

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin d'étude
Présentée Par :
HADIOUCHE Houria
HAMIDI Yasmine

En vue de l'obtention de diplôme :
MASTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES
Spécialité : Science forestière

THEME

**Contribution à l'étude de l'effet de l'incendie sur la
communauté symbiotique de *Quercus suber***

Soutenu le 29/09/2022, devant les membres du jury :

Membre du Jury	Nom et Prénom	Grade
Présidente	Mme.HARCHAOUI BOURNINE C.	MCB-UMMTO
Examinatrice	Mme. MEZAOUR N.	MAA-UMMTO
Promotrice	Mme. KADI-BENNANE S.	MCA-UMMTO
Co-promotrice	Mme. Beddad Karima	

2021/2022

Remerciements

A travers ce modeste travail nous tenons à exprimer notre profonde gratitude au bon Dieu de m'avoir donné la force pour le réaliser.

*Nous tenons à remercier particulièrement notre promotrice **Mme KADI-BENNANE**, Docteur Maitre de conférences classe B au département des sciences agronomiques de l'U.M.M.T.O qui nous a encadrés et conseillés tout au long de de la réalisation de ce travail, et grâce à qui ce mémoire a vu le jour.*

*Nous sommes très honorées de la présence de **Mme HARCHAOUI BOURNINE**, Docteur Maitre de conférences classe B au département des sciences biologiques de l'U.M.M.T.O qui a présidé le jury.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements à **Mme MEZAOUR Najat** Maitre Assistante classe A pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à l'aboutissement de ce modeste travail, particulièrement toute l'équipe du laboratoire mycorhize et spécialement l'ingénieur de laboratoire **Mme Beddad Karima**.*

Enfin, nos profondes reconnaissances à tous les enseignants de l'U.M.M.T.O et particulièrement ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation avec beaucoup de compétences.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

Mes très chers parents, pour leur dévouement, leur amour, leur soutien moral et financier durant toutes mes années d'étude

Ma sœur Céline et mon frère Kouceila

Ma grand-mère, mon grand-père, mes tantes : Houa, Merieme et Dahbia qui ont toujours été à mes côtés pour m'encourager.

A tous ceux qui me sont chers, mes amis (es) particulièrement

Belaid, Nesrine, Kenza, Samira, Kahina, Sophia, Lydia,

massissilia, Fadhila, Zina

A mon binôme et chère amie Houria.

Enfin, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Yasmine

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

*Mes chers parents qui je ne pourrais être jamais reconnaissant envers
leurs*

*Dévouements, leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements
et sans qui je ne*

*Ne serais pas là aujourd'hui. Ce travail soit pour eux, un faible
témoignage de ma profonde
Affection de tendresse.*

A mes chères sœurs : Dehbia et Hassina

A mes chers frères : Hakim, Malek, Nassim, Ahmed, Yacine

Et A toute ma famille.

A tous mes amis qui mon encouragé et

Soutenu dans mes moments les plus difficiles

*Particulièrement : Kahina, Samira, Kenza, Nesrine, Zina, Fadhila,
Sofie, Lydia, Massissilia.*

A mon binôme et chère amie : Yasmine.

Houria

Liste des abréviations

%: pourcentage

ACP: Analyse des Composantes Principales.

Ar : arbuscule.

C : contact.

CD : courte distance.

MLD : moyenne et longue distance.

ECM : ectomycorhize.

ECMs : ectomycorhizes.

FPA : Formol, Acide propionique, Ethanol.

T° : température

Liste des figures

Tableau 1 : répartition du chêne liège (IML, 2022).

Tableau 2: les incendies de forêt dans quelques pays du bassin méditerranéen (1985-2010) (Meddour-Sahar, 2014).

Tableau 3: Différents types de mycorhizes (Smith et Read, 2008).

Tableau 4 : différentes données des trois stations d'étude.

Tableau 5 : Quelques variations écologiques des trois stations d'études.

Tableau 6: les groupes d'ectomycorhizes observés selon le type d'exploration du sol.

Tableau 7: Quantification des ectomycorhizes formées chez le chêne liège des trois stations (RM : richesse morphotypique ; S Spécifique ; C : contact, CD : courte distance ; MLD : moyenne et longue distance).

Tableau 8 : Anova des paramètres mesurés sur la colonisation ectomycorhizienne des chênes lièges des trois populations.

Tableau 9: Indice de similarité de *Jaccard* entre les différentes populations de chêne liège incendiées et non incendiées.

Tableau 10: Indice de similarité de Sorensen entre les différentes populations de chêne liège incendiées et non incendiées (NI : non incendiée ; INC : incendiée).

Tableau 11: Anova de la quantification de la colonisation de l'endomycorhizes chez les différentes populations de chêne liège incendiées.

Tableau 12 : Matrice de corrélation entre les variables mesurées.

Tableau 13: Valeurs propres issues de l'ACP.

Tableau 14: Quantification de l'intensité mycorhizienne des plans des graines de coriandre.

Liste des figures

Figure 1: Aire de répartition du chêne liège dans le monde (EUFORGEN, 2009)

Figure2: Aire de répartition du chêne liège en Algérie (DGF2003)

Figure 3: carte des feux de forêt dans la région méditerranéenne en 2021 (EFFIS/Copernic us EMS 2021)

Figure 4: Représentation schématique des sections transversales des types de mycorhizes (Garbaye, 2013)

Figure5: Schéma représentatif de la colonisation de la racine par les champignons endomycorhizienne(S: spore; C: cellule; E: épiderme; V : vésicule) (Peterson et al, 2004)

Figure6: situation géographique de la station d'Ath Kheir,(google maps 2022)

Figure7: situation géographique de la station d'Iguersafen, (Google maps2022)

Figure 8: situation géographique de la station de Béni khalfoun, (Google maps2022)

Figure9:Protocole de récolte des échantillons de racine du chêne liège : A - arbre non incendié ; B -peuplement incendié ; C –mesurer la température du sol ; D- la mesure l'humidité du sol ;E -sachets étiquetés remplis de racines et de sol (Hamidi, 2022)

Figure10: méthode d'observation des racines : A-élimination des particules de sol des racines courtes ; B- observation des racines sous une loupe binoculaire (Hadiouche, 2022)

Figure11: Matériel utilisé pour le comptage des ectomycorhizes

Figure 12: chauffage des racines à 90°C

Figure 13 : les étapes de la coloration des racines : A - racines mises dans du H₂O₂ ; B - racines mises dans le Hcl ; C - racines mises dans le bleu de Trypan

Figure14 : Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire

Figure 15 : Echelle d'évaluation de la présence des arbuscules

Figure 16 : Mesure du pH du sol avec le pH-mètre de paillasse

Figure 17: étapes de la réalisation du dispositif expérimenta du Pouvoir endomycorhizogène des sols des stations incendiées et non incendiées :A-graines mises dans des boites de pétries ;B-les boites de pétrie mises dans l'étuve ; C-les sachets des plantes obtenues

Figure 18-29: les morphotypes ectomycorhiziens communs des trois populations.18-19:ECM8;figure20-21-22:ECM14;figure23-24:ECM22;figure25:ECM24;figure26-27:ECM31;figure28-29:ECM45

Figure30-35 :les morphotypes ectomycorhiziens communs des trois categories d'incendie. figure30:ECM7,figure31:ECM10,figure32:ECM17,figure33:ECM18,figure34:ECM25, figure35:ECM27

Liste des figures

Figure 36-50 Les morphotypes ectomycorhizien communs dans les stations Ath Khier (Mekla) et Iguersafen (Bouzeguene).fig36 :ECM1 ;fig37 :ECM5 ;fig38 :ECM6 ;fig39 :ECM12 ; fig40 :ECM16 ;fig41 :ECM20 ;fig42 :ECM21 ;fig43 :ECM33 ;fig44 :ECM37 ;fig45 :ECM38 ; fig46 :ECM39 ;fig47 :ECM40 ;fig48 :ECM42 ;fig49 :ECM43 ;fig50 :ECM44.

Figure 51 morphotype ectomycorhizien commun dans la station d'Ath Khier(Mekla) et Draa El Mizane.fig51 :ECM3.

Figure 52-54 Les morphotypes ectomycorhizien communs dans la station d'Iguersafen (Bouzeguene) et Draa El Mizan. Fig52 :ECM46 ;fig53 :ECM47 ; fig54 :ECM66.

Figure55-71 Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station d'Ath Khier (Mekla). Fig55 :ECM2 ; fig56 : ECM4 ; fig57 : ECM9 ;fig58 : ECM11 ; fig59 : ECM13 ;fig60 : ECM15, fig61 : ECM19 ;fig62: ECM23 ;fig63: ECM26 ; fig64: ECM28 ;fig65: ECM29 ;fig66 : ECM30, fig67 : ECM32 ;fig68 :ECM34 ;fig69 :ECM35 ;fig70 :ECM36 ;fig71 :ECM41.

Figure72-83Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station d'Iguersafen (Bouzeguene).fig72:ECM48; fig73 : ECM49; fig74 : ECM50; fig75 : ECM51;fig76 :ECM52; fig77: ECM53;fig78 : ECM54;fig79 : ECM55;fig80 : ECM56; fig81 : ECM57;fig82:ECM58; Fig83:ECM59.

Figure84-95Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station d'Iguersafen (Bouzeguene).fig84:ECM60;fig85:ECM61 ;fig86:ECM62 ;fig87:ECM63 ;fig88 :ECM64 ;fig 89 : ECM65 ;fig90 : ECM67 ;fig91: ECM68 ;fig92 : ECM69 ; fig93: ECM70; fig94: ECM71; fig95: ECM72.

Figure96-103 Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station de Draa El Mizan. fig96: ECM73; fig97: ECM74; fig98: ECM75; fig99: ECM76; fig100: ECM77; fig101: ECM78, fig102: ECM79, fig103: ECM80.

Figure104-110 : les structures endomycorhiziennes : figures 104-105-106montrent les arbuscules ; figures 107 et 108 montrent les vésicules de différent diamètres ; **figure 109** montre des hyphes ; figure 110 montre des endophytes

Figure 111 : Le cercle de corrélation de plan (F1 et F2)

Liste des figures

Figure 112 : Représentation des individus du chêne liège des trois populations incendiées et non incendiées sur le graphe de l'analyse factorielle des correspondances

Figure 113: Le cercle de corrélation de plan (F1 et F 3)

Figure 114 : La distribution des variables et des individus sur le plan (F1et F3).

Sommaire

Introduction générale :	1
I. Chapitre 1 : Synthèse bibliographique	3
I.1. Généralités sur le chêne liège	4
I.1.1. introduction	4
I.1.2. Répartition géographique du chêne liège	4
I.1.3. Facteurs de dégradation des subéraies	6
I.2 Généralités sur les mycorhizes	9
I.2.1. Introduction	9
I.2.2. Typologie des mycorhizes	9
I.2.2.1. Les ectomycorhizes	11
I.2.2.2. les endomycorhizes	11
I.2.2.3. Ectendomycorhizes	13
I.2.3. Rôle des mycorhizes	13
II. Chapitre 2 : Matériel et méthodes	15
II.1. Zones d'études	16
II.2. Méthode d'échantillonnage	19
II.3. Mode opératoire	20
II.3.1. Observation des ectomycorhizes	20
II.3.2. Comptage des ectomycorhizes	21
II.4. Indice de similitude	22
II. 5. Observation et Estimation de la colonisation des endomycorhizes	22
II. 5.1.Quantification de l'endomycorhization	24
II. 6. Analyse du sol	26
II. 7. Mise en évidence du potentiel mycorhizogène des sols étudiés	26
II.7.1. Dispositif expérimental	27
II.7.2. Production des plantes de coriandre	27
II.8. Traitements Statistiques	28
III. Chapitre 3 : Résultats et discussions	29
III.1. Analyse des paramètres mesurés du sol du chêne liège des trois stations d'étude	30
III.1.1. Température du sol	30
III.1.2. L'humidité du sol	30
III.1.3. pH du sol	30
III.2. Les mycorhizes des racines des arbres de <i>Quercus suber</i> L. des trois stations d'études	31

Sommaire

III.2.1. Statut ectomycorhizien du chêne liège	31
III.2.1.1. Les morphotypes ectomycorhiziens communs dans les 3 populations d'études	31
III.2.1.2. Les morphotypes ectomycorhiziens communs dans les 3 catégories d'arbres	32
III.2.1.3. Les morphotypes ectomycorhizien communs dans les stations Ath Khier (Mekla) et Iguersafen (Bouzeguene).....	33
III.2.1.4. Les morphotypes ectomycorhizien communs dans les stations Ath Khier (Mekla) et Draa el mizan	34
III.2.1.5. Les morphotypes ectomycorhizien communs dans les stations Iguersafen (Bouzeguene) et Draa el mizan.....	34
III.2.1.6. Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station d'Ath khier (Mekla)	35
III.2.1.7. Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station d'Iguersafen (Bouzeguene)	36
III.2.1.8. Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station de Draa el mizan	39
III.2.2. Statut endomycorhiziens du chêne liège	48
III.3. Le comptage de la mycorhization au niveau des racines des chênes incendiés et non incendié.....	49
III.3.1. Quantification des ectomycorhizes.....	49
III.3.2. Quantification des endomycorhizes	51
III.4. Corrélation des paramètres mesurés de la colonisation ectomycorhizienne des chênes lièges des trois stations étudiées.....	52
III.4.1. Analyse de l'ACP	52
III.4.2. Lecture de la matrice des corrélations	53
III.4.3. Part de la variance expliquée par les axes factoriels	54
III.4.4. Analyse des corrélations variables-facteurs et projections sur plans factoriels	54
III.4.5. Projection des variables sur le plan factoriel retenu	54
III.5. Corrélation des paramètres mesurés de la colonisation endomycorhizienne des chênes lièges incendiés des trois populations étudiées	56
III.5.1. Analyse de l'ACP	56
III.5.2. Projection des variables sur le plan factoriel retenu (Cercle de corrélation).....	57
III.6. Effet de l'incendie sur le pouvoir endomycorhizogène du sol.....	58
Discussion générale :	60
Conclusion générale	64
Référence.....	65
Annexes	71
Résumé	74

Introduction Générale

Introduction générale

Introduction générale :

Les incendies de forêt constituent l'un des principaux risques de dégradation naturels des forêts dans le monde. Les feux de forêts sont considérés comme l'une des causes les plus désastreuses de la disparition du patrimoine forestier mondial. Le feu perturbe une plus grande surface sur une plus grande variété de biomes à travers le monde.

Le chêne liège par la protection que lui confère son écorce subéreuse, est l'un des arbres à pouvoir résister aux incendies. Cependant, malgré cette extraordinaire faculté, un feu de forêts n'est jamais sans conséquences pour une subéraie (Piazzetta, 2010). Selon Medjahdi-Letreuch-Belarouci *et al.*, (2009), le chêne liège est un arbre qui possède de forts pouvoirs de récupération. Malheureusement, la subéraie aujourd'hui, ne cesse de se dégrader et la régression de sa surface due à une mauvaise gestion combinée aux changements climatiques et aux incendies est fortement inquiétante. Bien que le chêne liège *est* une essence endémique du domaine méditerranéo-atlantique et qu'il joue un rôle économique, sociale et écologique indéniable (écorce externe : le liège, le bois, le charbon, les fourrages, les produits non ligneux tels que : champignons, myrte, arbouses, glands, etc...). Il ne reste point pas moins qu'en Algérie les subéraies qui couvraient une superficie de 440 000 ha connaît une dégradation continue et alarmante se traduisant par une régression de sa surface à 229 000 ha (Harfouche *et al.*, 2003)

La symbiose mycorhizienne est considérée par plusieurs auteurs telles une solution pour la réhabilitation des sols dégradés voir mort et permet la recolonisation des écosystèmes (Smith et Read, 2003 ; Garbaye 2013). C'est une association entre les racines et les champignons qui jouent un rôle important dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes (Strullu, 1991). Ces champignons proviennent de plusieurs groupes distincts selon le type de structures mises en place au niveau des racines. Cette colonisation est mutualiste, spécifique, durable et à bénéfices réciproques entre le mycélium des champignons et les racines des plantes (Maunoury, 2010).

La but de notre travail est de mettre en évidence l'effet de l'incendie sur la communauté symbiotique de *Quercus suber* et son impact sur le pouvoir endomycorhizogène de ce dernier. Pour ce faire, notre travail a été scindé en 3 chapitres :

Introduction générale

Le chapitre 1 qui comporte une synthèse bibliographique relative au chêne liège, aux incendies et aux mycorhizes.

Le chapitre 2 est consacré au matériel utilisé et méthodes réalisées au niveau de laboratoire de recherche en passant par la collecte des échantillons sur terrain.

Le chapitre 3 est consacré au traitement des données, l'interprétation et la discussion des résultats obtenus.

Nous terminons ce modeste travail par **une conclusion générale**.

I. Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur le chêne liège

I.1.1. introduction

Quercus suber L. est une essence endémique du domaine méditerranéo-atlantique. Il est présent depuis 60 millions d'années (Aafi, 2007). L'originalité de cette espèce est de produire une écorce épaisse le « liège », matériau assez unique pour ses propriétés physiques, chimiques et esthétiques (Amandier, 2002).

La subéraie joue un rôle économique, sociale et écologique indéniable. En effet, son écorce externe, à valeur économique est utilisée dans diverses industries. Il peut être prélevé à différente reprise sans abimer l'arbre. Elle profère plusieurs produits et services tels que le liège, le bois, le charbon, les fourrages, les produits non ligneux (champignons, myrte, arbouses, glands, etc...) et elle joue un rôle important dans la fixation du carbone, la protection contre l'érosion, la préservation de la nature, la récréation etc... (Chebil et Daly, 2006).

I.1.2. Répartition géographique du chêne liège

- **Dans le monde**

Cette espèce est méditerranéenne par excellence. Elle est présente dans la partie occidentale du bassin méditerranéen jusqu'au littoral atlantique. La superficie mondiale de chêne liège est de 2,5 millions d'hectares, dont un million et demi d'hectares sont répartie en Europe et près d'un million d'hectares en Afrique du nord (Pausas et *al*, 2009). La totalité de cette superficie qui représente les forêts de chêne liège à l'état naturel se trouve répartie sur sept pays, à savoir : le Portugal, l'Espagne, l'Algérie, le Maroc, la Tunisie, l'Italie et la France (Sghaier *et al.* 2011 ; Merouani *et al*, 2001). Selon le site officielle de l'institut méditerranéen du liège (IML) (2022), répartition du chêne liège est représentée dans le (tableau 1) et (figure1) :

Synthèse bibliographique

Tableau 1: répartition du chêne liège (IML, 2022).

Pays	Superficie ha	%
Portugal	736.000	32,5
Espagne	501.000	22,1
Maroc	277.000	12,2
Algérie	410.000	18,1
Tunisie	90.000	4,0
Italie	151.000	6,7
France	100.000	4,4
Mondial	2.265.000	100



Figure 2: Aire de répartition du chêne liège dans le monde (EUFORGEN, 2009).

- **En Algérie**

En Algérie selon plusieurs auteurs, les subéraies couvraient à l'origine une superficie qui varie entre 440 000 et 480 000 hectares et s'étendent du littoral méditerranéen au Nord jusqu'aux chaînes telliennes au Sud. Les plus vastes massifs sont localisés à l'est du pays. Elles poussent jusqu'à 1200 voire 1500 m d'altitude (Boudy, 1955 ; Zeraia, 1981).

Selon Boudy (1955), le chêne-liège dans les forêts domaniales de la Kabylie occupe une superficie globale d'environ 18 176,4 ha. Quant aux Subéraies communales et privées, l'auteur donne une superficie de 1700 ha (Figure.2).



Figure 2: Aire de répartition du chêne liège en Algérie (DGF2003).

I.1.3. Facteurs de dégradation des subéraies

Les incendies : Les feux de forêts sont considérés comme l'une des causes les plus désastreuses de la disparition du patrimoine forestier mondial. Le feu perturbe une plus grande surface sur une plus grande variété de biomes à travers le monde dont il provoque des perturbations naturelles terrestres éco-systémiques (Schaffhauser *et al.*, 2012 ; Kumar *et al.*, 2013). Les feux de forêts dans le bassin méditerranéen représentent une part non négligeable des incendies de la planète (Alexandrian *et al.*, 1999) (Tableau 2) ;

Ravageurs et maladies présentes dans les subéraies (les insectes et les champignons) : Les maladies et les ravageurs apparaissent généralement lorsque les peuplements s'affaiblissent ;

Les activités anthropiques : L'Homme est le principal facteur de dégradation des forêts au sens large et des subéraies au sens strict, il participe aux défrichements, ramassage systématique des glands, à l'extension des terres agricoles et des constructions sur des terres boisées, et cela en diminuant l'aire du chêne liège (Morsli, 2014) ;

L'érosion : Du fait de son couvert clair, les fortes intensités des précipitations surtout dans les reliefs accidentés peuvent constituer un facteur limitant pour la régénération naturelle du chêne liège, puisque la couche superficielle du sol riche en humus et matière organique, nécessaires à la germination et à la croissance des glands, est dégradée et qui génère la perte de la fertilité des sols (Jdaidi, 2009) ;

Synthèse bibliographique

Les changements climatiques : L'augmentation des températures et la diminution des précipitations provoquent l'étalement de la période sèche, ce qui permet l'installation d'un climat aride qui annule la germination des glands et la croissance des jeunes semis, mais aussi entraîne la fragilité des arbres adultes.

Tableau 2: les incendies de forêt dans quelques pays du bassin méditerranéen (1985-2010) (Meddour-Sahar, 2014).

Pays	Superficie moyenne incendiée (ha) par an	Nombre Moyen d'incendies par an	Feu, moyen (ha)	Degré de gravité (%)
Portugal	101 166	16 578	6	3,31
Espagne	132 305	13 740	10	0,84
France	21 323	3 771	6	0,53
Italie	77 262	7 867	10	1,14
Grèce	32 856	1 308	25	0,57
Algérie	35 025	1 637	21	0,85

En période estivale, l'incendie constitue une menace permanente pour les forêts de la région méditerranéenne, plus spécialement dans sa partie occidentale et représente la cause principale de destruction des forêts et des peuplements arbustifs sub-forestiers (maquis, garrigues, broussailles) (Ramade, 1997 ; Cemagref, 2006 in Meddour-Sahar, 2008)

Chaque année, Plus de 200 à 500 millions d'hectares sont brûlés au monde (Amraoui *et al.*, 2013), et le nombre annuel moyen d'incendies de forêts est de plus de 55.000 incendies (Colin *et al.*, 2001). Lopez *et al.*, (1996) précisent que le paysage méditerranéen perd 35.000 à 40.000 ha, ce qui correspond à 3000 voire 4000 départs de feux par an, du fait d'un climat particulièrement favorable (longue sécheresse) (Figure 3). Elle est dans son ensemble peu productif, peu équipée et peu entretenue donc peu protégée.

Le chêne liège (*Quercus suber* L.), par la protection que lui confère son écorce subéreuse, est l'un des arbres à pouvoir résister aux incendies. Cependant, malgré cette extraordinaire

Synthèse bibliographique

faculté, un feu de forêts n'est jamais sans conséquences pour une subéraie (Piazzetta, 2010). Le passage du feu l'affaiblit mais ne le tue pas (Gisela Santos Matos, 2017).

Selon Medjahdi-Letreuch-Belarouci *et al.*, (2009), le chêne liège est un arbre qui possède de forts pouvoirs de récupération également. Bekdouche (2010) précisent que les subéraies qui subissent des incendies, plus ou moins violents et récurrents, survivent et reprennent, grâce à la forte résistance du liège. Le fait de le démascler et de lui enlever cette protection si précieuse aura pour conséquence directe de rendre le peuplement plus fragile en cas d'incendie même de faible puissance (Bekdouche, 2010).

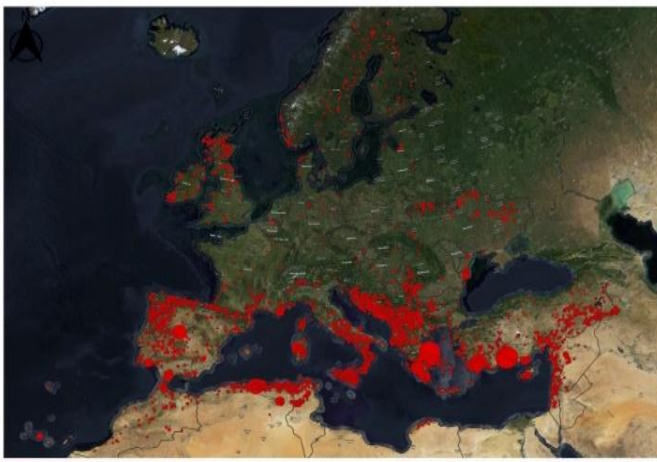


Figure 3: carte des feux de forêt dans la région méditerranéenne en 2021 (EFFIS/Copernic us EMS 2021.)

En Algérie, les gestionnaires forestiers sont confrontés à une tendance générale d'augmentation des superficies brûlées et de la gravité des incendies. Les statistiques montrent qu'entre 1962 et 2012, environ 1.7 million ha de forêts, maquis et broussailles ont été incendiés, soit une moyenne de 30 000 ha chaque année (D.G.F, 2012).

La cause la plus inquiétante des feux de forêt en Algérie sont les incendies politiques, principalement en Kabylie. Le terme fait référence aux feux de forêt en tant qu'outil utilisé par l'État dans sa lutte contre le terrorisme (Rahal, 2012).

La wilaya de Tizi Ouzou est très touchée par ce phénomène, avec une moyenne annuelle de 175 feux et de 3 092 ha de surfaces parcourues (période 1986-2017). (Sahar-Meddour, *et al.* 2019).

L'été précédent, les forêts algériennes ont été ravagées par un incendie jamais vécu dans la région. Ce dernier s'est déroulé en juillet et août 2021 dans le nord de l'Algérie principalement dans la région de Kabylie, qui a causé des pertes humaines très importantes.

Synthèse bibliographique

Les feux ont brûlé 89 mille hectares de superficies sur 35 wilayas, notamment la wilaya de Tizi-Ouzou.

Au total, 33 départs de feux ont été déclenchés simultanément la journée du 9 août, dans la wilaya de Tizi-Ouzou (Anonyme 1). Le secteur agricole a subi de grosses pertes, Selon le dernier bilan communiqué à l'APS par la Direction locale des services agricoles, près de deux millions d'oliviers et plus de 810.000 autres arbres fruitiers ont été ravagés par ces feux.

Le conservateur des forêts a indiqué que la surface parcourue par les feux est de 41.489 ha, soit environ 14% de la superficie totale de Tizi-Ouzou qui est de ce fait « une wilaya sinistrée ». le bilan décennale des feux de forêts à Tizi-Ouzou, indique que durant les 10 dernières années un total de 33.313 ha ont été détruits, alors que les incendies du 9 août ont détruit en huit jours 41.489 ha et causé la perte de dizaines de vies humaines(Anonyme 2).

I.2 Généralités sur les mycorhizes

I.2.1. Introduction

Le terme mycorhize, résulte la combinaison de deux mots grecs 'mukês' (champignon) et 'rhiza' (racine), ce qui désigne l'association symbiotique entre des champignons bénéfiques du sol et les racines des plantes. Ce terme utilisé pour la première fois par Frank (1877), regroupe aujourd'hui plusieurs types de symbioses mycorhiziennes selon le champignon impliqué et les structures symbiotiques formées (Gianinazzi *et al.*, 1996).

Ces mycorhizes sont formés par des champignons macroscopiques et microscopiques, qui travaillent en symbiose avec les racines des plantes. Cette colonisation est mutualiste, spécifique, durable et à bénéfices réciproques entre le mycélium des champignons et les racines des plantes (Maunoury, 2010). Les champignons aident les plantes à puiser des éléments nutritifs dans le sol et à s'adapter au milieu ; en échange, les plantes fournissent aux champignons l'énergie qu'ils sont incapables de tirer eux-mêmes du soleil. (Fortin *et al.* 2011).

I.2.2. Typologie des mycorhizes

Il existe plusieurs classifications des associations symbiotiques mycorhiziennes, Parmi elles celle établie par (Smith et Read, 2008) (Tableau 3), amendé par (Garbaye ,2013) (figure 4).

Tableau 3: Différents types de mycorhizes(smith et Read , 2008).

Synthèse bibliographique

	MA ⁽¹⁾	ECM ⁽²⁾	Ectendomycorhizes	Mycorhizes Arbutoïdes	Mycorhizes monotropoïdes	Mycorhizes éricoides	Mycorhizes orchidoïdes
Champignon							
Hyphes							
Avec cloison	-	+	+	+	+	+	+
Sans cloison	+	-	-	-	-	-	-
Arbuscules	+	-	-	-	-	-	-
Pelotons	-	-	+	+	+	+	+
Manteau	-	+	+ ou -	+ ou -	+	-	-
Réseau de Harting	-	+	+	+	+	-	-
Taxon	Gloméro.	Basidio./Asco. (Gloméro.)*	Basidio./Asco.	Basidio.	Basidio.	Asco.	Basidio.
Plante hôte							
Taxon	Bryo./Ptérido. Gymno./Angio.	Gymno./Angio.	Gymno./Angio.	Erica.	Monotropa.	Erica./Bryo.	Orchida.
Chlorophylle	+(-)*	+	+	+	-	+	..**

MA : mycorhizes à arbuscules ; **ECM** : Ectomycorhizes ; **Gymno.** : Gymnosperme ; **Angio.** : Angiospermes ; **Erica.** : Ericacées ; **Monotropa**: Monotracées ; **Orchida** : Orchidacées ; **Gloméro.** : Gloméromycota ; **Basidio.** : Basidiomycota ; **Asco.** : Ascomycota ; **Bryo.** : Bryophytes ; **Ptérido.** : Ptéridophytes ; - : absent ; + : présent ; * : rare ; ** : les Orchidaceae ne sont pas chlorophylliennes au stade juvénile.

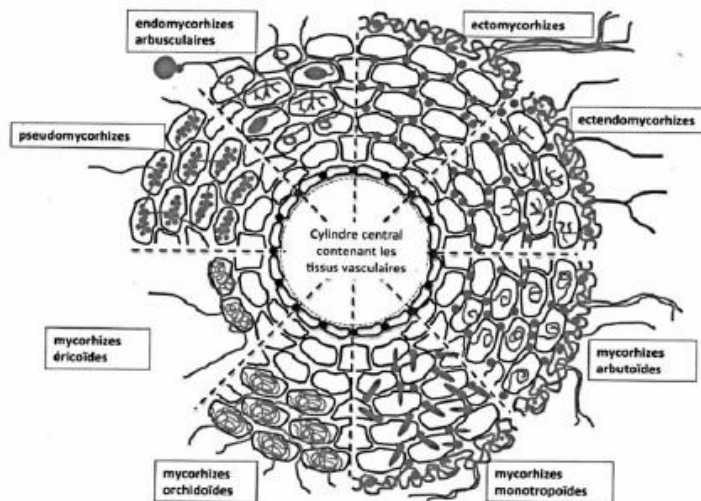


Figure 4: Représentation schématique des sections transversales des types de mycorhizes (Garbaye, 2013).

I.2.2.1. Les ectomycorhizes

Ce sont des symbioses formées par des champignons colonisant principalement les arbres et arbustes. La symbiose ectomycorhizienne est très étudiée car elle est formé essentiellement chez les espèces qui constituent la majorité des ligneux à intérêt économique.

Les champignons ectomycorhiziens appartiennent aux Ascomycètes et surtout aux Basidiomycètes. C'est plus de 25000 espèces de plantes vasculaires qui portent ce type de mycorhizes (Fortin *et al.* 2008).

Les ECMs développent un mycélium qui progresse entre les cellules du cortex racinaire mais ne pénètre jamais dans les cellules vivantes. Les hyphes extra-matriciels se propagent dans le milieu extérieur et assurant le rôle d'exploration et d'absorption. Nous pouvons distinguer les hyphes agglomérés autour de la racine, formant un manchon fongique pseudo parenchymateux ou un manteau gainant, et les hyphes qui s'insinuent entre les cellules du cortex formant un réseau appelé réseau de Hartig (chercheur qui l'a observé et décrit le premier). A partir de cet ancrage, le mycélium peut alors se développer et envahir le sol adjacent (Fortin *et al.*, 2008).

I.2.2.2.les endomycorhizes

Les endomycorhizes sont les premières symbioses mycorhiziennes des plantes. On distingue quatre types d'endomycorhizes : les mycorhizes arbusculaire, les mycorhizes éricoïdes, les mycorhizes arbutoïdes, monotropoïdes et les mycorhizes orchidoïdes (Peterson *et al.*, 2008).

- **Les mycorhizes à arbuscule**

Sont les plus répandues à la surface du globe. Ils se sont adaptés à de nombreux environnements et différentes plantes hôtes. Ils peuvent former des associations mutualistes avec les racines fines d'environ 80 % de toutes les plantes terrestres ligneuses, herbacées, les mousses, fougères, gymnospermes et angiospermes plusieurs conifères et la majorité des plantes à fleurs, mono et dicotylédones. (Smith et Read, 1997).Le terme arbuscule réfère à une structure microscopique unique que développent ces champignons dans les cellules corticales des racines (Figure 5).

Leurs structures morphologiques sont divisées en : arbuscules, vésicules, cellules auxiliaires, hyphes et spores. Ces structures se forment à l'intérieur des racines des plantes (les hyphes et

Synthèse bibliographique

les spores peuvent également se former à l'extérieur des racines, dans la rhizosphère), et créent une surface de contact membranaire massive entre les cellules racinaires des plantes (Smith et Read 2008 ; Hodge et Storer 2014 ; Souza, 2015).

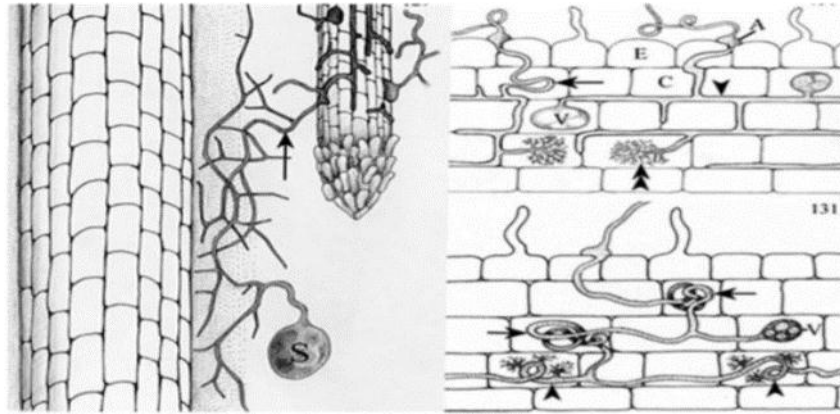


Figure 5: Schéma représentatif de la colonisation de la racine par les champignons endomycorhiziens (S: spore; C: cellule; E: épiderme; V : vésicule) (Peterson et al., 2004).

- **Mycorhizes éricoïdes**

Les mycorhizes éricoïdes sont caractérisés par la pénétration du champignon dans les cellules épidermiques du chevelu racinaire fin. Des pelotons sont formés dans ces cellules et les champignons ne se propagent pas de cellule à cellule (Smith et Read, 2008). La plupart des champignons mycorhiziens éricoïdes appartiennent à un groupe restreint dans les Léoïtales (Smith et Read, 2008).

- **Mycorhizes orchidoïdes**

Les mycorhizes orchidoïdes sont caractérisés par la formation des pelotons d'hyphes dans les cellules corticales du tissu de la racine). De passage, le champignon pénètre dans les cellules exo dermiques et les hyphes se ramifient à travers le tissu cortical par pénétration intracellulaire. Les pelotons s'effondrent au fil du temps. Les cellules peuvent être colonisées par plus d'un hyphe plusieurs fois (Smith et Read, 2008).

- **Les mycorhizes arbutoïdes et monotropoïdes (Sebacénoïdes)**

Synthèse bibliographique

Les plantes de la famille des Monotropacées sont non chlorophylliennes et dépendent donc totalement du champignon pour répondre à leurs besoins en carbone, dans le cas des mycorhizes Monotropoïdes (Smith et Read, 1997). Les champignons associés aux mycorhizes arbutoïdes sont des Basidiomycètes. Les plantes qui leur sont associées appartiennent aux Arbutoïdées et Pyrolacées.

I.2.2.3. Ectendomycorhizes

Les Ectendomycorhizes sont caractérisées à la fois par la présence du manteau Mycélien mince, le filet de Hartig et le développement d'hyphes inter et intracellulaires (Trevor et al, 2001). Les Ectendomycorhizes ont été définies par d'autres de diverses manières et ont parfois englobé les mycorhizes Arbutoïdes et Monotropoïdes (Peterson et al., 2004).

I.2.3. Rôle des mycorhizes

- **Amélioration de la croissance et de la nutrition des plantes**

L'effet majeur des champignons mycorhiziens dans les écosystèmes non perturbés est l'amélioration de la croissance des plantes mycorhizées par rapport aux plantes non mycorhizées (Plenchette et al, 1983 ; Karagiannidis et Hadjisavva-Zinoviadi, 1998).

L'accroissement de la biomasse végétale est lié à l'apport de nutriments limitant par le champignon tel que les composés azotés et les phosphates et il a été bien montré, en utilisant des dispositifs à compartiments, que les hyphes extra radiculaires du champignon sont capables de prélever et de transporter ces éléments jusqu'aux racines, en particulier le phosphore (Cooper et Tinker, 1978 ; Jakobsen et al. 1992b).

- **La stabilité structurale des sols**

Lors de son développement et plus particulièrement celui du mycélium extra matriciel, elle influence significativement la stabilité structurale des sols (Caravaca et al., 2002).Fahey et al.,(2005) ont largement mis en évidence le grand rôle des ectomycorhizes dans la respiration des sols notamment dans la zone rhizosphérique qui augmente de 17% par effet du réseau mycélien.

- **Alimentation en eau**

Synthèse bibliographique

Même si la plupart des travaux effectués avec les Champignons mycorhizien s'est concentrée sur leurs effets sur la nutrition minérale chez les plantes, aujourd'hui leurs rôle contre la dessiccation et la résistance à la sécheresse des plantes mycorhizées est prouvé (Allen et Boosalis, 1983). Les CMAs et les CEM sont importants dans l'agriculture durable et le maintien des écosystèmes, car ils améliorent les relations avec l'eau des plantes hôtes et augmentent ainsi leur résistance à la sécheresse (Smith et Read ,2008 ; Mekahlia, 2014).

- **Activités hormonales**

L'action globale des hormones produites par le champignon affecte le port général de la plante, dont la croissance des parties aériennes est souvent favorisée par rapport à celles des racines. Le champignon pour ainsi dire remplace partiellement les racines et cela à un moindre coût énergétique (Hamza, 2014).

- **Résistance aux stress biotiques et abiotiques**

Le champignon élabore des sucres, comme le mannitol ou l'arabitol, qui rendent les racines plus résistantes au gel. En outre, il synthétise des antibiotiques, induit la formation du tanin et favorise la flore microbienne dans le manteau fongique, ce qui augmente le pouvoir défensif des plantes contre les pathogènes contenus dans le sol. Enfin, les phytohormones formées par les champignons mycorhiziens (p. ex. auxine, gibbérelline, cytokinine, éthylène) favorisent la croissance des plantes (Egli et Brunner, 2002).

II. Chapitre 2 : Matériel et méthodes

II.1. Zones d'études

Afin de réaliser notre étude des prospections ont été effectuées au niveau de trois sites de différentes régions de la wilaya de Tizi-Ouzou au cours du mois de juin au mois de juillet 2022. Les stations d'étude ont été repérées et choisi selon le passage de l'incendie de moins d'une année (Aout 2021). Les prélèvements ont été réalisés durant le mois d'avril au mois de juin 2022 selon un échantillonnage stratifié qui nous a permis de choisir des arbres incendiés et non incendiés (échantillon témoin) dans chaque station. Les caractéristiques des stations sont rapportées dans(le tableau 4).

1. La première située dans la forêt d'Ath Khier, commune d'Ait khlili 1, Daïra de Mekla, Wilaya de Tizi Ouzou, dont la végétation se compose par l'olivier sauvage, le laurier rose, le caroubier, le lentisque, le frêne et des peuplements de chêne vert et de chêne liège. La station est situé sur une altitude de 900m dont les coordonnées géographiques sont 36°38'30.9"Nord, 4°18'33.4"Est (Figure 6).
2. La seconde située dans la forêt d'Iguersafen, commune d'Ath yedjar, Daïra de bouzeguene, Wilaya de Tizi Ouzou, qui se compose essentiellement de peuplement de chêne vert et de chêne liège sur une altitude de 900 m dont les coordonnées géographiques sont 36°40'28.3"Nord, 4°30'29.0"Est (Figure 7).
3. La troisième située dans la forêt de béni khalfoun appartenant à la direction des forestiers de la Daïra de Draa El mizan, Wilaya de Tizi Ouzou. Elle se compose essentiellement de peuplement de chêne liège sur une altitude de 718 m dont les coordonnées géographiques sont (DRAA EL MIZANE) (Figure 8).

Matériel et méthodes

Tableau4 : différentes données des trois station d' étude.

Zones d'études	Ath khier (Mekla)	Iguersafen (Bouzeguene)	Béni khalfoun (Draa el Mizan)
Altitude	900m	900m	718m
Coordonnées GPS	36°38'30.9"Nord, 4°18'33.4''Est	36°40'28.3"Nord, 4°30'29.0"Est	DRAA EL MIZANE
Etage bioclimatique	subhumide et hiver frais	bioclimatique humide, hiver froid	Subhumide, hiver doux
Période de récolte	19 avril 2022	21mai2022	27juin
Nombres d'échantillons	8 arbres	7 arbres	6 arbres
Précipitation moyenne du mois de prélèvement (weather)	276.5	261.5	221.4
Température moyenne (weather)	11.38	14.17	19.44
Température maximal (weather)	17.6	19.6	27.8
Température minimal (weather)	5.74	8.75	11.07

Matériel et méthodes

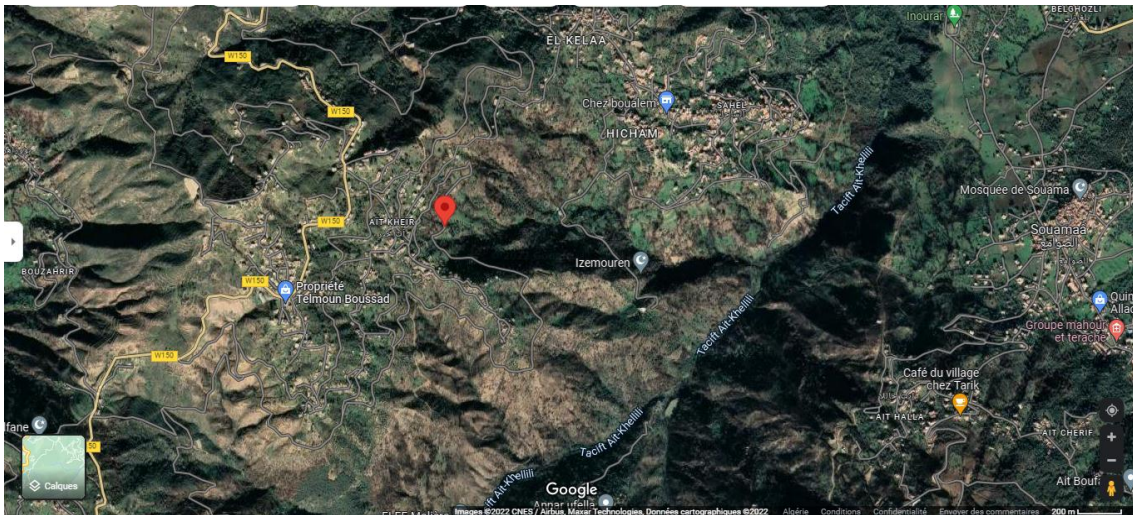


Figure 6: Situation géographique de la station d'Ath Kheir,(google maps 2022).

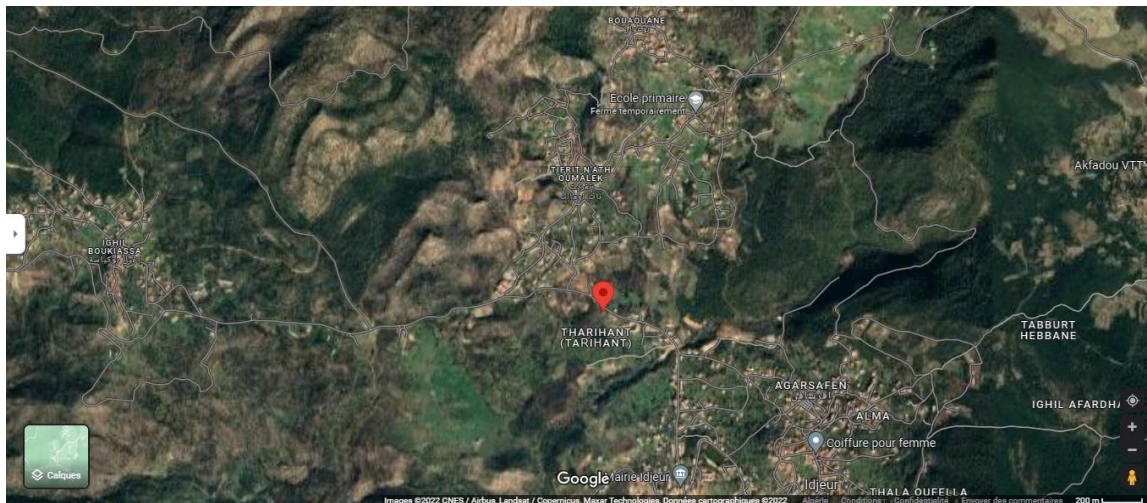


Figure 7: Situation géographique de la station d'Iguersafen, (Google maps2022).

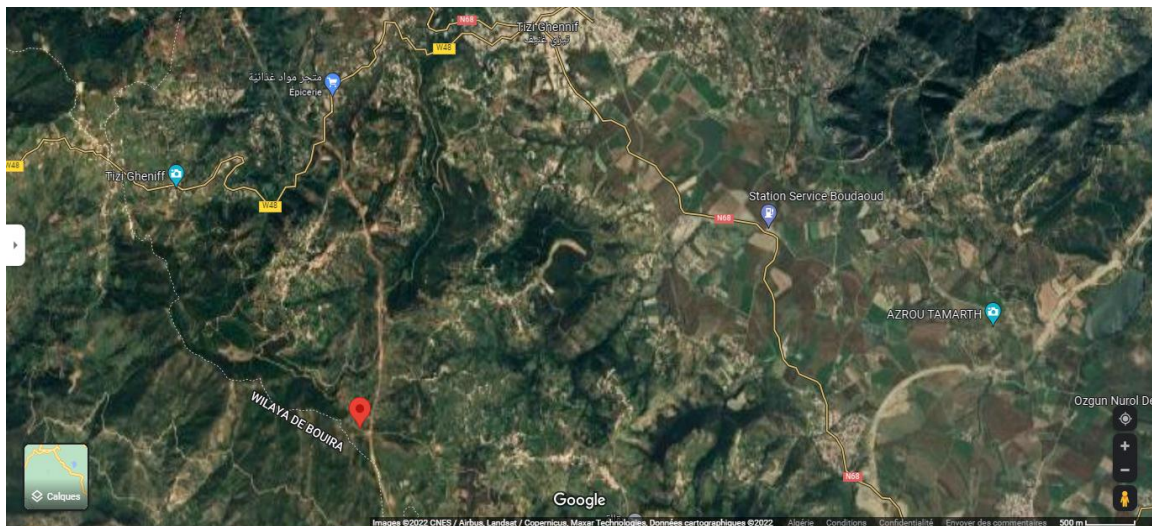


Figure8: Situation géographique de la station de Béni khalfoun, (Google maps2022).

Matériel et méthodes

II.2. Méthode d'échantillonnage

Un total de 21 arbres a fait l'objet de la collecte des échantillons de racine. Les prélèvements ont été réalisés autour de 8 arbres *Quercus suber L* dans la station d'Ath khier, de 7 arbres dans la station de Iguersafen et de 6 arbres dans la station de Béni khalfoun.

Un échantillonnage stratifié a permis de choisir des arbres incendiés et d'autres non incendiés dans chaque station. Chaque arbre est désigné par un numéro. A partir du tronc des arbres, nous avons suivi les racines principales afin de creuser à une profondeur de 10 à 20 cm et à une distance de 1 à 1.5m de tronc sous chaque houppier (Figure 9). Cette opération est répétée selon les quatre points cardinaux afin de collecter des échantillons de racines et de sol. Les mesures de la température et de l'humidité et pH de sol sont simultanément enregistrées sur terrain. Chaque échantillon prélevé est mis dans un sachet en plastique étiqueté portant le numéro de l'arbre et la date de prélèvement. Les échantillons sont entreposés au laboratoire et conservés au réfrigérateur à 4°C. Nous avons collecté les racines moyennes et fines et une quantité de sol pour l'analyser le pouvoir endomycorhizogène du sol et l'étude de la communauté mycorhizienne du chêne liège et mettre en évidence l'effet de l'incendie sur cette dernière.

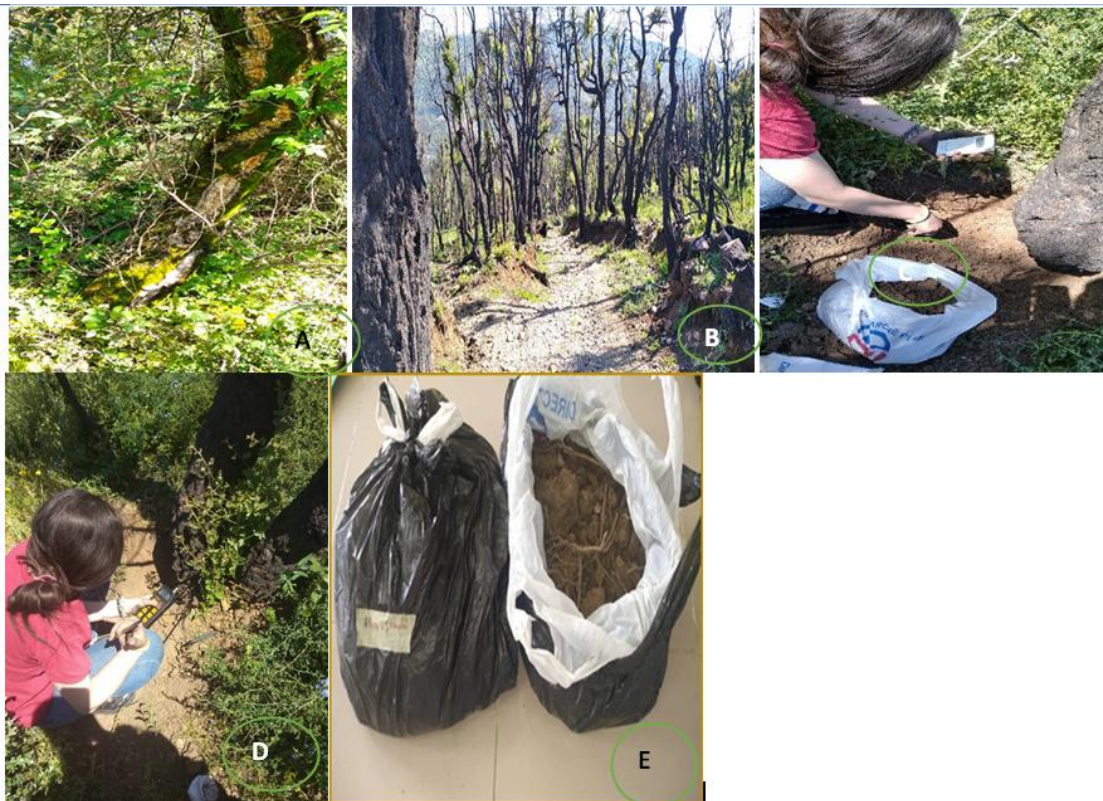


Figure 9: Protocole de récolte des échantillons de racine du chêne liège : A - arbre non incendié ; B - peuplement incendié ; C - mesurer la température du sol ; D - la mesure l'humidité du sol ; E - sachets étiquetés remplis de racines et de sol (Hamidi, 2022).

II.3. Mode opératoire

II.3.1. Observation des ectomycorhizes

Une pesée de 70 gramme des racines fraîches collectées des différents arbres sont soumis à des observations sous la loupe binoculaire, et cela après avoir éliminé les particules de sol des racines courtes en trempant les mottes de terre collectées dans de l'eau (figure 10A). Après un lavage délicat à l'eau de robinet, les racines sont débarrassées des particules du sol sans altérer leurs morphologies. La description détaillée des ectomycorhizes est faite grâce à une observation sous la loupe binoculaire selon les caractères morphologiques d'Agerer (1991-2016)(figure 10B). Les ectomycorhizes sont classées selon la couleur, la forme, la taille, la présence ou l'absence du mycélium extra-matriciel et la présence ou l'absence de rhizomorphes. Toutes les mycorhizes déterminées sont isolées et conservées dans un fixateur FPA constitué de : Formol (3%), Acide propionique (5%) et Ethanol à 70° (96%). Afin de compléter la description et la détermination des morphotypes communes des trois populations, nous avons réalisé des coupes transversales à main levée, Ces coupes sont colorées au bleu de lactophenol, et mise entre lame et lamelle pour des observations et des descriptions au microscope optique aux grossissements 100 et 400.

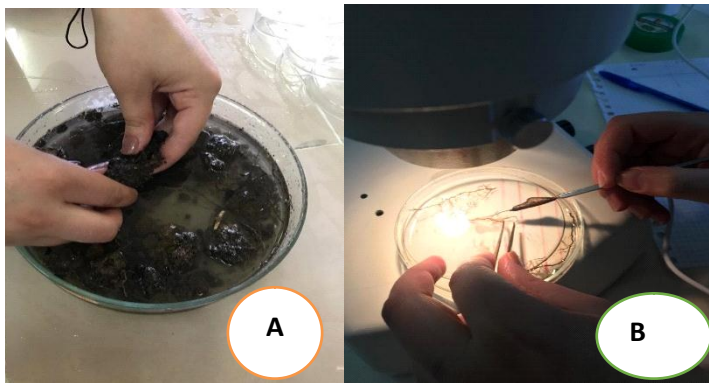


Figure10: méthode d'observation des racines : A-élimination des particules de sol des racines courtes ; B- observation des racines sous une loupe binoculaire (Hadiouche, 2022).

Matériel et méthodes

II.3.2. Comptage des ectomycorhizes

Afin de déterminer la longueur racinaire ectomycorhizée ou le taux de colonisation (TM), nous avons réalisé le comptage des racines courtes non mycorhizées (NM) et mycorhizée selon la méthode. La méthode d'intersection de Giovanetti&Mosse (1980) appelée « grid-line intersect method ». Elle consiste à étendre: 20 cm de fragments racinaires réparties au hasard dans une boîte de pétri quadrillée de 1 cm (figure11). A l'aide d'une loupe binoculaire, nous avons d'une part compté toutes les intersections des racines ectomycorhizées et d'autre part, toutes les racines non mycorhizées. La formule de calcul adoptée est la suivante :

$$TM = \left(\frac{M}{NM + M} \right) \times 100$$

TM : Taux de colonisation.

M : nombre des Racines mycorhizées intersectées avec le tracé de la boîte de pétri.

NM : nombre des racines non mycorhizées intersectées avec le tracé de la boîte de pétri.

Le comptage est effectué trois fois et une moyenne a été calculée pour chaque plant. Les valeurs sont exprimées en pourcentage.

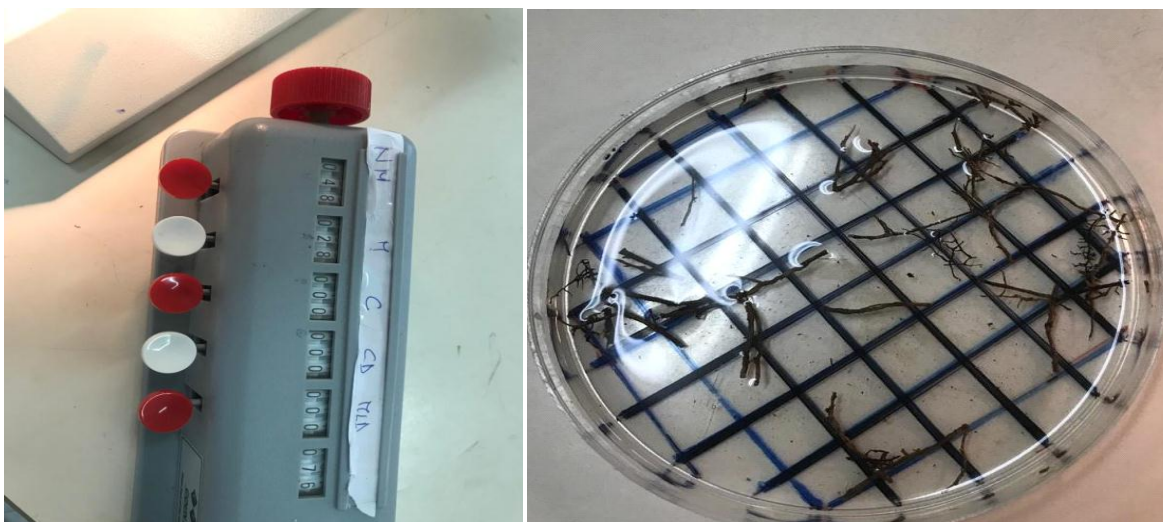


Figure 11: Matériel utilisé pour le comptage des ectomycorhizes.

II.4. Indice de similitude

Similitude de Jaccard : Afin de comparer entre les communautés ectomycorhiziennes des différentes populations de chêne liège incendiées et non incendiées, nous avons choisi de calculer l'indice de similitude de Jaccard dont la formule s'inscrit comme suit

$$IJ = (a / a + b + c) * 100$$

a : nombre de taxons commun aux stations 1 et 2

b et c : nombre de taxons présents respectivement aux stations 1 et 2

Cet indice IJ varie de 0 à 100 et ne tient compte que des associations positives.

Si l'indice IJ augmente, un nombre important d'espèces se rencontre dans les deux habitats évoquant ainsi que la biodiversité inter-habitat est faible (conditions environnementales similaires entre les habitats). Dans le cas contraire, si l'indice diminue, seul un faible nombre d'espèces est présent sur les deux habitats. Ainsi, les espèces pour les deux habitats comparés sont totalement différentes indiquant que les différentes conditions de l'habitat déterminent un turn-over des espèces importantes.

L'indice de Sorensen-Dice : connu aussi sous les noms d'indice de Sorensen, coefficient de Dice et d'autres noms encore (donnés plus bas dans la section Noms) est un indicateur statistique qui mesure la similarité de deux échantillons.

$$\beta = Cs = (2a / 2a + b + c) * 100$$

Cet indice mesure la similitude en espèces entre deux habitats et vient en complément de l'indice de Jaccard.

II.5. Observation et Estimation de la colonisation des endomycorhizes

Pour l'observation et l'estimation de la colonisation des racines par les endomycorhizes, nous avons prélevé au hasard des racines des plants que nous avons soumis au traitement de Philips et Hayman (1970). Les racines sont lavées sous l'eau du robinet pour éliminer les débris et les particules du sol, puis coupées en morceaux, de 2cm de long, placées dans des piluliers remplis de potasse (KOH) à 10% pour vidées les cellules de leurs contenus. Chaque pilulier est étiqueté d'un numéro de l'arbre et le nom de la station concernée.

La potasse des piluliers a été changée et subit au chauffage à une température de 90° C (figure 12) au moins 4h de temps/jour jusqu'à obtention d'une potasse claire. Les racines sont rincées

Matériel et méthodes

à l'eau distillée trois (03) fois successivement puis sont immergées dans de l'eau oxygénée (H_2O_2) (figure 13A) pendant 20 à 30 minutes. Un rinçage à l'eau distillée et un bain à l'acide chlorhydrique (figure 13B) pendant 15 minutes et nécessaire. Les racines ont été colorées au bleu de Trypan (figure 13C) pendant 15 à 20 minutes suivi d'un rinçage avec l'eau distillé.



Figure 12: chauffage des racines à 90°C

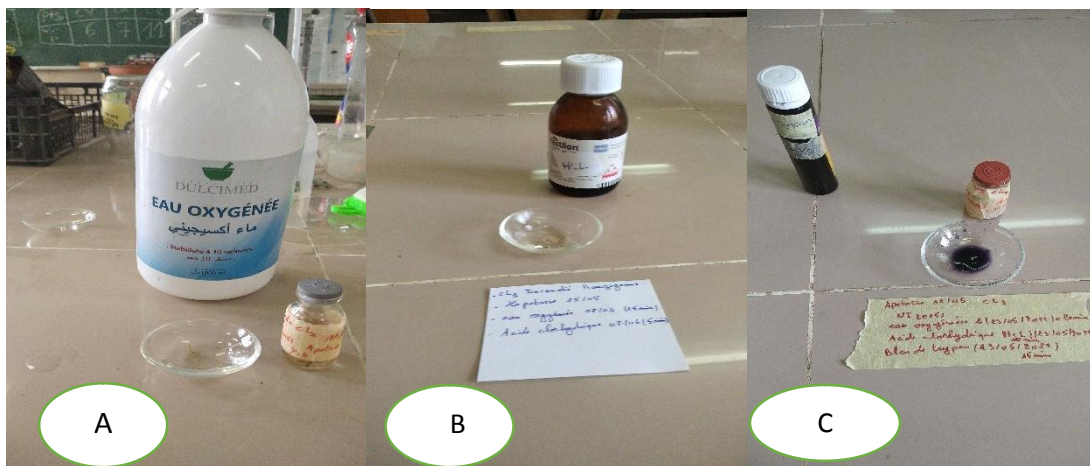


Figure 13 : les étapes de la coloration des racines : A - racines mises dans du H_2O_2 ;

B - racines mises dans le Hcl ; C - racines mises dans le bleu de Trypan.

Des échantillons de racines des cinq chênes liège incendiés en 2012 et prélevées par Dr kadi – Bennane dans la forêt d'Azouza, nous ont été transmis et ont, également, fait l'objet d'observation en plus des trois populations initialement concernées par notre étude.

II.5.1. Quantification de l'endomycorhization

Le taux de la colonisation mycorhizienne a été estimé selon la méthode Trouvelot *et al.* (1986) :

Un total de 5 fragments de 2 cm de longueur de racines vidées et colorées de chaque arbre a été disposé parallèlement dans une goutte de lactoglycérol entre lame et lamelle. La mycorhization s'observe au microscope optique aux grossissements 100 puis 400.

Les Cinq facteurs sont retenus lors de l'estimation de la colonisation des racines de chêne liège:

F % : Fréquence de la colonisation mycorhizienne (% du nombre de fragments racinaires mycorhizés), elle reflète l'importance des points de pénétration de la colonisation du système racinaire.

$$F(\%) = \frac{N - n_0}{N} \times 100$$

Avec :

N : nombre de fragment observés

n₀ : nombre de fragment sans trace de mycorhization

M % : Intensité de la colonisation du cortex racinaire (proportion du cortex colonisé estimée par rapport au système racinaire entier et exprimée en %), elle reflète l'importance de la colonisation du système racinaire. Une annotation selon un barème de classe et ainsi le degré de la colonisation mycorhizienne de chaque fragment au moyen de six classes notées de 0 à 5 (Figure 14).

$$M(\%) = \frac{(95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1)}{N}$$

Avec :

n₅= nombre de fragments mycorhizés notés 5

m % : Intensité de la colonisation développée dans la partie mycorhizée du système racinaire (proportion du cortex colonisé dans la partie mycorhizée du système racinaire exprimé en %).

Matériel et méthodes

$$m(\%) = \frac{(95n5 + 70n4 + 30n3 + 5n2 + n1)}{(N - n0)}$$

a % : Intensité arbusculaire de la partie mycorhizée (Figure 15).

$$a(\%) = \frac{(100mA3 + 50mA2 + 10mA1)}{100}$$

Avec :

mA3, mA2 et mA1 sont les pourcentages de mycorhization de qualité arbusculaire données, calculés suivant le modèle :

$$mA_i = (95n5A_i + 70n4 A_i + 30n3 A_i + 5n2 A_i + n1 A_i) F/M (N-n0).$$

A % : Teneur arbusculaire de la colonisation ramené au système racinaire entier (proportion du système racinaire renfermant des arbuscules, exprimée en %).

$$A (\%) = a \times \frac{M}{100}$$

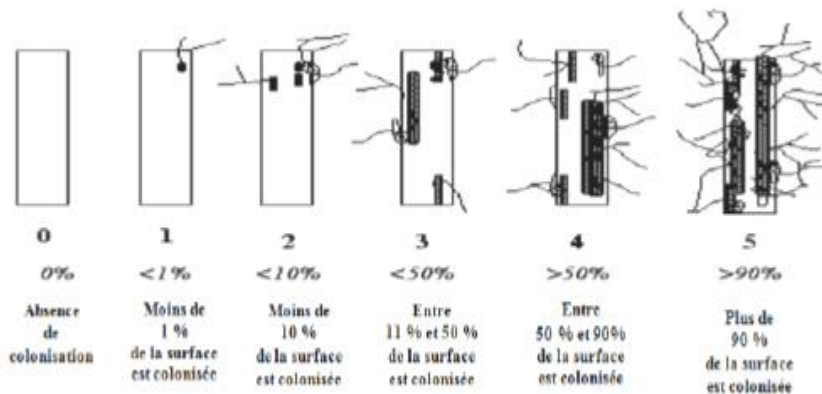


Figure 14 : Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire.

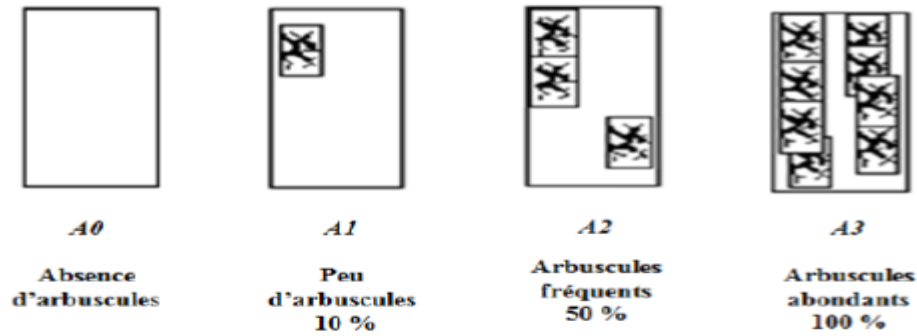


Figure 15 : Echelle d'évaluation de la présence des arbuscules.

II.6. Analyse du sol

Pour l'analyse du pH eau du sol, nous avons Réalisé le protocole suivant :

- 10g de sol mélangé à 50ml d'eau distillée, mélangé à l'agitateur puis laisser reposer pendant 1 Heure.
- La mesure a été réalisé au pH mètre de paillasse Hanna.



Figure 16 : Mesure du pH du sol avec le pH-mètre de paillasse.

II. 7. Mise en évidence du potentiel mycorhizogène des sols étudiés

Le potentiel mycorhizogène traduit la richesse du sol en propagules (spores, mycéliums, fragments de racines colonisés) aptes à générer une mycorhization. Une partie des sols prélevés ont servi à déterminer ce potentiel en utilisant la technique du nombre le plus probable (Most Probable Number : MPN) (Alexander, 1965). Cette technique adoptée aux champignons mycorhiziens arbusculaire est basée sur l'utilisation d'une série de dilutions

Matériel et méthodes

successives de sol, au 10^{ème} épuiser progressivement le milieu et cerner la dilution limite dans laquelle il n'y aura plus de propagules.

Le protocole est réalisé sur le sol incendié et non incendié des trois stations.

II.7.1. Dispositif expérimental

Les dilutions ont été réalisées au nombre de cinq en homogénéisant du sol des stations d'étude avec inoculum contenant les champignons mycorhiziens à arbuscule (CMAs) de chaque échantillon de sol mélangé avec du sol 2 fois stérilisé pendant 20 minutes à l'autoclave. Les dilutions ont été préparées comme suit :

- Dilution 10⁻¹ : 30 g de sol étudié + 270 g de sol stérile = 300 g (1).
- Dilution 10⁻² : 30 g (1) + 270 g de sol stérile = 300 g (2)
- Dilution 10⁻³ : 30 g (2) + 270 g de sol stérile = 300 g (3)
- Dilution 10⁻⁴ : 30 g (3) + 270 g de sol stérile = 300 g (4)
- Dilution 10⁻⁵ : 30 g (4) + 270 g de sol stérile = 300 g (5)

Les dilutions ont été mises dans des pots à raison de 3 répétitions par niveau de dilution.

II.7.2. Production des plantes de coriandre

Les essais sont réalisés sur une plante hôte herbacées de la famille des Apiacées(Ombellifères) qui est la coriandre. Les graines de coriandre sont d'abord mises dans un bain d'eau oxygénée pendant 10 minutes. Les graines ainsi aseptisées sont disposées dans des boîtes de pétri sur du coton, le tout stérilisé et imbibées d'eau distillée. Les boîtes sont entreposées dans une étuve à 25 °c pendant une semaine pour la germination.

Une fois les graines sont germées, 3 à 4 plantules sont entreposées dans un sachet de dilution à raison de trois répétitions par dilution. Les sachets sont ensuite placés à une température ambiante et dans un endroit bien ensoleillé. L'arrosage a été effectué un jour sur deux à l'eau du robinet (Figure 17).

Après six semaines, le système racinaire entier est récolté et coloré pour mettre en évidence la mycorhization selon la méthode de Phillips et Hayman (1970) et la quantification de la mycorhization a été estimée selon la méthode de Trouvelot *et al.*, (1986).

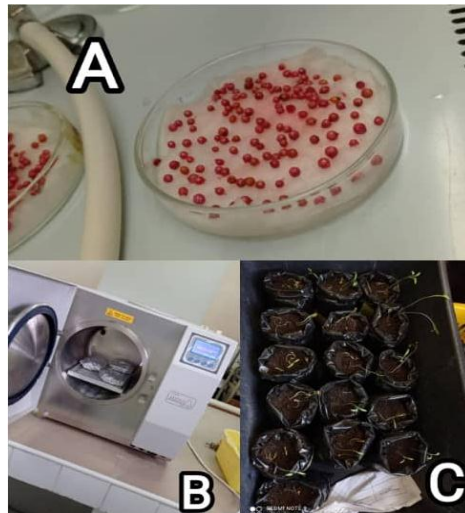


Figure 17: étapes de la réalisation du dispositif expérimental du Pouvoir endomycorhizogène des sols des stations incendiées et non incendiées :A-graines mises dans des boîtes de pétries ;B-les boîtes de pétrie mises dans l'étuve ; C-les sachets des plantes obtenues.

II.8. Traitements Statistiques

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse de la variance et à une Analyse en composante principale à l'aide de logiciels Stat box 6 et Logiciel R.

III. Chapitre 3 : Résultats et discussions

III.1. Analyse des paramètres mesurés du sol du chêne liège des trois stations d'étude

Les paramètres mesurés pour le sol du chêne liège sont (les températures, le pH et l'humidité) selon les 3 facteurs : incendié en 2021 ; incendié en 2015 ; non incendié pour les trois stations étudié sont mentionnés dans le tableau 5 :

Tableau 5 : Quelques variations écologiques des trois stations d'études.

III.1.1. Température du sol

Dans la station d'Ath khier, la température du sol enregistrée est de 12.7°C en moyenne au niveau du sol non incendié et de 13.5°C dans le sol incendié en 2015 et de 18.6°C dans le sol incendié. La station d'Iguersafen, a accusé des valeurs moyennes de 23.3°C et de 28.9°C respectivement pour le sol non incendié et le sol incendié. Enfin, au niveau du sol de la station de Béni khalfoun les valeurs enregistrées étaient en moyenne de 22°C et de 24.8°C dans le sol non incendié et dans le sol incendié. Les chiffres mesurés traduisent des températures du sol incendiés plus importante de 2 à 6 °c de différence entre les sols incendié et non incendiés dans les mêmes stations.

III.1.2. L'humidité du sol

Pour ce qui est le taux d'humidité moyen du sol de la station d'Ath khier, il est de 52.3% pour le sol non incendié, 57.1% pour le sol incendié en 2015 et de 54.3% pour le sol incendié ; Le sol de la station d'Iguersafen a enregistré 55.7% pour le sol non incendié et 32.1% pour le sol incendié. Une différence significative de l'humidité en faveur des sols non incendié a été noté de l'ordre de 18% et inversement pour les sols de la station Ait Khier.

III.1.3. pH du sol

Le pH du sol de la station d'Ath khier, sont légèrement basique à basiques ; le sol de la station d'Iguersafen avec un pH de 6.44 pour le sol non incendié et de 6.68 pour le sol incendié est classé neutre à légèrement basique. Par contre, le sol de la station Draa El Mizan, le pH eau

Résultats et discussions

du sol est de 5.75 du sol non incendié et de 7.65 pour le sol incendié indique un écart important de sol acide à un sol légèrement basique dû probablement à l'effet de l'incendie.

Selon Duchaufour(1965), les sols humides s'échauffent beaucoup plus vite que les sols secs ce qui explique les chiffres enregistré chez le sol incendié de la station d'Iguersafen qui représente une humidité de 32.1% et une température de sol plus élevée.

III.2. Les mycorhizes des racines des arbres de *Quercus suber* L. des trois stations d'études

III.2.1. Statut ectomycorhizien du chêne liège

L'observation de plus de 2160 racines courtes de *Quercus suber* L. des trois stations étudiées (Ath khier, Iguersafen, Béni khalfoun), a permis d'inventorier 80 morphotypes d'ectomycorhizes d'aspect et de couleur très variés. Ce nombre varie d'une population à une autre et d'une catégorie à l'autre selon le facteur d'incendie.

III.2.1.1. Les morphotypes ectomycorhiziens communs dans les 3 populations d'études

Ecm 8 : un morphotype de type exploratoire contact qui se présente sous forme courbé, non ramifiée, hydrophile de couleur marron avec une texture lisse et ne possède pas de rhizomorphes (figure 18 et 19).

Ecm 14 : est de type exploratoire de courte distance, hydrophile. Elle présente une forme simple, non ramifiée de couleur marron matte. Le mycélium extra matriciel est peu abondant. Le manteau possède une texture granuleuse (figure 20,21 et 22).

Ecm 22 : Est de type exploratoire de courte distance, hydrophile. Elle présente une forme non ramifié courbé de couleur marron, le manteau possède une texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel peu abondant (figure 23 et 24).

Ecm 24 : Est de type exploratoire contact, hydrophile, elle présente une forme droite non ramifié de couleur claire, le manteau est lisse et ne possède pas de rhizomorphes (figure 25).

Résultats et discussions

Ecm 31 : De type exploratoire moyenne et longue distance, hydrophobe, d'une couleur marron claire, elle présente une forme non ramifiée sinueuse à l'extrémité avec une texture granuleuse et un mycélium extra matriciel et avec rhizomorphes peu abondant (figure 26 et 27).

Ecm 45 : Morphotype de type exploratoire moyenne distance, de couleur beige, hydrophile, non ramifié de forme droite avec une texture dense ficelle et un mycélium extra matriciel abondant épais et fin (figure 28 et 29).

III.2.1.2. Les morphotypes ectomycorhiziens communs dans les 3 catégories d'arbres

Ecm 7 : il est du type exploratoire moyenne et longue distance, hydrophile d'une couleur noir, avec une forme droite non ramifiée à une texture dense ficelle et un mycélium peu abondant épais avec rhizomorphes (figure 30).

Ecm10 : morphotype de couleur marron, hydrophobe de type exploratoire courte distance, avec une forme apex plus large que la base. Le manteau est d'une texture granuleuse, avec un mycélium peu abondant fin (figure31).

Ecm 17:ectomycorhize contact hydrophile d'une couleur marron miel et d'une forme sinueuse non ramifiée avec une texture lisse et ne possède pas de rhizomorphes (figure 32).

Ecm 18: morphotype de couleur marron miel, hydrophile, avec une forme sinueuse non ramifiée et une texture granuleuse, de type exploratoire moyenne et longue distance avec un mycélium extra matriciel peu abondant avec rhizomorphes (figure 33).

Ecm 25: de type exploratoire longue distance, de couleur noir hydrophile, de forme droite non ramifiée et une texture dense ficelle, présente un mycélium extra matriciel très abondant fin et épais (figure 34).

Ecm 27: morphotype de type exploratoire courte distance, d'une couleur marron et hydrophobe et d'une forme sinueuse avec une texture granuleuse, il a un mycélium extra matriciel peu abondant et fin (figure 35).

III.2.1.3. Les morphotypes ectomycorhizien communs dans les stations Ath Khier (Mekla) et Iguersafen (Bouzeguene)

Ecm 1 : morphotype de couleur marron, de forme non ramifié sinueuse à l'extrémité avec une texture lisse et ne possède pas de rhizomorphes (figure 37).

Ecm 5 : ectomycorhize contact de couleur jaune hydrophile, d'une forme apex plus large que la base, lisse et ne possède pas de rhizomorphes (figure 41).

Ecm 6 : est de type d'exploratoire moyenne et longue distance hydrophile, d'une couleur marron claire, d'une forme courbé non ramifié avec une texture granuleuse et un mycélium extra matriciel peu abondant avec rhizomorphes (figure 42).

Ecm 12 : ectomycorhize de couleur marron hydrophile, non ramifié d'une forme apex plus large que la base avec une texture granuleuse et un mycélium extra matriciel peu abondant et fin (figure 45).

Ecm 16 : ectomycorhize moyenne et longue distance de couleur noire hydrophile, d'une forme courbé non ramifié et une texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel abondant épais avec rhizomorphes (figure 48).

Ecm 20 : morphotype du type exploratoire moyen et longue distance ramifié irrégulière pennée d'une forme sinueuse et une texture granuleuse et un mycélium extra matriciel peu abondant avec rhizomorphes (figure 50).

Ecm 21 : morphotype du type exploratoire courte distance, hydrophile, d'une couleur marron et noir, ramifié irrégulière pennée avec une forme sinueuse et une texture dense ficelle son mycélium extra matriciel est peu abondant et fin (figure 51).

Ecm 33 : ectomycorhize moyenne distance marron, hydrophile, non ramifié d'une forme courbé et une texture dense ficelle, son mycélium extra matriciel est peu abondant et fin (figure 57).

Ecm 37 : ectomycorhize courte distance de couleur marron claire hydrophile non ramifié de forme courbé et texture granuleuse avec un mycélium extra matriciel peu abondant et fin (figure 61).

Ecm 38 : morphotype de type d'exploratoire moyenne distance, hydrophobe de couleur marron non ramifié avec une forme droite et une texture dense ficelle, son mycélium extra matriciel est peu abondant et fin (figure 62).

Résultats et discussions

Ecm 39 : ectomycorhize moyenne et longue distance, hydrophile de couleur noir, non ramifié de forme sinueuse et d'une texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel peu abondant et fin avec rhizomorphes (figure 63).

Ecm 40 : morphotype de type exploratoire courte distance, hydrophobe de couleur marron, non ramifié d'une forme droite et une texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel peu abondant et fin (figure 64).

Ecm 42 : ectomycorhize moyenne et longue distance, hydrophile de couleur marron, non ramifié tortueuse avec une texture granuleuse un mycélium extra matriciel peu abondant et fin avec rhizomorphes (figure 66) .

Ecm 43 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, hydrophile de couleur marron droite granuleuse avec un mycélium peu abondant épais avec rhizomorphes (figure 67).

Ecm 44 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, hydrophile de couleur beige non ramifié droite. Le manteau en dense ficelle avec un mycélium extra matriciel abondant fin et épais avec rhizomorphes (figure 68) .

III.2.1.4. Les morphotypes ectomycorhizien communs dans les stations Ath Khier (Mekla) et Draa el mizan

Ecm 3 : type d'exploratoire moyenne et longue distance, couleur marron hydrophobe avec une forme courbé non ramifié et une texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel abondant avec rhizomorphes (figure 39).

III.2.1.5. Les morphotypes ectomycorhizien communs dans les stations Iguersafen (Bouzeguene) et Draa el mizan

Ecm 46 : ectomycorhize moyenne et longue distance, beige, hydrophile, non ramifié droite avec une texture dense ficelle et un mycélium extra matriciel peu abondant et fin avec rhizomorphes (figure 69).

Résultats et discussions

Ecm 47 : morphotype de type exploratoire courte distance, de couleur marron, hydrophile, avec une forme apex plus large que la base non ramifié, avec une texture dense ficelle et un mycélium peu abondant et fin (figure 70).

Ecm 66 : morphotype de type exploratoire courte distance, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme courbé et une texture feutrage non ramifié avec un mycélium extra matriciel peu abondant fin (figure 89).

III.2.1.6. Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station d'Ath khier (Mekla)

Ecm 2 : est de couleur marron claire, avec une forme droite non ramifié et une texture granuleuse, avec un type d'exploratoire moyenne et longue distance et un mycélium extra matriciel peu abondant avec rhizomorphes (figure 38).

Ecm 4 : ectomycorhize contact hydrophobe, marron claire, non ramifié droite avec une texture lisse et ne possède pas de rhizomorphes (figure 40). **Ecm 9** : morphotype de type exploratoire courte distance, de couleur marron claire hydrophobe avec une forme courbé et une texture granuleuse et un mycélium extra matriciel peu abondant et fin (figure 43).

Ecm 11 : morphotype de couleur marron claire non ramifié de forme apex plus large que la base d'une texture granuleuse et de type exploratoire moyen et longue distance avec un mycélium extra matriciel peu abondant avec rhizomorphes (figure 44).

Ecm 13 : ectomycorhize de couleur marron courte distance, non ramifié droite granuleuse avec un mycélium extra matriciel peu abondant et fin (figure 46).

Ecm 15 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance de forme sinueuse, hydrophobe avec une couleur marron claire et une texture granuleuse et un mycélium extra matriciel peu abondant et avec rhizomorphes (figure 47).

Ecm 19 : ectomycorhize moyenne et longue distance d'une couleur marron claire hydrophile d'une forme sinueuse et d'une texture granuleuse avec un mycélium extra matriciel peu abondant avec rhizomorphes (figure 49).

Ecm 23 : de type exploratoire moyenne et longue distance, de couleur marron claire hydrophile, non ramifié de forme sinueuse et une texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel abondant et fin avec rhizomorphes (figure 52).

Ecm 26 : ectomycorhize blanche, hydrophile et moyenne et longue distance non ramifié avec une forme apex plus large que la base, dense ficelle avec un mycélium extra matriciel peu abondant et fin avec rhizomorphes (figure 53).

Résultats et discussions

Ecm 28 : de type exploratoire moyenne et longue distance de couleur marron, hydrophile, non ramifié avec une forme courbé et une texture granuleuse. Son mycélium extra matriciel est abondant épais et fin avec rhizomorphes (figure 36)

Ecm 29 : ectomycorhize de type exploratoire courte distance, de couleur marron claire hydrophobe, non ramifié avec une forme courbé et une texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel abondant et fin (figure 54).

Ecm 30 : de type exploratoire contact, hydrophile de couleur noir, non ramifié droite, lisse et ne possède pas de rhizomorphes (figure 55) .

Ecm 32 : de type exploratoire moyenne et longue distance, hydrophobe de couleur marron, non ramifié avec une forme droite et une texture dense ficelle, son mycélium est peu abondant fin et épais avec rhizomorphes (figure 56).

Ecm 34 : de type exploratoire moyen et longue distance, hydrophile d'une couleur marron, non ramifié et de forme apex plus large que la base avec une texture granuleuse et mycélium extra matriciel peu abondant et fin avec rhizomorphes (Figure 58).

Ecm 35 : de type exploratoire courte distance, de couleur marron hydrophobe, non ramifié de forme sinueuse et une texture dense ficelle, avec un mycélium extra matriciel très fin (figure 59).

Ecm 36 : ectomycorhize moyenne et longue distance, marron, hydrophile, non ramifié avec une forme apex plus large que la base et une texture laineuse avec un mycélium extra matriciel abondant et fin avec rhizomorphes (figure 60).

Ecm 41 : ectomycorhize moyenne et longue distance, marron, hydrophile, non ramifié d'une forme courbé et une texture laineuse avec un mycélium extra matriciel très abondant et fin avec rhizomorphes (figure 65) .

III.2.1.7. Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station d'Iguersafen (Bouzeguene)

Ecm 48 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur noir hydrophile, ramifié monomodiale pyramidale d'une forme courbé et une texture granuleuse avec un mycélium extra matriciel abondant fin et épais avec rhizomorphes (figure 71).

Résultats et discussions

Ecm 49 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur marron foncé hydrophile d'une forme courbé et une texture en feutrage non ramifié avec un mycélium extra matriciel abondant épais avec rhizomorphes (figure 72).

Ecm 50 : morphotype de type exploratoire courte distance, d'une couleur marron claire hydrophile avec une forme sinueuse et une texture dense ficelle non ramifié avec un mycélium extra matriciel peu abondant fin (figure 73).

Ecm 51 : morphotype de type exploratoire courte distance, d'une couleur marron miel hydrophile avec une forme tortueuse et une texture en feutrage non ramifié avec un mycélium extra matriciel peu abondant fin (figure 74).

Ecm 52 : morphotype de type exploratoire courte distance, d'une couleur marron miel hydrophile avec une forme sinueuse et une texture en feutrage non ramifié avec un mycélium extra matriciel peu abondant fin (figure 75).

Ecm 53 : morphotype de type exploratoire moyenne distance, d'une couleur noir hydrophile, non ramifié avec une forme sinueuse. Le manteau de texture cotonneuse, avec un mycélium extra matriciel abondant fin avec rhizomorphes (figure 76).

Ecm 54 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur noir hydrophile, ramifié monomodale pyramidale d'une forme courbé. Le manteau est de texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel très abondant épais avec rhizomorphes (figure 77).

Ecm 55 : morphotype de type exploratoire courte distance, d'une couleur marron claire hydrophile, ramifié monomodale pyramidale d'une forme sinueuse et une texture granuleuse avec un mycélium extra matriciel peu abondant fin (figure 78).

Ecm 56 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur miel et beige hydrophile, ramifié monomodale pyramidale d'une forme droite et d'une texture granuleuse avec un mycélium extra matriciel peu abondant fin avec rhizomorphes (figure 79).

Ecm 57 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme sinueuse et une texture granuleuse irrégulière pennée avec un mycélium extra matriciel abondant fin (figure 80).

Ecm 58 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme coralloïde tortueuse et d'une texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel peu abondant fin avec rhizomorphes (figure 81).

Ecm 59 : morphotype de type exploratoire courte distance, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme dichotomique sinueuse et une texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel peu abondant fin (figure 82).

Résultats et discussions

Ecm 60 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme monomodale pennée courbé et une texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel abondant fin avec rhizomorphes (figure 83).

Ecm 61 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme dichotomique sinueuse et une texture dense ficelle avec un mycélium très abondant fin avec rhizomorphes (figure 84).

Ecm 62 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme monomodale pennée sinueuse et une texture dense ficelle avec un mycélium extra matriciel abondant fin avec rhizomorphes (figure 85).

Ecm 63 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme courbé et une texture non ramifié dense ficelle avec un mycélium extra matriciel très abondant fin épais avec rhizomorphes (figure 86).

Ecm 64 : morphotype de type exploratoire courte distance, d'une couleur marron /noir hydrophile, avec une forme dichotomique courbé et une texture granuleuse avec un mycélium extra matriciel peu abondant fin (figure 87).

Ecm 65 : morphotype de type exploratoire courte distance, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme droite et une texture dense ficelle irrégulière pennée avec un mycélium extra matriciel peu abondant fin (figure 88).

Ecm 67 : morphotype de type exploratoire contact, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme tortueuse et une texture lisse irrégulière pennée (figure 90).

Ecm 68 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme courbé et une texture dense ficelle irrégulière pennée avec un mycélium extra matriciel abondant fin avec rhizomorphes (figure 91).

Ecm 69 : morphotype de type exploratoire contact, d'une couleur marron hydrophile, ramifié monomodale pyramidale d'une forme droite et une texture lisse (figure 92).

Ecm 70 : morphotype de type exploratoire court distance, d'une couleur noir hydrophile, avec une forme droite et une texture dense ficelle coralloïde avec un mycélium extra matriciel peu abondant fin (figure 93).

Ecm 71 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur marron hydrophile, avec une forme tortueuse et une texture dense ficelle irrégulière pennée avec un mycélium extra matriciel abondant fin avec rhizomorphes (Figure 94).

Ecm 72 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur marron /noir hydrophile, avec une forme droite et une texture dense ficelle irrégulière pennée avec un mycélium extra matriciel abondant fin avec rhizomorphes (figure 95).

III.2.1.8. Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station de Draa el mizan

Ecm 73 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur noir hydrophobe, avec une forme courbé et une texture granuleuse monomodale pennée et un mycélium extra matriciel peu abondant fin avec rhizomorphes (figure 96).

Ecm 74 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur noir hydrophobe, avec une forme courbé et une texture granuleuse et un mycélium extra matriciel peu abondant fin avec rhizomorphes (figure 97).

Ecm 75 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur noir hydrophobe, ramifié monomodale pyramidale avec une forme courbé et une texture granuleuse et un mycélium extra matriciel peu abondant fin avec rhizomorphes (figure 98).

Ecm 76 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur noir hydrophile, avec une forme droite et une texture granuleuse irrégulière pennée et un mycélium extra matriciel abondant fin avec rhizomorphes (figure 99).

Ecm 77 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur noir hydrophile, avec une forme droite et une texture granuleuse non ramifié et un mycélium extra matriciel abondant épais avec rhizomorphes (figure 100).

Ecm 78 : morphotype de type exploratoire courte distance, d'une couleur marron claire hydrophile, avec une forme droite et une texture dense ficelle et un mycélium extra matriciel peu abondant fin (figure 101).

Ecm 79 : morphotype de type exploratoire moyenne et longue distance, d'une couleur marron hydrophobe, avec une forme droite et une texture laineuse irrégulière pennée et un mycélium extra matriciel très abondant fin /épais avec rhizomorphes (figure 102).

Ecm 80 : morphotype de type exploratoire court distance, d'une couleur beige hydrophile avec une forme sinueuse et une texture granuleuse non ramifié et un mycélium extra matriciel peu abondant fin (figure 103).

Chez le chêne liège, nous avons décrit respectivement 45, 49 et 20 morphotypes chez les arbres de la station d'Ath khier, d'Iguersafen et Béni khalfoun. Certains morphotypes ne se rencontrent que dans un seul peuplement d'autres sont communs aux trois populations comme (morphotype 8, morphotype 14, morphotype 22, morphotype 24, morphotype 31 et

Résultats et discussions

morphotype 45). L'observation des ectomycorhizes par catégorie d'incendie, nous montre que certains morphotypes n'apparaissent que chez une seule catégorie, alors que d'autres sont présents dans toutes les catégories (incendié, non incendié, incendié en 2015) au nombre de dix à savoir 12,5% de la communauté totale. 87% reste spécifique au facteur station. Cependant il est intéressant de signaler l'absence de spécificité des morphotypes vis-à-vis du facteur incendie.

La richesse ectomycorhizienne classée selon les groupes d'exploration, dévoile une stratégie d'exploration en faveur du type moyenne et longue distance suivi par la courte distance (Tableau 6).

Tableau 6: les groupes d'ectomycorhizes observés selon le type d'exploration du sol :

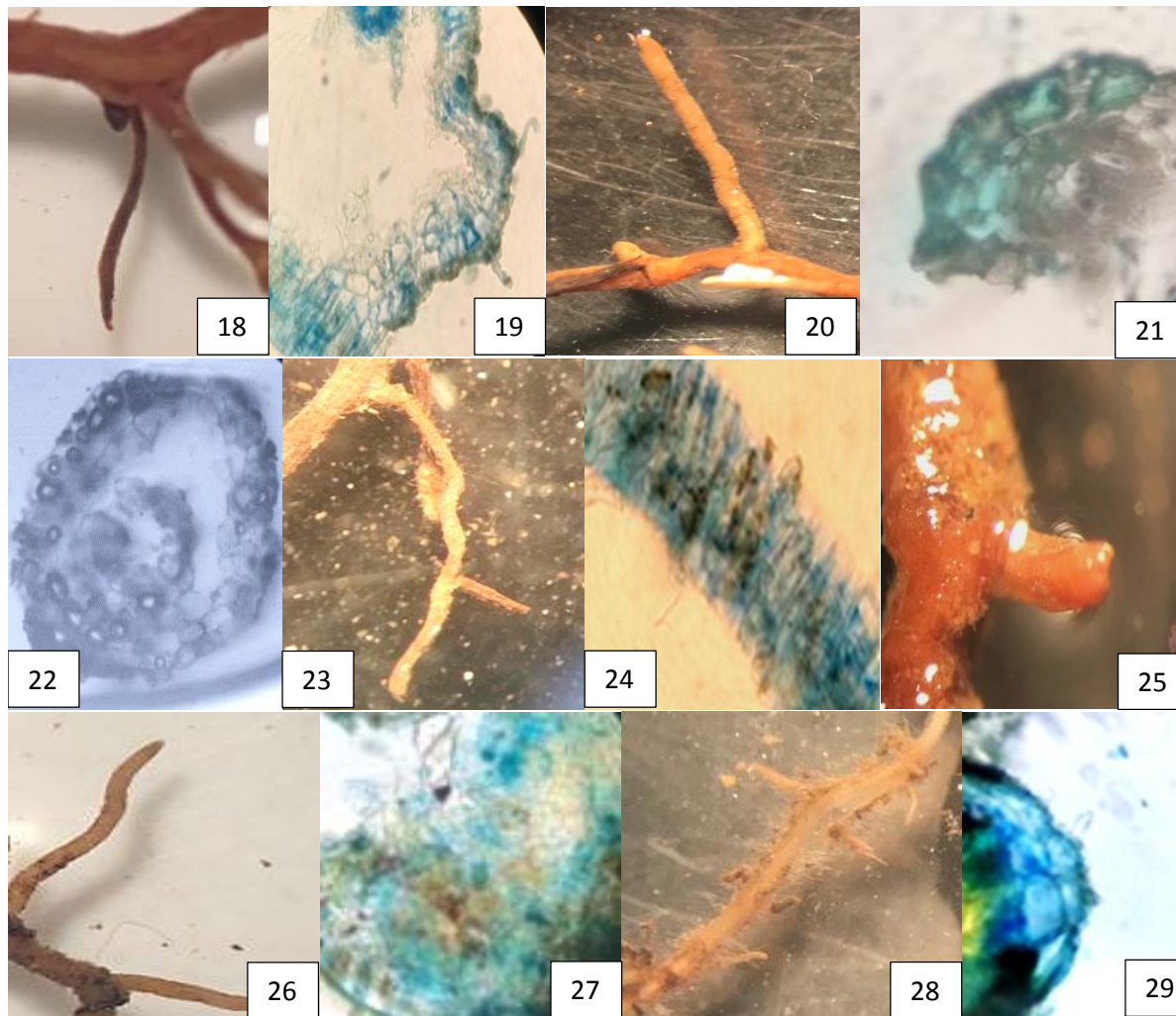


Figure18-29: Les morphotypes ectomycorhiziens communs des trois populations.

Figure18-19: ECM8; figure20-21-22: ECM14; figure 23-24:ECM22; figure25:ECM24;
figure26-27:ECM31; figure28-29:ECM45.

Résultats et discussions



Figure 30-36 :Les morphotypes ectomycorhiziens communs des trois catégories d'incendie. fig30 : ECM7 ,fig 31 :ECM10, fig32 :ECM17, fig33 :ECM18, fig34 :ECM25, fig35 :ECM27.



Figure 36-50 Les morphotypes ectomycorhizien communs dans les stations Ath Khier (Mekla) et Iguersafen (Bouzeguene).fig36 :ECM1 ;fig37 :ECM5 ;fig38 :ECM6 ;fig39 :ECM12 ; fig40 :ECM16 ;fig41 :ECM20 ;fig42 :ECM21 ;fig43 :ECM33 ;fig44

Résultats et discussions

:ECM37 ;fig45 :ECM38 ;

fig46 :ECM39 ;fig47 :ECM40 ;fig48 :ECM42 ;fig49 :ECM43 ;fig50 :ECM44.

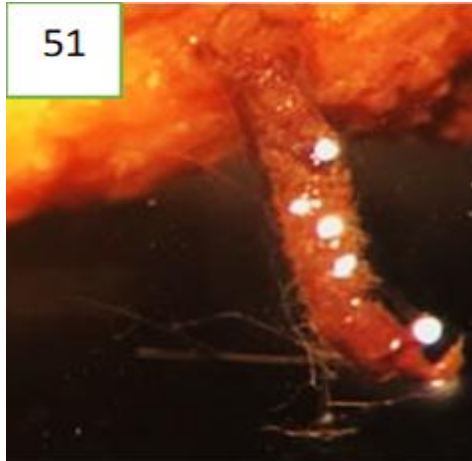


Figure 51 :morphotype ectomycorhizien commun dans la station d'Ath Khier(Mekla) et Draa El Mizane.fig51 :ECM3.



Figure 52-54 : Les morphotypes ectomycorhizien communs dans la station d'Iguersafen (Bouzeguene) et Draa El Mizan. Fig52 :ECM46 ;fig53 :ECM47 ;fig54 :ECM66.

Résultats et discussions

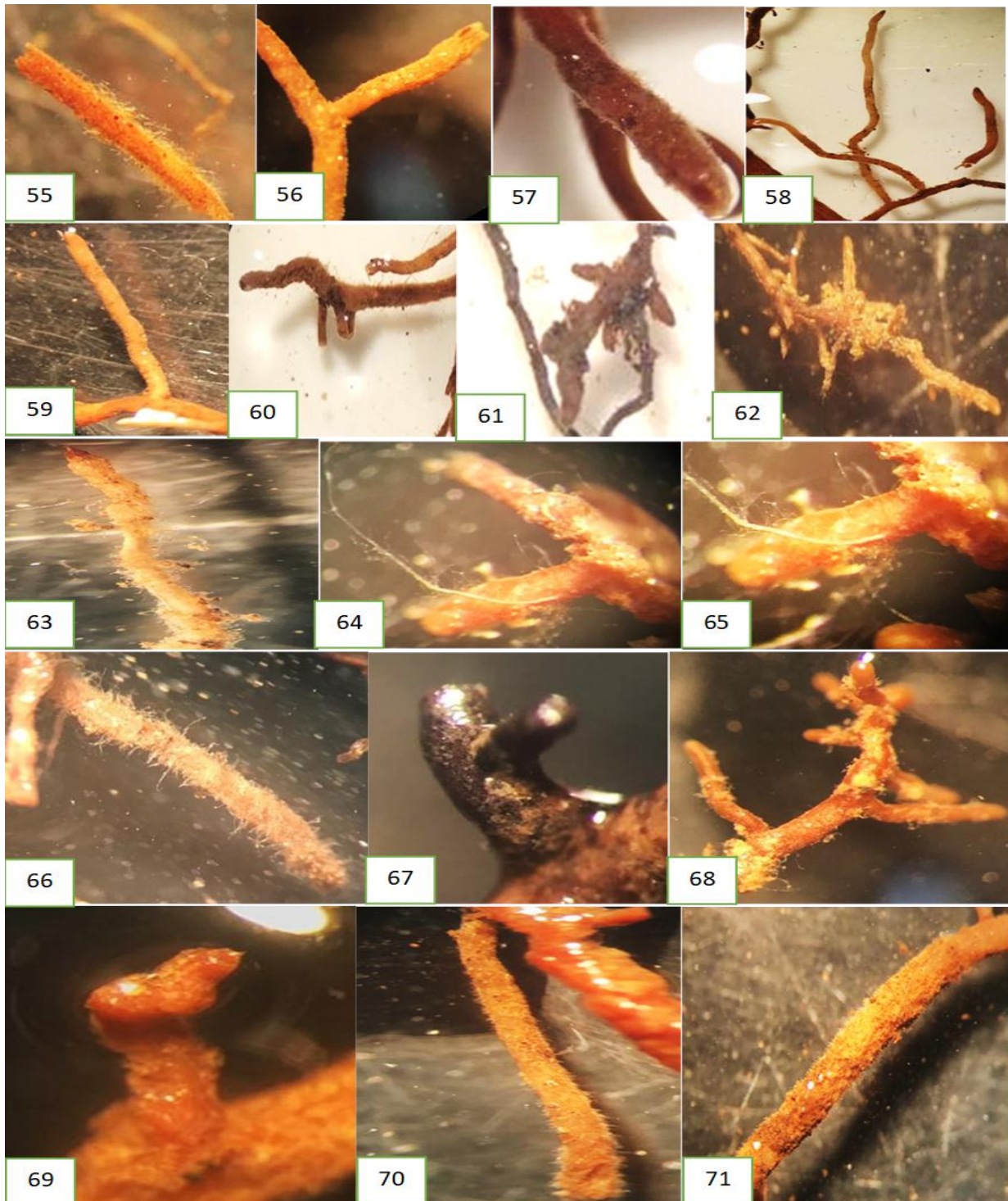


Figure 55-71 : Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station d'Ath Khier (Mekla). Fig 55 : ECM2 ; fig 56 : ECM4 ; fig 57 : ECM9 ; fig 58 : ECM11 ; fig 59 : ECM13 ; fig 60 : ECM15, fig 61 : ECM19 ; fig 62 : ECM23 ; fig 63 : ECM26 ; fig 64 : ECM28 ; fig 65 : ECM29 ; fig 66 : ECM30, fig 67 : ECM32 ; fig 68 : ECM34 ; fig 69 : ECM35 ; fig 70 : ECM36 ; fig 71 : ECM41.



Figure72-83:Lesmorphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station d'Iguersafen(Bouzeguene).fig72:ECM48; fig73 : ECM49; fig74 : ECM50; fig75 : ECM51;fig76 :ECM52; fig77: ECM53;fig78 : ECM54;fig79 : ECM55;fig80 : ECM56;fig81 : ECM57;fig82:ECM58; Fig83:ECM59.

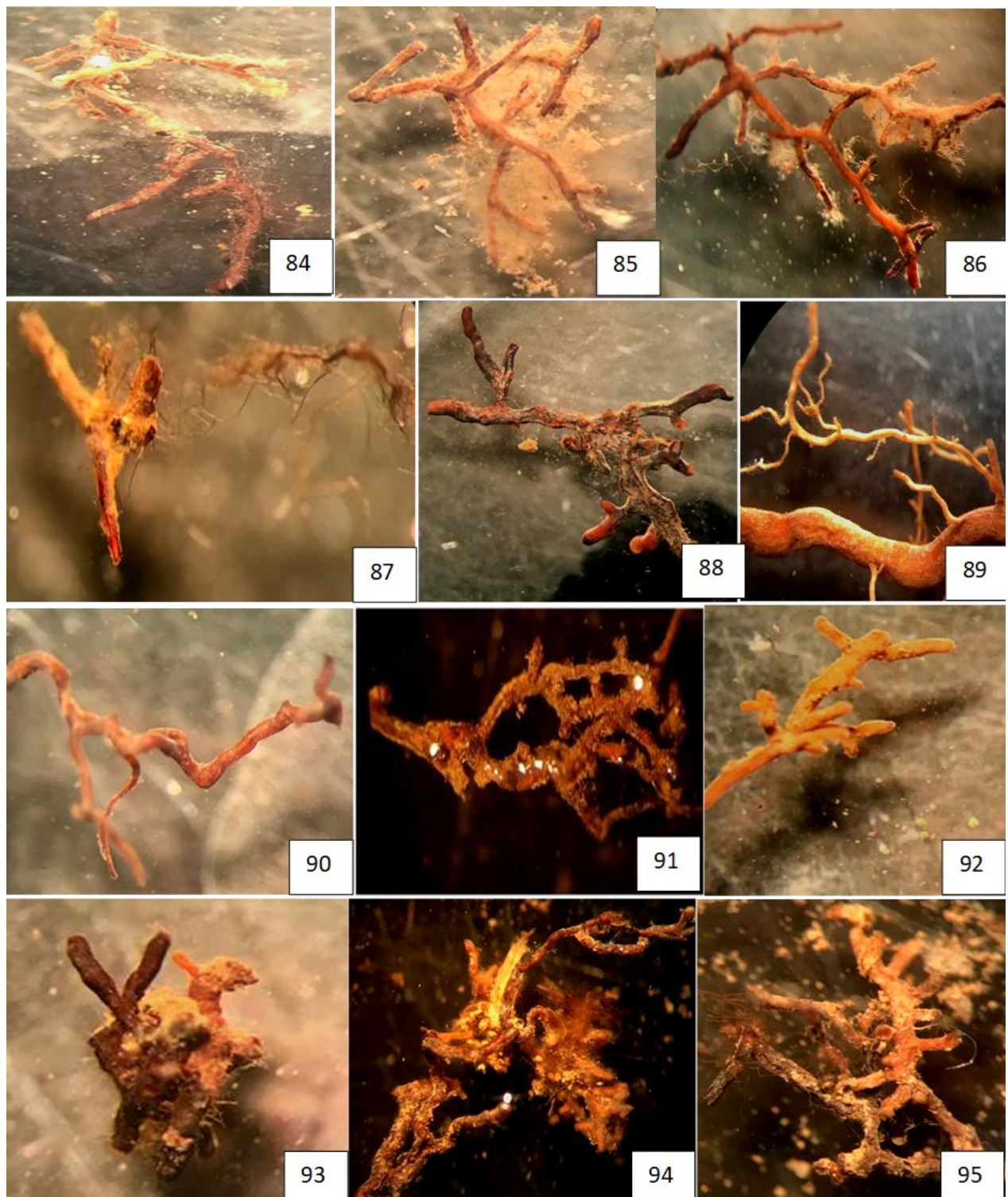


Figure84-95 : Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station d'Iguersafen (Bouzeguene).fig84:ECM60;fig85:ECM61 ;fig86:ECM62 ;fig87:ECM63 ;fig88 :ECM64 ;fig 89 : ECM65 ;fig90 : ECM67 ;fig91: ECM68 ;fig92 : ECM69 ; fig93: ECM70; fig94: ECM71; fig95:ECM72.



Figure 96-103 Les morphotypes ectomycorhiziens spécifique de la station de Draa El Mizan. fig96: ECM73; fig97: ECM74; fig98: ECM75; fig99: ECM76; fig100: ECM77; fig101: ECM78, fig102: ECM79, fig103: ECM80.

III.2.2. Statut endomycorhiziens du chêne liège

L'analyse des racines de différents arbres de chêne liège a permis de noter une absence de structures endomycorhiziennes au niveau des racines des sujets non incendié et ceux incendié il y'a 7 ans. Néanmoins, l'observation des racines des arbres incendiés en aout 2021 et des racines des arbres de la station d'Azouza prélevé par kadi-Bennane en 2012 ont permis de mettre en évidence la colonisation endomycorhizienne (Figures 104,105,106,107,108,109,110).

Figure 104-110 : les structures endomycorhiziennes : figures 104-105-106 montrent les arbuscules ; figures 107 et 108 montrent les vésicules de différent diamètres ; figure 109 montre des hyphes ; figure 110 montre des endophytes.

III.3. Le comptage de la mycorhization au niveau des racines des chênes incendiés et non incendié

III.3.1. Quantification des ectomycorhizes

Nous avons utilisé la méthode de « gridline intersect qui nous a permis de compter la longueur racinaire ectomycorhizienne (Tableau 7). L'analyse des résultats de la richesse morpho typique quantifiée permet de qualifier la colonisation du chêne liège chez les peuplements incendié relativement plus élevée comparativement aux peuplements non incendié. La richesse classée selon les groupes d'exploration, dévoile une stratégie d'exploration en faveur du type courte distance et moyenne et moyenne.

Tableau 7: Quantification des ectomycorhizes formées chez le chêne liège des trois stations (RM : richesse morphotypique ; S Spécifique ; C : contact, CD : courte distance ; MLD : moyenne et longue distance) :

Tableau 8 : Anova des paramètres mesuré sur la colonisation ectomycorhizienne des chênes lièges des trois populations :

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 8) ont révélé l'absence de différence significative pour les variables nombre d'ectomycorhize et de l'humidité du sol. La richesse ectomycorhizienne a présenté des différences significatives entre la population les individus de Draa El Mizan non incendié et celle de Bouzeguene incendié avec $P= 0.047$.

Cependant l'ANOVA réalisées pour les variables température du sol, pH du sol, pente confirment une présence de différence significative entre les populations avec les valeurs les plus faibles au niveau des stations incendiées.

Indice de Jaccard et indice de Sorensen :

Afin d'analyser la similitude de la communauté ectomycorhizienne du chêne liège et l'effet du turn-over des espèces importante entre les différentes stations d'études, nous avons calculé l'indice de similarité de *Jaccard* et de *Sorensen* (Dice). (Tableaux 9 et 10)

Selon Grall&Coïc (2006), les indices de similarité permettent de comparer différents sites entre eux sur la base de leur composition et de l'abondance spécifique.

Résultats et discussions

Tableau 9: Indice de similarité de *Jaccard* entre les différentes populations de chêne liège incendiées et non incendiées.

Tableau 10: Indice de similarité de *Sorensen* entre les différentes populations de chêne liège incendiées et non incendiées (NI : non incendiée ; INC : incendiée).

Les résultats du calcul de l'indice de *Jaccard* et de *Sorensen* obtenus et transcrits dans les (tableaux 9 et 10), inférieur à 50% confirment l'absence de similitude entre les différentes communautés des populations et celles incendiées et non incendiées indiquant des communautés hétérogènes et un important *Turn-over* induit par les facteurs station et incendie.

III.3.2. Quantification des endomycorhizes

Nous avons utilisé la méthode de « gridline intersect qui nous a permis de compter la longueur racinaire endomycorhizienne (tableau 11) chez les chênes étudiés.

Les résultats obtenus montrent un taux d'infection fongique des racines des peuplements incendiés de la station d'Ath khier de 93.3% étant le taux le plus élevé. Un taux de mycorhization des racines des peuplements incendiés de la station d'Iguersafen de 68.3%. Les racines du chêne liège de la population d'Azouza ont enregistré le taux le plus faible mais non moins considérable de 66.66% évoquant une colonisation endomycorhizienne de plus de la moitié du système racinaire.

Le taux en la teneur arbusculaire on a un taux très élevé dans les racines des peuplements de la station d'Ath khier, un taux faible dans les racines des peuplements de la station d'Iguersafen et un taux très faible dans la station d'Azouza.

Tableau 11: Anova de la Quantification de la colonisation de l'endomycorhizes chez les différentes populations de chêne liège incendiées.

Les résultats de l'ANOVA réalisée concernant la fréquence endomycorhizienne a mis en exergue l'absence de différence significative pour le facteur fréquence de la mycorhization entre tous les individus incendiés des stations étudiées. Et également l'absence de différence significative entre les individus d'Azouza et Bouzeguene pour les quatre facteurs de colonisation endomycorhizienne.

Néanmoins, les facteurs d'endomycorhizes à savoir M%, m%, A%, a% estimés ont présenté des différences hautement significatives entre les individus de la forêt d'Azouza à 2 mois après incendie, la population de Bouzeguene et les arbres de la station d'Ath khier à 9 mois après incendié à $P=0.001$.

III.4. Corrélations des paramètres mesurés de la colonisation ectomycorhizienne des chênes lièges des trois stations étudiées

III.4.1. Analyse de l'ACP

Le but de l'analyse en composantes principales est d'expliquer les variances observées, traiter et interpréter une somme importante de données quantitative, et ainsi faire ressortir des groupes de ressemblances entre les populations. Nous avons réalisé une ACP qui nous a permis de d'individualiser groupes de distribution des stations et des individus autour du cercle de corrélation.

III.4.2. Lecture de la matrice des corrélations

Afin d'analyser le comportement de la communauté ectomycorhizienne par sa richesse et son abondance (comptage) vis à vis des conditions du milieu et l'effet du facteur incendie une matrice de corrélation a été réalisée (Tableau12). Ce test statistique exprime l'intensité de la liaison linéaire entre les paramètres deux à deux, avec un risque d'erreur de 0.05.

Tableau 12 : Matrice de corrélation entre les variables mesurées.

Les coefficients de corrélation calculés entre les variables de la communauté ectomycorhizienne (abondance et richesse) chez le chêne liège et l'étage bioclimatique respectivement avec $r=0.49$ et $r=0.56$ révèlent un effet positif de ce dernier. Une liaison significative et négative avec le pH du sol $r=-0.53$, plus le pH est élevé moins il y'a le nombre d'ECMs donc le pH basique est défavorable pour les ECMs. Nous concluons que le nombre des ECMs augmente avec l'étage bioclimatique frais et diminue avec un ph élevé.

Cependant, des corrélations significatives et négatives entre la richesse ectomycorhizienne et la pente ($r=-0.46$), la température moyenne ($r=-0.48$) et la température maximale ($r=-0.56$) Par ailleurs, une corrélation significative et positive avec les précipitations, indiquent l'effet néfaste des températures élevées de la pente sur la diversité des ectomycorhizes chez le chêne liège et inversement pour l'abondance des précipitations.

Résultats et discussions

Il est également intéressant de signaler la présence de chiffres de corrélation non significatif et négatif entre le niveau d'incendie et le nombre des ectomycorhizes ($r=-0.37$), et une corrélation non significative et positive entre le niveau d'incendie et la richesse ectomycorhizienne ($r=0.04$). Bien que non significatif, il pourrait évoquer une stimulation de l'incendie de la richesse ectomycorhizienne.

III.4.3. Part de la variance expliquée par les axes factoriels

un tableau de valeurs propres (tableau 13) est issu de l'ACP indiquant la part de variance expliquée par chaque facteur ou composante principale, pour le choix et le nombre des axes à prendre en considération nous nous appuyons sur le principe de Kaiser-Guttman (RSE, 2006), ce critère suggère de conserver les facteurs qui présentent une valeur propre (*eigenvalue*) supérieure à 1, donc dans notre cas on prend l'axe f1 et l'axe f2 ayant respectivement des valeurs propres 4.85 et 3.47 cumulant une variance expliquée de 69,36% soit (40,43+28,94)% (Tableau 13).

Tableau 13: Valeurs propres issues de l'ACP.

III.4.4. Analyse des corrélations variables-facteurs et projections sur plans factoriels

En examinant l'annexe 1 nous avons constaté que les trois variables (température moyenne, t° minimale et t° maximale) sont bien corrélées positivement avec l'axe F1, mais les précipitations et le pH du sol affiche des valeurs négatives ce qui implique des corrélations négatives avec l'axe F1. De même pour la pente qui est corrélée négativement sur l'axe F2 elle affiche une valeur de (-0,89), mais l'étage bioclimatique est bien corrélé positivement avec l'axe F2 (Annexe 1).

III.4.5. Projection des variables sur le plan factoriel retenu

La projection des vecteurs sur l'axe F1, et l'axe F2, nous laisse constater que les variables températures moyennes, température maximale et température minimale sont corrélées positivement avec l'axe F1 et aussi sont corrélées entre elles. La variable précipitation est corrélée négativement avec ce dernier. Les variables étage bioclimatique et la richesse

Résultats et discussions

ectomycorhizienne sont corrélés positivement avec l'axe F2, contrairement à la pente qui est corrélé négativement avec cet axe. (Figure111).

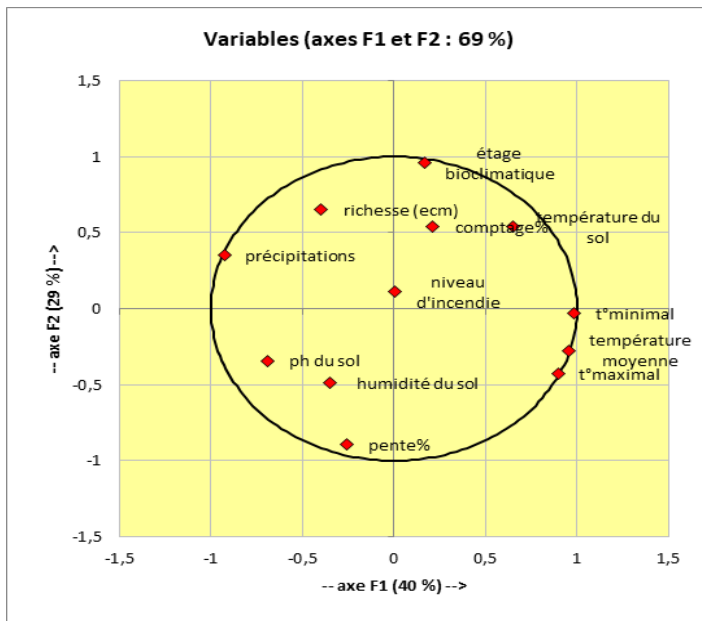
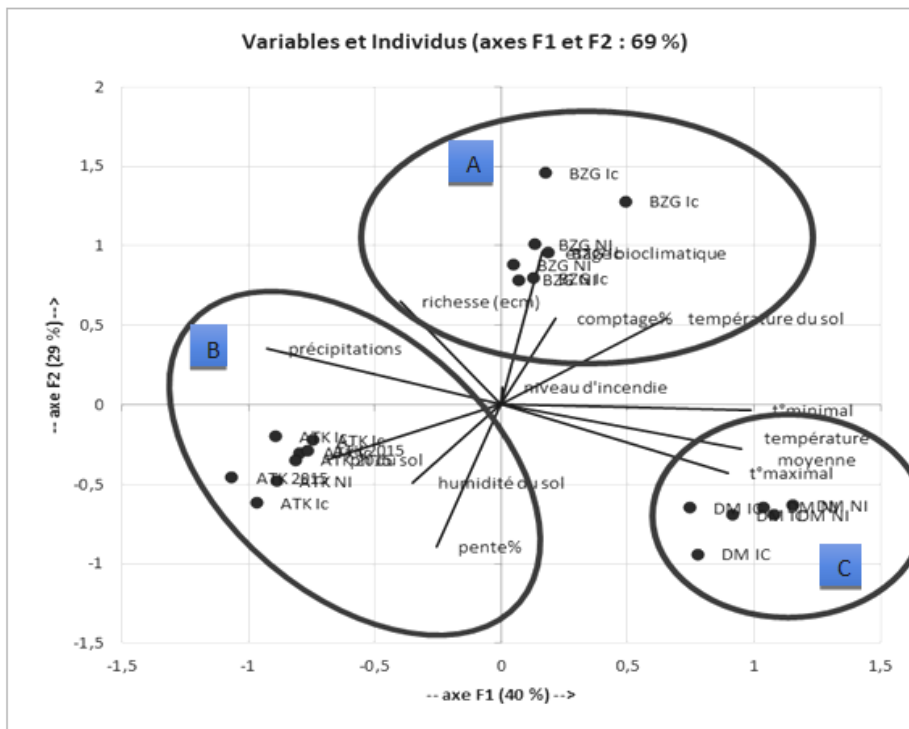


Figure 111 : Le cercle de corrélation de plan (F1 et F2).



Résultats et discussions

Figure 112 : Représentation des individus du chêne liège des trois populations incendiées et non incendiées sur le graphe de l'analyse factorielle des correspondances.

Les résultats d'ACP montrent que le plan principal formé par les deux premiers axes contribue pour 69% à l'inertie totale. Ainsi l'axe F1 reproduit à lui seul 40% de cette variance, alors que l'axe F2 participe avec 29%.

La dispersion des plants dans la matrice de corrélation nous a permis de distinguer 03 groupes A, B et C (figure 112) :

Selon l'axe F1 : nous constatons que tous les individus de la station d'Ath khier se retrouvent dans la partie négative de l'axe (groupe B). Nous remarquons que cet axe interprète un gradient élevé au pH du sol basique, donc le pH basique est défavorable pour les ectomycorhizes. Du côté positif de l'axe, se regroupe les arbres de la station de Draa el Mizan (groupe C) qui sont caractérisé par des températures moyennes, maximale et minimale très élevé.

Selon L'axe F2 tous les individus de la station de Bouzeguene se retrouvent sur la partie positive de l'axe en suivant le gradient de l'étage bioclimatique ainsi que la richesse et le comptage des ECMs confirmant ainsi que l'étage bioclimatique frais favorise la richesse et le nombre des ectomycorhizes.

III.5.Corrélation des paramètres mesurés de la colonisation endomycorhizienne des chênes lièges incendiés des trois populations étudiées

III.5.1. Analyse de l'ACP

Une analyse en composantes principales est appliquée Afin de nous permettre de relier les données calculées sur les endomycorhizes avec les conditions stationnelles. Nous constatons que pour le cercles de corrélation des variables mesurées pour les endomycorhizes le plan formé par les axes principaux (F1 X F3) permet d'expliqué 61% de l'inertie totale (variables totales) dont 43% suivant l'axe F1 et 18% pour l'axe F3. Ce dernier étant l'axe avec lequel les facteurs d'endomycorhization sont les mieux corrélés (Figure 113).

III.5.2. Projection des variables sur le plan factoriel retenu (Cercle de corrélation)

La projection des vecteurs sur l'axe F1, et l'axe F3, nous laisse constater que les variables mesurées pour les endomycorhizes (f%, M%, m%, A%, a%), le pH du sol, les précipitations et le niveau d'incendie sont corrélés positivement avec l'axe F1. Le niveau d'incendie favorise la colonisation endomycorhizienne dans les racines du chêne liège, et que les variables température moyenne, température maximale et température minimale sont corrélées négativement avec le même axe.

Les variables étage bioclimatique et la richesse ectomycorhizienne sont corrélés positivement avec l'axe F2. L'étage bioclimatique frais semble favoriser la richesse ectomycorhizienne qui évolue négativement comparativement à l'intensité endomycorhizienne.

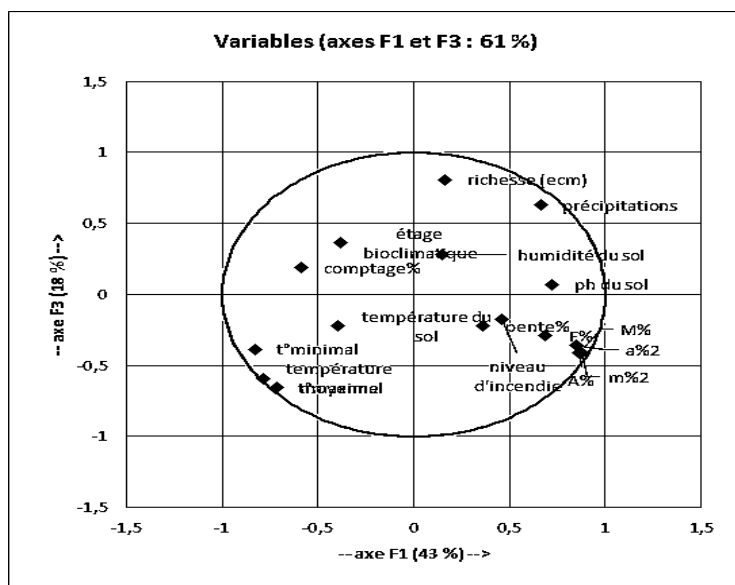


Figure 113: Le cercle de corrélation de plan (F1 et F3).

La dispersion des plants dans la matrice de corrélation a permis de distinguer quatre groupes A, B, C, D et un sous-groupe E (figure 114) :

Selon l'axe F1 : groupe A constitué des individus incendiés de la station d'Ath khier se retrouve dans la partie positive de l'axe. Nous pouvons constater que cet axe interprète un gradient de pH du sol basique, niveau d'incendie élevé, précipitation importante, fréquence

Résultats et discussions

endomycorhizienne et teneur arbusculaire élevée. Du côté négatif de l'axe, se regroupe le groupe D et C soit respectivement les arbres incendiés de la station de Bouzeguene et ceux de la station d'Azouza avec les variables température du sol et l'intensité de la colonisation mycorhizienne et la variable étage bioclimatique pour les arbres de la forêt de Azouza.

Selon l'axe F3 : les individus incendiés de la station d'Ath khier (groupe B) se retrouvent dans la partie positive de cet axe, et ceux de la population de Draa el Mizan composent le groupe E dans la partie négative du même axe. Les facteurs « teneur en arbuscules » et « fréquence endomycorhizienne » sont plus élevés au niveau des arbres incendiés de la station d'Ath khier à l'inverse des arbres de la station de Bouzeguene et Azouza.

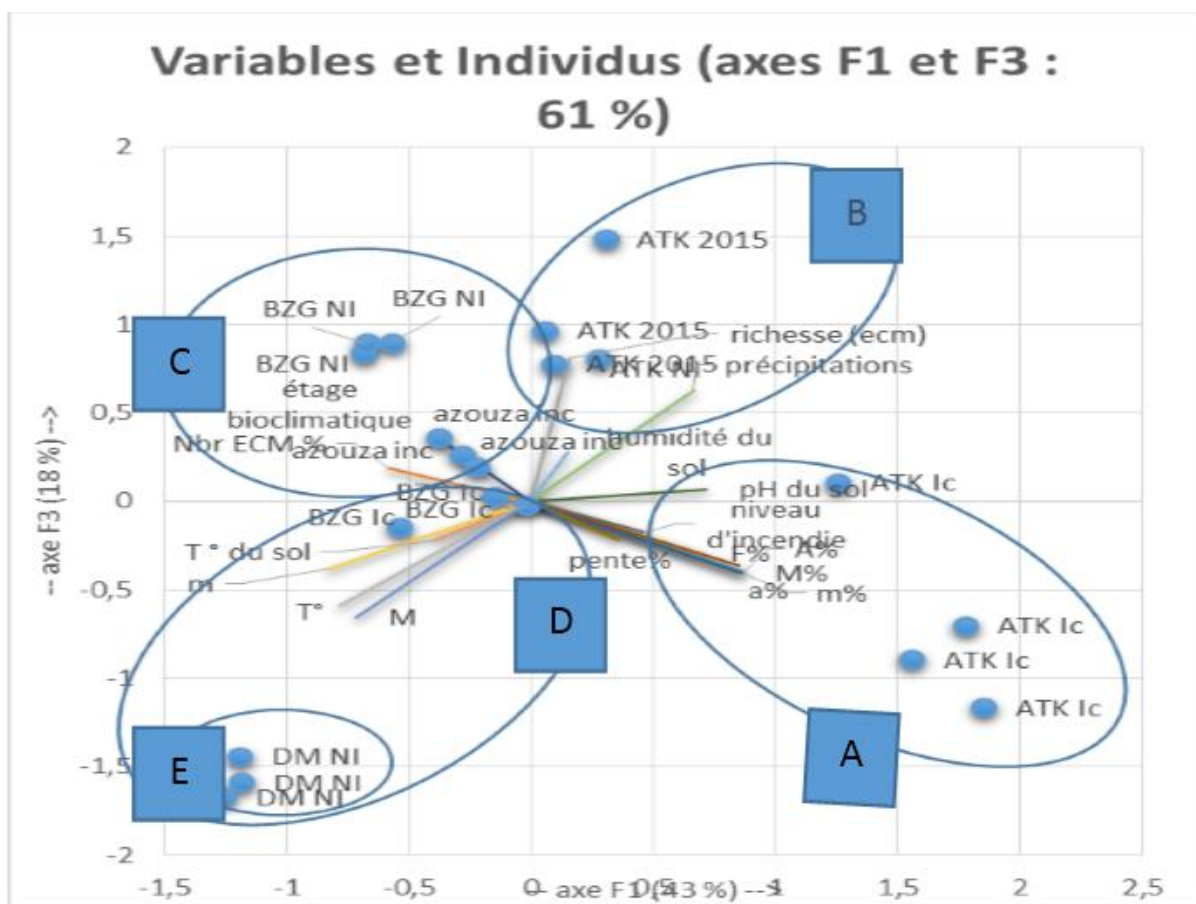


Figure 114 : La distribution des variables et des individus sur le plan (F1 et F3).

III.6. Effet de l'incendie sur le pouvoir endomycorhizogène du sol

Le passage de l'incendie a toujours été connu pour être bénéfique dans le renouvellement des écosystèmes. Cependant la récurrence de cet événement fait de lui un élément dévastateur.

Résultats et discussions

Afin de tester l'effet de l'incendie de l'été 2021 qui a dévasté la Kabylie, et sur la microflore du sol, nous avons réalisé un test concernant le pouvoir endomycorhizogène des sols après incendie des trois sols dont nous avons obtenus les résultats suivant (Tableau 14) :

Tableau 14: Quantification de l'intensité mycorhizienne des plans des graines de coriandre

A travers les chiffres obtenus, nous constatons que le pouvoir endomycorhizogène permettant la mycorhization de 50% du système racinaire est la dilution la plus faible de 10^{-5} indiquant le fort pouvoir du sol quel que soit le facteur incendié et non incendié. Les résultats obtenus évoquent également un effet favorable de l'incendie sur la microflore du sol.

Discussion générale :

Les résultats obtenus suite à l'étude montrent une large diversité des partenaires mycorhiziens chez le chêne liège incendié et non incendié. Notre approche, nous a permis d'inventorier 80 morphotypes dont six morphotypes ectomycorhiziens communs à toutes les populations quel que soit l'état sanitaire des individus. A titre comparatif, Selon Azul *et al.* (2009) et Lancellotti et Franceschini (2013), le genre *Quercus* présente, en général, un cortège ectomycorhizien riche. En effet, Azul *et al.* (2009) et Lancellotti et Franceschini (2013) rapportent chez la même espèce la présence respectivement de 74 morphotypes, 57 morphotypes. Kadi-Bennane *et al.* (2016) a dénombré 47 morphotypes chez le chêne liège en période estivale non incendié de la forêt de Taksebt. L'analyse des résultats de la richesse morphotypique ectomycorhizienne quantifiée permet de qualifier la colonisation du chêne liège chez les peuplements incendiés de relativement plus élevée avec une moyenne de 30 morphotypes comparativement aux peuplements non incendié avec 14,33 morphotypes.

L'étude morpho-anatomique des mycorhizes montrent qu'elles sont toutes constituées de l'intérieur vers l'extérieur d'un manteau épais ou peu épais et de type pseudo-parenchymateux ou plectenchymateux. Un réseau de Hartig allongées d'une à trois couches de cellules corticales. L'organisation structurale des ectomycorhizes observées chez le chêne liège incendié et non incendié rappelle l'organisation morphotypique et anatomique rapportée par la littérature (Chivers & Pryor, 1965 ; Horan *et al.*, 1988, Adjoud, 2004 ; Smith & Read, 2008 ; Di Marino, 2008). Elle se rapproche aussi de la majorité des espèces du sous embranchement des Angiospermes.

Afin d'analyser la similitude de la communauté ectomycorhizienne, nous avons calculé l'indice de similarité de Jaccard et de Sørensen. Grall & Coïc (2006), les indices de similarité permettent de comparer différents sites entre eux sur la base de leur composition et de l'abondance spécifique (qu'ils soient impactés/non impactés). Chez la communauté ectomycorhizienne du chêne liège incendié et non incendié, les indices de similitude de Jaccard et l'indice de similitude de Sørensen obtenus ont varié respectivement entre 0 % et

Résultats et discussions

23,8 % et 0% et 38,46%. Les valeurs étant inférieures à 50 % indiquent l'absence de similarité et un Turn-over entre population et facteur incendie.

La richesse ectomycorhizienne classée selon les groupes d'exploration, dévoile une stratégie d'exploration en faveur du type moyenne et longue distance 46 morphotypes soit 57 % suivi par le courte distance 25 morphotypes soit 31 % et 9 morphotypes de type contact soit 11%. La richesse globale en morphotypes de type d'exploration de MLD est donc la plus importante. A l'inverse, Kadi-Bennane (2016) rapporte chez la même espèce, une richesse en ECMs des groupes C et CD qui se sont présentées avec des pourcentages respectifs de 38 et 30 %. Les morphotypes de type d'exploration de MD et LD se sont présentés à des taux respectifs de 15% et 17 % évoquant une stratégie en faveur des type exploratoire contact et courte distance.

Bien que Agerer (2007) et Hobbie et Agerer (2010) rapportent que les type d'exploration contact et courte distance sont favorisés pour leurs faibles demande en carbone, bien qu'ils soient en général plus efficace dans le transport de l'eau (Garbaye, 2000 ; Lehto *et al.*, 2011). Shahin (2012) rapport dans son étude sur le chêne vert (*Quercus ilex*), que les types d'exploration C et CD respectivement sont les plus dominant dans les sites les plus secs au niveau des milieux perturbés.

A contrario, les types d'exploration de moyenne et longue distance nécessitent de grandes quantités de carbone pour établir un vaste réseau mycélium d'exploration. En raison de l'offre réduite par les arbres en conditions limitées, ce carbone ne peut être disponible en période de sécheresse, ce qui favorise les espèces qui ne produisent que peu de mycélium externe, tels que les types d'exploration contact et courte distance (Lilleskov *et al.*, 2011). Kjoller *et al.* (2012) indiquent que les types d'exploration contact sont favorisés dans les conditions optimales de disponibilité en azote dans le milieu. De plus, plusieurs auteurs rapportent que les champignons qui produisent un abondant réseau d'hyphes extramatricielles présentent des taux d'absorption du phosphore plus élevés (Coalpert *et al.*, 1999; Van Tichelen & Coalpert, 2000). Kadi-Bennane (2016) explique que la présence en grand nombre et richesse des ectomycorhizes du type moyenne et longue distance serait induite par les faibles concentrations d'azote organique et du phosphore. Ceci semble expliquer la stratégie exploratoire chez les populations de chêne liège incendiées et non incendiées.

Notre étude a permis de mettre en évidence la présence de la double symbiose endomycorhizienne et ectomycorhizienne chez les arbres de chêne liège incendiés. Bien que,

Résultats et discussions

chez les jeunes plants des espèces du genre *Quercus*, l'endomycorhization a été toujours rapporté (Garbaye 1990 ; Boudiaf et Beddiar, 2011) elle ne reste pas moins inexistante au stade adulte (Wang et Qiu, 2006 ; Smith et Read, 2008 ; Garbaye, 2013).

En effet, l'analyse microscopique des racines vidées et colorées au bleu Trypan des différents arbres de chêne liège a permis de noter l'absence de la colonisation endomycorhizienne au niveau des racines des sujets non incendié. Par contre, les racines des arbres des trois stations incendiés après deux mois et neuf mois ont présenté des structures endomycorhiziennes. Notre étude a permis de rapporter la présence pour la première fois des endomycorhizes chez le chêne liège au stade adulte qui ont été incendié. L'incendie s'est révélé être un facteur favorisant l'installation de la symbiose endomycorhizienne chez le chêne liège. Les structures endomycorhiziennes étaient variées arbuscules, vésicules peloton et hyphes intra et inter cellulaires au sein d'un même arbre. Les structures étaient de différentes et à caractéristiques morphologiques qui indiquent l'implication de plusieurs champignons endomycorhiziens.

L'analyse de l'ectomycorhization et de l'endomycorhization en relation avec les variables écologiques stationnelles a permis de révéler des corrélations entre de la communauté ectomycorhizienne (abondance et richesse) chez le chêne liège et l'étage bioclimatique respectivement avec $r=0.49$ et $r=0.56$ révélant un effet positif de ce dernier. Une liaison significative et négative avec le pH du sol $r=-0.53$, indiquant que plus le pH est élevé induit une diminution du nombre d'ECMs. Stout et Overstreet (1950) et Overstreet (1950), expliquent que la mobilité des ions phosphates est maximale entre $\text{pH} = 5,5$ et $\text{pH} = 7$. En raison des faibles ou de fortes valeurs de pH du sol, de nombreux phénomènes négatifs dans la croissance des plantes sont à déplorer tels que la diminution de la nitrification et la carence en phosphore (Landon, 1991 ; Strullu, 1991). Bruns (1995) rapporte que les communautés ectomycorhiziennes sont influencées par de nombreux facteurs abiotiques. De nombreuses études ont montré que les caractéristiques du sol (Gehring *et al.* 1998, Dickie *et al.* 2002), dont la disponibilité en eau (Shi *et al.* 2002), la température (Domisch *et al.* 2002), le pH et les concentrations en azote (Lilleskov *et al.* 2001) ont des effets significatifs sur les assemblages ECM.

La présence de chiffres de corrélation non significatif et négatif entre le niveau d'incendie et le nombre des ectomycorhizes ($r=-0.37$), et une corrélation non significative et positive entre le niveau d'incendie et la richesse ectomycorhizienne ($r=0.04$), évoqueraient une stimulation de la richesse ectomycorhizienne par le facteur incendie

Résultats et discussions

Le pouvoir endomycorhizogène des sols incendiés et non incendiés des trois stations a révélé que le pouvoir endomycorhizogène n'a pas été altéré par l'incendie. La mycorhization de 50% du système racinaire obtenue même pour la plus faible dilution indique le fort pouvoir mycorhizogène du sol quel que soit le facteur incendié et non incendié. En effet, d'après Gillon (1990), les changements des conditions micro-climatiques régnant à la surface du sol après la suppression des végétaux combustibles par le feu (hausse de la température des couches superficielles), sont le principal facteur favorisant l'activité des micro-organismes du sol qui immobilisent les éléments minéraux libérés et limitent donc leur perte. Ainsi, au cours des trois mois qui ont suivi un brûlage dirigé sous pin d'Alep, la biomasse microbienne s'est maintenue plus élevée que dans la zone témoin. Ceci est, vraisemblablement, valable après 9 mois dans le cas des subéraies étudiées.

Conclusion générale

Notre contribution au statut mycorhizien du chêne liège incendié et non incendié au niveau des trois populations a pu mettre en évidence la présence d'une communauté ectomycorhizienne riche et abondante. Cette dernière est composée d'un faible taux de morphotypes communs. Nous avons, également, observé des structures endomycorhiziennes chez les arbres incendiés des trois stations après deux mois et 9 mois après le passage de l'incendie. A l'inverse, l'absence total d'endomycorhizes chez les arbres de chêne liège non incendié et ceux incendié en 2015 (il y'a 7 ans).

Quercus suber incendié a présenté une grande richesse en partenaires fongiques ectomycorhiziens et endomycorhiziens. Cela évoque, l'effet positif de l'incendie sur l'association symbiotique ectomycorhizienne et endomycorhizienne chez le chêne liège. Le pouvoir endomycorhizogène ne semble pas être altéré par le passage de l'incendie, et le sol témoin et incendié se sont comportés sans différences significatives.

En perspective, il serait intéressant de poursuivre et d'élargir cette étude sur de nombreuses périodes et intervalles et sur d'autre espèce afin d'expliquer le comportement des écosystèmes et leurs résiliences au changement climatique, notamment dans les écosystèmes de la rives méridionales de la méditerranées.

Référence

- **Aafi A., 2007.** Etude de la diversité floristique de l'écosystème de chêne-liège de la forêt de la Mamora. Thèse de Doctorat, Université Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, 190 p.
- **Agerer R. 2006.** Fungal relationships and structural identity of their ectomycorrhizae. *Mycol Prog* 5:67–107. Doi: 10.1007/s11557-006-0505-x
- **Agerer R., 1991.** Characterization of ectomycorrhize. In: J.R.Norris, D. J. Read & A. K. Varma (eds.). *experiments with mycorrhiza. Methods in microbiology. Acad. Press, 23 : 25-73.*
- **Allen et Boosalis, (1983)** effects of two species of a mycorrhizal fungi on drought tolerance of winter wheat.
- **Amandier L., 2002.** La subéraie - biodiversité et paysage. Colloque biodiversité et Paysage, Vivès –Pyrénées Orientales –France, 5p.
- **Amandier L., 2011** - La suberaie des Maures : passé, présent, avenir CRPF-PACA
- **Amraoui M., Margarida L.R., Libirato T.J., Caladoc C., Dacramara F., Luis Pinto C., Ricardo M., Trigo., Celia M., Gouveia M., 2013-** Fireactivity over Mediterranean europe based on information from met aosat -8- *Forest ecology. Vol 294, pp: 6275.*
- **Anonyme1:**<https://www.aps.dz/societe/133207-incendies-de-tizi-ouzou-la-solidarite-a-dejoue-le-complot>
- **Anonyme2:**<https://www.algerie-eco.com/2021/08/26/incendies-de-tizi-ouzou-les-pertes-au-patrimoine-forestier>.
- **Arfa A., Benderradji M., et Alatou D., 2013-** Les journées d'étude sur la réhabilitation des suberaies post-incendie et reboisement. Université de Tlemcen les 12 et 13 janvier 2013
- **Aronson j., Pereira j., Pausas j., 2009** - Cork Oak Woodlands on the Edge – Ecology, adaptative management, and restoration.
- **BEKDOUCHE F, (2010)** : évolution après feu de l'écosystème suberaie de Kabylie (nord algérien). thèse.doc.état.scien.agron.univ- Tizi – Ouzou.85P.

Références bibliographique

- **Berbero M, 1988** Contribution de quelques structures et architectures forestières des arbres et arbuste à feuilles persistantes de l'étage méditerranéen. Biologie et Forêt.R.F.E.X.L 51988.
- **Boudy P., 1955.** Economie forestière nord-africaine. Tome 4 : Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Larose, Paris, 483 p
- **Boudy P.1950.** Economie forestière Nord-Africaine Tome II. Monographie et traitement des essences forestières Fascules. I, 505p
- **Caravaca F., Hernandez T., Garcia C., Roldan A. (2002).** Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforested semiarid plant species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition. Geoderma, 108(1), 133-144.
- **Chaoui A. 2017.** Situation sanitaire et sylvicole de la subéraie du massif forestier de Theniet El Had. Mémoire Master en Foresterie, Université de Tlemcen, 96 p
- **Chebil A., Daly H., 2006.** Analyse du revenu d'élevage dans la forêt de chêne liège d'Iteimia : impact des scénarios de gestion de pâturage. Annales de l'INRGREF. 9 : 70-81p.
- **Chebil, A. ; Daly, H.2006** IRESA, Tunis, Gestion integree des forets de chêne-liège et de pin d'Alep: t. 1 (no spécial: 9), pp. 71-82
- **Colin P., Jappiot M., et Mariel A. 2001-** Protection des forêts contre les incendies .Ed, FAO, CEMAGRAF. p 149.
- **Cooper KM, Tinker PB, 1978.** Translocation and transfer of nutrients in vesicul arbuscular mycorrhizas. II - Uptake and translocation of phosphorus, zinc and sulphur. New Phytologist 81: 43-52.
- **D.G.F, 2012**
- **EUFORGEN, 2009.** Distribution map of cork oak (*Quercus suber*).
- **FAO ,2010.** Dossier spécial adaptation des forêts de chêne liège. Silva Mediterranea Newsletter n°5,<http://www.fao.org/forestry/silvamed>.
- **Fortin A, Planchette C, Piche Y (2011).** Les mycorhizes: la nouvelle révolution verte d'Editions Multimondes et Editions QUAE
- **Fortin J.A., Planchette C., Piche Y. 2008.** Les Mycorhizes : La Nouvelle, Révolution Verte. □□Ed. Multimondes. Ed. Quae. 131p.
- **Fraval A.1991.** Contribution à la connaissance des rythmes de floraison du chêne-liège en forêt de la Mamora, Annales des Recherches Forestières. Maroc, T (25), 102 – 118.
- **Garbaye J., 2013.** La symbiose mycorrhizienne. Synthèse edit-Quae. 251p.

Références bibliographique

- **Gianinazzi-Pearson V., Dumas-Gaudot E., Gollotte.A, Tahiri-Al-aoui A., Gianinazzi.S. (1996).** Cellular and molecular defense-related root responses to invasion by arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol* 133 : 45–57.
- **Gisela Santos Matos, 2017,** « Il fonctionne comme un obstacle au feu » : comment le chêne - liège permet de limiter la propagation des incendies, France info, publié le 28/07/2017).
- **HAMZA, N. (2014).** Application des mycorhizes arbusculaire en culture maraîchère cas de la pastèque (*Citrullus lanatus*). Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie, 54P.
- **Hodge, A., Storer, K. (2014).** Arbuscular mycorrhizal and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. *Plant and soil*, 386(1-2), 1-19. In Souza, T. (2015). *Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi*. Cham: Springer, 153P.
- **IPROCOR., 1999** : Manuel didactique du leveur et de l'ouvrier spécialisé dans les travaux d'exploitation du chêne liège. Projet Leosuber, version française, 231 p
- **Jakobsen I, Abbott LK, Robson AD, 1992b.** External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 2. Hyphal transport of ³²P over defined distances. *New Phytologist* 120: 509-516
- **Jdaidi N., 2009,** Structure des peuplements de la subéraie tunisienne: situation actuelle et devenir d'un écosystème. par Faculté des sciences de Tunis - Master 2009, revue mémoire Online.
- **Kadi-Bennane S., 2016.** Les ectomycorhizes du chêne liège : Effet des facteurs environnementaux. Thèse de doctorat, Université mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie.167p
- **Karagiannidis N, Hadjisavva-Zinoviadi, 1998.** The mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* enhances growth, yield and chemical composition of a durum wheat variety in 10 different soils. *Nutrient Cycling in Agro ecosystems* 52: 1-7.
- **Khalla A. 2006.** Etude de facteurs de dépérissement dans la suberaie d'El-Kala (Nord-est algérien) cas de la suberaie sanobari, Mem. Ing. Université d'Annaba. 37 p.
- **Kumar M., Sheiku M.A., Bhatja., Boussmann R.W., 2013-** Effet du feu sur les éléments nutritifs du sol et de la végétation sous plain-pied dans la forêt des pins Chir dans le Garhwal Himalaya, Inde. *Acta ecologica Sinica*. Vol 33, n° :1, pp : 59-63.

Références bibliographique

- **LOPEZ. F et al. 1996.** –Erosion, désertification et aménagement et aménagement du territoire dans les milieux semi-aride de la méditerranées, univ Murcie (Espagne). p 213232.
- **MAUNOURY A. (2010).**l'impact négatif des pesticides sur la nutrition des plantes. L'exemple de la Bouillie Bordelaise, p. 3-6.
- **Meddour O., Meddour R. & Derridj A., 2008.** – Analyse des feux de forêts en Algérie sur le temps long (1876 – 2007). Note d'analyse du CIHEAM, n°39, 11 p.
- **Medjahdi Letreuch-Belarouci A., Letreuch-Belarouci N., Benabdeli K. Et Medjahdi B., 2009,** Impact Des Incendies Sur La Structure Des Peuplements De Chêne-Liège Et Sur Le Liège : Le Cas De La Subéraie De Tlemcen (Algérie), Forêt Méditerranéenne T. Xxx, N° 3, Septembre 2009, pp. 231-238
- **Mekahlia, M. N. (2014).** Dépendance mycorhizienne de l'olivier (*Olea europaea* L.) dans l'est algérien et mycorhization contrôlée de la variété Ferkeni. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 160p
- **Merouani H., Branco C., Almeida M.H & Pereira J.S. 2001.** Comportement physiologiques des glands de chêne liège (*Quercus suber* L.) durant leur conservation et variabilité inter-individus producteurs. *Annals of Forest Science*, 58(2) : 534-554.
- **Morsli S., 2014,** Les facteurs et problématiques de dépérissement des subéraies en Algérie Ecole National Supérieur Agronomique, Département de Zoologie Agricole et Forestière, El-Harrach 16200 Alger (Algérie). morsli16@yahoo.fr – s.morsli@ina.dz) Conférence: USTHB: journées scientifiques et pédagogiques organisées dans le cadre du 40^{ème} anniversaire de la création de l'USTHB, 20 au 24 Avril 2014
- **Mosse B., Stribley D.P. & Le Tacon F., 1981.** Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi. In: Alexander M (ed). *Advances in microbial ecology*, New-York, Cornell Union, Plenum publishing corporation, 4 : 137-210
- **Moussain D (1991),** Ectomycorhization et tolérance des arbres à la sécheresse. Dans: *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides*. Groupe d'Etude de l'Arbre, Ed. John Libbey Euronext, Paris, pp. 167-174.
- **Natividade JV. 1956.** Subericultura. Edit Française de l'ouvrage portugais de Subericulture. Ecole nationale des Eaux et Forêts, Nancy 303 p.
- **Peterson R. L.2008.** Ultrastructural localization of heavy metals in the extrardical mycelium a spores of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Canadian journal of Microbiology*, 54: 103-110.

Références bibliographique

- **Peterson, R. L., Massicotte, H. B., Melville, L. H. (2004).** Mycorrhizas: anatomy and cell biology. NRC Research Press, 173P.
- **Piazzetta R. 2005.** La levée du liège, guide technique et de vulgarisation, institut méditerranéen du liège. 23p.
- **Piazzetta R., 2010,** la gestion des subéraies après incendie, (IML)
- Plenchette C, Fortin JA, Furlan V, 1983. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I – Mycorrhizal dependency under field conditions. Plant and Soil 70: 199-209.
- **Quézel P., Médail F., 2003.** Ecologie et biogéographie du bassin méditerranéen, 2nd Edn. Elsevier. Paris, 571p.
- **RAHAL, M. 2012.** Fused together and torn apart stories and violence in contemporary Algeria. History & Memory, 24, pp. 118-151.
- **Rossellô M.E., Beltrân R.S., 2008** – Quelques arguments en faveur de la suberaie et du liège. Acte du colloque VIVEXPO, 2008, « la guerre des bouchons » <http://www.vivexpo.org>. 7p
- **SAHAR, O., MEDDOUR, R., LEONE, V. 2019.** Les causes des incendies de forêts : enquête auprès des bergers dans la Wilaya de Tizi Ouzou (Algérie). Cinq Continents 9 (19): 24-45
- **Schaffhauser A., Curit. Vela E., Tatoni T., 2012-** Recurrent fire and environment, shape the vegetation in *Quercus suber* L. woodland and maquis. Ecology (CR. Biologies). Vol 335, pp : 424-434.
- **Sghaier T., Garchi S., Ammari Y., khouaja A., Santiago R. & Rosello M. 2011.** Estimation de la qualité du liège en pile selon la méthode de l'IPROCOR : application à une pile du liège tunisien. Géo-Eco-Trop, 35: 51-68.
- **Simon E et Ivano B. (2002).** Les mycorrhizes une fascinante biocénose en forêt. WSL Birmensdorf. Not. Prat. 35
- **Smith SE, Read DJ, 1997.** Mycorrhizal Symbiosis, 2nd edition. Academic Press, Sand Diego, 605 p.
- **Smith SE, Read DJ, 2008.** Mycorrhizal Symbiosis, 2nd edition. Academic Press, Toronto, Canada, 605 p.
- **Smith SE, Read DJ, 2008.** Mycorrhizal Symbiosis, 2nd edition. Academic Press, Toronto, Canada, 605 p.

Références bibliographique

- **Trevor, E. J-C., Yu, T. E., Egger, K. N. Peterson R. L. (2001).** Ectendomycorrhizal associations – characteristics and functions. *Mycorrhiza*, 11: 167 - 177.
- **Vignes E. 1990.** Le traitement des taillis de chêne dans le Var. O.N.F .Arborescence.N°26.pp 21-23.
- **Yessad S A. 2000.** Le Chêne liège et le liège dans les pays de la méditerranée occidentale, 190 p.
- **Zeraia L. 1981.** Essai d'interprétation comparative des données écologique, phénologique et de production subero-ligneuse dans les forêts de chêne-liège de Provence Cristalline (France méridionale) et d'Algérie. Thèse Doctorat. Université Aix- Marseille, 367 p.

Annexes

annexe1: corrélations variables-facteurs :

De cette approche nous avons participé à un séminaire internationale **SIBSAD BLIDA** par une communication orale qui s'est tenu le 25 juin 2022 dont le thème est préservation des bio ressources végétale portant le titre : **Effet de l'incendie sur la diversité et colonisation mycorhizienne du chêne liège** .

Résumé :

L'objectif de notre étude est de mettre en évidence l'impact de l'incendie sur la colonisation mycorhizienne, et sur la richesse en partenaire mycorhizien du chêne liège (*Quercus suber* L.). Le prélèvement a été réalisé au mois d'avril 2022 dans le village d'Ath khier la daïra de Mekla, wilaya de Tizi-Ouzou dont les coordonnées géographiques localisée à 36°38'30.9"Nord, 4°18'33.4"Est. L'échantillonnage a été réalisé sous le houppier entre 50 cm et 1 m autour des chênes. Les racines émanant du collet sont suivies et déterrées sur les quatre points cardinaux. Un totale de huit arbres ont été classées selon l'année de l'incendie : 4 arbres incendiés, 3 arbres incendiés en 2015 et 1 arbre témoin non incendié. Les racinaires des plants sont disposées dans des sachets étiquetées et transposées au laboratoire à 4°C. L'observation sous la loupe binoculaire de la totalité des racines à l'état frais et selon les caractéristiques morphologiques d'Agerer(2006) a permis de distinguer la richesse morpho typique. L'estimation de la colonisation ectomycorhizienne des racines du chêne est réalisée par comptage sur une longueur racinaire de 20cm selon la méthode « Gridline ». Les résultats ont permis d'observer une colonisation plus importante en pourcentage et en richesse chez les arbres incendiés selon l'année. En effet la richesse en ectomycorhizes a été chiffrée de 10 pour l'arbre témoin, 12.25 pour l'arbre incendié en 2015 et de 4.32 pour l'arbre incendié. L'intensité de mycorhization a observé également une tendance à la hausse de 13% pour l'arbre témoin, 18.66% pour les arbres incendiés, et de 30.88% pour les arbres incendiés en 2015. De par les résultats obtenus, l'incendie s'est révélé être un facteur favorisant la richesse et la colonisation mycorhizienne.

Mots clés : richesse, chêne, mycorhize, colonisation, incendie.

Résumé

L'objectif de notre étude est la contribution à l'étude de l'effet de l'incendie sur la communauté symbiotique de *Quercus suber* L. Notre étude est menée au niveau de trois stations de la wilaya de Tizi-Ouzou : la première est située dans la forêt d'Ath khier daïra de Mekla à étage bioclimatique subhumide à hivers frais, la deuxième situé dans la forêt d'Iguersafen daïra de Bouzeguene à étage bioclimatique humide hiver froid et la troisième situé dans la forêt de Beni khalfoun de la daïra de Draa El mizan à étage bioclimatique sub-humide à hiver doux.

Les prélèvements ont été réalisés durant le mois d'avril au mois de juin 2022 selon un échantillonnage stratifié qui nous a permis de choisir des arbres incendiés et non incendiés échantillon témoin dans chaque station. Un total de 21 arbres a fait l'objet de la collecte des échantillons de racine dont 11 arbres sont incendié, 3 arbres incendiés en 2015 et 7 arbres non incendiés. L'étude morpho-anatomique selon la méthode d'Agerer (1987-2006) a permis de distinguer une richesse morpho typique de 80 ectomycorhizes dont 6 sont communes aux trois populations. La comparaison des communautés des différentes stations par le calcul des indices de Jaccard et de Sorensen ont révélé l'hétérogénéité de la communauté ectomycorhizienne.

Les observations macroscopique et microscopique des racines des chênes incendiés, nous a permis de confirmer la présence de la double symbiose mycorhizienne par la présence des structures endomycorhiziennes telles que les arbuscules et les vésicules.

Mots clés : chêne, mycorhize, incendie, CMA, champignons ectomycorhiziens.

Abstract

The objective of our study is the contribution to the study of the effect of fire on the symbiotic community of *Quercus suber* L. Our study is conducted at three stations in the wilaya of Tizi-Ouzou: the first is located in the forest of Ath khier daïra of Mekla in bioclimatic sub-humid stage with cool winters, the second located in the forest of Iguersafen daïra of Bouzeguene in bioclimatic wet stage with cold winter and the third located in the forest of Beni khalfoun of the daïra of Draa El mizan in bioclimatic sub-humid stage with mild winter.

The samples were taken during the month of April to June 2022 according to a stratified sampling that allowed us to choose burned and non-burned trees as a control sample in each station. A total of 21 trees were subject to root sample collection of which 11 trees are burned, 3 trees burned in 2015 and 7 trees not burned. Morpho-anatomical study using the method of Agerer (1987-2006) distinguished a typical morpho-richness of 80 ectomycorrhizae of which 6 are common to all three populations. The comparison of the communities of the different stations by the calculation of the Jaccard and Sorensen indices revealed the heterogeneity of the ectomycorrhizal community.

Macroscopic and microscopic observations of the roots of the burned oaks allowed us to confirm the presence of the double mycorrhizal symbiosis by the presence of endomycorrhizal structures such as arbuscules and vesicles.

Key words: *Quercus*, mycorrhizae, fire, CMA, ectomycorrhizal fungi.