <p>Incendies (dernier passage visible), aménagement, reboisement, travaux sylvicoles (nature),</p>
--

**\*\*Riffard et al. (2008), \*IML (2016)**

(\*) Les tranches d'âges ont été définies l'arbre n'a pas encore été démasclé (Jeune:<60cm), a subi les quatre première levées de liège de reproduction (adulte) ou a subie plus de 4 levées (vieux) (Boudy, 1950 ; Vigne, 1990).

En ce qui concerne le type de bois, ceci est déterminé par la mesure du diamètre du bois par la formule suivante :  $C_{1.30} = C_{\text{bois}} + C_{\text{liège}}$  avec  $C_{\text{liège}} = \pi \cdot e$  (e : épaisseur du liège) (IML, 2016).

$$\varnothing_{\text{bois}} = \frac{C_{1.30} - \pi \cdot e}{\pi}$$

II

### 1.2.5. Relevés sanitaires

La méthode que nous avons adoptée pour l'évaluation sanitaire est déjà employée en Europe depuis 1988 (Becker et Levy, 1983 ; Anonyme, 1991) et complétée par d'autres observations couramment utilisées dans les études symptomatologiques des arbres.

Elle repose essentiellement sur des observations se basant sur l'appréciation visuelle de l'état du houppier par estimation du déficit foliaire des arbres échantillons (D.S.F, 1991 ; Bouhraoua, 2003 ; Durand *et al.*, 2004 ; Hasnaoui *et al.*, 2006, Belhoucine, 2013 ; Smahi, 2019). Les observations ont été effectuées vers la fin du mois de juillet afin d'apprécier la réponse des arbres à certaines conditions écologiques défavorables. L'examen de la cime permet de mettre en évidence deux principaux symptômes : la défoliation (la perte foliaire) et la décoloration (coloration anormale), considérés beaucoup plus comme des indicateurs que de véritables mesures de la vitalité (Landmann, 1988). La défoliation ou le « déficit foliaire » traduit la perte éventuelle de feuilles dans la partie fonctionnelle de la cime des arbres (DSF, 1991 ; Nageleissen *et al.*, 1990). Bouhraoua et Villemant (2005) ont fixés une échelle montrant l'évaluation de la défoliation qui consiste à découper la cime de l'arbre en quatre (04) zones homogènes, et estimer les pertes par zone et ensuite la noter. Les différentes notes obtenues sont regroupées en 4 catégories sanitaires (Fig. IV.1), (Tab. IV.3).

**Tableau IV.3. Echelle d'évaluation du dépérissement des arbres de chênes (Bouhraoua et Villemant, 2005)**

Classe de dépérissement	Proportions de feuillage affecté	Catégories sanitaires
1	<25%	Arbre sain (déficit foliaire faible)
2	30-60%	Arbre affaibli (déficit foliaire modéré)
3	65-95%	Arbre dépérissant (déficit foliaire fort)
4	100%	Arbre mort (arbre mort ou sec)

Par ailleurs, la décoloration se traduit par un changement par rapport à la coloration communément observée sur le feuillage du chêne-liège (vert foncé lustré). Elle est divisée en cinq classes et notée par rapport au feuillage présent (Tab. IV.4).

Tableau IV.4. Classes de décoloration des feuilles (Bouhraoua, 2003)

Classes	Proportions de feuillage décoloré	Signification des classes	Catégories de coloration
1	1 - 10 %	Pas de décoloration	Coloration normale
2	15 - 25 %	Faiblement décoloré	
3	26 - 60 %	Modérément décoloré	Coloration anormale
4	> 65 %	Gravement décoloré	
5	100 %	Très gravement décoloré	

Les résultats obtenus ont été utilisés pour calculer l'indice de dépérissement (I.D). Cet indice, basé sur le déficit foliaire, a déjà été utilisé pour le sapin et l'Épicéa par Bouvarel (1984) et modifié et adapté au chêne liège par Bouhraoua (2003 ; 2008) ; Bouhraoua et Villemant (2005) ; Belhoucine (2013). Il permet d'exprimer d'une façon directe l'état général du peuplement à partir de l'ensemble des arbres pris individuellement. Il est calculé selon la formule suivante:

$$I.D. = (n1 \times p1) + (n2 \times p2) + (n3 \times p3) + (n4 \times p4)/N \quad \text{Ou} \quad ID = 1/N \sum ni pi$$

$ni$ : Nombre d'arbres de la classe  $i$  de défoliation

$pi$ : Poids de la classe  $i$  (1 si  $i=1$  ; 2 si  $i=2$  etc.)

$N$  : Effectif total d'arbres observés dans la station.

En fonction des valeurs obtenues, nous distinguons quatre (04) niveaux de dépérissement (Tab. IV.5).

Tableau IV.5. Principales catégories de santé du peuplement de chêne-liège prises en compte en fonction de « I.D » (Bouhraoua, 2003)

Indice de dépérissement « I.D »	Statut sanitaire du peuplement
$I.D < 1,59$	Peuplement non dépérissant ou Sain
$1,6 < I.D < 2,0$	Peuplement en début de dépérissement
$2,1 < I.D < 2,5$	Peuplement en dépérissement assez grave
$I.D > 2,6$	Peuplement grave ou fortement



Figure IV.1. Les principales catégories d'arbres atteints selon les proportions de feuillage affecté ; (A) arbre sain (Cl 0 de défoliation), (B) arbre dépérissant (Cl 1 de défoliation), (C) arbre dépérissant (Cl 2 de défoliation), (D) arbre dépérissant (Cl 3 de défoliation), (E) arbre mort (Cl 4 de défoliation) (Photos Originales)

### 1.3. Méthodes d'échantillonnage

Un total de 513 arbres ont été échantillonnés dans les trois forêts, dont 136 à M'sila, 220 à Hafir et 157 à Djebel Saadia. Nous avons donc installé six stations :

- Hafir: Koudiet Hafir (KH) : 120 arbres et Oued Fernan (OF): 100 arbres,
- M'sila : Cheikh Benkhelifa (CB) : 37 arbres et Gueddara (GU) : 99 arbres
- Djebel Saadia : Djebel Saadia(DS) : 54 arbres et Riacha(RI) : 103 arbres

Le nombre d'arbres échantillons par station est variable, deux stations par suberaie ont été considérées ensemble afin d'augmenter le nombre de réplifications. Les stations échantillons dans chaque forêt, présentent la même superficie de 60 ha.

En raison de l'absence des méthodes d'investigation spécifiques aux études mycologiques (Guinberteau et Courtecuisse, 1997), l'échantillonnage a été pratiqué selon une méthode adoptée en Europe (réseau CEE) et en France (réseau bleu) pour la surveillance de l'état sanitaire des peuplements forestiers (Anonyme, 1991). Cette méthode consiste à choisir un premier arbre au hasard, puis les autres en s'éloignant du premier du proche en proche voisin.

A chaque tige d'arbre est affecté un numéro matérialisé à l'aide de la peinture jaune de 1 à n. Quand la tige est composée de brins de taillis, les brins sont choisis en ne retenant pour chaque cépée que le plus gros. S'ils sont de même grosseur, un brin est choisi au hasard.

## 2. Diagnostic : Symptômes d'attaques

L'attribut le plus remarquable indiquant la présence de ce champignon sur l'arbre hôte est l'apparition de plaques sous corticales carbonacées, noires et dures apparaissant après l'éclatement du liège, et la fructification des conidies conduisant ainsi à la mort de tout l'arbre ou de la partie atteinte.

Les principaux symptômes observés sur le chêne- liège et qui peuvent indiquer la présence du *B. mediterranea*, l'agent causal du charbon de la mère, ont été signalés par Vannini *et al.* (1996). Citons la chlorose des feuilles, le dépérissement de la cime, des chancres de l'écorce, l'exsudation tannique, la croissance radiale réduite et la mortalité des arbres. Nous avons aussi pris en compte la présence de fissures et de plaies sur le tronc, les exsudats noirs et la présence de trous d'insectes mais aussi la présence de champignons supérieurs et de lichens.

### **3. Caractérisation de l'infection des arbres par *Biscogniauxia mediterranea***

Dans un but de bien caractériser les stations d'étude, nous avons jugé utile de prendre en compte certains paramètres liés aux variables sanitaires et dendrométriques des arbres échantillons attaqués. Ce qui nous remet à caractériser l'infection de trois subéraies et déterminer la relation entre l'infection par *B. mediterranea* et certains paramètres stationnels, dendrométriques et sanitaires des arbres.

#### **3.1. Niveau d'infection des peuplements**

##### **3.1.1. Distribution des arbres infectés selon la hauteur et la circonférence**

Ils déterminent la croissance des arbres et comportent des mesures de la circonférence du tronc à 1.30 m du sol à l'aide d'un ruban mètre et la hauteur totale de chaque arbre infecté au moyen d'un Blum-Leiss. La répartition des classes de hauteurs et de circonférences sont mentionnées préalablement dans le tableau IV.1.

##### **3.1.2. Distribution des arbres infectés selon leurs mesures et leurs modalités d'exploitation**

Il concerne a relevé donc, la hauteur d'écorçage et de prendre l'état d'exploitation du liège (démasclé/non démasclé) des arbres attaqués portant la symptomatologie du champignon. Les principales classes de relevés dendrométriques et d'exploitation ont été signalés auparavant dans le tableau IV.1.

##### **3.1.3. Distribution des arbres infectés selon l'état de santé**

Pour apprécier l'état sanitaire des essences forestières notamment de chêne liège, certains auteurs tel que Becker (1987) ; Bouhraoua (2003) et Belhoucine (2013), se basent sur l'aspect de la cime fondé sur deux mesures symptomatologiques essentielles à savoir : la défoliation mais aussi dans certains cas la décoloration.

L'évaluation de l'état sanitaire des arbres-échantillons dans la présente étude, repose surtout sur l'examen de l'état du houppier des arbres présentant les symptômes de l'infection par le champignon et nous estimons leurs déficits foliaires. Les relevés ont été pratiqués comme résumés dans les tableaux IV.3, .4, .5.

##### **3.1.4. Distribution des arbres infectés selon l'âge des arbres**

Il existe des méthodes simples pour déterminer l'âge des arbres sans l'abattre. Nous avons pris les arbres présentant les symptômes d'attaque par le champignon *B. mediterranea* que nous avons caractérisé par les mesures de la circonférence du tronc à

1.30 m en partant du sol en lui attribuant une classe selon Boudy (1950) et Vigne (1990) (Tab. IV.6). Les tranches d'âges ont été définies comme suit :

- **Jeune arbre**, celui qui n'a pas été démasclé ;
- **Arbre adulte**, ceux qui ont subi les quatre premières levées de liège de reproduction ;
- **Vieux arbres**, ayant subis plus de 4 levées.

**Tableau IV.6. Principales classes d'âge (Boudy, 1950 et Vigne, 1990)**

Classes d'âge	Circonférence (cm)	Signification des classes
1	≤70	<40 ans (jeune)
2	70 - 109	Entre 40 et 70 ans (adulte)
3	Φ ≥ 110	>80 ans (vieux)

#### 4. Etude du *Biscogniauxia mediterranea*

##### 4.1. Echantillonnage

##### 4.1.1. Méthodes d'échantillonnage

Les échantillons ayant servi à cette partie de l'étude, proviennent de stroma charbonneux de branches et de troncs de 66 arbres de chêne liège provenant des trois subéraies (Hafir : 10 arbres, M'sila : 49 arbres et Djebel Saadia : 07 arbres). Ces arbres présentent les symptômes de la maladie du charbon de la mère à savoir les chancres charbonneux, les fissures longitudinales dans l'écorce et présence de plaques sous-corticales dures et carbonacées (les exsudations noirâtres). Pour cela, nous avons utilisé la méthode adoptée et décrite par Malençon et Marion (1951) et Santos (2003) et Moricca *et al.* (2016).

Sur chaque arbre échantillon, des fragments de branches (de 10 à 15 cm) ont été découpés à l'aide d'un coupe branche stérilisé avec l'Ethanol à 70%. A partir du tronc, des morceaux de stromas ont été grattés (environ 100g) et prélevés à la limite du bois sain, après l'enlèvement du liège.

Les échantillons ont été ensuite mis dans de petits sacs de prélèvement étiquetés portant les renseignements suivants: nom de la forêt, nom du canton, numéro de l'échantillon, date de prélèvement, le numéro de l'arbre et la notation de son état

sanitaire (Fig.IV.2). Les arbres-échantillons ont fait l'objet de mesures dendrométriques, d'exploitation et de l'état sanitaire de l'arbre.

Les échantillons ont été par la suite transportés au laboratoire de phytopathologie et amélioration des plantes de l'Université Abou bekr Belkaid -Tlemcen- pour être analysés ou préservés 4°C jusqu'à leur utilisation.

L'ensemble des manipulations a été réalisé sous hotte à flux laminaire à proximité d'un bec bunsen afin de limiter au maximum les risques de contamination.



**Figure IV. 2. Prélèvement des échantillons du tronc et d'une branche présentant le stroma charbonneux d'un arbre de chêne-liège (*Quercus suber* L.)**

#### **4.2. Isolement, identification et caractérisation de *Biscogniauxia mediterranea***

Pour l'étude de l'espèce *B. mediterranea*, deux types de milieux de cultures ont été utilisés. La composition de chaque milieu de culture utilisé est indiquée dans l'annexe 1.

##### **4.2.1. Milieux de cultures utilisés**

Les milieux les plus adaptés et utilisés pour la culture des champignons phytopathogènes recommandés par Henriques (2007), sont la gélose PDA (Potato Dextrose Agar) et MEA (Malt Extract Agar). Les milieux de cultures ainsi préparés, ont été stérilisés par autoclavage à 121°C pendant 20 minutes. Au moment de l'utilisation, ils sont additionnés d'antibiotiques sélectifs tel la Streptomycine à une

concentration de 500 mg/l, pour supprimer toute croissance bactérienne ou fongique concurrente.

**a. Milieu PDA (Potato Dextrose Agar)**

Le milieu gélosé au dextrose de pomme de terre (PDA) est un milieu de croissance microbiologique mixte à base d'infusion de glucose (une source d'énergie pour la croissance fongique) de pomme de terre. C'est le milieu de culture couramment utilisé pour la culture des champignons. Ce dernier a été utilisé pour isoler, identifier et caractériser l'espèce fongique obtenue dans cette étude. Et même utilisé pour la conservation des souches à court ou à long terme.

L'une des propriétés avantageuses du PDA est sa capacité à stimuler la sporulation et la pigmentation des champignons. Cette caractéristique facilite la culture et la différenciation des champignons pathogènes et non pathogènes, contribuant à leur identification et à leur caractérisation. En observant la morphologie de la colonie et les schémas de pigmentation sur PDA, les microbiologistes peuvent recueillir des informations précieuses sur les espèces fongiques étudiées.

**b. Milieu MEA (Malt Extract Agar)**

La gélose à l'Extrait de Malt est un milieu identique à celui décrit par Galloway et Burgess, contient des polysaccharides qui sont utilisés comme source d'énergie. Cela rend également le milieu acide. Il est recommandé pour l'isolement et la purification ainsi que pour la conservation des souches fongiques.

**4.2.2. Méthodes d'isolement**

---

**CHAPITRE V:**

*Résultats*

---

---

**CHAPITRE VI:**

*Discussion générale*

---

## VI. Discussion générale

Les travaux de recherche menés, pour la première fois en Algérie, dans le cadre de cette thèse ont permis d'obtenir des résultats très intéressants répondant pleinement aux objectifs fixés et visant essentiellement à vérifier l'incidence de *Biscogniauxia mediterranea* et l'effet de la maladie du chancre charbonneux sur les peuplements de chêne-liège touchés par le phénomène de dépérissement.

*Biscogniauxia mediterranea* a une répartition mondiale et est connue comme espèce pathogène de faiblesse d'une importance économique sur une large gamme d'essences forestières pour causer le charbon du bois (Sinclair *et al.*, 1987; Franceschini *et al.*, 2005 ; Smahi *et al.*, 2014 ; Assali et Falki 2006 ; Linaldeddu *et al.*, 2010 ; Henriques, 2015 ; Yangui *et al.*, 2019 ; 2021 ; Kazemzadeh-Chakusary *et al.*, 2020 ; Bendjebbar *et al.*, 2020 ; 2023 ; Bencheva et Doychev, 2022 ; Costa *et al.*, 2022). Cette espèce a suscité, ces dernières années, de graves inquiétudes en raison de son impact négatif sur les écosystèmes de chênes dans les pays méditerranéens, en particulier dans les forêts de chêne liège où elle limite la vitalité et la productivité des arbres (Mazzaglia *et al.*, 2001 ; Moricca *et al.*, 2016).

### 1. Caractérisation des stations d'observation et de suivi

La recherche de *Biscogniauxia mediterranea* a été réalisée à partir des arbres symptomatiques dans trois forêts de chêne liège du nord-ouest algérien, réparties dans deux grandes divisions phytogéographiques où une forêt littorale au nord représentée par la forêt de M'sila et deux forêts montagneuses représentée par la forêt de Hafir au sud et la forêt de Djebel Saadia dans la partie sud-est du massif du Ouarsenis.

Sur le plan **dendrométrique**, les statistiques réalisées ont montré des différences significatives quant à l'âge des arbres de chêne liège des trois forêts sélectionnées pour cette étude. Au niveau de la subéraie de Hafir les arbres sont plutôt adultes à vieux d'une hauteur variant entre 7 et 10 m. Par contre, au niveau des deux autres subéraies (M'Sila et de Djebel Saadia), les peuplements sont jeunes à adultes avec une hauteur maximum de 7m. Ceci concorde avec les résultats obtenus dans les mêmes forêts avec d'autres chercheurs tels que Bouhraoua, (2003) au niveau de la forêt de Hafir qui a remarqué la dominance des arbres de la classe 2 de circonférence (70 à 110 cm) et la présence de nombreux gros sujets dans le massif Zariéff-Hafir qu'à M'Sila où Bouhraoua (2003), Belhoucine (2013) et Smahi (2019) confirment la dominance des jeunes arbres dans le canton Guedara. Pour Djebel Saadia, Serir (2017), confirme l'appartenance de plus de la moitié des arbres à la classe 2 de circonférence (70 à 109cm).

Pour les **modalités d'exploitation du liège au niveau des trois forêts**, les résultats des mesures effectuées, mettent en évidence la façon hétérogène avec laquelle la mise en valeur des arbres a été opérée. Au sein du même peuplement, nous pouvons trouver des arbres différemment démasclés correspondant à des modes d'exploitation du liège différents.

Ainsi, nous remarquons que le taux d'arbres exploités est variable dans chaque forêt où la forêt de Hafir présente le taux le plus élevé avec 86% contre 74% à Djebel Saadia et 53% dans la forêt de M'Sila.

La hauteur de démasclage varie en majorité, entre 1,5 et 2,4m et le coefficient de démasclage 1,5 et 2,4. L'opération de mise en valeur, peut être appliquée quand l'arbre atteint l'âge de 25 à 50 ans après avoir atteint une circonférence d'au moins 0,60 à 0,70 m, à 1,30 m du sol (Bouchafra et Fraval, 1991) suivant les conditions de développement de l'arbre et avec un coefficient de démasclage variant entre 1 et 1,5. Ce coefficient dépend de la fertilité des stations, l'état de végétation et de l'étage bioclimatique (Boudy, 1950 ; Guyon, 1998 ; Amandier, 2005 ; Arnaudies et Piazzetta, 2006 ; Soares *et al.*, 2011).

Au Portugal, la récolte de liège est établie sur la base d'une rotation de 9 ans, 12 ans en Tunisie et entre 12 à 13 ans en Espagne, en Algérie et au Maroc. Ceci s'opère quand le liège arrive à l'épaisseur commerciale de 27 mm au minimum (Boudy, 1950; Natividade, 1956 ; Costa et Oliveira, 2001 ; Ben Jaama et Nouiui, 2008 ; Ghalem, 2010 ; Dehane, 2012). En cas d'incendie, il faut attendre au moins 4 ans après pour les écorcer afin qu'ils reforment leur houppier et se remettent du stress causé par le feu. Le respect de la durée minimale de 10 ans entre deux écorçages reste toutefois obligatoire.

Sur le plan **qualité d'exploitation du liège**, les résultats montrent une différence significative entre les trois forêts. Les arbres bien exploités (CE : 1,5 - 2,4), dominent dans et dépassent les 2/3 de l'effectif dans la suberaies de M'sila, plus que la moitié des arbres à Hafir et même pas la moitié à Djebel Saadia. Alors qu'un écorçage irrationnel et sans profit (CE <1,5) a été pratiqué presque de la même manière dans les 3 forêts (10-13%). Ce taux d'arbre assez important avec un coefficient d'exploitation faible et non profitable, réduit considérablement la quantité du liège à extraire et diminue ainsi les revenus.

Les arbres ayant subi un écorçage >2,5 représentent un pourcentage important surtout dans les deux forêts de montagne (à 40% à Djebel Saadia et 32% à Hafir). Une exploitation excessive peut affecter la santé de l'arbre. C'est pourquoi il est impératif de respecter des règles de bonnes pratiques, et pour permettre une meilleure valorisation du liège, afin de ne pas compromettre la survie des chênes

lièges et de garantir la pérennité des peuplements et de la ressource et avoir un peuplement productif pour l'avenir.

Sur le **plan sanitaire**, le test ANOVA non paramétrique de Kruskal Wallis appliqué aux quatre classes de défoliation, montre que les peuplements des trois suberaies sont touchés par le déficit foliaire à des degrés différents où Djebel Saadia a un meilleur état sanitaire que les deux autres forêts. La forêt de M'sila, se distingue par une forte proportion des arbres appartenant à la classe de santé présentant des signes de mortalité, classe quasiment absente au niveau des forêts de Hafir et de Djebel Saadia. Ceci peut être expliqué par l'attaque des champignons pathogènes tels que *Biscognauxia mediterranea* et *Phytophthora sp.* et des xylophages comme *Platypus cylindrus* (Bouhraoua, 2003 ; Belhoucine, 2013 et Smahi, 2019).

Dans la plupart des pays méditerranéens, le chêne liège est sujet au dépérissement. Il a commencé à prendre des dimensions relativement importantes à partir des années 80-90 au Portugal (Sousa et al., 1995), en Italie (Marras et al., 1995), en Espagne (Garolera, 1988), en France (Nageleisen et Hett, 1989), au Maroc (Bakry et Abourouh, 1996) et en Algérie (Bouhraoua et al., 2002, Belhoucine, 2013 ; Smahi, 2019).

Dans les trois forêts, les calculs de **l'indice de dépérissement I.D**, montrent que les peuplements de chêne-liège dans la forêt de M'sila est en dépérissement assez grave. Ce qui concorde avec les résultats reportés par Smahi (2019) où les peuplements dans cette forêt présentaient le même état de dépérissement. Bouhraoua (2003) avait déjà signalé que les peuplements de chêne liège de l'Oranie dont M'sila présentaient un début de dépérissement, situation qui s'est aggravée durant les années. En revanche, l'indice de dépérissement I.D dans les forêts de Hafir et Djebel Saadia, enregistrant des valeurs ( $I.D < 1,59$ ), traduit que ces peuplements sont sains. Ces résultats concordent également, avec ceux reportés par Bouhraoua (2003), en montagne.

Le phénomène de dépérissement est complexe et pénible à expliquer l'origine exacte et ses causes spécifiques, de manière satisfaisante. En effet, le déclin du chêne liège est un mécanisme due à plusieurs facteurs adverses entraînant, directement ou indirectement de façon séquentielle ou simultanée, ce qui se traduit par une diminution progressive de la vigueur de l'arbre (Franceschini, 2001; Ben Jamaa, 2011), suivie d'une réduction de leur capacité de défense et l'établissement des conditions favorables à l'installation des agents biotiques (insectes ravageurs et champignons pathogènes) (De Sousa et al., 2008).

La complexité du processus de détérioration de l'état sanitaire des arbres, de chêne-liège notamment, s'accorde sur l'existence non pas d'un facteur précis mais d'une séquence d'évènements défavorables répartis généralement en cinq types de facteurs. Les facteurs édaphiques et climatiques, sont les facteurs écologiques le plus souvent

impliqués, à travers le monde dans la déstabilisation des écosystèmes forestiers mais aussi le déclenchement des phénomènes de dégradation de l'état sanitaire (Becker et Levy, 1983). De plus, les facteurs anthropiques et biotiques sur lesquelles les peuplements affaiblis sont devenus plus vulnérables à l'installation et la multiplication de parasites de « faiblesse », notamment des xylophages comme *Platypus cylindrus*. Les facteurs sylvicoles, nombreux, sont aussi responsables de la dégradation sanitaire des arbres de chêne liège et par conséquent de la diminution de la production du liège. Parmi ces derniers, nous citons la concurrence avec d'autres essences forestières, et la densité du sous-bois. En effet, dans la forêt de M'Sila, les peuplements du pin d'Alep sont issus de différents semis réalisés presque annuellement entre 1888 à l'ouest du canton « Guedara » (C.F.A, 1877) et d'autres essences secondaires telles que le cyprès (Anonyme, 1914), le pin maritime et le cèdre, qui proviennent de travaux de reboisement (Bouhraoua, 2003). L'évolution de la forêt du chêne-liège vers une formation dégradée et ouverte favorise l'installation et le développement des semis de résineux (Chalabi, 1998), surtout le pin d'Alep grâce à sa croissance rapide et sa régénération facile.

## 2. Caractérisation de l'infection par *Biscogniauxia mediterranea*

Dans les trois subéraies : M'sila, Hafir et Djebel Saadia, le *B. mediterranea* est associé à un large éventail de symptômes chroniques sur le chêne-liège, notamment une formation de stroma sur la mère de l'arbre où se remarque la présence d'une tache noire localisée sur le tronc et les branches infectées, l'apparition d'une chlorose des feuilles, le dépérissement de la cime, les chancre de l'écorce, les exsudats tanniques, la réduction de la croissance des cernes et enfin la mortalité de l'arbre. Ces observations concordent parfaitement avec d'autres études antérieures où l'espèce fongique a été isolée à partir du même type de chancre (Malençon et Marion, 1952 ; Santos, 2003 ; Vannini *et al.*, 1996b ; Henriques, 2015).

L'éclosion de la maladie et l'apparition des symptômes sur l'arbre attaqué par le pathogène est en relation avec un stress dû à la sécheresse. Sous les conditions favorables de son développement, le *B. mediterranea* est une espèce thermophile capable de croître sous un très faible potentiel hydrique (Vannini *et al.*, 1996). Il a même été prouvé, l'effet notable de la teneur en eau sur son activité pendant sa phase endophytique de son cycle (Vannini et Mugnozza 1991). Il a été trouvé comme endophyte chez différents hôtes : tissus et organes, y compris les feuilles, les bourgeons, les rameaux, les branches et le tronc, le bois et l'écorce (Franceschini *et al.*, 2002).

Le pathogène est capable de se propager facilement dans les vaisseaux creusés et peut coloniser les tissus de l'écorce et du bois. Il est susceptible de tuer l'arbre hôte en une seule saison de sa croissance (Mirabolfathy *et al.*, 2011). Il en est de même lors du

dépérissement des arbres, la prolifération de la maladie est très rapide. Il ne s'étend pas, dans les tissus corticaux qui réagissent vigoureusement, mais pousse son mycélium dans le bois, où il chemine longitudinalement dans les fibres et vaisseaux, et radialement dans les cellules des rayons médullaires, selon des bandes brunâtres que l'on peut suivre à l'œil nu. Il détruit ainsi toute la zone subéro-phellodermique en engendrant une croûte à consistance stomatique noire, dure qui progresse peu à peu vers les tissus de la mère où il développe son mycélium.

En revanche, la résistance de l'hôte diffère d'un arbre à un autre et selon les conditions stationnelles en question.

L'ensemble des résultats de la **distribution des arbres** symptomatiques en pourcentages par classe de circonférence et d'hauteur, révèlent qu'il représente un progrès significatif vers l'appréciation de la relation entre les facteurs écologiques, facteurs dendrométriques, et l'apparition de *B. mediterranea*. C'est l'un des pathogènes fongiques les plus courants dans les forêts de chênes lièges, sa sensibilité est associée aux arbres stressés souffrant de sécheresse sévère (Vannini et Valentini, 1994 ; Anselmi *et al.*, 2000) et cette information renforcée par l'étude de Nugent *et al.*, en 2005 sur le stress hydrique qui est un des facteurs majeurs de prédisposition des arbres induisant des attaques symptomatiques par ce champignon (Anselmi et Mazzaglia, 2005), d'incendies et de blessures. Au cours des différents stades de développement de la maladie, *B. mediterranea* et les hôtes sensibles sont conditionnés par des facteurs abiotiques et biotiques, les stress environnementaux tels que la sécheresse, les températures basses ou élevées, l'irradiation élevée et le manque de certains éléments nutritifs du sol peuvent entraîner des modifications physiologiques des plantes et influencer leur sensibilité aux pathogènes fongiques (Linaldeddu *et al.*, 2011)., il a été constaté qu'il peut diffuser une partie de son cycle de vie en tant qu'endophyte à *Quercus* pendant une longue durée (Vannini, Biocca et Papparatti, 1996) vivant dans différents tissus et organes hôtes au cours duquel les arbres infectés présentent des symptômes. Il est également fréquent sur *Quercus cerris*, *Quercus frainetto* et *Quercus pubescens* (Ragazzi *et al.*, 1989).

Henriques *et al.* (2012 ; 2014) ont remarqué l'incidence de ce champignon en particulier chez les jeunes chênes lièges et non dégradés d'une façon assez rapide dans les forêts portugaises causant un problème grave pendant une longue période. Dans la forêt portugaise en 1974, une étude de terrain a indiqué que 41,5% des chênes lièges étaient affaiblis où *B. mediterranea* s'est révélé être le principal facteur entraînant ce déclin (Macara, 1975).

Il pourrait se caractériser par un niveau élevé de variabilité due à son taux élevé de reproduction sexuelle et hétérothallique. Cependant, les spécificités de l'hôte sont définies pour ce champignon et son niveau de variabilité pourrait être différent

exprimé en fonction des parties d'arbre de l'hôte et sous diverses conditions environnementales dans les mêmes espèces hôtes en croissance dans différentes zones éco-géographiques (Yangui *et al.*, 2019). Il semble, donc doté d'une grande capacité d'adaptation aux conditions environnementales et survivre dans un grand nombre de plantes hôtes. Il tolère une large gamme de températures et de valeurs de pH (Vannini *et al.*, 1996). De plus, le champignon est capable de se développer rapidement et accélérer la mort des arbres.

De plus, les résultats de l'étude de Yangui *et al.* (2019) ont suggéré que le développement de *B. mediterranea* n'est pas spécifique à un organe mais principalement influencé par les changements et contraintes environnementaux. En conséquence, des corrélations significatives ont été observées entre les paramètres écologiques (température, précipitations et altitude).

**Les résultats de la distribution des arbres infectés par *B. mediterranea* selon leurs âges,** montrent que le pathogène peut affecter toutes les classes d'âge, contrairement à ce que pense de Santos (2001) qui estime qu'il est plus fréquent chez les arbres plus âgés justifiant sa théorie par la perte de la vigueur des arbres avec le temps surtout s'il est mal exploité. Il touche même les rejets isolément, pied à pied, sans formation de taches de mortalité.

La répartition des classes en **hauteurs d'écorçages** des arbres infectés par le champignon dans les trois forêts d'études (M'sila, Hafir et Djebel Saadia) est assez hétérogène. Elle nous permet de remarquer une disproportion au sein des stations d'étude où la majorité des arbres ont un coefficient d'écorçage entre 1,5 et 2,4. Les arbres non démasclés malades, au niveau de la forêt de M'sila sont très majoritaires soit une proportion importante (plus de 71%), suivie par la forêt de Djebel Saadia avec un taux de 57%. La dominance des sujets écorcés présentant des symptômes se font remarqué dans la forêt de Hafir (80%). Selon l'étude statistique, aucune relation significative n'existe entre la récolte du liège et la présence de *B. mediterranea*.

Cela n'empêche pas que l'opération de démasclage peut occasionner des blessures à la couche mère dont les conséquences sont premièrement sanitaires, la présence de blessures favorisant l'infection des chênes lièges par des agents pathogènes. Deuxièmement, ces blessures, plus ou moins cicatrisables selon leur ampleur, vont constituer un stress supplémentaire pour les arbres. Et troisièmement, les blessures vont avoir une incidence sur la qualité des planches de liège futures, l'arbre ne produisant plus ou presque pas de liège au niveau des lésions.

La présence d'un hôte sensible et son état physiologique interfèrent à la fois dans la colonisation par le champignon et dans son développement aux stades endophytes et pathogènes. Les tissus de l'hôte stimulent apparemment la germination des

ascospores. Une plus grande disponibilité de nutriments pour les spores ou la présence de stimulateurs de germination pourraient être en cause. La stimulation de la formation de tubes germinatifs en présence de blessures pourrait expliquer les meilleures chances de ce champignon de pénétrer l'hôte par de petites discontinuités.

Les principales pathologies de la mère sont cependant liées à des récoltes de liège mal effectuées. Par conséquent, la propagation de *B. mediterranea* est favorisée par les opérations de récolte telles que les outils mécaniques ou électriques (tels que les tronçonneuses et élagueuses) (Santos, 2001), qui risquent de fortement endommager la mère aux conséquences plus graves, ayant lieu lors du décollement de la planche de liège : elle peut être liée à la présence d'insectes sous-corticaux, à une récolte hors saison, à l'état physiologique de l'arbre ou à un décollement brutal de la planche. C'est pourquoi le décollement du liège ne doit pas être forcé : si la planche ne vient pas facilement, l'arbre ne sera pas écorcé. A l'exception de ceux équipés d'un dispositif spécifique permettant de ne pas blesser la mère et ayant fait leurs preuves sur ce point. Nous éviterons tout contact entre les haches (tranchants et manches) et la terre. Il est recommandé de désinfecter les outils entre chaque parcelle, l'étude de Montoya Oliver, 1988, confirme l'idée et qui traite le développement de champignons dont les spores fongiques véhiculées par l'élagage ou l'enlèvement du matériel forestier de liège peuvent infecter d'autres arbres. De plus, de mauvaises pratiques d'élimination du liège utilisées par une main-d'œuvre non qualifiée empêchent la guérison naturelle des blessures et facilitent le développement de la maladie.

Il est important de ne pas favoriser le transport du pathogène entre les parcelles. On recommande le nettoyage des outils, des bottes et des engins forestiers.

Les résultats de la **distribution des arbres infectés selon leur état sanitaire**, ont montré que des corrélations significatives ont été observées entre le chancre causé par le *B. mediterranea* et la dégradation sanitaire des arbres et de l'apparition du dépérissement aigu des chênaies. Néanmoins, une proportion importante de la mortalité d'arbres de chêne liège reste inexpliquée. Ragazzi *et al.* (2000), Franceschini *et al.* (2005) et Moricca *et al.* (2016) ont proclamé que les conditions climatiques dans la région méditerranéenne sont celles qui prennent réellement de l'importance dans l'épidémiologie du dépérissement, car elle conduit à maintenir une pression d'inoculum élevée et permet donc de multiplier les foyers d'infection sur les arbres pendant une grande partie de l'année, accélérant ainsi leur déclin végétatif (Vannini *et al.*, 1996a).

Les analyses statistiques confirment qu'il existe une relation entre la présence de *B. mediterranea* dans les arbres présentant un taux de défoliation plus élevé. Dans l'ensemble des trois forêts d'étude, l'incidence de *B. mediterranea* est de 4,8%, plus élevée à M'Sila suivi de Djebel Saadia et de Hafir. En comparaison avec les résultats

obtenus par Smahi *et al.* en 2014, dans la forêt de M'Sila, le taux de diffusion global du pathogène était de 4.1% où les infections ont touché principalement les arbres démasclés (TD = 10.4%). La mauvaise qualité de démasclage avec un coefficient d'écorçage excessif (> 2.5) compte parmi les principaux facteurs capables d'affaiblir l'arbre hôte et le prédispose ainsi aux attaques parasitaires. La maladie se trouve actuellement en diffusion encore limitée dans le peuplement mais elle pourrait être préoccupante dans l'avenir lorsqu'elle se diffusera de plus en plus avec l'exploitation des arbres.

Pour les fissures observées en plus grande abondance (5,7% du nombre total d'arbres), il n'y avait aucune relation avec la présence de *B. mediterranea*. La présence d'exsudats et de blessures a été observée sur quelques arbres (un seul arbre à exsudat à Hafir, deux arbres blessés à Hafir et Djebel Saadia et trois à M'Sila) il n'est donc pas possible d'associer l'effet.

La présence de trous d'insecte xylophage, n'a été détectée que sur un seul arbre attaqué par *B. mediterranea* sur les quarante-neuf échantillonnés dans la forêt de M'Sila. Il n'est donc pas possible d'associer l'effet. Tandis qu'à Hafir et à Djebel Saadia, les arbres échantillons infectés par *B. mediterranea*, ne présentent aucune trace de trous d'insectes.

La défoliation par plusieurs insectes contribue également à la propagation de ce champignon et favorise son développement fongique dans les forêts de chêne-liège.

D'autre part, les insectes agissent comme des vecteurs d'inoculum de champignons entre les hôtes, par exemple, *P. cylindrus*. En effet, plusieurs études réalisées confirment la corrélation entre le champignon et le xylophage *P. cylindrus*. Il a été signalé comme transporteur du *B. mediterranea* sur *Q. suber* en Algérie par Belhoucine *et al.* (2011) ; Belhoucine (2013), au Portugal, Henriques *et al.* (2007) ; Inácio *et al.* (2011) qui ont isolé *B. mediterranea* (forme anamorphique *Nodulisporium sp.*) des galeries du platype et ses mycangia. De plus, l'étude de Sousa en 1996, a rapporté, la relation de *B. mediterranea* avec *P. cylindrus* et son association avec l'affaiblissement indéniable des peuplements de chênes lièges dans le bassin méditerranéen et au Portugal (Sousa et Inacio, 2005 ; Inácio *et al.*, 2011, Henriques *et al.*, 2012), en Espagne (Espanol, 1964), en France (Durand *et al.*, 2004) et au Maroc (Sousa *et al.*, 2005). L'étude de Martin *et al.* (2005) approuve également, qu'il existe une forte corrélation entre la présence de trous faits par les insectes de *Cerambyx spp.* et l'infection à *B. mediterranea* chez le chêne-liège. En plus, *Agrilus graminis* Gory, Laporte et *Tropideres sp.* a été déclarée comme transporteurs de *B. mediterranea* vers *Q. cerris* en Italie par Vannini *et al.*, (1996a)

Aussi, la propagation du *B. mediterranea* se fait par transport de matière organique contaminée: terre, broussailles. Cette situation est constatée au niveau des trois subéraies où on voit des endroits à forte densité et qui n'ont bénéficié d'aucune opération sylvicole en l'occurrence les éclaircies, en plus de l'absence totale des travaux d'assainissement et de débroussaillage, ce qui favorise la dissémination des champignons et la contamination des peuplements.

### 3. Caractérisation de *Biscogniauxia mediterranea*

Plusieurs auteurs comme Vannini *et al.* (1996 b) , Jiminéz *et al.* (2005b), Linaldeddu *et al.* (2005a) et Henriques *et al.* (2012) ont signalés que la germination et la dispersion des ascospores dépendent de la présence d'eau ou d'une humidité relative élevée de l'air. Les ascospores sont éjectées des stromates en forêt pendant la majeure partie de l'année après des périodes de fortes précipitations. En Italie, la libération des ascospores peut avoir lieu à toutes les saisons, tandis que les conidies sont généralement libérées à la fin de l'été (Linaldeddu *et al.*, 2005a). Ceci est aussi valable pour les forêts algériennes, du fait que les précipitations annuelles ne dépassent guère 375 mm à M'sila, 600 mm Hafir et 250 mm à Djebel Saadia.

Bien que, le stade anamorphe en tant que précédant le développement du périthèce est rare dans des conditions naturelles. Elle a lieu sous l'écorce externe de l'hôte, entraînant des gonflements visibles sur les fines branches dus à l'accumulation de grandes quantités de conidies. L'écorce externe se fissure, alors exposant en surface une masse de conidies sèches d'aspect poudreux. Dans les branches épaisses, les conidies restent sous l'écorce externe et ne sont pas exposées. Les conidies de nombreuses espèces de *Biscogniauxia*, sinon de la totalité, germent et constituent donc sans aucun doute, avec les ascospores, des inocula efficaces (Callan et Rogers, 1986).

L'espèce est dotée d'une capacité d'infecter les plantes hôtes pendant tous les mois de l'année et peut les tuer au cours d'une seule saison de croissance. A partir des tissus morts de l'écorce, un grand nombre de stromates noirs éclatent simultanément abritant des périthèces avec des ascospores qui sont envisagés comme les unités d'inoculum les plus intéressantes. Ils sont rejetés tout au long de l'année et germent dans une large gamme de conditions environnementales. Cette dernière peut survenir à différentes périodes du cycle de vie de l'hôte par différents génotypes. Cependant, la colonisation des tissus et la reproduction se produisent probablement en même temps à partir de tous les points d'infection. Un tel comportement pourrait expliquer comment *B. mediterranea*, bien qu'un parasite à pouvoir pathogène faible, toutefois, est susceptible de tuer de grands arbres en peu de temps.

Le champignon est plus répandue dans la forêt de M'sila par rapport aux autres deux forêts : la forêt de Hafir et Djebel Saadia. Cette différence en fonction de multiples

paramètres favorables encouragent son développement au cours des différents stades.

**Sur le plan Identification moléculaire** Cette étude représente un progrès significatif pour l'évaluation de la variabilité génétique de *B. mediterranea* selon l'approche MSP-PCR et la relation phylogénétique multigénique parmi un ensemble représentatif d'isolats. Il s'agit d'une tentative de relier la diversité des espèces à l'origine géographique. Il comprend un ensemble d'isolats obtenus à partir de *Q.suber* collectés de trois suberaies tels M'sila, Hafir et Djebel Saadia.

Les résultats de la MSP-PCR montrent généralement une grande variabilité génétique, ce qui est conforme aux résultats présentés par Henriques *et al.* (2016) et Yangui *et al.* (2019). Cependant, il a été possible de différencier les isolats en fonction de leur origine (les trois différentes forêts), à l'exception d'un isolat (D1 qui était plus proche de M), ce qui peut indiquer que dans les forêts algériennes, la propagation du champignon est plus limitée.

L'analyse phylogénétique des régions ITS et TUB2 a également démontré une grande variabilité des espèces, en particulier TUB2. Dans le cas de l'ITS, il n'y a pas eu d'approximation en fonction du pays d'origine des isolats, avec seulement une séparation bien fondée des espèces out-group à l'exception de *B. rosacearum*. Dans l'analyse TUB2, l'espèce *B. rosacearum* ne diffère pas non plus particulièrement de *B. mediterranea*. Avec ce gène, une plus grande approximation des isolats méditerranéens par rapport aux isolats néerlandais et japonais a déjà été vérifiée. Ces résultats sont en accord avec ceux de Henriques *et al.* (2016).

Ce travail confirme la grande variabilité génétique de l'espèce *B. mediterranea*, justifiée par le taux élevé de reproduction sexuelle hétérothallique (Vannini *et al.*, 1999) et par l'épidémiologie et l'écophysiologie du champignon, qui lui confèrent une grande capacité d'adaptation aux conditions environnementales.

**Le développement à différentes températures**, l'analyse des températures maximales et minimales des isolats sélectionnés a révélé, une corrélation entre l'augmentation de la température et la croissance mycélienne des trois isolats de *B. mediterranea* testés. Ce qui nous permet de conclure que pour la germination des ascospores, la température optimale est de 35 °C, mais 25 et 30 °C sont toujours favorables, tandis que 20 et 40 °C réduisent la germination.

Ces résultats concordent, également avec ceux obtenus par M'hirit et Blerot (1999) dans les suberaies marocaines expliquant le développement de ce pathogène par des conditions climatiques. Car il devient sournois à chaque fois qu'un stress s'installe. D'autre part, Malençon et Marion dans une étude menée dans un laboratoire au

Maroc en 1946 (Malençon et Marion, 1951) et Smahi (2013) affirment que les spores du *B. mediterranea* germent rapidement sous une température de 25 °C dans une proportion atteignant 90 à 95% au bout de quelques jours d'incubation.

Vannini *et al.* (1996 a), ont testé les différentes températures pour la germination des ascospores et ont conclu que la température idéale est également de 35 °C, 25 et 30 °C restent toujours favorables et que la germination est réduite entre 20 °C et 40 °C. Les ascospores maintenues à 5 °C ont pu germer après une courte exposition à des températures allant de 20 à 35 °C. L'étude d'Henriques (2007), confirme aussi que la température de croissance optimale est de 35 °C. Selon Linaldeddu *et al.* (2005a), l'infection peut se trouver à des températures allant de 5 à 40 °C. Vannini et Valentini (1994) ont trouvé que l'optimale pour la croissance du champignon est la température de 30 °C. *Biscogniauxia mediterranea* est considéré comme un champignon thermophile, cette capacité à se développer dans une large amplitude de températures souligne sa plasticité à s'adapter aux conditions environnementales, notamment dans le bassin méditerranéen. Dans cette région, où les hivers deviennent plus doux et la répartition des pluies plus irrégulière, même pendant la saison la plus chaude. De même, le démasclage des arbres de chêne liège est réalisé pendant l'été, ce qui expose de vastes zones de tissus vivants du tronc, ce qui le rend particulièrement sensible à l'infection de ce champignon.

A partir des résultats obtenus sur **les tests d'antagonisme**, entre l'agent pathogène *B. mediterranea* testé et l'agent antagoniste *Botryosphaeria corticola*, il y a une action inhibitrice de *B. mediterranea* sur *B. corticola* où la croissance rapide et forte de *B. mediterranea* se fait remarquer dès le deuxième jour permettant ainsi de limiter la croissance du *B. corticola* et même de bloquer la croissance mycélienne de cette espèce quel que soit les conditions de culture. Ceci explique les relations mutuelles entre les champignons à l'intérieur des tissus de la plante. C'est éventuellement la clé pour expliquer l'expression finale de l'état de santé de la plante.

Concernant, les résultats de 2<sup>ème</sup> test d'antagonisme entre *B. mediterranea* et *Trichoderma harzianum* identifiée par Belhoucine (2013), dans un but de son utilisation en bio contrôle contre le pathogène, et dans les même conditions, nous avons remarqués que le *T. harzianum* a une croissance élevée, dès les premiers jours d'incubation tout en limitant la croissance mycélienne du *B. mediterranea*. A cet égard, l'utilisation de micro-organismes antagonistes pour lutter contre le chancre charbonneux est actuellement à l'étude.

Les résultats obtenus dans la présente étude confirme que nous pouvons le considérer comme un antagoniste efficace, *in vitro*, contre le pathogène parce qu'il peut parasiter rapidement le mycélium de *B. mediterranea* et réduire activement sa croissance ou le détruire complètement après le premier contact.

Par ailleurs, l'étude de Maddau *et al.* (2009) ont démontré qu'une autre espèce celle de *T. citrinoviride* isolée du chêne-liège produit un mélange d'antibiotiques polypeptidiques (peptaibols) en culture liquide est caractérisé par une forte activité antifongique contre sept agents pathogènes dangereux des arbres forestiers et surtout ceux impliqués dans le dépérissement du chêne.

Les résultats des analyses statistiques du **test de pathogénicité** a suggéré que les trois isolats de *B. mediterranea* testés, ont prouvé leur virulence envers les plantules de chêne-liège inoculées pour chaque traitement d'irrigation. Les lésions générées sont significativement plus élevées chez les plantes stressées dans lesquelles l'isolat Bm.M1 a provoqué des lésions significativement plus importantes que les deux autres (Bm.H1, Bm.D1), que chez les plantes non stressées et dans les deux cas par rapport au témoin. Nous concluons que le développement de *B. mediterranea* n'est pas spécifique à un organe mais principalement influencé par les changements et contraintes environnementaux. Ceci a également été déclaré par Vannini et Valentini (1994) et Anselmi *et al.*, (2000), qui confirment que le champignon agit de manière agressive sous un stress de sécheresse et une température anormalement élevée.

L'effet des isolats de *B. mediterranea* sur les jeunes plantules de chêne-liège, est traduit par l'apparition des symptômes à la fin de l'expérience tels que la chlorose des feuilles, chute des feuilles, dessèchement des feuilles, lésions nécrotiques dans les tissus vasculaires, et se termine par la mort des plantules plus tard après la colonisation du champignon. Les mêmes résultats ont été décrits par Santos (2003) et Vannini et Valentini (1994). Ainsi, la cime se contracte et le sujet s'affaiblit par défaut d'alimentation (Malençon et Marion, 1951). Aussi, Vannini et Mugnozsa (1991) ont observé le même effet, chez *Q. cerris* soumis au stress hydrique et Jacobs *et al.* (1992) chez des plantes de *Quercus* avec ou sans stress hydrique, où la longueur des lésions est plus grande chez les plantes stressées. Les autres symptômes observés dans certaines des plantes inoculées étaient la coloration des vaisseaux, qui a déjà été décrite par d'autres auteurs dans des plantes inoculées avec *B. mediterranea*. Cette coloration des vaisseaux est également clairement liée au ré-isollement de *B. mediterranea* à partir de tissus corticaux après la colonisation des tissus hôtes. Le champignon s'est propagé sur toute la tige et non seulement dans les zones où sont apparus des taches. Aussi, comme Luisi *et al.* (1995) chez *Q. cerris*, *Q. pubescens* et *Q. trojana* soumis au stress hydrique, et Luque *et al.* (2000) dans *Q. suber*, avec et sans stress hydrique, bien que la coloration des vaisseaux soit également présente chez les plantules irriguées normalement, elle était plus élevée chez les plantes soumises à un stress.

Aussi, Vannini et Valentini (1994), travaillant avec la même combinaison hôte-pathogène, ont trouvés une relation positive entre les conditions de stress et les

dimensions des nécroses vasculaires. Des résultats similaires ont été obtenus pour l'étude de Luisi *et al.* (1993) sur l'inoculation de trois espèces de *Quercus* avec *B. mediterranea*. Cependant, des études ultérieures ont montré que *B. mediterranea* peut également induire des effets négatifs même en absence de stress hydrique : perte de conductivité hydraulique du xylème, conductance stomatique réduite et croissance du faible diamètre du tronc (Vannini et Valentini, 1994 ; Luque *et al.*, 1999 ; 2000).

D'après ce test, la perte d'eau dans les tissus des plantules pourrait être le principal facteur qui induit des attaques symptomatiques. En ce cas, nous faisons sortir que le stress hydrique est un facteur prédisposant au développement du chancre charbonneux. Cette idée est renforcée par d'autres études (Vannini et Mugnozza, 1991 ; Vannini *et al.*, 1996 a ; Luque *et al.*, 2001 ; Capretti et Battisti, 2007) confirmant que les dégâts et la susceptibilité à la colonisation des hôtes ont été associés au stress hydrique. Lequel, des altérations du métabolisme cellulaire entraînent des modifications qualitatives et quantitatives de la composition en glucides et en acides aminés qui peuvent améliorer la disponibilité des nutriments pour les agents pathogènes (dans des conditions de stress hydrique). Un autre effet possible du stress hydrique sur l'interaction plante-pathogène est une diminution de la capacité de la plante à développer une barrière physique contre les pathogènes, car l'élargissement et la division cellulaire sont affectés par les changements dans les relations hydriques (Vannini et Valentini, 1994). De plus, le changement de teneur en eau dans les tissus de l'hôte est aussi parmi les facteurs d'interactions qui peuvent déclencher l'activité de *B. mediterranea*. Des études menées principalement sur *Q. suber* mais aussi sur *Q. cerris*, ont confirmé que le champignon s'accumule dans les tissus de l'hôte et c'est pendant les saisons sèches de croissance qu'il a le plus de chances de proliférer dans les tissus asymptomatiques (Vannini et Mugnozza, 1991 ; Collado *et al.*, 2001).

Récemment, Ghanbary *et al.* (2017), ont testé l'effet du champignon *B. mediterranea* sur des semis de *Quercus brantii* âgés de deux ans. La croissance et la réponse physiologique des semis ont été évaluées sous stress hydrique en serre sur une période de neuf mois. Les résultats obtenus ont donné une survie de 21.7% inférieure chez les plantules inoculées sous un stress hydrique par rapport aux témoins. Ce qui correspond parfaitement à nos résultats.

Le *Quercus* est généralement, ces maladies sont associées à des épisodes de stress, tels que la sécheresse estivale (Torres, 1985 ; Capretti, 1987; Ragazzi *et al.*, 1989; Vannini et Mugnozza, 1991). Ces derniers auteurs ont observé une croissance optimale du champignon de *B. mediterranea* lorsque le potentiel hydrique du xylème des arbres *Q. cerris* inoculés était de -2,0 MPa.

D'autre part, les changements dans la sensibilité des plantes aux maladies peuvent être observés à la suite d'un changement dans la nutrition de l'hôte. L'apport d'azote de la plante hôte est connu pour exercer un effet considérable à la fois sur l'hôte et sur l'agent pathogène. Selon Turco *et al.*, (2005), les acides aminés peuvent stimuler ou inhiber le développement des parasites fongiques, lorsque leur équilibre dans les tissus de l'hôte est modifié par rapport à la normale, des changements dans les conditions nutritionnelles du champignon peuvent en résulter.

Desprez-Loustau *et al.* (2006), proclament qu'il existe trois principaux types d'effets maladie-hôte qui peuvent être attendus en réponse aux changements climatiques : (1) effet direct sur les agents pathogènes ; (2) les effets indirects sur les agents pathogènes par le biais d'autres interactions communautaires ; (3) effets d'interaction via la physiologie de l'hôte. Le dernier type, contient deux types d'interactions: un effet sur la sensibilité de l'arbre aux maladies - le concept de prédisposition ; ou effets combinés de l'infection et du changement sur la physiologie de l'arbre : le concept du stress multiple.

Au cours des dernières décennies, le changement climatique a entraîné une augmentation des températures dans différentes parties du monde, augmentant ainsi l'exposition des forêts à divers stress biotiques et abiotiques. Dans les régions méditerranéennes, il semble que le risque majeur soit lié à la diminution des précipitations, à l'augmentation de la sécheresse et par conséquent à la sensibilité accrue des arbres à divers organismes tels que certains champignons pathogènes opportunistes (Boyer, 1995). Un faible approvisionnement en eau, associé à un ensoleillement élevé et à des températures élevées, entraîne de graves conditions de sécheresse et l'apparition de certaines maladies dans ces zones (Bussotti *et al.*, 2014). Les stress abiotiques tels que la sécheresse, affaiblissent souvent la réponse de l'hôte aux agents pathogènes et entraînent des dommages plus importants aux arbres (Garrett *et al.*, 2006).

En période de sécheresse, certaines perturbations se produisent généralement dans de nombreux processus physiologiques des plantes, notamment la réduction de la croissance et de la photosynthèse, la conductance stomatique, la déshydratation et les nécroses. Dans les écosystèmes naturels, tels que les forêts, les plantes sont simultanément exposées à une combinaison de stress biotiques et abiotiques qui limitent leur croissance.

Un exemple concret dans les forêts de Zagros, la maladie du charbon de bois s'est propagée en seulement 5 ans, en raison des conditions climatiques (la région méditerranéenne, remarquablement associée aux années extrêmement sèches (Desprez-Loustau *et al.*, 2006), notamment la réduction des précipitations et le stress dû à la sécheresse (Mirabolfathy *et al.*, 2013).

Plusieurs auteurs, Torres (1985), Capretti et Mugnai (1987), Ragazzi *et al.* (1989), Vannini et Mugnozsa (1991) et Henriques, (2015) ont conclu que l'effet du pathogène *B. mediterranea* sur plusieurs espèces de *Quercus* n'apparaissait que lorsque la vigueur de l'hôte était épuisée (affectés généralement par le stress hydrique). Selon une étude faite en Espagne par Collado *et al.* (2019), des différences significatives existent entre les fréquences d'isolement du champignon dans les échantillons prélevés à l'automne que sur ceux prélevés au printemps. Le plus haut degré de colonisation a été observé dans les brindilles, tandis que dans les feuilles, le champignon était présent en quantités significativement plus faibles. Les mêmes résultats ont été confirmés par d'autres études (Vannini *et al.*, 2009).

D'autre part, Vannini et Valentini (1994) ont détecté une perte moyenne de 33 % en conductivité hydraulique des tiges de *Quercus cerris* lorsqu'il est inoculé avec *B. mediterranea* et les plantes ont été cultivées sans restrictions hydriques. Ces résultats indiquent que l'effet pathogène de *B. mediterranea* sur l'hôte peut être considérable même dans l'absence de conditions de sécheresse.

---

***CONCLUSION GENERALE***  
***ET***  
***PERSPECTIVES***

---

## Conclusion générale et perspectives

Partout dans le monde, la subéraie occupe une place bien particulière sur divers plans tels que : socio-économique, écologique, sylvicole, cynégétique, apicole, pastoral, et touristique. Au sein de la forêt méditerranéenne et au-delà du seul chêne liège, elle constitue un complexe d'écosystèmes en interrelations fonctionnelles et couvre une grande gamme de milieux, ce qui a généré une végétation très diversifiée.

Au cours des dernières décennies, ce patrimoine ne cesse de se déclinier sous l'effet de nombreux facteurs entraînant la disparition de superficies considérables. Malheureusement, l'Algérie est l'un des pays du bassin méditerranéen qui a été touché par ce phénomène qui affecte plusieurs espèces du genre *Quercus*. Ces dernières années, ce déclin s'est généralisé suite aux changements climatiques, l'augmentation progressive de la température moyenne et la modification du régime pluviométrique annuel.

Dans la forêt de Hafir, l'une des principales subéraies du nord-ouest Algérien, les symptômes inexplicables de dépérissement des arbres de chêne-liège ont été remarqués dès le début du XXème siècle et s'est prolongée durant un siècle. D'après les statistiques d'A.E.F.C.O. (1994), recense environ 720 ha de mortalité des arbres qui a été observée à la fin des années 80. Aussi, elle a été marquée par l'élévation de la température ces dernières années et l'irrégularité des précipitations, qui apportent à l'inconstance des réserves hydriques de la forêt.

En revanche, la forêt de M'sila et de Djebel Saadia, ont été touchées par le dépérissement des arbres où la subéraie de M'sila a été signalée pour la première fois en 1891. Toutefois, ce processus de dégradation a continué par un fort avancement pendant des dernières années, il a été observé sous forme de taches dans tous le peuplement. Plusieurs hypothèses ont été formulées pour expliquer ce phénomène dont l'ampleur varie en fonction des facteurs parmi l'une des principales causes de cette régression dans cette forêt est l'absence quasi-totale d'exploitation rationnelle et régulière du liège (mauvais démasclage), même sur des petites surfaces. De plus, Le problème sylvicole qui est la conséquence directe de cette situation, est lié à l'absence de travaux d'entretien, par débroussaillage et assainissement (élimination les sujets morts ou dépérissant, etc...) notamment, des peuplements bien venants. Encore le phénomène de l'enrésinement (le Pin d'Alep) qui a entraîné à long terme l'occupation de la niche écologique de chêne-liège. Ce dernier se trouve par conséquent graduellement expulsé dans son aire. D'autres part, l'effet du changement climatiques, tel que la sécheresse prolongée qu'a connue la forêt les

années précédentes, rendent les réserves hydriques inaccessibles au système racinaire de l'arbre.

La fréquence de ses attaques sur les chênes a considérablement augmenté dans la région méditerranéenne au cours des dernières décennies où une augmentation de l'infection est associée à un taux de mortalité élevé, en particulier chez les jeunes chêne-liège, ceci semble directement lié à l'augmentation des années exceptionnellement sèches et chaudes.

Il est un pathogène secondaire appartenant à la famille des Xylariaceae qui s'attaque aux arbres hôte affaiblis, c'est un champignon endophyte opportuniste capable de détruire toute la zone subéro-phellodermique qui sera remplacée par une croûte à consistance stomatique noire, dure, détachant peu à peu le liège de la mère causant le charbon de bois.

Les circonstances d'affaiblissement prédisposant aux attaques de ce pathogène dans les forêts méditerranéennes peut avoir lieu par divers moyens : passage des incendies, période de sécheresse, pauvreté stationnelle, démasclage mal effectué et blessures diverses. Une fois que le pathogène s'installe, il peut trouver des conditions optimales pour survivre, se développer, se reproduire et se propager sous forme épidémique.

Cet ascomycète se maintient, fort bien sur les parties colonisées de l'arbre par la production abondante de l'inoculum. Dans ces conditions, une fois les ascospores fongiques libérées des asques, elles vont germer sur les parties atteintes ce qui constitue un foyer de contamination. Son pouvoir de pénétration à la présence de blessures causées lors de l'élagage, de démasclages, d'insectes etc. affectant les arbres.

La présente étude est une première tentative pour comprendre l'épidémiologie de cet agent pathogène (*B. mediterranea*) à partir des peuplements de chêne-liège en déclin dans l'ouest Algérien. Et révéler la relation entre son effet pathogène, les mécanismes de son infection sur le chêne endémique (*Quercus suber*), taux de sa croissance et les processus physiologiques de *Q. suber* qui ont aussi été évalués afin d'envisager la gestion et la conservation du chêne-liège. Les prospectives sur terrain ont été menées entre 2017 et 2021, dans trois forêts représentatives de cette zone : la forêt littorale de M'sila (Oran) et deux forêts de montagne de Hafir (Tlemcen) et celle de Djebel Saadia (Relizane).

L'identification de cette espèce isolée a été effectuée premièrement par la caractérisation morphologique, en se basant sur des observations macroscopiques et microscopiques des structures de reproduction. L'identification morphologique est nécessaire et très importante, car elle permet de trier les isolats en petits groupes

avant d'appliquer d'autres méthodes d'identification. La caractérisation moléculaire a aussi été effectuée pour confirmer l'identité de chaque isolat isolé et ont confirmé la grande variabilité génétique de *B. mediterranea*.

À long terme, la survie des populations de *B. mediterranea* contribue à sa flexibilité génétique et sa grande variabilité. D'autre part, sa grande diversité génétique pourrait être attribuée à sa capacité à s'adapter aux changements environnementaux.

Un total de 66 arbres symptomatiques de chêne-liège ont été examinés à savoir 49 à M'sila, 10 à Hafir et 07 à Djebel Saadia et ont servi à l'isolement du champignon à partir des fragments de stromas charbonneux soit dans la branche ou le tronc.

Pour vérifier le pouvoir pathogène du *B. mediterranea*, nous avons réalisé l'inoculation in vivo de trois isolats de *B. mediterranea* provenant de trois subéraies précédemment identifiés (Bm. M1, Bm. H1 et Bm. D1) sur les jeunes plantules de *Quercus suber* qui ont été divisés en deux catégories (avec et sans stress hydrique). La pathogénicité de cette espèce a été vérifiée dans des conditions contrôlées. Les résultats montrent que sous un stress hydrique, l'isolat Bm. M1 est le plus agressif, causant d'importantes lésions sur la tige des plantules infectées, suivie par l'isolat Bm. D1 avec des lésions moyennes. En revanche, l'isolat Bm. H1 est le moins agressif avec des lésions plus petites. Tandis que, sous un régime hydrique normal l'isolat Bm. H1 est le plus agressif, engendrant d'importants dégâts sur les plantules de chêne-liège, et l'isolat de Bm. M1 prend le deuxième rang avec des lésions moyennes. Alors que, l'isolat Bm. D1 est le moins agressif. L'agressivité de *Biscogniauxia mediterranea* a déjà été confirmée sur le genre *Quercus* par des études précédentes.

Les agents pathogènes d'origine méditerranéenne étendant leur aire de répartition géographique en réponse au changement climatique représentent une menace sérieuse. Ces changements vont favoriser notamment les champignons thermophiles dont *B. mediterranea*, capables de persister dans les arbres jusqu'à ce que le régime hydrique soit perturbé, par conséquent, favoriser l'impact de la maladie du charbon du bois dans les forêts à *Q. suber*.

La présence d'un hôte sensible et son état physiologique interfèrent à la fois dans la colonisation par le champignon et dans son développement aux stades endophytes et pathogènes. Les tissus de l'hôte stimulent apparemment la germination des ascospores. Une plus grande disponibilité de nutriments pour les spores ou la présence de stimulateurs de germination pourraient être en cause. La stimulation de la formation de tubes germinatifs en présence de blessures pourrait expliquer les meilleures chances de ce champignon de pénétrer l'hôte par de petites discontinuités. Les discontinuités mineures, plus que les plaies majeures, sont considérées comme des voies d'entrée potentielles pour les champignons.

La répartition réelle de l'espèce pourrait être beaucoup plus large, puisqu'elle vit comme endophyte dans des chênes autrement exempts de symptômes (Luchi *et al.*, 2005). En fait, la stratégie des « envahisseurs latents » pourrait être plus répandue au sein du genre (Nugent *et al.*, 2005), car de nombreux champignons xylariacés ont été détectés comme endophytes (Petrini et Petrini, 1985 ; Whalley, 1996). À l'instar de *B. mediterranea*, d'autres espèces du genre *Biscogniauxia* ont également été associées à la maladie du charbon (Raimondo *et al.*, 2016) ou au déclin de leurs hôtes, en particulier en bordure de l'occurrence naturelle de ces hôtes (Granata et Sidoti, 2004).

De point de vue aspects culturels, les effets de la température sur le taux de croissance mycélienne, ont également été utilisés pour la reconnaissance de l'espèce. La sensibilité de l'hôte au champignon *Biscogniauxia mediterranea* augmente considérablement par la sécheresse, et la température l'un des facteurs important qui permet son passage de l'état latent à sa phase parasitaire.

En outre, la température est un facteur abiotique clé qui affecte fortement le développement chez les champignons pathogènes qui subissent généralement des transitions morphologiques sous l'influence de la température.

Ainsi, l'effet de la température sur *Biscogniauxia mediterranea* mesurée chaque jour, montre une différence significative de la vitesse de germination entre 7°C et 42°C. L'analyse des températures maximales et minimales des isolats sélectionnés a révélé qu'en général, les isolats ont maintenu leur développement entre 7 et 42 °C, bien que certains présentent leur croissance à la température minimale de 7°C et d'autres à un maximum de 37,5 °C. Le *B. mediterranea* est considéré comme un champignon thermophile principalement présent dans les zones naturelles où la température moyenne annuelle varie entre 7°C et 37 °C et donc les trois subéraies d'études sont un milieu favorable pour le développement de *B. mediterranea* tel que M'Sila avec une température qui ne dépasse pas 30°C, 37,2°C à Djebel Saadia et à Hafir les maxima sont enregistrés avec 31,7 °C en période estivale. Nous concluons que au-dessous de 7°C de température empêche la croissance du champignon ce qui réduit sa pathogénicité sur chêne-liège.

Les antagonistes existent dans la nature et exercent un contrôle biologique plus ou moins efficace sur les pathogènes des plantes et pour voir l'activité antifongique d'une souche endophyte contre les champignons phytopathogènes, un test d'antagonisme a été fait le *B. mediterranea* avec *Trichoderma harzianum* et *Botryosphaeria corticola*. À partir des résultats obtenus de la méthode de confrontation directe montrent que l'inhibition de la croissance mycélienne de *Botryosphaeria corticola* par *B. mediterranea* demeure. A l'inverse, c'est plutôt *T. harzianum* qui limite la croissance de *B. mediterranea*. Ce qui nous permet de conclure que les relations mutuelles entre les

champignons à l'intérieur des tissus de la plante, sont éventuellement la clé pour s'expliquer l'expression finale de l'état de santé de la plante.

A cette issue, actuellement l'utilisation des antagonistes pour lutter contre le chancre charbonneux est à l'étude. Bien que, des expériences supplémentaires sont nécessaires impliquant sur les plantes jeunes/adultes et conditions de stress/non-stress pour élucider plus précisément les effets pathogènes de cette espèce.

De ce fait, il serait intéressant d'utiliser des moyens de lutte adéquats comme traitement pour assurer la limitation de la maladie et conserver cette ressource naturelle dans ces forêts. Ces traitements pourraient faire l'objet d'études supérieures plus approfondies se basant d'abord sur l'identification moléculaire des champignons isolés pour pouvoir tester par la suite les différents fongicides chimiques et biologiques.

Jusqu'à présent, il n'existe aucun traitement curatif efficace contre le chancre charbonneux du chêne-liège, il est donc essentiel d'adopter des mesures préventives pour contrôler la maladie. Comme le développement de *B. mediterranea* est associé à la faiblesse des arbres, le meilleur contrôle réside dans des pratiques culturales correctes pour améliorer la vigueur des arbres, comme éviter la surexploitation du peuplement, éviter la mobilisation profonde du sol et corriger les macro- et micronutriments et l'équilibre du pH dans le sol.

L'application de bonnes pratiques sanitaires dans le peuplement est essentielle pour le maintien des arbres, y compris des mesures plus ciblées pour cette maladie. Il est important de garder à l'esprit à la fois la polyphagie élevée de *B. mediterranea* et la libération et la diffusion presque interrompues de ses spores tout au long de l'année. Pour empêcher la propagation du champignon par ses spores à partir de stromas carbonés, les branches et les troncs séchés de chêne liège et d'autres hôtes doivent être immédiatement élagués et les arbres morts doivent être coupés. Il n'est pas nécessaire d'enlever le système racinaire des arbres morts car il s'agit d'une infection fongique qui n'attaque pas les racines. Toute la matière morte coupée ou restant dans le sol doit être retirée du peuplement, sinon le champignon continue à se développer à l'état saprophyte et libère des spores.

L'extraction du liège est effectuée pendant l'été, exposant de vastes zones de tissu vivant du tronc, ce qui le rend particulièrement sensible à l'infection du champignon. Ainsi, il serait important que les troncs soient traités avec des fongicides appropriés immédiatement après l'extraction du liège, surtout pendant les étés humides. Tous les outils utilisés pour l'élagage et l'extraction du liège doivent être désinfectés entre les arbres pour éviter la contamination directe des arbres intervenus ultérieurement.

Les blessures d'élagage dans les branches vivantes pourraient être l'une des entrées utilisées par le champignon pour s'introduire comme endophyte dans les arbres hôtes. Pour éviter cela, les blessures d'élagage des branches vivantes doivent être protégées avec un scellant désinfectant.

Enfin, le travail actuel est une étude originale de ce pathogène dans les peuplements de chêne-liège en Algérie. Des explorations plus élargies, détaillées et approfondies au niveau des forêts d'étude seront donc nécessaires pour :

- Positionner exactement la diffusion de cette espèce dans les subéraies Algériennes ;
- Indiquer les conditions favorables favorisant son développement dans les forêts ;
- Faire ressortir la relation de ce pathogène avec le dépérissement des subéraies ;
- Utiliser d'autres marqueurs génétiques pour la caractérisation génétique de l'espèce et étudier plus profondément sa variabilité génétique.
- Tester son pouvoir pathogène sur d'autres espèces du genre *Quercus* sans / avec un stress hydrique ;
- Conditionner, dans les peuplements infectés, l'élaboration d'un programme de surveillance (installation d'un réseau de surveillance) visant à contrôler la propagation de cet agent pathogène et différent bio-agresseurs ;
- Fournir des approches de contrôle pour une pratique efficace de lutte contre les maladies des essences forestières.

---

*REFERENCES*

*BIBLIOGRAPHIQUES*

---

## Références bibliographiques

### A

- A.E.F.C.O., 1961. Relevés des travaux effectués dans la forêt domaniale de M'sila entre 1883 et 1961, Inspection d'Oran. Non paginé.
- A.E.F.C.O., 1994. Description des peuplements de la forêt domaniale de Hafir. Cantonnement de Tlemcen, Non paginé.
- Agrios G.N., 2005. Plant Pathology. 5<sup>a</sup> ed. Elsevier Academic Press, USA, 922 p.
- Ahdali L., et Tayeb O., 1976. Etude agroclimatologique des pays arabes. 1. Généralités. O. A. D. A., Khartoum, 820 p. (en arabe)
- Aime S., 1991. Etude écologique de la transition entre les bioclimats subhumide, semi-aride et aride dans l'étage thermo-méditerranéen du tell Oranais (Algérie occidentale), Thèse Doct. Es. Sci., Univ. Aix- Marseille III, 189 p + Annexes.
- Alcaraz C., 1989- Contribution a l'étude des groupements a *Quercus ilex* et *Quercus Faginea subsp. tlemcenensis* des Monts de Tlemcen (Algérie). *Ecologia mediterranea*. 1 (3-4): 15-32 pp.
- Alves A., Correia A., Luque J., et Phillips A. J. L., 2004. *Botryosphaeria corticola*, sp. nov. on *Quercus* species, with notes and description of *Botryosphaeria stevensii* and its anamorph, *Diplodia mutila*. *Mycologia* 96: 598–613 pp.
- Amandier L., 2005. Suberaie de l'Algarve fin 2005: une forêt en train de dépérir. Rapport du Voyage en Algarve (Portugal) 15-16 décembre.
- Amorini E., Belisario A., Biocca M., Maneto M.C., et Motta E., 1995. Six years of observations on the deterioration of a coppice dominated by Turkey oaks in central Italy. *Montie Boschi*, 46 : 42-50 pp.
- Amoura M., Inácio M. L., Nóbrega F., Bonifacio L., Sousa E., et Chakali G., 2021. Fungi associated with *Platypus cylindrus* Fab. (Coleoptera: Curculionidae) from *Quercus suber* L. in North-Eastern Algeria. *Int. J. Agric. Pol. Res.* 9 (1):1-8 pp.
- Amponsah N. T., Jones E. E., Ridgway H. J., et Jasper M.V., 2009. Rainwater dispersal of *Botryosphaeria* conidia from infected grapevine. *New Zealand. Plant Disease*. 62: 228–233 pp.
- Andéol S.C., et Benjamin C., 2016. Les champignons endophytes : impact sur les écosystèmes et production de molécules d'intérêt thérapeutique. Thèse. Doct. Sciences pharmaceutiques, Univ Grenoble Alpes. 92 p.

Anonyme., 1914 - L'oeuvre du reboisement en Algerie (1851-1910). Bull. Stat. Rech. Forest. N. Afr. 1(2):. 35-70 pp.

Anonyme., 1969- Fascicule de gestion de la forêt domaniale de Hafir. Conservation des forêts de Tlemcen, 5 p.

Anonyme., 1991. Forest health monitoring network (EEC network and blue network) protocol for observations .Minist. Agric.For.Paris.27p.

Anonyme., 2002- Fascicule de gestion, Forêts domaniale de Hafir, canton Oued Fernane, Conservation des Forêts de Tlemcen, 2 p.

Anselmi N., Mazzaglia A., et Vannini A., 2000. The role of endophytes in oak decline. In : Ragazzi A. et al. (Eds.), Decline of oak species in Italy, problems and perspectives, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, 129-144 pp.

Anselmi N., et Mazzaglia A., 2005. Correlation between the incidence of endophytic pathogenic fungi and oak decline in *Quercus ilex* L. after fire damages. IOBC/wpsr Bull. 28: 93-99 pp.

Arnaudies J., et Piazzetta R., 2006. La levée du liège-guide, technique de vulgarisation. IML. Vivés, France. 24 p.

Arnold A.E., 2007. Understanding the diversity of foliar endophytic fungi. progress challenges and frontiers. Fungal Biol Rev. 21(2-3) : 51-66 pp.

Assali F., et Falki K., 2006. Overview of the state of vitality of cork forests and holm oak stands in Morocco. In: Seminar "The vitality of cork oak and holm oak stands - current situation, state of knowledge and actions to take". October 25-26, 2006, Évora, Portugal.12 p.

Aubert G., et Monjauze A., 1946. Observation sur quelques sols de l'Oranie Nord-occidentale- influence du reboisement, de l'érosion, sur leur évolution (I) compte rendu du sommaire des séances de la société de biogéographie, t.23, n°199, 44-51pp.

Azevedo N.F.S. , 1958. O carvão do entrecasco do sobreiro. Publicações dos Serviços Florestais e Aquícolas, Portugal, 25:159-179 pp.

## B

Badler H., 1992. Pathogenicity of *Ceratocystis* spp. in oaks under stress. In Proceedings of an International Congress "Recent Advances in Studies on Oak Decline", Selva di Fasano (Brindisi), Italy, 31-37 pp.

Baeta Neves C.M., 1948. Contribution to the knowledge of insects associated with *Q. suber*. Bol. Junta Nac. Cortica, Lisboa, 10(117), 444-7 pp. LXXVI

Baeta-Neves C.M., 1949. A seca dos sobreiros. Gazeta das Aldeias, 2168 p.

- Baeta Neves C.M., 1954. Notes on Portuguese forest insects. II. Boletim da Sociedade Portuguesa de Ciencias Naturais, Lisboa (Ser. 2), 5, 44-53 pp. ref. 30 refs.
- Bagnouls F., et Gaussen H., 1953. Saison sèche et indice xérothermique. Doct. Cart. Prod. Vég. Ser. Gen II, 1, art. VIII, Toulouse, 47 p.
- Bakry M., et Abourouh M., 1995. Dépérissement du chêne-liège au Maroc: Etats des connaissances et perspectives. IOBC/wprs Bull., 18: 50-56 pp.
- Bakry M., et Abourouh M., 1996. Nouvelles données sur le dépérissement du chêne liège (*Quercus suber* L.) au Maroc. Ann. Rech. Maroc, 29: 24-39 pp.
- Balbalian C., et Henn A., 2006. The Plant Doctor *Biscognauxia* (*Hypoxylon*) Dieback of oaks. Mississippi state University Extension service. 2p.
- Barbosa M. A. de F., 1958. O carvão do entrecasco *Hypoxylon mediterraneum* (De Not.) Ces. et De Not. Publ. Direccão Geral Serv. Florestais e Aquícolas 25: 95-132 pp.
- Barnett H.L., et Hunter B.B., 1972. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. No. 3rd ed, v+241 p.
- Barr M. E., 1987. Prodrômus to class Loculoascomycetes. Published by the author, Amherst, Massachusetts, USA.
- Bary-Lenger A., et Nebout J. P., 1993. Le Chêne, Editions du Perron. 181p.
- Baskarathevan J., Jaspers M.V., Eirian Jones E. et Ridgway H. J., 2012. Incidence and distribution of botryosphaeriaceous species in New Zealand vineyards. European Journal of Plant Pathology. 132, 549-560 pp.
- Bassett E. N., Fenn P., et Mead M. A., 1982. Drought-related oak mortality and incidence of *Hypoxylon* canker. Arkansas Farm Res. 31: 8 p.
- Bassett E.N., et Fenn P., 1984. Latent colonization and pathogenicity of *Hypoxylon atropunctatum* on oaks. Plant Disease 68: 317-319 pp.
- Battistini E., 1938. Les forêts de chêne liège de l'Algérie. Imp,Victor Heintz , Alger. .197p.
- Becker M., et Levy G., 1983. Le dépérissement du chêne. Les causes écologiques. Exemple de la forêt de Tronçais et premières conclusions. Revue forestière française. Vol. XXXV, n°5. 341-356 pp.
- Becker M., 1987. Bilan de santé actuel et rétrospectif du Sapin (*Abies alba* Mill.) dans Les Vosges. Etudes écologique et dendrochronologiques .Ann. Sci. For., 44 : 379-402 pp.

- Bekhadra K., 1991. Etude de la régénération naturelle du chêne-liège : Cas de la forêt de M'Sila (Wilaya d'Oran). Mém. Ing. Agro. Inst. Tech. Agri., Mostaganem: 77 p + Ann.
- Belabbes A., 2004. Etude de la multiplication générative du chêne liège (*Quercus suber.L.*). Mém. Ing. Dep. Forst. Fac. Sci. Univ. Tlemcen. 51p.
- Belhoucine L., 2008. Etude bioécologique du *Platypus cylindrus* (Col., Platypodidae) dans la suberaie de M'Sila (Oran): Etude particulière des champignons qui lui sont associés. Mémoire de Magister. Dep. Forest. Fac. Sci. Univ. Tlemcen : 120 p.
- Belhoucine L., Bouhraoua R.T., Meijer M., Houbraken J., Harrak M. J., Samson R. A., Equihua-Martinez A., et Pulade-Villar J., 2011. Mycobiota associated with *Platypus cylindrus* (Coleoptera: Curculionidae, Platypodidae) in cork oak stands of North West Algeria, Africa. African Journal of Microbiology Research Vol. 5: 4411-4423 pp.
- Belhoucine L., Bouhraoua R.T., Harrak M.J., et Samson R.A., 2012. Fungi associated with *Platypus cylindrus* (Cleopetra, Platypodidae) in a northwestern cork oak forest of Algeria: case of harmful fungi. Integrated Protection in Oak Forests.IOBC/ wprs. Bulletin, Vol 76: 109-116 pp.
- Belhoucine L., 2013. Les champignons associés au *Platypus cylindrus* Fab. (coleoptera, curculionidae, platypodinae) dans un jeune peuplement de chêne liège de la forêt de M'sila (Oran, Nord-Ouest d'Algérie) : Etude particulière de la biologie et l'épidémiologie de l'insecte. Thèse. Doct., Univ. Tlemcen., 200 p + Annexes.
- Bellahirech A., Inácio M.L., Ben Jamâa M.L., et Nóbrega F., 2018. Ophiostomatoid fungi associated with the ambrosia beetle *Platypus cylindrus* in cork oak forests in Tunisia. Tunisian Journal of Plant Protection 13 (si): 61-75 pp.
- Benabadji N., et Bouazza M., 2000. Quelques modifications climatiques intervenant dans le sud-ouest de l'Oranie (Algérie occidentale). Rev. Energ. Ren., 3 : 117-125 pp.
- Bencheva S., et Doychev D., 2022. Distribution of *Biscogniauxia mediterranea* and its potential insect vectors on *Quercus suber* in Southwestern Bulgaria. Silva Balcanica 23(1): 57-65 pp.
- Bendjebbar Kh., Belhoucine-Guezouli L., Smahi H., Bouhandas A., Bonifacio L. et Henriques J., 2020. Caractérisation de L'infection de deux subéraies de L'Algérie occidentale par *Biscogniauxia mediterranea* (De Not) O. Kuntze. Integrated Protection in Onk Forests. vol 152 : 158-163 pp.
- Bendjebbar Kh., Belhoucine-Guezouli L., Bouhandas A., Boughalem M., Bonifacio L. et Henriques J., 2023. Characterization Of Cork Oak Infection By *Biscogniauxia mediterranea* In Two Cork Oak Forests Of Occidental Algeria: Djebel Saadia (W. Relizane) And Hafir (W. Tlemcen). Revue Agrobiologia.13(1): 3348-3360 pp.
- Benest M., 1985. Evolution de la plate -forme de l'Ouest Algérien et du NordEst Marocain au cours du jurassique supérieure et au début de crétaqué : stratigraphie,

milieu de dépôt et dynamique sédimentaire. Thèse de doctorat Es-Sc, Document labo. Géol., 95, fasc. 1 et 2, Lyon, 585p.

Benhanou N., et Chet I., 1996. Parasitism of sclerotia of *Sclerotium rolfsii* by *Trichoderma harzianum* : ultrastructural and cytochemical aspects of the interaction. *Phytopathology*. 86: 405-416 pp.

Ben Jamâa M L., et Nouiui M., 2008. Le liège et le vin en Tunisie. Actes du colloque "La guerre des bouchons". Vivexpo 2008. Vives, France. 9p.

Ben Jamaa M. L., 2011. Le mauvais déliègeage un facteur redoutable de dépérissement du chêne liège en Tunisie. Séminaire la gestion des subéraies et la qualité du liège. Deuxième rencontre méditerranéen, jijel, 18-19 octobre 2011 : n=°24

Bensid T., 1986. Etude d'un Catena de forêt de Zariffet .Mémoire d'ingénieur. Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen. Algérie. 65p.

Berraf-Tebbal A., Guereiro M. A., et Phillips A. J.L., 2014. Phylogeny of *Neofusicoccum* species associated with grapevine trunk disease in Algeria, with description of *Neofusicoccum algeriense* sp. Nov. *Phytopathologia Mediterranea*: 53, 3, 213-xxx.

Berriah A., 2014. Les reboisements de chene liege dans l'Ouest Algerien : bilan et perspectives d'amélioration. *Mag. Forst. Dep. Forst. Univ. Tlemcen*. 158 p.

Besoain X., Torres C., Díaz G. et Latorre B. A., 2013. First Report of *Neofusicoccum Australe* associated with *Botryosphaeria* Canker of Grapevine in Chile. *Plant Disease*: 97-143 pp.

Bethemont J., 2003- Géographie de la méditerranée. Armand Colin, 2ème Ed. Belgique. 302 p.

Bills G. F., et Peláez F.. 1996. Endophytic isolates of *Creosphaeria sassafras*. *Mycotaxon*, Vol. 57 : 471-477 pp. ref. 12

Biocca M., et Motta E., 1995. Aspects of latency of *Hypoxylon mediterraneum* in declining Turkey oaks. *Petria* 5: 171- 176 pp.

B.N.E.D.E.R., 1979. Etude d'inventaire des terres et forêts de l'Algérie du Nord : Wilaya de Tlemcen. Min. Agri. Rev. Agr., Alger. 156 p.

B.N.E.D.E.R. 2009. Plan national de développement forestier (PNDF). Rapport de synthèse national : 87 p.

Böhm J., Hahn A., Schubert R., Bahnweg G., Adler N., Nechwatal J., Oehlmann R. et Osswald W., 1999. Real-time quantitative PCR: DNA determination in isolated spores of the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* and monitoring of *Phytophthora infestans* and *Phytophthora citricola* in their respective host plants. *J Phytopathol*. 147, 409-416 pp.

- Botton B., Bretton M., Fevre M., Gautier S., Guy Ph., Larpent J.P., Reymond P., Sanglier J.J., Vayssier Y., et Veau P., 1990. Moisissures utiles et nuisibles importance industrielle. 2<sup>ème</sup> édition, Collection Biotechnologies, Masson, 512 p.
- Bouchafra A., et Fraval A., 1991 : Présentation du chêne liège et de la subéraies .In Viellement et Fraval , 1991, la faune du chêne-liège. Actes éditions, Rabat. 1-26 pp.
- Boudih S., 2011. Identification des moisissures et leurs métabolites secondaires colonisant des supports papiers. Evaluation de la toxicité sur des cellules épithéliales respiratoires in vitro. Thèse de doctorat. Université Paris Est. Paris.
- Boudy P., 1950. Economie forestière nord-africaine. Monographie et traitements des essences forestières. Fascicule1, tome1. Ed. Larose, Paris (France), 575 p.
- Boudy P., 1952. Guide de forestier en Afrique du Nord. La maison Rustique. Librairie Agricole, Horticole, Forestière et Ménagère. 26, Rue Jacob- Paris 6<sup>è</sup>. 505 p.
- Boudy P., 1955. Economie forestière nord-africaine. Tome 4 : Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Larose. Paris. 483 p.
- Bouhraoua R., 2002. Contribution à l'étude de l'entomofaune du genre *Quercus*, thèse de doctorat d'État, Université de Tlemcen.
- Bouhraoua R. T., Villemant C., Khelil M. A., et Bouchaour S., 2002. Situation sanitaire de quelques subéraies de l'ouest algérien : Impact des xylophages. Integrated Protection in Oak Forest. IOBC/ wprs Bull. 25 (5): 85-92 pp.
- Bouhraoua R. T., 2003. Situation sanitaire de quelques forêts de chêne liège de l'ouest algérien : étude particulière des problèmes posés par les insectes. Thèse de doctorat. Univ. Tlemcen. 267 p.
- Bouhraoua R. T., et Villemant C., 2005. Mécanismes généraux de l'altération sanitaire des peuplements de chêne-liège de l'Algérie nord-occidentale. Integrated Protection in Oak Forest. IOBC/ wprs Bull. 28 (8). 1-8 pp.
- Bouhraoua R.T., 2008: Aperçu historique et situation actuelle des subéraies : la forêt de M'Sila (Oran). La forêt algérienne, Numéro 7- Mars 2008 : 23-29 pp.
- Bouvarel P., 1984. Le Dépérissement des forêts attribué à la pollution atmosphérique . La situation en France à l'été 1984 .Le Courrier de la Nature, n " 94, 1984, 30-35 pp .
- Boyer J. S., 1995. Biochemical and biophysical aspects of water deficits and the predisposition to disease. *Annual review of phytopathology*, 33(1): 251-274 pp.
- Branco M., Bragança H., Sousa E., et Philips A.J.L. 2014. Pests and diseases in Portuguese forestry: current and new threats. In: F Reboredo (ed), Forest Context and Policies in Portugal. World Forests 19, Springer International Publishing Switzerland, 117-154 pp.

- Brasier C. M., 1991. Survey on widespread oak mortality in Spain, 13-17 May 1991 conducted on behalf of ICONA and the direction general de la Sanidad de la Producción Agraria (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) Madrid, Report on isolation of *Phytophthora cinnamomi*. 4 p.
- Brasier C. M., 1992a. *Phytophthora cinnamomi* involved in Mediterranean oak decline. Report n Forest Research. HMSO. London. 39p.
- Brasier C. M., 1992 b. Oak tree mortality in Iberia. *Nature Lond* 360, 539 p.
- Brasier C. M., 1993. *Phytophthora cinnamomi* as a contributory factor on European oak declines. In: Recent advances in studies on Oak decline (Luisi N., Vannini A., eds), 49-58 pp.
- Brasier C. M. et Ferraz J. F. P., 1993. Evidence for *Phytophthora cinnamomi* involvement in Iberian oak decline. *Plant Pathology*. 42: 140-145 pp.
- Brasier C. M., Hamm P. B. et Hansen E. M., 1993a. Cultural characteristics, protein patterns and unusual mating behaviour of *Phytophthora gonapodyides* isolates from Britain and North America. *Mycological Research*. 97: 1287-1298 pp.
- Brasier C. M., Robredo F. et Ferraz J. F. P., 1993b. Evidence for *Phytophthora cinnamomi* involvement in Iberian oak decline. *Plant Pathology*. 42: 140-145 pp.
- Brasier C.M., Sanchez-Hernandez E., et Kirk S.A., 2003. *Phytophthora inundata* sp. nov., a part heterothallic pathogen of trees and shrubs in wet or flooded soils. *Mycological Research*. Elsevier. 107(4):477-484 pp. <https://doi.org/10.1017/S0953756203007548>
- Bricheteau J., 1954. Esquisse pédologique de la région de Tlemcen Terni. *Inst. Ar. serv. Rech. Exp. Agr. Algerie*. 28 p.
- Brouillard C., 2013. Les maladies cryptogamiques et caractéristiques. (En ligne). P consulté le 31.05.2014. Adresse URL <http://www/rustica.fr/article/Jardin/maladies-et-parasites/maladies-cryptogamiques.4104.html>
- Brown E. A, et Hendrix F. F., 1981. Pathogenicity and histopathology of *Botryosphaeria dothidea* on apple stems. *Phytopathology*. 71: 375-379 pp.
- Bussotti F., Ferrini F., Pollastrini M., et Fini A., 2014. The challenge of Mediterranean sclerophyllous vegetation under climate change: From acclimation to adaptation. *Environmental and Experimental Botany*, 103: 80-98 pp.
- Bustin S.A., 2000. Absolute quantification of mRNA using real-time reverse transcription polymerase chain reaction assays. *J Mol Endocrinol* 25: 169-193 pp.

## C

- Cabi et Eppo. 2022, *Biscogniauxia mediterranea*. [Distribution map]. 31 May 2022, Publication: Distribution Maps of Plant Diseases. <https://doi.org/10.1079/DMPD/20220233379>.
- Callan B. E., et Rogers J. D., 1986. Cultural characters and anamorphs of *Biscogniauxia* (= *Nummularia*) *marginata*, *B. dennisii*, and *B. repanda*. *Canad. J. Bot.* 64: 842-847 pp.
- Câmara M. S., 1930. Contributions and Mycoflorum husitaniae centuriae VIII. In IX anais do Instituto Superior de Agronomia, 3:84 p.
- Campos P. H., Daly-Hassen P., Ovand J., Oviedo L., et Chebil A., 2008a. Economics of cork oak forest multiple use: Application to Jerez and Itimí agroforestry systems study cases. In Mosquera-Losada M. R., Rigueiro-Rodríguez A. et McAdam J. eds. *Agroforestry in Europe. Series Advances in Agroforestry*. Springer, Dordrecht, The Netherlands. 269–295 pp.
- Candolfi-Arballo O., Valenzuela-Solano C., Gubler W. D. et HernándezMartínez R., 2010. Botryosphaeriaceae species associated with grapevine decline in Mexico. *Phytopathologia Mediterranea*. 49 : 105–106 pp.
- Cannon P.E. , Hawksworth D.L. et Sherwood-Pike M.A., 1985 . *The British Ascomycotina. An Annotated Checklist* , 302 - 302 . Slough , , UK : Commonwealth Agricultural Bureaux . *The Lichenologist* , 18 (3) : 298 - 299 pp. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0024282986000427>
- Capretti P., 1987. Association of *Leptographium (verticicladiella) serpens* and *Heterobasidion annosum* in *Pinus pinea* stands.in :7<sup>th</sup> Congress of Mediterranean Phytopathological Union. Granada, Spain. 195 p.
- Capretti P., et Mugnai L., 1987. Dissecamento di Cerro da *Hypoxylon mediterraneum* (De Not.) Mill. - *Inform. Fitopatol.* 37(6) : 39-41 .
- Capretti P., et Battisti A., 2007. Water stress and insect defoliation promote the colonization of *Quercus cerris* by the fungus *Biscogniauxia mediterranea*," *Forest Pathology*, vol. 37, no. 2, 129–135 pp.
- Carbone I., et Kohn L.M., 1999. A method for designing primer sets for speciation studies in filamentous ascomycetes. *Mycologia*. 91: 553–556 pp.

- Carroll G., 1988. Fungal endophytes in stems and leaves: from latent pathogen to mutualistic symbiont. *Ecology*, 69: 2-9 pp.
- Cavalier-Smith T., 1998: A revised six-kingdom system of life. *Biological Reviews* 73: 203-266 pp.
- Cech T., Donoubauer E., Tomiczek C., Leontovyc R., Yde-Anderson A., Delatour C., Wulf A., Toth J., Vajna L., Vannini A., Luisi N., Oosterbaan A., Kowalski T., Gibbs J.N., et Jurc D. 1990. Oak decline and status of *Ophiostoma* spp. on oak in Europe. Fungi associated with oak decline. OEPP/EPPO Bulletin 20: 405-422 pp.
- Cesati V., et De Notaris G. 1863. Schema di classificazione degli sferiacei italici aschigeri piu' o meno appartenenti al genere *Sphaeria* nell'antico significato attribuitogli da Persoon. *Commentario della Società Crittogamologica Italiana* 1 4:177-240 pp.
- C.F.A., 1877. Croquis de la foret domaniale de M'Sila. Direction des affaires civiles et etrangeres, Departement d'Oran, Inspection d'Oran. 5 avril 1877.
- C.F.W.O., 1996. Forêts de la wilaya d'Oran présentation générale .Dir. Gén. For ., Min., Agri . 24 p.
- C.F.W.R 2017. Réhabilitation et valorisation de la subéraie. Conservation des forêts de Relizane, 9 p.
- C.F.W.R 2017. Conservation des forêt de la wilaya de Relizane, les cartes d'Etat majors.
- Chalabi B., 1998. Contribution à l'étude de l'importance des zones humides algériennes pour la protection de l'avifaune : cas du Lac Tonga (P.N.E.K.). Thèse de magister. INA, Alger, 133 p.
- Chaumont M., et Paquin C., 1971. Notice explicative de la carte pluviométrique de l'Algerie au 1/500 000. Societe d'Histoire Naturelle de l'Afrique du nord, Alger, 24 p.
- Chebil S., Fersi R., Yakoub A., Chenenaoui S., Chattaoui M., Melki I., Zemni H., Rhouma A., Durante G., Zacchi E., et Mliki A., 2014. First Report of *Botryosphaeria dothidea*, *Diplodia seriata*, and *Neofusicoccum luteum* Associated with Canker and Dieback of Grapevines in Tunisia. Read a special phytopathology issue. Vol. 98, no. 3. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-13-0530-PDN>.
- Cherubini P., Fontana G., Rigling D., Dobbertin M., Brang P., et Innes J.L., 2002. Tree-life history prior to death: two fungal root pathogens affect tree-ring growth

differently. *Journal of Ecology*. 90, 839 – 850. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2002.00715.x>

Clay K., et Schardl C., 2002. Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *Am Nat*; 160 : S99–127 pp.

Cobos J. M., Montoya R., et Tuset J. J., 1992. New damages of the *Quercus* woodlands in Spain. In: Proc. Int. Congr. Recent Advances in Studies on Oak Decline, Brindisi, Italy. 163-169 pp.

Cohen S. D., 2005. A protocol for direct sequencing of multiple gene specific PCR products from *Discula umbrinella*, a fungal endophyte, utilizing bufferless precast electrophoresis. *Journal of Microbiological Methods*, 61(1), 131–135 pp.

C.O.I.T., 1900. Fascicule de propriété de la forêt domaniale d'Hafir. Cantonnement de Tlemcen est, Non paginé.

C.O.I.T., 1933. Fascicule de propriété de la forêt domaniale de Béni Bou Said. Cantonnement de Tlemcen, Non paginé.

C.O.I.T., 1969. Conservation des forêts de la wilaya d'Oran (COIT). – Fascicule de gestion de la forêt domaniale de Hafir, circonscription de Tlemcen, 1969. non paginé.

Collado J., Platas G. et Peláez F., 2001. Identification of an endophytic *Nodulisporium* sp. from *Quercus ilex* in central Spain as the anamorph of *Biscogniauxia mediterranea* by rDNA sequence analysis and effect of different ecological factors on distribution of the fungus. *Mycologia* 93:875-886 .

Collado J., Gonzalo P. et Pelaez F., 2019. Identification of an endophytic *Nodulisporium* sp. from *Quercus ilex* in central Spain as the anamorph of *Biscogniauxia mediterranea* by rDNA sequence analysis and effect of different ecological factors on distribution of the fungus. *Mycologia*. Volume 93., 2001. Issue 5.

Cornet G., 1952. Étude hydrogéologique du bassin fermé des Zahrez Rharbi et Chergui. (XIXe congrès géologique international : La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie, t. 2. Données sur l'hydrogéologie algérienne. [s.n.]

Corre J. J., 1961. Une zone de terrains salés en bordure de l'étang de Mauguio : Etude du milieu et de la végétation. *Bull. Serv. Carte phytogéog.* Montpellier. 1961. Série B, 6, 2: 105-151 pp.

Costa A., et Oliveira A.C., 2001. Variation in cork production of the cork oak between two consecutive cork harvests. *Forestry*, Vol.74, N°4, 2001. 337-346 pp.

Costa D., Ramos V., Tavares M., Baptista P. et Lino-Neto T., 2022. Phylogenetic analysis and genetic diversity of the xylariaceous ascomycete *Biscogniauxia mediterranea* from cork oak forests in different bioclimates. *Scientific Reports* 12(2646). 1-13 pp.

Crous P., Slippers B., Wingfield M. J., Bernard C., Rheeder J., Walter F. O. Maras, Philips A., Alves A., Burgess T., Barber P., et Groenewald J. Z., 2006. Resolving phylogenetic lineages in the Botryosphaeriaceae. *Studies in Mycology*. 55: 235-253 pp.

Currie A.F., Wearn J., Hodgson S., Wendt H., Broughton S., Jin L., 2014. Foliar fungal endophytes in herbaceous plants: a marriage of convenience? In : *Advances in endophytic research* (Osono T.): 61–81 pp.

## D

Daget Ph., 1977. Le bioclimat méditerranéen, caractères généraux, méthodes de classification. *Végétation*. 34 : 1-20 pp.

Daget Ph., 1977a. Le bioclimat méditerranéen, caractères généraux, méthodes de classification. *Végétation*. 34, 1.1-20 pp.

Daget Ph., 1977b. Le bioclimat méditerranéen, analyse des formes par le système d'Emberger. *Végétation* 34, 2:78-124 pp.

Deacon J.W., 2005. *Fungal Biology*, (4ème édition), Wiley-Blackwell, 384 p.

De Bary A., 1866. *Morphologie und Physiologie der Pilze, Flechten und Myxomyceten*.

Debrach J., 1953. Note sur le climat du Maroc occidental. *Maroc médical* 32(342) : 1122-1134 pp.

Dehane B., 2006. Incidence des facteurs écologiques sur les accroissements de liège de quelques subéraies oranaises. *Mag. For. Dep. Forest. Fac. Sci., Univ. Tlemcen*, 130 p.

Dehane B., 2012. Incidence de l'état sanitaire des arbres de chêne - Liège sur des accroissements annuels et La qualité du liège de deux subéraies oranaises : M'sila ( W. Oran ) et Zariffet ( W.Tlemcen). Thèse de doctorat en foresterie, Université Abou-Baker-belkaid Tlemcen. 20-65 pp.

- De Hoog G. S., et Scheffer R. J., 1984. *Ceratocystis Versus Ophiostoma: A Reappraisal*. Mycologia.76(2). 292-299 pp.
- De Hoog G.S., 1993. Evolution of black yeasts: possible adaptation to the human host. *Antonie van Leeuwenhoek*. 63, 105–109. <https://doi.org/10.1007/BF00872386>.
- Deidda A., Linaldeddu B. T., Scanu B., Serra G., et Serra S., 2012. Fungal pathogens associated with grapevine trunk diseases in Sardinia (Italy). *Phytopathol Mediterr*. 51(2): 423 p.
- Delatour C., 1969. *Caliciopsis pinea*: further results of artificial inoculations. *Annales des sciences forestières*, 26(2), 285-295 pp.
- Denman S., Crous P. W., Taylor J. E., Kang J. C., Pascoe I., et Wingfield M. J., 2000. An overview of the taxonomic history of *Botryosphaeria*, and a re-evaluation of its anamorphs based on morphology and ITS rDNA phylogeny. *Stud Mycol*. 45:129– 140 pp.
- De Not. Sacc., 1882. *Nummularia mediterranea*. *Syll. Fung (Abellini)*1:400 p.
- De Not.,1853. *Sphaeria mediterranea*. *Mem. R. Accad. Sci. Torino, Ser. 2 (13)*:96 p .
- De Sousa S.M.N., 2003. Contribuição para o conhecimento das relações *Quercus suber-Biscogniauxia mediterranea* (syn. *Hypoxilon mediterraneum*). *Silva Lus*. 11: 21–29 pp.
- De Sousa E., El Antry Tazi S., Atay Kadiri Z. et Abourouh M., 2008. Problématique des subéraies dans le bassin méditerranéen. *Annales de la Recherche forestière au Maroc*. 39: 63-73 pp.
- Desprez-Loustau M., Marçais B., Nageleisen L.M., Piou D. et Vannini A., 2006. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Ann. For. Sci*. 63: 597-612 pp.
- De Vita P., Serrano M.S., Belbahri L., Garcia L.V., Ramo C., et Sanchez M.E., 2011. Germination of hyphal bodies of *Pythium spiculum* isolated from declining cork oaks at Doñana National Park (Spain). *Phytopathol. Mediterr*. 50:478-481 pp.
- Dhingra O. D. et Sinclair J. B., 1995. *Culture of Pathogens : In Basic Plant Pathology Methods*. 2nd edition. CRC Press. Boca Raton. 448 p.

Djabeur S., 2001- Diagnostic sanitaire de quelques subéraies de l'Ouest algérien. Etude particulière des principaux insectes ravageurs. Thèse. Mag. Dep. Forst. Fac. Sci. Univ. Tlemcen. 143 p.

Djebaili S., 1978. Recherches phytoécologiques et phytosociologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas Saharien Algérien., Thèse. Doct. Univ. Languedoc., Montpellier. 229 p + annexes.

Dreux P., 1974. Précis d'écologie. Presse Universitaires de France, Vendôme, 231p.

D.S.F., 1991. Réseaux de surveillance de l'état sanitaire des forêts (réseau CEE et réseau Bleu) : Protocole pour les observations. D.E.R.F, Min. Agri. For., 27 p.

Duchaufour P., 1977. Pédologie; t. I, Pédogenèse et classification, Paris, Masson, XVI et 477 p., 92 fig., 16 pi. phot, 17 x 24,5 cm, cartonné toile, 160 FF.

Durand J. H., 1954. Les sols d'Algérie. S.E.S. Alger. 243 p.

Durand C., Bellanger M. et Decoust M., 2004. Sanitary state of the Var cork oak forest; Impact of stripping and the presence of the *Platypus cylindrus* insect. Study and research work. Master's degree in Biology and Ecosystems. Aix-Marseille University.

Durieu et Mont., 1848. *Sphaeria sertata*. In Durieu, expl. Sci. Alg. Fl. Algér. 1(livr.12) :455 p.

Durieu et Mont. Mont., 1856. *Hypoxylon sertatum*. Syll.gen. sp. Crypt. (Paris) : 214 p.

## E

Egnacio M., Perez-Ramos M., et Maranon T., 2009. Effects of water logging on seed germination of three Mediterranean Oak species. Ecological implications. ELSEVIER, Actes Oecologica (35). 422-428 pp.

Elena M., 1992. Production et utilisation du liège en Estrémadure. Actes du colloque « les Subéraies méditerranéennes », Vives 1992 : 46-57 pp.

Elmi S., 1970. Rôles des accidents décrochant de direction SSW-NNE dans la structure des monts de Tlemcen (ouest Algérie). Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Univ. Alger. 61. 3-8 pp.

Emberger L., 1930. La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. Rev. Gen. Bot, 42. 705-721 pp.

- Emberger L., 1942. Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 77. 97-124 pp.
- Emberger L., 1955. Une classification biogéographique des climats. Natur. Monsp.l., Série Bot., 7 :3-42 pp.
- Ennajah A., Guibal F., Hanchi B., Mouillot F., et Garchi S., 2010. Croissance radiale du chêne-liège et climat en Tunisie. Sécheresse vol. 21, n° 1. 34-41 pp.
- Eriksson O.E. Site Web Myconet. 1998-2006. Systématique des Ascomycètes (ascomycètes lichénisés compris), 12 volumes en téléchargement libre sur la page suivante : <http://www.fieldmuseum.org/myconet/printed.asp>.
- Eriksson O.F., et Winka K., 1997. Supraordinal taxa of Ascomycota. Myconet 1(1), 1-16 pp.
- Español F., 1964. Los Platipodidos de Cataluña (Col. Phytophagoidea). Bol. Ser. Plagas For., 7: 115-117 pp.
- Evidente A., Andolfi A., Maddau L., Franceschini A., Marras F., 2005. Biscopyran, a phytotoxic hexasubstituted pyranopyran produced by *Biscogniauxia mediterranea*, a fungus pathogen of cork oak. J.Nat .Prod .68:568-571 pp.

## F

- Farr D. F., Bills G. F., Chamuris G. P., et Rossman A. Y., 1989. Fungi on plants and plant products in the United States. APS Press, St. Paul, MN. 1252 p.
- Felsenstein J., 1985. Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution* 39:783-791 pp.
- Fernández-Escobar R., Gallego F. J., Benlloch M., Membrillo J., Infante J., et Pérez de Algaba A., 1999. Treatment of oak decline using pressurized injection capsules of antifungal materials. Eur. J. Plant Pathol. 29:29-38 pp.
- Fournier J., Magni J.F., 2004. Pyrenomycetes of Southwestern France. "Main page of Hypoxylon".
- Fraedrich S.W., Harrington T.C., Rabaglia R.J., Ulyshen M.D., Mayfield A.E., Hanula, J.L., Eickwort J.M., et Miller D.R., 2008. A fungal symbiont of the redbay ambrosia beetle causes a lethal wilt in redbay and other Lauraceae in the southeastern United States. Plant Disease 92: 215-224 pp.

Franceschini A., Marras F., et Sechi C., 1993. Funghi segnalati sulla Quercia da sughero (*Quercus suber* L.). Collana biologica N°3. Stazione Sperimentale del Sughero, Tempio Pausania, Italie.

Franceschini A., Corda P., Maddau L., Sechi C., et Ruiu P. A., 1999. Manifestations de dépérissement du chêne-liège en Sardaigne (Italy). -IOBC/wprs Bull. 22 : 1-3 pp.

Franceschini A., Corda P., et Marras F., 2000. Fungi involved in oak decline. In: Ragazzi A. *et al.* (Eds.), Decline of oak species in Italy, problems and perspectives. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze : 99-113 pp.

Franceschini A., 2001. Problematiche sanitarie della Quercia da sughero in Sardegna e strategie di protezione. In Vincente C. O. Prospettive di sviluppo del comparto sughericolo in Barbagia- Mandrolisai. Cagliari. 51-61 pp.

Franceschini A., Maddau L., et Marras F., 2002. Incidence d'endophyte fongique impliqué dans le dépérissement du chêne liège. IOBC/wprs Bull. 25(5): 29-36 pp.

Franceschini A., Linaldeddu B.T., et Antoniapulina M., 2005. Epidemiological aspects of *Biscognauxia mediterranean* in declining cork oak forest in Sardinia (Italy). IOBC/wprs Bull. 28(8); 75-81 pp.

Franceschini A., et Luciano P., 2009. Main pests and diseases of cork oak forests in Sardinia. In: S Zapata (ed), Cork oak woodlands and cork industry: present, past and future. Museo del Suro da Palafrugell, Barcelona, 172-193 pp.

Fries E.M., 1821. *Systema mycologicum* I. Lunda. 520 p.

Fritts H., 1976. *Tree-rings and Climate*, Academic Press, New York, San Francisco:

Academic Press. 576 p.

Fuckel K.W.G.L., 1870. *Symbolae mycologicae*. Beiträge zur Kenntniss der rheinischen Pilze. *Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde* 23-24: 459 p.

Fuckel J.B., 1870. *Nummularia repandoides*. Nassau. Ver. Naturk. 23-24 :236 p.

Fuckel Kuntze., 1891. *Biscognauxia repandoides* [as' repandodes], Revis.gen. pl. (Leipzig) 2 :398 p.

## G

- Gachi M., Kerris T., et Saï K., 2011. Action des Insectes et des maladies cryptogamiques sur les forêts de chêne liège.
- Gallego F. J., Perez de Algaba A., et Fernandez-Escobar R., 1999. Etiology of oak decline in Spain. *European Journal of Forest Pathology*. 29 : 17-27 pp.
- Gaouar A., 1980. Hypothèses et réflexions sur la dégradation des écosystèmes forestiers dans la région de Tlemcen (Algérie). *For.médit.*2(2). 131-145 pp.
- Garolera E., 1988. Problèmes et perspectives de la production du liège en Catalogne espagnole. *For. médit.* 10(1), juillet 1988 : 160-161 pp.
- Garrett K., Dendy S., Frank E., Rouse M., et Travers S., 2006. Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. *Annual review of Phytopathology*, 44, 489-509 pp.
- Ghalem A., 2010. Caractérisation macroscopique du liège selon l'état sanitaire des arbres de deux suberaies oranaises : Zariéffet (W. Tlemcen) et M'Sila (W. Oran). These. Mag. Forest. Dpt Forest. Univ. Tlemcen, 136 p.
- Ghanbary E., Tabari Kouchaksaraei M., Mirabolfathy M., Modarres Sanavi S.A., et Rahaie M., 2017. Growth and physiological responses of *Quercus brantii* seedlings inoculated with *Biscogniauxia mediterranea* and *Obolarina persica* under drought stress. *For. Pathol.* 47(5):12353-12364 pp.
- Giambra S., Torta L., Scopel C., Causin R. et Burruano S., 2009: Primi studi su *Biscogniauxia mediterranea* in Sicilia Occidentale. Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Taormina (ME), 16-19 Ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze: 1394-1396 pp.
- Glass N. L., et Donaldson G. C., 1995. Development of primer sets designed for use with the PCR to amplify conserved genes from filamentous ascomycetes. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 1323-1330 pp.
- Gonthier P., Gennaro M., Nicolotti G., 2006. Effects of water stress on the endophyticmycota of *Quercus robur*. *Fungal Divers.* 21: 69-80 pp.
- Gourinard Y., 1958. recherche sur la région du littoral oranais. Pub. Service de la carte géologique de l'Algérie. Bull. n°6. 200 p.

Gramaje D., Agustí-Brisach C., Pérez-Sierra A., Moralejo E., Olmo D., Mostert L., Damm U. et Armengol J., 2012. Fungal trunk pathogens associated with wood decay of almond trees on Mallorca (Spain). *Persoonia*. 28:1-13 pp.

Granata G., et Sidoti A., 2004. *Biscogniauxia nummularia*: pathogenic agent of a beech decline. *Forest pathology* 34, 6, 363-367 pp - Blackwell publishing.

Guerin P., 1898. La présence d'un champignon dans l'ivraie. *J Bot.*

Guinberteau J., et Courtecuisse R., 1997. Diversité des champignons (surtout mycorhiziens) dans les écosystèmes forestiers actuels. *Revue forestière française*, 49 : 25- 39 pp.

Guyon P., 1998. Références forêt. Synthèse agricole. 2ème Ed, Mérignac (France). 296 p.

## H

Haber Kern K.E. , Illman B.L., et Raffa K.F., 2002. Bark beetles and fungal associates colonizing white spruce in the Great Lakes region. *Canadian Journal of Forest Research*. 32(7). <https://doi.org/10.1139/x02-033>.

Haimed M., 2007. Biodiversité fongique du Maroc: Etudes des champignons Basidiomycètes du Plateau Central et des Jardins Exotiques. Thèse de doctorat National en Sciences. Université Ibn Tofail. Maroc. 422 p.

Halimi A., 1980. L'Atlas blideen, climats et etages vegetaux, O.P.U., Alger, 523 p.

Hartmann G., et Blank R., 1992. Winterfrost, Kahlfrass und Prachtkäfer befall als Faktoren im Ursachenkomplex des Eichensterbens in Norddeutschland . *Forst und Holz*, n° 15, 1992, 443-452 pp .

Harrachi K., 2000. Investigation sur les causes de dépérissement du chêne liège.

Harrington T.C., 1981. Cycloheximide Sensitivity as a Taxonomic Character in *Ceratocystis*. *Mycologia*. 73 (6). Published online. 1123-1129 pp.

Harrington T.C., 1993. Diseases of conifers caused by *Ophiostoma* and *Leptographium*. 161-172 pp. In: Wingfield M.J., Seifert K.A., et Webber J.F., eds. *Ceratocystis and Ophiostoma. Taxonomy, ecology and pathogenicity*. APS Press, St. Paul, Minnesota.

- Harrington T.C., 2005. Ecology and evolution of mycophagous bark beetles and their fungal partners. 257-292 pp. In: Insect-Fungal Associations: Ecology and Evolution. Vega F.E., et Blackwell M., eds. Oxford University Press, Inc. New York.
- Hasnaoui F., Abbes C., Yacoubi W., et Hasnaoui B., 2006. Current state of cork oak dieback in the Kroumiriearea. Proceedings of the seminar Integrated management of cork oak and Aleppo pine forests. Ann. INRGREF, N° 09, (T.1), Hammamet 15-17 November 2006, Tunisia: 166-184 pp.
- Hausner G., et Reid J., 2003. Notes on *Ceratocystis brunnea* and some other *Ophiostoma* species based on partial ribosomal DNA sequence analysis. Canadian Journal of Botany. 81(8). <https://doi.org/10.1139/b03-080>.
- Hecht-Poinar E. I., et Parmeter J. R., 1986. *Cryptocline cinerescens* and *Discula quercina* causing twig blight of oaks in California. Plant Disease, Vol. 70(8), 800 p. ref. 2
- Henriques J., 2007. Fungi associated with *Platypus cylindrus* Fab. (Coleoptera: Platypodidae) and its relationship with the decline of the cork oak in Portugal. Master in Biology of Plant Disease Pests. University of Evora- Portugal, 122 p.
- Henriques J., Inacio M. L., Lima A., et Sousa E., 2012. New outbreaks of charcoal canker on young cork oak trees in Portugal," IOBC-WPRS Bulletin, vol. 76, 85-88 pp.
- Henriques J., Barrento M. J., Bonifacio L., Gomes A. A., Lima A., et Sousa E., 2014. Factors affecting the dispersion of *Biscogniauxia mediterranea* in Portuguese cork oak stands," *Silva Lusitana*, vol. 22, no. 1, 83-97 pp.
- Henriques J., Barrento M. J., Bonifácio L., Gomes A. A., Lima A., et Sousa E., 2014a. Factors affecting the dispersion of *Biscogniauxia mediterranea* in Portuguese cork oak stands. *Silva Lusitana*, 22(1), 83-97 pp.
- Henriques J., Nóbrega F., Sousa E., et Lima A., 2014b. Diversity of *Biscogniauxia mediterranea* within single stromata on cork oak. *Journal of Mycology*, article ID 324349. doi:10.1155/2014/324349.
- Henrique J., 2015. Charcoal canker (*Biscogniauxia mediterranea*) In cork oak decline in Portugal. Thèse de doctorat en génie forestier et des ressources naturelles. Université de Lisboa-Portugal. 124 p.
- Henriques J., Nóbrega F., Sousa E., Arlando L., 2015. Morphological and genetic diversity of *Biscogniauxia mediterranea* associated to *Quercus suber* in the Mediterranean Basin. *Revista de Ciências Agrárias*. 38(2): 166-175 pp.

Henriques J., Nóbrega F., Sousa E., et Lima A., 2016. Analysis of the genetic diversity and phylogenetic relationships of *Biscogniauxia mediterranea* isolates associated with cork oak. *Phytoparasitica*. 44:19–34 pp. (DOI 10.1007/s12600-015-0503-0).

Hepting G. H., 1971. Diseases of forest and shade trees of the United States. U.S. Dept. Agric., Agric. Handb. 386. 658 pp.

Heuser T., et Zimmer W., 2003. Genus- and isolate-specific realtime PCR quantification of *Erwinia* on leaf surfaces of English oaks (*Quercus robur* L.). *Curr Microbiol* 47, 214–219 pp.

Hibbett D.S., Binder M., Bischoff J.F., Blackwell M., Cannon P.F., Eriksson O. E., Huhndorf S., James T., Kirk P.M., Lücking R., Lumbsch H.T., Lutzoni F., Brandon Matheny P., McLaughlin D.J., Powell M.J., Redhead S., Schoch C.L., Spatafora J. W., Stalpers J.A., Vilgalys R., et Zhang N., 2007. A higher-level phylogenetic classification of the *Fungi*. *Mycological Research*. Elsevier. (111), Issue 5, 509-547 pp.

Hietala A.M., Eikenes M., Kvaalen H., Solheim H., et Fossdal C.G., 2003. Multiplex real-time PCR for monitoring *Heterobasidion annosum* colonization in Norway spruce clones that differ in disease resistance. *Appl Environ Microbiol* 69, 4413–4420 pp.

Higgins K.L., Arnold A.E., Miadlikowska J., Sarvate S.D., Lutzoni F., 2007. Phylogenetic relationships, host affinity, and geographic structure of boreal and arctic endophytes from three major plant lineages. *Mol Phylogenet Evol*; 42(2): 55–543 pp.

Hodgson S., de Cates C., Hodgson J., Morley N.J., Sutton B.C., Gange A.C., 2014. Vertical transmission of fungal endophytes is widespread in forbs. *Ecol Evol*; 4(8): 1199–208 pp.

Hsieh H., Ju Y., et Rogers J. D., 2005. Molecular phylogeny of *Hypoxyton* and closely related genera. *Mycologia*, 97(4), 844–865 pp.

## I

IML 2016. Guide de sylviculture du chêne liège dans les Pyrénées-Orientales. Institut méditerranéen du liège, Vives, France, 68 p.

Inácio M.L., Henriques J., Lima A., et Sousa E., 2008. Fungi *Raffaelea* genus (Ascomycota: Ophiostomatales) associated with *Platypus cylindrus* (Coleoptera : Platypodidae) in Portugal. *Revista de Ciências Agrárias* 31: 96-104 pp.

Inacio M. L., Henriques J., Guerra-Guimarães L., Gil - Azinheira H., Lima A. et Sousa E., 2011. *Platypus cylindrus* Fab. (Coleoptera: Platypodidae) transports *Biscogniauxia mediterranea*, agent of cork oak charcoal canker," *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, vol. 37. 181-186 pp.

Inácio M.L., Henriques J., Sousa E., 2011b. Contribution of symbiotic fungi to cork oak colonization by *Platypus cylindrus* (Coleoptera: Platypodidae). *Silva Lusitana* n° especial: 89-99 pp.

INRA, 2017 (ephytia.inra.fr)

## J

Jacobi W. R., Koski R. D., Harrington T. C., Witcosky J. J., 2007. Association of *Ophiostoma novo-ulmi* with *Scolytus schevyrewi* Semenov (Scolytidae) in Colorado. *Plant Dis.* 91, 245-247 pp.

Jacobs K. A., Alvarez I. F., et Luque J., 1992. Association of soil, site and stand factors with decline of *Quercus suber* in Catalonia, Spain. *Proceedings of Recent Advances in Studies on Oak Decline*: 193-203 pp.

Jacobs K., et Wingfield M. J., 2001. *Leptographium* species: tree pathogens, insect associates, and agents of blue-stain, Forestry and Agricultural Biotechnology Institute (FABI), University of Pretoria, Pretoria, South Africa, xiii + 207 pp.

Jacobs K., Bergdhal D.R., Wingfield M.J., Halik S., Seifert K.A. Bright D.E., et Wingfield B.D., 2004. *Leptographium wingfieldii* introduced into North America and found associated with exotic *Tomicus piniperda* and native bark beetles. *Mycol. Res.* 108: 411-418 pp.

Jiménez J.J., Sánchez M.E., et Trapero A., 2005a. *Quercus* I carbonaceous canker: distribution and characterization of the causative agent. *Plant Health Bulletin. pests*, vol. 31, n. 4, 549-562 pp.

Jiménez J.J., Sánchez M.E., et Trapero A., 2005b. *Quercus* III carbonaceous canker: Dispersal of ascospores of the causative agent. *Plant Health Bulletin. pests*, vol. 31, n. 4, 577-585 pp.

Jiménez J. J., Sánchez M. E., et Trapero A., 2005c. El cancro carbonoso de *Quercus* II: Patogenicidad de *Biscogniauxia mediterranea*. *Bol San Veg Plagas.* 31:563-575 pp.

Jong S.C., Rogers J.D., 1972. Illustrations and descriptions of conidial states of some *Hypoxyton* species. Washington Agricultural Experiment Station. Technical Bull. 71: 1-51 pp (cit in Collado et al., 2001).

- Ju Y. M., et Rogers J. D., 1996. A revision of the genus *Hypoxylon*. Mycological Memoir No. 20, APS Press, Minnesota, 365 p.
- Ju Y. M., Rogers J. D., San Martin F., et Granmo A., 1998. The genus *Biscogniauxia*. Mycotaxon, 66-98 pp.
- Ju Y. M., Rogers J.D., 2001. New and interesting *Biscogniauxia* taxa, with a key to the world species. – Mycol. Res. 105: 1123-1133 pp.
- Jung T., Blaschke H., et Neumann P., 1996. Isolation, identification and pathogenicity of *Phytophthora* species from declining oak stands. Eur. J. For. Path. 26: 253-272 pp.
- Jung T., Cooke D. E. L., Blaschke H., Duncan J. M., et Osswald W., 1999a. *Phytophthora quercina* sp. nov., causing root rot of European oak. Mycol. Res. 103: 253- 272 pp.
- Jung T., Blaschke H., et Obwald W., 1999b. Involvement *Phytophthora* species in central and western European oak decline and the influence of site factors and nitrogen input on the disease. In Hansen E. M. et Sutton W. *Phytophthora. Diseases of Forest Trees*. USA. 28-33 pp.
- Jurc D., et Ogris N., 2006. First reported out break of charcoal disease caused by *Biscogniauxia mediterranea* on Turkey oak in Slovenia. *Plant Pathology*. vol 55:299-299 pp.

## K

- Kaltenbach T., 2007. The decline of cork oak (*Quercus suber*) and Holm oak (*Quercus ilex/ rotundifolia*) in south Western Portugal. Diploma thesis at the departement of forestry at the Highschool of Applied science and Art (HAWK) Göttingen, Germany. 62 p.
- kandel S. L., Joubert P. M., et Doty S. L., 2017. Bacterial Endophyte Colonization and Distribution within Plants. *Microorganisms* , 5(4), 77 p. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5040077>.
- kazemzadeh-chakusary M., Mohammadi H., et Sohrabi M., 2020. Occurrence and pathogenicity of *Jattaea algeriensis* (Calosphaeriales, Calosphaeriaceae) and *Biscogniauxia mediterranea* on forest trees in Guilan Province (Iran). *Journal of phytopathology*. Vol 169(2): 129-138 pp.
- Kazi-Tani L., 1996. Esquisse pédologique des zones à vocation forestière (monts des Traras et monts de Tlemcen). Mém. Ing. Dep. Forst. Fac. Sci. Univ. Tlemcen. 68p.

- Khouja M.L., Ben Jamaa M.L., Franceschini A., Khaldi A., Nouri N., Sellemi H., et Hamrouni L., 2010. Observations on tree decline of different cork oak (*Quercus suber* L.) provenances in the experimental site of Tebaba, North-western Tunisia. *IOBC/wprs Bulletin*, vol.57, 53-59 pp.
- Kim K. W., Park E. W., et Ahn K. K., 1999. Pre-penetration behavior of *Botryosphaeria dothidea* on apple fruits. *Plant Pathology Journal*. 15: 223–227 pp.
- Kimura M., 1980. A simple method for estimating evolutionary rate of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *Journal of Molecular Evolution* 16:111-120 pp.
- Keller N.P., Turner G., et Bennett J.W., 2005. Fungal secondary metabolism – from biochemistry to genomics. *Nat Rev Microbiol*; 3(12): 47–937 pp.
- Kelly A. G., Bainbridge B. W., Heale J. B., Perez-Artes E. et Jimenez-Diaz R. M., 1998. *In planta*-polymerase-chain-reaction detection of the wilt-inducing pathotype of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Physiological and Molecular Plant Pathology* 52: 397-409 pp.
- Kendrick B. W., 1962. Soil fungi of a copper swamp. *Can. J. Microbiol.* 8, 639–647 pp.
- Kendrick B. W., 2000. The fifth kingdom. 3th ed. Mycologue Publications. 373 p. Newburyport, MA, USA.
- Kerris T., Sai K., Chaibeddra F., et Azouaoui G., 2008. [En ligne] <http://www.hacharate-dz.info/-PRIVATE/armillaire.html> consulter le 26/03/2013 à 17-23.
- Klepzigl K.D., Moserl J.C., Lombardero F.J., Hofstetter R.W., et Ayres M.P., 2001. Symbiosis and Competition: Complex Interactions Among Beetles, Fungi and Mites. *Symbiosis*, 30. 83-96 pp.
- Kubono T., et Ito S., 2002. *Raffaelea quercivora* sp. nov. associated with mass mortality of Japanese oak, and the ambrosia beetle (*Platypus quercivorus*). *Mycoscience*. 43: 255-260 pp.
- Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., et Tamura K., 2018. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution* 35:1547-1549 pp.
- Kuntze O., 1981. *Revisio generum plantarum*. 2:375-1011 pp; Fiches de Jean Mornaud.

Kusari S., Hertweck C., Spiteller M., 2012. Chemical ecology of endophytic fungi : origins of secondary metabolites. *Chem Biol.* 19(7): 8–792 pp.

L

Laessøe T., 1994. Index Ascomycetum 1. *Xylariaceae*. *Systema Ascomycetum*, 13(1), 43-112 pp. ref. 17.

Landmann G., 1988. Les dépérissement des forêts attribué à la pollution atmosphérique à longue distance : Les réseaux d'observation et programme interministériel. Deforpa. La santé des forêts (France) en 1988, Min. Agr. For. DERF, Paris, 13-51 pp.

Lanier L., 1986. Deuxième rapport intérimaire de mission en pathologie forestière dans le cadre du projet PNUD/FAO. Alger, 83 p.

Lanier L., Phillips J.H., Hackett Jr., Tutt M., et kumar V., 1986. Natural killer cells: definition of a cell type rather than a function. *The journal of Immunology* 137 (9): 2735-2739 pp.

La Porta N., Capretti P., Thomsen I. M., Kasanen R., Hietala A. M., et von Weissenberg K., 2008. Forest pathogens with higher damage potential due to climate change in Europe," *Canadian Journal of Plant Pathology*, vol. 30, no. 2, 177–195 pp.

Lazzizzera C., Frisullo S., Alves A., Lopes J., et Phillips A. J. L., 2008. Phylogeny and morphology of *Diplodia* species on olives in southern Italy and description of *Diplodia olivarum*. *Fungal Divers.* 31: 63–71 pp.

Lee S. B., White T. J., et Taylor J. W., 1993. Detection of *Phytophthora* species by oligonucleotide hybridization to amplified ribosomal DNA spacers. *Phytopathology* 83: 177-181 pp.

Lee S., Kim J.J., Fung S., et Breuil C., 2003. A PCR-RFLP marker distinguishing *Ophiostoma clavigerum* from morphologically similar *Leptographium* species associated with bark beetles. *Can. J. Bot.* 81:1104-1112 pp.

Legrain M., 2002. Dictionnaire encyclopédique. Ed Larousse. France. 325 p, 1119, 1253.

Lescomplekt, 1983. Etude et projet pour la mise en valeur des terres, aménagement des forêts et parcs nationaux dans le massif Ouarsenis. Schéma directeur d'aménagement, Rapport, vol. I, Bulgarie, 342 p.

- Li W. C., Zhou J., Guo S. Y., et Guo L. D., 2007. Endophytic fungi associated with lichens in Baihua mountain of Beijing, China. *Fungal Diversity*. 25: 69-80 pp.
- Lieutier F., Vouland G., et Khouss T., 1992. Rapport de mission sur le dépérissement forestier en Algérie et rôle des insectes xylophages. Projet de coopération INRA France / INRF. Alger, 20 p.
- Lieutier F., et Levieux J., 1985. Les relations conifères-scolytides : importance et perspectives de recherches de Zoologie forest. *Ann. Sci. For.* 42(4). 359-370 pp.
- Levieux J., Lieutier F., Moser J. C., Perry T.J., 1989. Transportation of phytopathogenic fungi by the bark beetle *Ips sexdentatus* Boerner and associated mites. *Journal of Apply Entomology*. 108(1-5). 1-11 pp. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1989.tb00425.x>.
- Linnakoski R., De Beer Z.W., Rousi M., Soulheim H., et Wingfield M.J., 2009. *Ophiostoma denticiliatum* sp. nov. and other *Ophiostoma* species associated with the birch beetle in southern Norway. *Persoonia* 23: 9-15 pp.
- Linaldeddu B. T., Franceschini A., et Pulina M. A., 2005a. Epidemiological aspects of *Biscogniauxia mediterranea* in declining cork oak forests in Sardinia (Italy). *IOBC WPRS Bulletin*, 28(8): 75 p.
- Linaldeddu B. T., Scanu B., Schiaffino A., et Serra S., 2010. First report of *Neofusicoccum austral* associated with grapevine cordon dieback in Italy. *Phytopathol Mediterr.* 49(3): 417-420 pp.
- Linaldeddu B. T., Sirca C., Spano D., et Franceschini A., 2011. Variation of endophytic cork oak-associated fungal communities in relation to plant health and water stress. *Forest Pathology*, 41(3), 193-201 pp.
- Linaldeddu B. T., Franceschini A., Alves A., et Phillips A. J. L., 2013. *Diplodia quercivora* sp. nov.: a new species of *Diplodia* found on declining *Quercus canariensis* trees in Tunisia. *Mycologia*. 105: 1266-1274 pp.
- Linaldeddu B. T., Scanu B., Maddau L., et Franceschini A., 2014. *Diplodia corticola* and *Phytophthora cinnamomi*: the main pathogens involved in holm oak decline on Caprera Island (Italy). *For. Path.* 44: 191-200 pp.
- Linde C.C., Zhan J., McDonald B.A., 2002. Population structure of *Mycosphaerella graminicola*: from lesions to continents. *Phytopathology*. 92(9): 946-955 pp.

Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer M. J., et Marchetti M., 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*. 259(4): 698-709 pp.

Loukas A., 2006. Atlas des parcs nationaux Algériens. PNTE, DGF. Tissemsilet (Algérie). 96 p.

Lovic B. R., Martyn R. D. et Miller M. E., 1995. Sequence analysis of the ITS regions of rDNA in *Monosporascus* spp. To evaluate its potential for PCR-mediated detection. *Phytopathology* 85: 655-661 pp.

Luchi N., Capretti P., Pinzani P., Orlando C., et Pazzagli M., 2005. Realtime PCR detection of *Biscogniauxia mediterranea* in symptomless oak tissue. *The Society for Applied Microbiology*. vol 41: 61-68 pp.

Luciano P., 1995. Integrated Protection in cork-oak forests. *IOBC/wprs Bull.* 18(6): 114 pp.

Luciano P., et Prota R., 1995. Insect pests in Sardinian cork-oak forests. *Bulletin OILB/SROP*, 18(6), 1-7 pp. ref. 19

Luisi N., Lerario P., et Vannini A., 1993. Recent advances in studies on oak decline. *Proc. Int. Congress, Brindisi, Italy, September 13-18 pp,*

Luisi N., Manicone R. P., Trombetta N. M., et Cusano G., 1995. Predisposition to forest decline of some Mediterranean oaks in relation to drought resistance. *Italia Forestale e Montana*, 50(1), 44-59 pp. ref. 34

Luque J., et Girbal J., 1989. Dieback of cork oak (*Quercus suber*) in Catalonia (NE Spain) caused by *Botryosphaeria stevensii*. *Eur. J. For. Path.* 19: 7-13 pp.

Luque J., M. Cohen R., Save C., Biel, et Alvarez I. F., 1999. Effects of three fungal pathogens on water relations, chlorophyll fluorescence and growth of *Quercus suber* L. *Annals of Forest Science* 56: 19-26 pp.

Luque J., Parlade J., et Pera J., 2000. Pathogenicity of fungi isolated from *Quercus suber* in Catalonia (NE Spain). *Forest Pathol.* 30: 247-263 pp.

Luque J., Girbal J., Parlade J., et Pera J., 2001. El decaimiento del alcornoque en Cataluña: síntomas y hongos asociados. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 10:271-289 pp.

Luque J., Pera J., et Parlade J., 2008. Evaluation of fungicides for the control of *Botryosphaeria corticola* on cork oak in Catalonia (NE Spain). *Forest Pathol.* 38: 147–155 pp.

## M

Macara A.M., 1975. Estimativa em 1975. Dos prejuízos causados pelas principais doenças do sobreiro num montado da região ribatejana. *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais, Cortica* 444: 205-212 pp.

Maddau L., Franceschini A., Serra S., et Marras F., 2002. Influence of Aeration on Development and Productivity of Edible and Medicinal Mushroom *Pleurotus eryngii* (DC.: Fr.) Quel. (First Contribution). 4(1): 3 p. DOI: 10.1615/IntJMedMushr.v4.i1.70

Maddau L., Cabras A., Linaldeddu B. T., et Pagnozzi D., 2009. Occurrence and characterization of peptaibols from *Trichoderma citrinoviride*, an endophytic fungus of cork oak, using electrospray ionization quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Microbiology.* 155: 3371–3381 pp.

Magro P., et Vannini A., 1991. Hm degradative activity on *Quercus cerris*. Proceedings of the conference «Eitopathological aspects of *Quercus*», Florence, 381-391 pp.

Malençon G., et Marion J., 1951. Un parasite des subéraies Nord-Africaines l'*Hypoxyylon mediterraneum* (D. Ntrs) ces. Et D. Ntrs. 12.26.22 (61). Rabat. Maroc. 682- 686 pp.

Malençon G., et Marion J., 1952. L'*Hypoxyylon mediterraneum* et son comportement pathologique dans les chênaies nord-africaines. *Revue Mycologique Supplement Colonial* 27: 49-73 pp.

Marc H., 1916. Notes sur les forêts de l'Algérie, typographie, Adolphe Jourdan. 331 p.

Marçais B., et Desprez-Loustau M.L., 2014. European oak powdery mildew: impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change. *Ann. For. Sci.* 71:633- 642 pp.

Marras F., 1962a. Contributi alla patologia della quercia da sughero (*Quercus suber* L.). Malattie fogliari causate da funghi parassiti in Sardegna. Memorie della Stazione Sperimentale del Sughero, Tempio Pausania, Italy.

- Marras F., Franceschini A., et Sechi C., 1990. Stato attuale delle conoscenze sui miceti e sulle micosi della Quercia da sughero (*Quercus suber* L.) In Associazione Fitopatologia Italiana.: Aspetti Fitopatologici delle Querce. 47-62 pp.
- Marras W.S., Lavender S., Leurgans S., Fathallah F., Ferguson S., et Allread G., 1995. Biomechanical risk factors for occupationally related low back disorders. *Ergonomics*; 38:337-410 pp.
- Martin P. 1967a. Studies in the Xylariaceae: I. New and old concepts. *J. S. African Bot.* 33: 205-238 pp.
- Martin P. 1967b. Studies in the Xylariaceae: II. *Rosellinia* and the *Primo-cinerea* section of *Hypoxylon*. *J. S. African Bot.* 33: 315-328 pp.
- Martin P., 1969. Studies in the Xylariaceae: VI. *Daldinia*, *Nummulariola* and their allies. *S. Afr. J.Bot.* 35: 267-320 pp.
- Martín J., Cabezas J., Buyolo T., et Patón D., 2005. The relationship between *Cerambyx* spp. Damage and subsequent *Biscogniauxia mediterranea* infection on *Quercus suber* forests. *For. Ecol. Manage.* 216:166-174 pp.
- Martin N., 2007. Analyse spatiotemporelle des précipitations en Tunisie : implication sur le stress hydrique des écosystèmes Tunisiens. Rapport de stage. Maser 1. UST. Montpellier , UM II. 24 p.
- Mazzaglia A., Anselmi N., Vicario S., et Vannini A., 2001a. Sequence analysis of the 5.8S rDNA and ITS regions in evaluating genetic relationships among some species of *Hypoxylon* and related genera. *Mycol. Res.*, 105: 670-675 pp.
- Mazzaglia A., Anselmi N., Gasbarri A., et Vannini A., 2001b. Development of Polymerase Chain Reaction (PCR) assay for the specific detection of *Biscogniauxia mediterranea* living as an endophyte in oak tissues. *Mycol. Res.*, 105: 952-956 pp.
- Meddi H., et Meddi M., 2009. Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Secheresse*.N°20 (1). 57-65 pp.
- Messaoudene M., 2000. Réflexion sur la structure des peuplements de chêne liège (*Quercus suber* L.) en Algérie. *La forêt Algérienne*.3 : 5-9 pp.
- M'hamdia C., 2012. Etude des facteurs climatiques et édaphiques sur l'accélération du phénomène de dépérissement du chêne liège (*Quercus suber*) en Oranie (Algérie

nord-ouest) ,memoire de magister, faculte des sciences de l'universite djillali liabes de sidi-bel-abbes, 43 p.

M'hirit O., 1993. Biodiversité et conservation in situ au Maroc. Réseau des ressources phytogénétiques pour la zone de l'Asie et de l'Ouest et de l'Afrique du Nord, 4-8 Octobre, Smyrne.,Turquie. 5p.

M'hirit O., et Blerot P., 1999. Le grand livre de la forêt marocaine- Belgique. Pierre Margada. 230 p.

Michailides T. J., 1991. Pathogenicity, distribution, sources of inoculum and infection courts of *Botryosphaeria dothidea* on pistachio. *Phytopathology*. 81: 566–573 pp.

Miller J.H., 1961. A monograph of the world species of *Hypoxylon* Athens: Univ Georgia Press.

Mirabolfathy M., Groenewald J.Z. et W Crous P., 2011. The Occurrence of Charcoal Disease Caused by *Biscogniauxia mediterranea* on Chestnut-Leaved Oak (*Quercus castaneifolia*) in the Golestan Forests of Iran. *The American Phytopathological Society*. vol 95(7): 876 p.

Mirabolfathy M., Ju Y.M., Hsieh H.M., et Rogers J.D., 2013. *Obolarina persica* sp. nov., associated with dying *Quercus* in Iran. *Mycoscience*. 54(5):315–320 pp.

Mirabolfathy M., Groenewald J., et Crous P., 2013. The occurrence of charcoal disease caused by *Biscogniauxia mediterranea* on chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia*) in the Golestan Forests of Iran. *Plant disease*, 95, 3539 p.

Mirault J., 1996. État de santé des forêts méditerranéennes françaises : cas du chêne-liège, du pin d'alep et du cèdre de l'Atlas. – In : Colloque sur le dépérissement des forêts au Maroc, Rabat, Résumés des communications.

Molot B., Larignon P., et Coarer M., 2006. Black Dead Arm. De nouvelles pistes.

Montoya O. J. M., 1988. Los Alcornocales. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentacion. Serie Manuales Técnicos. SEA. Madrid. 155 p.

Moore R. T., 1980. Taxonomoc proposals for the classification of marine yeasts and other yeasts-like fungi including the smuts. *Bot. Mar*. 23 (6): 361-373 pp.

Morales A., Latorre B. A., Piontelli E., et Besoain X., 2012. Botryosphaeriaceae species affecting table grapes vineyards in Chile and cultivar susceptibility. *Cienc Investig Agrar.* 39: 445–458 pp.

Morelet M., 1998. Une espèce nouvelle de *Raffaelea*, isolée de *Platypus cylindrus*, coléoptère xylomycétophage des chênes. *Annales de la Société des Sciences Naturelles et d'Archéologie de Toulon et du Var* 50: 185-193 pp.

Moricca S., et Ragazzi A., 2000: Molecular markers and oak decline: how new diagnostic techniques can be used to address this multifaceted problem. In: "Decline of oak species in Italy- Problems and perspectives". *Acc. Ital. Sci. For.:* 187-215 pp.

Moricca S., et Ragazzi A., 2008. Endophytes fongiques dans les forêts de chênes méditerranéens: une leçon de *Discula quercina*. *Phytopathologie.* 98: 380-386 pp.

Moricca S., et Ragazzi A., 2011. The Holomorph *Apiognomonina quercina*/*Discula quercina* as a Pathogen/Endophyte in oak. Pages 47-66 in: *Endophytes of Forest Trees: Biology, and Application.* A. M. Pirttila and A. C. Frank, eds. *Forestry Sciences* 80, Springer Science + Business Media B.V., Dordrecht, Netherlands.

Moricca S., Ginetti B., et Ragazzi A., 2012. Species and organ-specificity in endophytes colonizing healthy and declining mediterranean oaks. *Phytopathologia mediterranea.* 51(3), 587-598 pp.

Moricca S., Ginetti B. T. B., Scanu B., Franceschini A., et Ragazzi A., 2016. Endemic and emerging pathogens threatening cork oak trees: Management options for conserving a unique forest ecosystem. *Plant Dis.* , 100: 2184–2193 pp.

Musset R., 1935. Les régimes pluviométriques de la France de l'ouest. V0 XLIV. 311-331 pp.

## N

Nageleisen L.M., et Hett P., 1989. Les problèmes entomologiques, pathologiques et physiologiques: Les feuillus. *La Santé des Forêts [France] en 1989*, Min. Agri. Pêche (DERF), Paris : 14-16 pp.

Nageleissen L.M., Maugard F., Mirault J., et De Villebonne D., 1990. Les dépérissements d'essences feuillues. *La Santé des forêts (France) en 1990.* – Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Paris : 22-25 pp.

Nannfeldt J. A., 1932. Studien über die Morphologie und Systematik der nicht-lichenisierten inoperculaten Discomyceten. *Nova Acta Reg. Soc. Sci. Upsal., Ser. IV, 8*, 81-173 pp.

Nasraoui B., 2006. Les champignons parasites des plantes cultivés, chapitre 3 et 4 : 320-447 pp.

Natividade J. V., 1950. Subericultura. 1<sup>a</sup> ed. Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação. Direcção-Geral das Florestas e Aquícolas. Lisboa. 387p.

Natividade J. V., 1956. Subériculture. ED Française de l'ouvrage Portugais Subériculture. E.N.E.F. (Nancy). 303 p.

Navarro R.M., et Fernandez P., 2000. The holm oak dry syndrome. Solution proposal for the valley of lon pedroches. Ricardo Delgado Vizcaino Foundation, Pozoblanco, Cordoba.

Nicholson P., Simpson D. R., Weston G., Rezanoor H. N., Lees A. K., Parry D. W., et Joyce D., 1998. Detection and quanti@cation of *Fusarium culmorum* and *Fusarium graminearum* in cereals using PCR assays. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 53: 17-37 pp.

Nugent L. K., Sihanonth P., Thienhirun S., et Whalley J. S., 2005. Biscogniauxia: a genus of latent invaders. *Mycologist* 19(1): 40-43 pp.

## O

O'Brien H.E., Parrent J.L., Jackson J.A., Moncalvo J.M., et Vilgalys R., 2005. Fungal community analysis by large-scale sequencing of environmental samples. *Applied and environmental microbiology*, 71(9): 5544-5550 pp.

Okada G., Jacobs K., Kirisits T., Louis-Seize G.W., Seifert K.A., Sugita T., Takematsu A., Wingfeild M.J., Seifert K.A., Takematsu A., Yamaoka Y., Miyazaki S., Tubaki K., 1998. A molecular phylogenetic reappraisal of the Graphium complex based on 18S rDNA sequences. *Can J Bot.* 76: 1495-1506 pp.

Oliva M., Molinas M.L.L., 1984. Incidencia de *Hypoxylon mediterraneum* en los alcornoques gerundenses. *Bol. Estac. Cent. Ecol.* 25: 9-16 pp.

Orlando C., Pinzani P., et Pazzagli M., 1998. Developments in quantitative PCR. *Clin Chem Lab Med* 36: 255-269 pp.

## P

- Paine T.D., Raffa K.F., et Harrington T.C., 1997. Interactions among scolytid bark beetles, their associated fungi, and live host conifers. *Annual Review of Entomology*. 48:179-206 pp.
- Palou L., Besada C., Montesinos-Herrero C., et Taberner V., 2013. Postharvest fruit rot of persimmon (*Diospyros Kaki*) in Spain caused by *Lasiodiplodia theobromae* and *Neofusicoccum* spp. *Journal of Pathology*. 161(9).
- Paoletti E., Anselmi N., et Franceschini A., 2007. Pre-Exposure to ozone predisposes oak leaves to attacks by *Diplodia corticola* and *Biscognauxia mediterranea*. Italy. *The scientific world journal*.
- Paulin-Mahady A.E., Harrington T.C., et McNew D., 2002. Phylogenetic and taxonomic evaluation of *Chalara*, *Chalaropsis*, and *Thielaviopsis* anamorphs associated with *Ceratocysti*. *Mycologia*. 94(1). 62-72 pp. <https://doi.org/10.1080/15572536.2003.11833249>.
- Peláez F., González V., Platas G., Sánchez-Ballesteros J., et Rubio V., 2008. Molecular phylogenetic studies within the Xylariaceae based on ribosomal DNA sequences. *Fungal Diversity*, 31, 111-134 pp.
- Pérez-Sierra A., López-García C., León M., García-Jiménez J., et AbadCampos P., 2013. Previously unrecorded low temperature *Phytophthora* species associated with *Quercus* decline in a Mediterranean forest in Eastern Spain. *Forest Pathology*. 43: 331-339 pp.
- Peter O., Bram V.N., 2005. *La culture des champignons*.
- Petrini L.E., Petrini O., 1985. Xylariaceous fungi as endophytes. *Sydowia* 38: 216-234 pp.
- Petrini O., 1991. Fungal endophytes of tree leaves. In: Fokkema NJ, van den Heuvel I (eds) *Microbial ecology of the leaves*. Cambridge University Press, Cambridge, p 185-187 pp.
- Petrak F., 1951. Results of a revision of the basic types of various ascomycetes and fungi imperfecti. II. CABI Databases. *Sydowia*, 5(3-6), 328-356 pp.
- Peyrimhoff D.E.P., 1941. *Carte forestière de l'Algérie et de la Tunisie*. Imp. Baconnier Frères, Alger., 70 p +Pls.

- Phillips A. J. L., Alves A., Pennycook S. R., Johnston P. R., et Ramaley A., 2008. Resolving the phylogenetic and taxonomic status of dark-spored teleomorph genera in the Botryosphaeriaceae. *Persoonia*. 21: 29–55 pp.
- Phillips A. J. L., Lopes J., Abdollahzadeh J., Bobev S., et Alves A., 2012. Resolving the *Diplodia* complex on apple and other Rosaceae hosts *Persoonia*. 29: 29- 38 pp.
- Phillips A. J. L., Alves A., Abdollahzadeh J., Slippers B., Wingfield M. J., Groenewald J. Z., et Crous P. W., 2013. The Botryosphaeriaceae: genera and species known from culture. *Stud Mycol*. 76: 51–167p.
- Pinzani P., Orlando C., Casini Raggi C., Distante V., Valanzano R., Tricarico C., Maggi M., Serio M., 2001. Type-2 somatostatin receptor mRNA levels in breast and colon cancer determined by a quantitative RT-PCR assay based on dual label fluorogenic probe and the TaqMan\_ technology. *Regul Pept* 99, 79–86 pp.
- Piontelli E., Palma M.A., Torelli L., 2006. *Ectinogonia buquetti* Spinola (Coleoptera) Vector de *Ophiostoma stenoceras* (Robak) Melin & Nannf. En Bosques de *Eucalyptus* de la V Region. *Bol. Micol.*, 21: 63-70 pp.
- Pitt W. M., Huang R., Steel C. C., et Savocchia S., 2010. Identification, distribution and current taxonomy of Botryosphaeriaceae species associated with grapevine decline in New South Wales and South Australia. *Aust J Grape Wine R* 16: 258–271 pp.
- P.N.T., 1999. Plan de gestion. Section A : Etude de milieu : approche descriptive et analytique .Parc National de Tlemcen. 134 p.
- P.N.T., 2014. Parc national de Tlemcen Algérie. Plan de gestion. 46p.
- P.N.T., 2017. Parc national de Tlemcen Algérie. Plan de gestion II. 108p.
- Promptuttha I., Jeewon R., Lumyong S., McKenzie E.H.C., et Hyde K.D., 2005. Ribosomal DNA fingerprinting in the identification of non sporulating endophytes from *Magnolia liliifera* (Magnoliaceae). *Fungal Diversity* 20: 167-186 pp.
- Pusey P. L., et Bertrand P. F., 1993. Seasonal infection of nonwounded peach bark by *Botryosphaeria dothidea*. *Phytopathology*. 83 : 825–829 pp.

## Q

Quezel P., 2000. Reflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis press, paris. 117p.

Quezel P., Medail F., 2003. Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen, Institut méditerranéen et de Paléoécologie (Imep, Umr CNRS 6116) Université d'Aix-Marseille III, Elsevier, 571 p.

## R

Ragazzi A., 1987. Il deperimento del bosco : uno sguardo ai querceti italiani . At. Conv. « Avversità del bosco e delle specie arboree da legno » Firenze. 153-162 pp.

Ragazzi A., Dellavalle Fedi I., Mesturino L., 1986. *Cronartium flaccidum* on *Pinus spp.*: relation of inoculum concentration to symptom development. European Journal of Forest Pathology. 16. 16-21 pp.

Ragazzi A., Fedi I. D., et Mesturino L., 1989. The oak decline: a new problem in Italy. European Journal of Forest Pathology, 19 (2), 105-110 pp. ref. 19

Ragazzi A., Moricca S., Dellavalle I., et Turco E., 2000 a. Italian expansion of oak decline. In: Ragazzi A., Dellavalle I., Moricca S., Capretti P., and Raddi P., eds. Decline of oak species in Italy – problems and perspectives. Florence, Italy: Italian Academy of Forest Sciences. 39–75 pp.

Ragazzi A., Moricca S., Capretti P., Dellavalle I., Mancini F., et Turco E., 2001. Endophytic fungi in *Quercus cerris*: isolation frequency in relation to phenological phase, tree health and the organ affected. Phytopathol. Mediterr. 40: 165-171 pp.

Ragazzi A., Moricca S., Dellavalle I., et Turco E., 2002. Variations in the pathogenicity of *Apiognomonina quercina* isolates from different hosts. J. Plant Dis. Prot. 109:578-588 pp.

Ragazzi A., Moricca S., et Dellavalle I., 2002. Current situation of oak decline in Italy and in other European countries. Bull. IOBC/WPRS. 25(5): 13-16 pp.

Ragazzi A., Turco E., Marianelli L., Dellavalle I., et Moricca S., 2007b. Disease gradient of the anthracnose agent *Apiognomonina quercina* in a natural oak stand. Phytopathol. Mediterr. 46:295-303 pp.

Raimondo M.L., Lops F., Carlucci A., 2016. Charcoal canker of pear, plum, and quince trees caused by *Biscogniauxia rosacearum* sp. nov. in Southern Italy. Plant. Dis 100:1813–1822 pp.

- Ravelomanantsoa S. H., 2004. Les endophytes d'*Eugenia jambolana* Lam. (MYRTACEAE) : un modèle de relation plante - microorganismes. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'études approfondies en biologie et écologie végétales, option : physiologie végétale. Université d'Antananarivo. 58 p + Annexes.
- Ruggiero M.A., Gordon D.P., Orrell T.M., Bailly N., Bourgoin T., Brusca R.C., Cavalier-Smith T., Guiry M.D., et Kirk P.M., 2015. A higher level classification of all living organisms. *Plos one* 10 (6): e0130114. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130114>.
- Renou V., 1842. Forêts de l'Algérie. Première partie : description. *Ann. Fores.*, 1 (30, août 1842) : 415-430 pp.
- Rieuf F., 1993. Clé d'identification des champignons rencontrés sur les plantes maraîchères. Station de pathologie végétale, Ed. Montavet, Paris, 72 p.
- Riffard O., Sisco S., Bernot Y., et Christophe J., 2008. Guide technique pour la gestion des forêts du chêne liège en Corse. ODARC. 52 p.
- Rivas Martinez S., 1982. Etage bioclimatiques, secteurs chronologiques et série de végétation de l'Espagne méditerranéenne. *Eco.med.* 8: 275-288 pp.
- Robin C., Desprez-Loustau M. L., Capron G., et Delatour C., 1998. First record of *Phytophthora cinnamomi* on oak and holm oaks in France and evidence of pathogenicity. *Ann. Sci. For.* 55 : 869-883 pp.
- Rodriguez R. J., White J.F., Arnold A.E., et Redman R.S., 2009. Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytol*; 182(2): 30-314 pp.
- Rogers L., 1953. *Phytopathologie des Pays Chauds*. Tome 2. Encyclopédie Mycologique 18. Paul Lechevalier, Paris. 1129-2256 pp.
- Rogers J. D., 1979. The Xylariaceae: systematic, biological and evolutionary aspects. *Mycologia* 71: 1-42 pp.
- Rogers J.D., Ju Y.M., San Martín F., 1997. *Jumillera* and *Whalleya*, new genera segregated from *Biscogniauxia*. *Mycotaxon* 64, 39-50 pp.
- Rogers J.D., Ju Y.M., 2002. *Ascovirgaria occulta* gen. et sp. nov., *Jumillera hawaiiensis* sp. nov., and *Lopadostoma hawaiianum* sp. nov. from Hawaii. *Canadian Journal of Botany* 80, 478- 481 pp.

## S

- Safae D., Khodaparast S.A., Mirabolfathy M., et Mousanejad S., 2017. A multiplex PCR-based technique for identification of *Biscogniauxia mediterranea* and *Obolarina persica* causing charcoal disease of oak trees in Zagros forests. *For Pathol* 47(3):12330 p.
- Sai K., et Chaibeddra F., 1996. Rapport préliminaire sur le dépérissement du chêne liège *Quercus suber* L dans la wilaya de Jijel. Direction des forêts, 7p.
- Sai K., 1997. Présence de deux champignons parasites de nos forêts : l'*Armillaria mellea* (Vahl.) Quèl. et, *Hypoxylon mediterraneum* (De Not.) Mill. Conférence journée d'étude CFATS - Jijel mai 1997. 13 p.
- Saikkonen K., Faeth S. H., Helander M., et Sullivan T. J., 1998. Endophytes fongiques: un continuum d'interactions avec les plantes hôtes . *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29: 319-343 pp.
- Saliba S., 2015. Nouvelle approches biotechnologiques pour l'obtention d'alcaloïdes : culture in vitro de *Leucojum aestivum* L et isolement d'endopytes bactériens d'*Amaryllidaceae*. Thèse de doctorat . Université de Lorraine.
- Samson R.A., Seifert K.A., Kuijpers A.F.A., Houbraken J.A.M.P., et Frisvad J.C. 2004. Phylogenetic analysis of *Penicillium* subgenus *Penicillium* using partial  $\beta$ -tubulin sequences. *Studies in Mycology (Utrecht)* 49: 175–200 pp.
- Samson R.A., Noonim P., Meijer M., Houbraken J., Frisvad J.C., et Varga J., 2007. Diagnostic tools to identify black aspergilla. *Studies in Mycology*, 59(1), 129-145(17) pp. <https://doi.org/10.3114/sim.2007.59.13>.
- Sánchez-Ballesteros J., González V., Salazar O., Acero J., Portal M.A., Julián M., Rubio V., Bills G.F., Polishook J.D., Platas G., Mochales S., et Peláez F., 2000. Phylogenetic study of *Hypoxylon* and related genera based on ribosomal ITS sequences. - *Mycologia* 92: 964–977 pp.
- Sanchez M. E., Caetano P., Ferraz J., et Trapero A., 2002. *Phytophthora* disease of *Quercus ilex* in southwestern Spain. *For. Path.* 32: 5–18 pp.
- San Martín González F., et Rogers J. D., 1993. *Biscogniauxia* and *Camillea* in Mexico. *Mycotaxon* 47: 229–258 pp.

- Santos S. M. N., 1995. Phytopathological situation of cork oak (*Quercus suber* L.) in Portugal. *Bulltin OILB SROP*, 18: 38-42 pp.
- Santos S. M. N., Machado M.H., Bragança M.H., Ramos H., Sousa E., et Tomaz I., 1999. Mycoflora associated with cork oak (*Quercus suber* L.) in Portugal. *IOBC/wprs Bulletin*, 22(3): 25-28 pp.
- Santos S. M. N., 2001. Charcoal disease. Institut Européen de la forêt cultivée. Projet : EUROSILVASUR. Groupe, Forest health [En ligne] [W3.pierroton.inra.fr/IEFC/bdd/patho/patho\\_affiche.pdp?id\\_fiche:37etlangue:Fr](http://W3.pierroton.inra.fr/IEFC/bdd/patho/patho_affiche.pdp?id_fiche:37etlangue:Fr)
- Santos S. M. N., 2003. Contribution to the Knowledge of *Quercus suber* - *Biscogniauxia mediterranea* (syn. *Hypoxylon mediterraneum*) Relationships. *Portugal Silva Lusitana*. 11(1) : 21-29 pp.
- Sauvagnac G., 1956. Les forêts domaniales d'Hafir et de Zariéffet. *Bull. Amis Soc vieux*.
- Scanu B., Linaldeddu B. T., Franceschini A., Anselmi N., et Vannini A., 2013. Occurrence of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak forests in Italy. *Forest Pathology*. 43: 340-343 pp.
- Schiaffino A., Franceschini A., Maddau L., et Serra S., 2002. Molecular characterization of *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) strains isolated from the declining trees of *Quercus suber* L. in Sardinia," *IOBC/wprs Bulletin*, vol. 25, no. 5, 37-40 pp.
- Seddaiu S., Sechi C., Linaldeddu B. T., Franceschini A., et Scanu B., 2014. Comparative aggressiveness of *Phytophthora* spp. to Mediterranean oaks. *IOBC WPRS Bull*. 101:117-124 pp.
- Seifert K.A., 1993. Sapstain of commercial lumber by species of *Ophiostoma* and *Ceratocystis*. 141-151 pp. In: *Ceratocystis and Ophiostoma: Taxonomy, Ecology and Pathogenicity*. M.J. Wingfield, K.A. Seifert, and J.F. Webber, Ed. American Phytopathological Press Edition, St. Paul, Minnesota, USA.
- Sélosse M. A., Gibert A., 2011. Des champignons qui dopent les plantes. *La Recherche*; Novembre : 72-5 pp.
- Seltzer P., 1946. Le climat de l'Algérie. *Inst. Météor. Et Phys. Du Globe. Univ. Alger*. 249 p.

- Serir A., 2017. Evaluation sanitaire et forestière de la subéraie d'ammi Moussa (wilaya de Relizane). *En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER en Foresterie*. Université de Tlemcen. 59 p + Annexes.
- Serrano M. S., De Vita P., Fernández-Rebollo P., Coelho A. C., Belbahri L., et Sánchez M. E., 2012 a. *Phytophthora cinnamomi* and *Pythiumspiculum* as main agents of *Quercus* decline in Southern Spain and Portugal. *IOBC WPRS Bull.* 76:97-100 pp.
- Serrano M. S., De Vita P., Fernández P., et Sánchez M. E., 2012. Calcium fertilizers induce soil suppressiveness to *Phytophthora cinnamomi* root rot of *Quercus ilex*. *Eur. J. Plant Pathol.* 132: 271-279 pp.
- Sidoti A., et Granata G., 2004. L'orniello (*Fraxinus ornus*): nuovo ospite di *Diplodia mutila*. *Inform Fitopatol* 2: 49-51 pp.
- Sinclair W. A., Marshall P. T., et Kemperman J., 1987. Mycoplasma infection found in four ash species in midwestern states. *Plant Disease*, 71(8), 761 p. ref. 2
- Sinclair W. A., et Lyon H. H., 2005. *Diseases of Trees and Shrubs Diseases of trees and shrubs*, No. Ed.2, xii + 660 p. ref. Many refs
- Six D.L., de Beer Z.W., Beaver R.A., Visser L., et Wingfield M.J., 2005. Exotic invasive elm bark beetle, *Scolytus kirschii*, detected in South Africa. *South African Journal of Science*, 101 (5): 229-232 pp.
- Slippers B., et Wingfield M. J., 2007. Botryosphaeriaceae as endophytes and latent pathogens of woody plants: diversity, ecology and impact. *Fungal Biol Rev.* 21: 90-106 pp.
- Smahi H., 2013. Contribution à l'étude des champignons associés au dépérissement des suberaies: cas de la forêt de M'sila à Oran (Nord-ouest algérien). *Mémoire de Master*. Univ. Tlemcen. 135 p.
- Smahi H., Belhoucine L., et Bouhraoua R. T., 2014. Observations préliminaires sur la diffusion du «charbon de la mère» dans un peuplement artificiel de chêne-liège in Algeria. *Integrated Protection in Oak Forests IOBC-WPRS Bulletin Vol 101:103-108 pp.*
- Smahi H., Belhoucine-Guezouli L., Franceschini A., et Scanu B., 2017a. *Phytophthora* species associated with cork oak decline in a Mediterranean forest in western Algeria. *IOBC-WPRS Bulletin Vol. 127: 123-129 pp.*

- Smahi H., Belhoucine-Guezouli L., Bouhraoua R. T., Franceschini A., et Linaldeddu B. T., 2018. First Report of Branch Canker and Dieback Caused by *Cryphonectria naterciae* on *Quercus suber* in Algeria. *Plant disease*. 102 (1) : 251p.
- Smahi H., 2019. Etude des maladies Cryptogamiques du chêne liège " *Quercus suber*" dans des subéraies de L'ouest algérien. Thèse de doctorat. Université Abu Bakr Belkaid Tlemcen. 260 p.
- Smith H., Kemp G. H. J., et Wingfield M. J., 1994. Canker and dieback of Eucalyptus in South Africa caused by *Botryosphaeria dothidea*. *Plant Pathol.* 43: 1031-1034 pp + annexes.
- Smith H., Wingfield M. J., Crous P. W., et Coutinho T. A., 1996a. *Sphaeropsis sapinea* and *Botryosphaeria dothidea* endophytic in *Pinus* spp. and *Eucalyptus* spp. in South Africa. *S Afr J Bot.* 62: 86-88 pp.
- Smith H., 2001. Biology of *Botryosphaeria dothidea* and *Sphaeropsis sapinea* as endophytes of Eucalypts and Pines in South Africa. PhD thesis. University of Pretoria.
- Soares B., Reis L., et Sousa L., 2011. Cork composites and their role in sustainable development. Elsevier, *Procedia Engineering* 10, (2011). 3214-3219 pp.
- Solla A., García L., Pérez A., Cordero A., Cubera E., Moreno G., 2009. Evaluating potassium phosphonate injections for the control of *Quercus ilex* decline in SW Spain: implications of low soil contamination by *Phytophthora cinnamomi* and low soil water content on the effectiveness of treatments. *Phytoparasitica.* 37, 303-316 pp. [doi:10.1007/s12600-009-0042-7].
- Soltner D., 1992. Les bases de la production végétale. Tome 2. 6ème édition. Sci et Tech.Agr. 320p.
- Soufiane B., 1998. Isolement à partir de la rhizosphère des conifères de bactéries et d'actinomycètes antagonistes aux champignons phytopathogènes. Mémoire pour le grade de mettre en science (M. Sc). Université Laval, 60 p.
- Sousa E., Debouzie D., et Pereira H., 1995. Le rôle de l'insecte *Platypus cylindrus* F. (Coleoptera, Platypodidae) dans le processus de dépérissement des peuplements de chêne-liège au Portugal. *IOBC/ wprs Bulletin*, 18: 24-37 pp.
- Sousa E., 1996. Contribution to the study of the population biology of *Platypus cylindrus* (Coleoptera: Platypodidae) in cork oak stands in Portugal. Doctoral thesis, Lyon, France, 153 p.

Sousa E., et Inacio M.L., 2005. New Aspects of *Platypus cylindrus* Fab. (Coleoptera :Platypodidae) Life History on Cork Oak Stands in Portugal. Entomological Research in Mediterranean Forest Ecosystems.F.Lieutier and D Ghaïoule (Eds), INRA Editions, 280 p.

Sousa E., Inacio M.L., El Antry S., Bakry M., et Kadiri Z.A., 2005. Comparaison de la bio-écologie et du comportement de l'insecte *Platypus cylindrus* Faber. (Coléoptère, Platypodidae) dans les subéraies Portugaises et Marocaines. IOBC-wprs Bulletin 28: 137-144 pp.

Sousa E Santos M., Varela M. C., et Henriques J., 2007. Perda de vigor dos montados de sobre e azinho: análise da situação e perspectivas (documentos síntese). DGREF, INRB, Lisboa, Portugal Natividade (1958) Fomento da subericultura, campanha de 1957. Bol cortiça. 235 p.

Spatafora J.W., et Bushley K.E., 2015. Phylogenomics and evolution of secondary metabolism in plant-associated fungi. *Curr Opin Plant Biol*; 26(JUNE): 37-44 pp.

Spiteller P., 2015. Chemical ecology of fungi. *Natural product reports*; 32(7): 971-93 pp.

Spooner B.M., 1986. New or rare British microfungi from Esher Common Surrey. *Transactions of the British Mycological Society (TBMS)*. Vol 86 (3): 401-408 pp.

Stadler M., et Hellwig V., 2005. Chemotaxonomy of the Xylariaceae and remarkable bioactive compounds from Xylariales and their associated asexual stages. *Recent Research Developments in Phytochemistry*, Vol. 9, 41-93 pp. ref. 189

Stewart P., 1969. Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique : quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 59 (1-4). 23-36 pp.

Stierle A., Strobel G., Stierle D., 1993. Taxol and taxane production by *Taxomyces andreanae*, an endophytic fungus of Pacific yew. *Science*; 260(5105): 6-214pp.

Swedjemark et Stenlid K., 2001. Variation in growth of *Heterobasidion annosum* among clones of *Picea abies* incubated for different periods of time. *Forest Pathology*. 31(3). 163-175 pp. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.2001.00238.x>.

## T

Tainter F. H., et Gubler W. D., 1973. Natural biological control of oak wilt in Arkansas. *Phytopathology* 63: 1027-1034 pp.

- Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipinski A., et Kumar S., 2013. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*, Volume 30, Issue 12, December 2013, 2725–2729 pp, <https://doi.org/10.1093/molbev/mst197>
- Tang A.M.C., Jeewon R., et Hyde K.D., 2009. A re-evaluation of the evolutionary relationships within the Xylariaceae based on ribosomal and protein-coding gene sequences. *Fungal Diversity*. 34: 127–155 pp.
- Taylor A., Hardy G., ES. T. J., Wood P., et Burgess T., 2005. Identification and pathogenicity of *Botryosphaeria* species associated with grapevine decline in Western Australia. *Australas Plant Pathol*. 34: 187-195 pp.
- Thintoin R., 1948. Les aspects physiques du Tell oranais, essai de morphologie de pays semi- aride. Thèse de Doctorat d'État, Université d'Alger. 639 p.
- Thompson J. D., Higgins D. G., et Gibson T. J., 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, positions-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research*, 22(22), 4673–4680 pp.
- Torres J., 1993. *Patología Forestal*. Mundi-Prensa, Madrid.
- Torres J., 1985. El *Hypoxyylon mediterraneum*. Y su compartaminto en las encineras andaluces. *Bol. Serv. Plagas*, 2:185-191 pp.
- Trapero J., et Jimenez L., 1985. Fungal wit and root rot of chickpea in southern Spain. *Phytopathology*, 75: 1146-1151 pp.
- Trout C. L., Ristaino J. B., Madtrich M., et Wangsomboondee T., 1997. Rapid detection of *Phytophthora infestans* in late blight-infected potato and tomato using PCR. *Plant Disease* 81: 1042-1048 pp.
- Tulasne L. R., Tulasne C., 1863. *Selecta Fungorum Carpologia*. 2. The Imperial Press.
- Turco E., Lozzi I., Calamai L., Marianelli L., Campaioli M., Dellavalle I., Capretti P., Ragazzi A., 2005. Growth of *Biscogniauxia mediterranea* and plant free amino acids: might correlation exist? *IOBC/wprs Bull*. 28: 83-89 pp.
- Twizeyimana M., McDonald V., Mayorquin J. S., Wang D. H., Na F., Akgul D. S., et Eskalen A., 2013. Effect of fungicide application on the management of avocado branch canker (formerly *Dothiorella* canker) in California. *Plant Dis*. 97: 897- 902 pp.

U

Uddin W., et Stevenson K. L., 1997. Pathogenicity of a species of *Phomopsis* causing a shoot blight on peach in Georgia and evaluation of possible infection courts. *Plant Disease*, 81(9), 983–989 pp.

Úrbez-Torres J. R., Leavitt G. M., Voegel T. M., et Gubler W. D., 2006. Identification and distribution of *Botryosphaeria* spp. associated with grapevine cankers in California. *Plant Dis.* 90: 1490–1503 pp.

Úrbez-Torres J. R., 2011. The status of *Botryosphaeriaceae* species infecting grapevine. *Phytopathol Mediterr.* 50: 5–45 pp.

Upadhyay H.P., 1981. A monograph of *Ceratocystis* and *Ceratocystiopsis*. University of Georgia Press, Athens, GA, 176 p.

V

Vajna L., 1986. Chancre de branche et dépérissement du chêne sessile (*Quercus Petrea*) en Hongrie causé par *Diplodia mutila*. I. identification du pathogène. *Revue européenne de pathologie forestière*. Vol.16 (4): 223-229 pp.

Van Niekerk J. M., Crous P. W., Groenewald J. Z., Fourie P. H., et Halleen F., 2004. DNA phylogeny, morphology and pathogenicity of *Botryosphaeria* species on grapevines. *Mycologia*. 96: 781–798 pp.

Vannini A., 1987. Osservazioni preliminari sul deperimento del cerro (*Quercus cerris* L.) nell'Alto Lazio. *Inf Fitopatol* 37, 54–59 pp.

Vannini A., et Mugnozza G.S., 1991. Water stress. A predisposing factor in the pathogenesis of *Hypoxylon mediterraneum* on *Quercus cerris*. *European Journal of Forest Pathology* 21: 193-201 pp.

Vannini A., et Valentini R., 1994. influence of water relations on *Quercus cerris*-*Hypoxylon mediterraneum* interaction: a model of drought-induced susceptibility to a weakness parasite. *Tree Physiology*. vol 14:129-139 pp.

Vannini M., Oluoch A., et Ruwa R.K., 1996. The tree-climbing crabs of Kenyan mangroves. In *Mangrove ecosystems case studies in Latin America and Africa*, edited by B. Kjerfve, B.L. DeLacerda and E.S. Diop, UNESCO Technical Papers in Marine Sciences (in press).

Vannini A., Biocca M., et Paparatti B., 1996a. Contribution to knowledge of the biological cycle of *Hypoxylon mediterraneum* su *Quercus cerris*. *Phytopathological Information*, 9: 53-55 pp.

Vannini A., Paganini P., et Anselmi N., 1996b. Factors affecting discharge and germination of ascospores of *Hypoxylon mediterraneum* (De Not) Mill,," *European Journal of Forest Pathology*, vol. 26, no. 1, 12-24 pp.

Vannini A., Valentini R., Luisi N., 1996 c. Impact of climatic changes and secondary stress factors on oak decline: effect of drought and *Hypoxylon mediterraneum* in the mediterranean region. *Ann. Sci. Forest.* (in press).

Vannini A., Mazzaglia A., et Anselmi N. 1999. Use of random amplified polymorphic DNA (RAPD) for detection of generic variation and proof of the heterothallic mating system in *Hypoxylon mediterraneum*. *European Journal of Plant Pathology* 29: 209-218 pp.

Vannini A., Lucero G., Anselmi N., et Vettraino A. M., 2009. Response of endophytic *Biscogniauxia mediterranea* to variation in leaf water potential of *Quercus cerris*. *Journal compilation Blackwell Verlag, Berlin*. 39: 8-14 pp.

Vasilyeva L.N., Stephenson S.L., et Miller A.N., 2007. Pyrenomycetes of the Great Smoky Mountains National Park. IV. *Biscogniauxia*, *Camaropella*, *Camarops*, *Camillea*, *Peridoxylon* and *Whalleya*. *Fungal Diversity* 25: 219-231 pp.

Venugopalan A., et Srivastava S., 2015. Endophytes as *in vitro* production platforms of high value plant secondary metabolites. *Biotechnology Advances*. Elsevier. 33(6), Part 1, 873-887 pp.

Vignes E., 1990. Le traitement du taillis du chêne dans le Var. O.N.F. *Arboréscence* n°26, 21- 23 pp.

Villemant C., 1999. Integrated protection in oak forests. *IOBC Wprs, Bull.* 22(3). 198 p.

Von Arx J. A., et Muller E., 1954. Die Gattungen der amerosporen Pyrenomyceten. *Beitraege zur Kryptogamenflora der Schweiz* 11: 1-434 pp.

## W

West J.S., 2014. *Plant Pathogen Dispersal*. In: eLS. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. <http://www.els.net> [doi: 10.1002/9780470015902.a0021272].

- Whalley A. J. S., et Edwards R. L., 1985. *Nummulariella marginata*: its conidial state, secondary metabolites and taxonomic relationships. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 85: 385–390 pp.
- Whalley A.J.S., 1996. The xylariaceous way of life. *Mycological Research* 100, 897-922 pp.
- White J.F., Reddy P.V., et Bacon C.W., 2000. Microbial endophytes : biotrophic endophytes of grasses : a systematic appraisal: 49–62 pp.
- White C. L., Halleen F., Fischer M., et Mostert L., 2011. Characterisation of the fungi associated with esca diseased grapevines in South Africa. *Phytopathologia Mediterranea*. 50: 204–223 pp.
- Wingfield M.J., Seifert K.A., Webber J.F., 1993. *Ophiostoma* and *Ceratocystis*: Taxonomy, Ecology and Pathogenicity. ST. Paul. Minnesot, USA: APS Press.
- Wingfield M.J., Benade E., Van Wyk P.S., et Visser C., 1995. Conidium development in *Ceratocystis autographa*. *Mycol Res.* 99: 1289-1294 pp.
- Winton L.M., Stone J.K., Watrud L.S., et Hansen E.M., 2002. Simultaneous one-tube quantification of host and pathogen DNA with real-time polymerase chain reaction. *Phytopathology* 92, 112–116 pp.

## Y

- Yamaoka Y., Wingfield M.J., Takahashi I., et Solheim H., 1997. Ophiostomatoid fungi associated with the spruce bark beetle *Ips typographus* f. *aponicus* in Japan. *Mycological Research* .101(10).1153-1280 pp.
- Yamaoka Y., Masuya H., Ohtaka N., Goto H., Kaneko S., et Kuroda Y., 2004. *Ophiostoma* species associated with bark beetles infesting three *Abies* species in Nikko, Japan. *J For Res.* 9, 67–74 pp. <https://doi.org/10.1007/s10310-003-0056-9>
- Yangui I., Zouaoui Boutiti M., Boussaid M., et Messaoud Ch., 2017. Essential oils of Myrtaceae species growing wild in Tunisia: Chemical variability and antifungal activity against *Biscogniauxia Mediterranea*, the causative agent of charcoal canker. *Chemistry and Biodiversity*. Vol 14(7): 1- 27 pp.
- Yangui I., Zouaoui Boutiti M., Vettraino A.M., Bruni N., Messaoud Ch., Vannini A., Ben Jamaa M.H., Boussaid M., et Messaoud C., 2019. *Biscogniauxia mediterranea* associated with cork oak (*Quercus suber*) in Tunisia: Relationships between phenotypic variation, genetic diversity and ecological factors. *Fungal Ecology* 41 : 224-233 pp.

Yangui I., Ben Jamaa M. L., Zouaoui Boutiti M., Vettraino A. M., Vannini A., et Messaoud C., 2021. Occurrence of *Biscogniauxiamediterranea* in cork oak stands in Tunisia. *Phytoparasitica* : 49:131–141 pp.

**Z**

Zabalgogea I., 2008. Review. Fungal endophytes and their interaction with plant pathogens. *Span. J. Agric. Res.* 6: 138-146 pp.

Zhong X. P., et Liang Z. C., 1990. *Diplodia* and *Botryosphaeria* root rot of Pines. *Journal of South China agricultural University*. Vol 11 (1): 43-49 pp.

Ziani-Cherif M., 2013, Caractérisation sanitaire et sylvicole d'un jeune peuplement artificiel de chêne liège en vue d'une utilisation durable de son liège : Cas de la forêt de M'Sila. Mémoire en vue d'obtention du diplôme de Magister en Foresterie. Université de Tlemcen. 103 p+ Annexes.

Zine M., 1992. Situation et perspectives d'avenir du liège en Algérie. Actes du colloque « les subéraies méditerranéennes », Vives: 98-107 pp.

---

## *ANNEXES*

---

## **Annexe 1. Milieu de culture**

### **PDA: Potato Dextrose Agar**

Potato dextrose agar (Difco) 39g  
Eau distillée 1000ml  
Autoclavé à 121 C° pendant 20 minutes.

### **MEA: Malt Extract Agar**

Malt extract (Oxoid CM0059) 50g  
Eau distillée 1000ml  
Autoclavé à 121 C° pendant 20 minutes.

## Resumé : "Etude des endophytes fongiques s'attaquant le chene liege "Quercus suber" dans les suberaies d'Algerie occidentale. Cas du : *Biscogniauxia mediterranea*" (De Not.) Kuntze.

Le *Biscogniauxia mediterranea* (syn. : *Hypoxyylon mediterraneum*) est l'un des agents pathogènes opportuniste de faiblesse connu pour sa pathogénicité pour nombreuses essences forestières en causant leur dépérissement. C'est l'agent du stroma charbonneux des troncs et des branches de *Quercus sp* surtout de *Quercus* souffrant déjà d'un stress hydrique. Il est répandu dans toute la région méditerranéenne surtout sur le chêne liège où il joue un rôle important dans son déclin en Europe et en Afrique du nord. La présente étude a été menée, pour la première fois en Algérie, entre 2017 et 2022 dans trois subéraies de l'ouest Algérien : M'sila (Oran), Hafir (Tlemcen) et Djebel Saadia (Relizane) dans un but (i) d'identifier l'espèce de *Biscogniauxia mediterranea* affectant le chêne-liège, et (ii) de tester son pouvoir pathogène de trois isolats de *B. mediterranea* provenant de trois subéraies des arbres symptomatiques du chêne-liège. Les résultats obtenus celle de taux d'infection du *Biscogniauxia mediterranea* dans l'ensemble de trois subéraies est de 4,8%, nous avons aussi testé certaines conditions de développement de ce champignon pour pouvoir lutter contre la maladie du charbon de la mère. Après l'isolement de *B. mediterranea* nous avons testé son développement à différentes températures, qui montre une meilleure croissance entre 25 C et 32.5 C°, et aussi l'effet antagoniste de ce champignon face à d'autres qui lui sont habituellement associés tels *Trichoderma harzianum* et *Botryosphéria corticola*. Nous notons sa croissance en présence de *Botryosphéria corticola* alors que *Trichoderma harzianum* l'inhibe. L'identification morphologique et moléculaire montre la présence de *Biscogniauxia mediterranea* associées à la nécrose des arbres. Concernant, La pathogénicité des isolats a été testé sur des jeunes plantules de *Q. suber* d'un an sous un régime hydrique stressé et non stressé, dans des conditions contrôlées (T°~ 19 à 24 °C). Après 30 jours d'inoculation, l'agressivité des isolats de *Biscogniauxia mediterranea* confirment leurs pathogénicités vers les semis de chêne-liège en provoquant des lésions nécrotiques sur la tige, dessèchement et chlorose des feuilles. Ceci a été déjà confirmé sur le genre *Quercus* par des études précédentes.

**Mots clés :** *Quercus suber*, dépérissement, *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze, identification morphologique et moléculaire, Algerie occidentale.

## Abstract: "Study of fungal endophytes attacking cork oak "Quercus suber" in the cork groves of western Algeria. Case of: *Biscogniauxia mediterranea*"(De Not.) Kuntze.

*Biscogniauxia mediterranea* (syn.: *Hypoxyylon mediterraneum*) is one of the weakest opportunistic pathogens known to cause dieback in many forest species. It is the agent of charcoal stroma on trunks and branches of *Quercus sp*, especially *Quercus* already suffering from water stress. It is widespread throughout the Mediterranean region, especially on cork oak, where it plays an important role in its decline in Europe and North Africa. The present study was carried out, for the first time in Algeria, between 2017 and 2022 in three subéraies in western Algeria: M'sila (Oran), Hafir (Tlemcen) and Djebel Saadia (Relizane) with the aim of (i) identifying the *Biscogniauxia mediterranea* species affecting cork oak, and (ii) testing the pathogenicity of three isolates of *B. mediterranea* isolates from three cork oak symptomatic groves. The results obtained showed that the infection rate of *Biscogniauxia mediterranea* in all three cork oak subéraies was 4.8%, and we also tested certain conditions for the development of this fungus in order to combat the mother smut disease. After isolating *B. mediterranea*, we tested its development at different temperatures, which showed better growth between 25 C and 32.5 C°, and also the antagonistic effect of this fungus against other fungi, and also the antagonistic effect of this fungus against others usually associated with it, such as *Trichoderma harzianum* and *Botryosphéria corticola*. We note its growth in the presence of *Botryosphéria corticola*, whereas *Trichoderma harzianum* inhibits it. Morphological and molecular identification shows the presence of *Biscogniauxia mediterranea* associated with tree necrosis. The pathogenicity of the isolates was tested on one-year-old *Q. suber* seedlings under stressed and unstressed water conditions (T°~ 19 to 24°C). After 30 days of inoculation, the aggressiveness of *Biscogniauxia mediterranea* isolates confirmed their pathogenicity towards cork oak seedlings, causing necrotic lesions on the stem, leaf desiccation and chlorosis. This has already been confirmed on the *Quercus* genus by previous studies.

**Key words:** *Quercus suber*, dieback, *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze, Morphological and molecular identification, western Algeria.

**ملخص:** "دراسة الفطريات الداخلية التي تهاجم بلوط الفلين " *Quercus suber* " في بساتين الفلين غرب الجزائر. حالة *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze"

وهو *Biscogniauxia mediterranea* (syn.: *Hypoxyylon mediterraneum*) يعد أحد مسببات الأمراض الانتهازية الضعيفة المعروفة بإضرارها للعديد من أنواع الغابات عن طريق التسبب في موتها. الذي يعاني بالفعل من الإجهاد المائي. وينتشر على نطاق واسع في جميع أنحاء منطقة البحر الأبيض المتوسط، وخاصة *Quercus*، وخاصة نباتات *Quercus sp* عامل السدى الكربوني لجذوع وفروع نبات الجزائر: *Biscogniauxia* على بلوط الفلين حيث يلعب دورا هاما في تراجعها في أوروبا وشمال أفريقيا. أجريت هذه الدراسة لأول مرة في الجزائر بين عامي 2017 و 2022 في ثلاث بساتين الفلين غرب التي تؤثر على بلوط الفلين، و(2) اختبار قدرتها المسببة للأمراض لثلاث عزلات من *B. mediterranea* (المسيلة (وهران)، الحفير (تلمسان)، جبل السعيدية (غليزان) بهدف (1) التعرف على أنواع القائمة من ثلاث بساتين من أشجار بلوط الفلين التي تظهر عليها الأعراض. توصلت النتائج إلى أن معدل الإصابة بفطر في بساتين الفلين الثلاثة هو 4.8%

قمنا أيضا باختبار شروط معينة لتطور بعد قمتنا باختبار تطوره عند درجات حرارة مختلفة، *B. mediterranea* هذا الفطر ليكون قادرا على مكافحة الجمرية الخبيثة للأشجار والتي أظهرت نموا أفضل بين 25 و 32.5 درجة مئوية، وكذلك التأثير المضاد لهذا الفطر ضد الفطريات الأخرى التي عادة ما تكون مرتبطة به مثل *Trichoderma harzianum* و *Botryospheria corticola*

المرتبط بنخر *Biscogniauxia mediterranea* نلاحظ نموه في وجود المورفولوجي والجزئي وجود *Botryospheria corticola* يُظهر التحديد بينما فيما يتعلق *Trichoderma harzianum* يتبطه عمرها عام واحد تحت نظام مائي مجهد وغير مجهد، على شتلات صغيرة من نوع (درجة حرارة ~ 19 إلى 24 درجة مئوية). بعد *Q. suber* الأشجار، تم اختبار القدرة المرضية ظروف خاضعة للرقابة *Quercus*. بلوط الفلين عن طريق التسبب في أفات نخرية على الساق وجفاف الأوراق وإصفرارها. وقد تم بالفعل تأكيد هذا في جنس 30 يوماً من التلقيح، أكدت عدوانية قدرتها المرضية على شتلات عزلات من خلال الدراسات السابقة

**الكلمات المفتاحية:** *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze، الموت الرجعي، *Quercus suber*، التحديد المورفولوجي والجزئي، غرب الجزائر.