

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU  
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES**



**DEPARTEMENT D'ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT  
MEMOIRE DE MASTER**

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Ecologie et Environnement**

**Spécialité : Biodiversité et Ecologie Végétale**

**THEME**

**Evaluation du cortège mycorhizien, trois ans après incendie chez  
*Calicotome spinosa* dans un peuplement à chêne liège à la forêt  
domaniale d'OUMALOU, (Ait Ouaggacha, Tizi-Ouzou, Algérie)**

**Présenté par : MAHOUEL Zakia & TAFAT Ourda**

**Soutenu le : 02 /07 /2024**

**Devant le jury :**

|                        |                                     |                   |              |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------|
| <b>Présidente :</b>    | <b>M<sup>me</sup> SAADOUN. N</b>    | <b>Professeur</b> | <b>UMMTO</b> |
| <b>Promoteur :</b>     | <b>M<sup>r</sup> OUDJIANE. A</b>    | <b>MCB</b>        | <b>UMMTO</b> |
| <b>Co-promotrice :</b> | <b>M<sup>elle</sup> TAOURIRT. N</b> | <b>DOCTORANTE</b> | <b>UMMTO</b> |
| <b>Examineur :</b>     | <b>M<sup>me</sup> METNA. F</b>      | <b>MCA</b>        | <b>UMMTO</b> |

**Promotion : 2023/2024**

## Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué de manière significative à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, nous remercions chaleureusement **M<sup>r</sup> OUDJIANE. A**, pour sa guidance précieuse et son soutien continu tout au long de notre travail. Votre expertise et votre disponibilité ont été des piliers essentiels qui nous ont permis de progresser efficacement dans notre recherche.

Un grand merci à **M<sup>lle</sup> TAOURIRT. N** pour leur conseil et aide pendant le travail dans laboratoire.

Nous adressons également nos remerciements les plus sincères à **M<sup>me</sup> SAADOUN N**, pour avoir accepté de présider le jury. Pour ses explications et orientations concernant notre travail.

Nous remercions aussi vivement **M<sup>me</sup> METNA. F**, pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail.

Un grand merci à **M<sup>me</sup> MECHIAH. F**, et pour leur conseils et aide précieuse dans laboratoire.

Nous remercions tous ceux qui ont participé durant l'échantillonnage Particulièrement La Circonscription de **Larbaâ Nath Irathen** pour leurs efforts et leurs soutiens tout au long de nos sorties.

Nous exprimons également notre reconnaissance envers nos familles **TAFAT** et **MAHOUEL**, pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements et leur compréhension tout au long de cette période exigeante. Votre soutien moral a été notre source de motivation constante.

Enfin, nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce projet, ainsi que notre institution pour les ressources mises à notre disposition.

Ce mémoire reflète notre engagement commun envers l'excellence académique et notre désir de contribuer au domaine d'écologie. Nous sommes profondément reconnaissants envers chacune des personnes mentionnées ici, qui ont joué un rôle essentiel dans notre parcours.

## ***Dédicace***

*Celui qui dit « Je l'ai » l'a obtenu.*

*Le voyage n'a pas été court, et il ne devait pas l'être. Le rêve n'était pas proche, et le chemin n'était pas parsemé de facilités.*

*Mais je l'ai fait et je l'ai atteint. Merci à dieu pour cet accomplissement. Je suis reconnaissante et je remercie ceux grâce à qui je peux aujourd'hui contempler un rêve longtemps attendu devenu réalité.*

*A mon ange pur, ma force après dieu, mon soutien premier et éternel, « ma mère » je dédie cet accomplissement qui n'aurait pas vu le jour sans tes sacrifices. Je suis reconnaissante que dieu t'ait choisie pour être ma mère, meilleur soutien et réconfort même si tu n'es plus parmi nous aujourd'hui, tu restes dans nos cœurs pour toujours.*

*A celui qui m'a soutenu sans limite et m'a donnée sans rien attendre en retour, « mon père ».*

*A ceux qui ont tendu les bras sans relâché ni lassitude dans mes moments de faiblesse, « mes frères » que dieu vous garde comme des piliers fermes pour moi.*

*A celle qui a cru en mes capacités et a assuré mes jours, « ma sœur aînée ».*

*A celle qui me rappelle ma force et se tient derrière moi comme mon ombre, « ma sœur cadette ».*

*A mon binôme **Zakia** et toute sa famille.*

*Tous mes amis (Ysemine, Ouardia, Hannane) et tous ceux qui me sont chers.*

*A toute la promotion biodiversité et écologie végétal.*

***Ouarda***

## *Dédicaces*

*Tout d'abord, je remercie le Dieu, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.*

### *Je dédie ce travail :*

*À ma mère, la source de tendresse et la lumière qui guide mes routes et qui m'emmène aux chemins de la réussite, pour tous ses sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie. A mon père que je le remercie énormément pour ses efforts, ses conseils et sa surveillance.*

*A mes chers frères et mes adorables sœurs*

*A mon mari*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis*

*Et a toute ma promotion*

*A tous mes enseignants*

*Je le dédie aussi à mon binôme **Ouarda** et toute sa famille, je la remercie pour ses efforts qu'elle a consacrés pour ce modeste travail.*

*Enfin, j'offre mes bénédictions à tous personne qui m'a fait du courage et ma donner de l'aïd dans ce travail.*

***Zakia***

## Liste des abréviations

**CMA** : champignons mycorhiziens à arbuscules

**MA** : Mycorhize arbusculaire

**L.N.I:** Larbaâ Nath Irathen

**CC:** Cylindre central

**P** : Précipitations annuelles

**M** : Moyenne des maximas

**m** : Moyenne des minimas

**Q2** : quotient pluviométrique

**DES** : Darkseptate endophyte

**ECM** : Ectomycorhize

**FAO** : Organisation mondial de l'alimentation de l'agriculture

**DGF** : Direction Général des Forêt

**janv** : Janvier

**févr** : Février

**mars** : Mars

**avril:** Avril

**mai** : Mai

**juin** : Juin

**juill** : Juillet

**août** : Août

**sept** : Septembre

**oct** : octobre

**nov** : Novembre

**déc** : Décembre

**mm** : Millimètre

**°K** : Degrés kelvin

**°C** : Degrés Celsius

**T°** : Température

**%** : Pourcentage.

**N°** : Numéro.

## Liste des figures

| Figure    | Titre   | Page      |
|-----------|---|-----------|
| <b>1</b>  | Les éléments du feu (Plana <i>et al.</i> , 2016)  | <b>3</b>  |
| <b>2</b>  | Représentation schématique de la rhizosphère (Hinsinger, 2001).   | <b>13</b> |
| <b>3</b>  | Les différentes structures de la racine (Meyer <i>et al.</i> ,2004).  | <b>17</b> |
| <b>4</b>  | Principaux groupes des Eumycètes (sauf Microsporidies dont la position exacte reste incertaine) (Selosse, 2013).                            | <b>19</b> |
| <b>5</b>  | Représentation schématique des principaux types de mycorhizes d'après Le Tacon (1985).  | <b>22</b> |
| <b>6</b>  | Représentation schématique d'un apex racinaire mycorhizé par un champignon arbusculaire (Fortin <i>et al.</i> , 2013).                      | <b>25</b> |
| <b>7</b>  | Aspect d'un arbuscule (Martin, 2008 ; Brundrett, 2008).   | <b>26</b> |
| <b>8</b>  | Aspect d'une vésicule (Blaszkowski, 2003).  | <b>27</b> |
| <b>9</b>  | Classification s des champignons mycorhiziens à arbuscules (Redecker <i>et al.</i> , 2013).   | <b>28</b> |
| <b>10</b> | Situation géographique de la région de Larbaâ Nath Irathen (Photo Google, Echelle : 1/150 00)   | <b>33</b> |
| <b>11</b> | Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour la station de Larbaâ Nath Irathen (1992-2021).   | <b>36</b> |
| <b>12</b> | Etage bioclimatique de la région de Larbaâ Nath Irathen durant (1992-2021).   | <b>38</b> |
| <b>13</b> | Diss ( <i>Ampelodesmos mauritanicus</i> ). (Mahouel, Tafat 2024)  | <b>40</b> |
| <b>14</b> | Calicotome épineux ( <i>Calicotom spinosa</i> ) (Mahouel,Tafat 2024)  | <b>40</b> |
| <b>15</b> | Arbousier ( <i>Arbutusunedo</i> ). (Mahouel, Tafat 2024)  | <b>40</b> |
| <b>16</b> | Chêne liège ( <i>Quercus suber. L.</i> ). (Mahouel, Tafat 2024)   | <b>40</b> |
| <b>17</b> | Ciste ( <i>Cistusalbidus L.</i> ). (Mahouel, Tafat 2024)  | <b>40</b> |
| <b>18</b> | Lavande sauvage ( <i>Lavandula angustifolia Mill.</i> ). (Mahouel, Tafat 2024)  | <b>40</b> |
| <b>19</b> | Photo Forêt domaniale (OUMALOU), commune d'Aït Aggouacha,daïra de Larbaâ Nath Irathen, wilaya de Tizi Ouzou (Mahouche, Nait Abdelaziz 2022) | <b>41</b> |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>20</b> | Photo forêt domaniale « OUMALOU », commune d'Aït Aggouacha, Daïra de Larbaâ Nath Irathen, wilaya de Tizi-Ouzou (2024).  | <b>41</b> |
| <b>21</b> | Les racines dans les boîtes en plastiques étiquetés   | <b>43</b> |
| <b>22</b> | Photo de mesure des racines du <i>Calicotome spinosa</i> à l'aide d'un pied à coulisse  | <b>43</b> |
| <b>23</b> | <i>Calicotome spinosa</i> ( <b>a</b> : partie aérienne ; <b>b</b> : partie souterraine)   | <b>44</b> |
| <b>24</b> | Anastomose racinaire entre <i>Calicotome spinosa</i> et le Chêne liège  | <b>44</b> |
| <b>25</b> | Principaux produits utilisés dans laboratoire   | <b>46</b> |
| <b>26</b> | Principales étapes de protocole de d'éclaircissement et coloration des racines selon le protocole de Philips et Hayman (1970).                                  | <b>46</b> |
| <b>27</b> | Les fragments racinaires entre lame et lamelle  | <b>47</b> |
| <b>28</b> | Structures caractéristiques des champignons mycorhizien arbusculaires observées dans les racines <i>Calicotome spinosa</i> (a, b, c, d, e, f). (GX400)          | <b>48</b> |
| <b>28</b> | Structures caractéristiques des champignons mycorhizien arbusculaires observées dans les racines <i>Calicotome spinosa</i> (J, h, i, g, k, l, m, n, o). (GX400) | <b>49</b> |
| <b>29</b> | Observations microscopique racinaires du <i>Calicotome spinosa</i> . Les poils absorbants et le cylindre central de la racine sont bien visibles. (GX100)       | <b>51</b> |
| <b>30</b> | Structures caractéristiques des champignons endophytes observées dans les racines <i>Calicotome spinosa</i> (a, b, c, d, e, f, j, h). (GX400)                   | <b>54</b> |
| <b>31</b> | Déférents structures des Gléromycota ( <i>Penicillium</i> ). (GX400)  | <b>55</b> |
| <b>32</b> | Observation sous microscope photonique d'une infection mycorhizien (Mahouche et Nait Abdelaziz, 2022)   | <b>56</b> |

## Liste des tableaux

| <b>Tableau</b> | <b>Titre</b>  | <b>Page</b> |
|----------------|---|-------------|
| <b>1</b>       | Les principaux constituants des sols (d'après Soltner, 2005).                                       | <b>10</b>   |
| <b>2</b>       | Précipitations mensuelles de la station Larbaâ Nath Irathen de 1992 à 2021.                         | <b>34</b>   |
| <b>3</b>       | Températures moyennes mensuelles de la station Larbaâ Nath Irathen (1992 -2021).                    | <b>35</b>   |
| <b>4</b>       | Températures moyennes et précipitations mensuelles de la station Larbaâ Nath Irathen de 1992 à 2021 | <b>36</b>   |

## Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction .....

### Chapitre I : Synthèse bibliographique

#### Les incendies

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| I. Définition des incendies.....  | 3 |
| I.1. Combustible.....             | 3 |
| I.2. Comburant .....              | 3 |
| I.3. Source d'énergie.....        | 4 |
| II. Impact des incendies.....     | 4 |
| II.1. Sur la végétation.....      | 4 |
| II.2. Sur la faune du sol .....   | 4 |
| II.3. Champignons .....           | 5 |
| II.4. Bactéries .....             | 5 |
| II.5. Sur les sols .....          | 6 |
| II.5.1. Propriétés physiques..... | 6 |
| II.5.2. Propriétés chimiques..... | 6 |

#### Le sol

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| I. Définition du sol.....       | 8  |
| II. Constituants du sol.....    | 8  |
| II.1. Phase solide.....         | 8  |
| II.1.1. Fraction minérale.....  | 9  |
| II.1.2. Fraction organique..... | 9  |
| II.2. Phase liquide.....        | 9  |
| II.3. Phase gazeuse.....        | 9  |
| III. Faune et flore du sol..... | 10 |
| III.1. Microfaune.....          | 11 |
| III.2. Mésofaune.....           | 11 |
| III.3. Macrofaune.....          | 11 |
| III.4. Mégafaune.....           | 11 |
| IV. Rhizosphère.....            | 12 |

|   |    |
|---|----|
| V. Fonctionnement de la Rhizosphère. ....   | 13 |
| VI. Racine... ..                            | 14 |
| VI.1. Structure générale de la racine. .... | 14 |
| VI.2. Rôle de la racine. ....               | 15 |

## **Les champignons**

|  |    |
|--|----|
| I. Champignons .....   | 17 |
| I.1. Généralités sur les champignons.....                      | 17 |
| I.2. Classification des champignons.....                       | 18 |
| I.3. Mode de reproduction.....                                 | 18 |
| I.3.1. Reproduction asexuée.....                               | 18 |
| I.3.2. Reproduction sexuée.....                                | 18 |
| I.4. Mode de vie des champignons.....                          | 19 |
| I.4.1. Saprophytisme.....                                      | 19 |
| I.4.2. Parasitisme.....  | 19 |
| I.4.3. Symbiose.....   | 19 |
| I.5. Importance dans le sol.....                               | 19 |
| II. La symbiose mycorhizienne.....                             | 20 |
| II.1. Généralités sur les mycorhizes.....                      | 20 |
| II.2. Différents types des mycorhizes.....                     | 20 |
| II.2.1. Ectomycorhizes.....                                    | 21 |
| II.2.2. Endomycorhizes.....                                    | 21 |
| a) Endomycorhizes des orchidées.....                           | 22 |
| b) Endomycorhizes éricoïdes.....                               | 22 |
| c) Endomycorhizes arbusculaires.....                           | 22 |
| II.2.3. Ectoendomycorhizes.....                                | 22 |
| II.3. Rôles des champignons mycorhiziennes.....                | 23 |
| II.3.1. Nutrition hydrominérale.....                           | 23 |
| II.3.2. Production d'hormone.....                              | 23 |
| II.3.3. Protection phytosanitaire.....                         | 23 |
| II.4. La symbiose mycorhizienne arbusculaire.....              | 24 |
| II.5. Structure des champignons mycorhiziens à arbuscules..... | 24 |
| II.5.1. Structure intra radriculaire.....                      | 24 |
| a) Pelotons intracellulaires.....                              | 24 |

|  |    |
|--|----|
| b) Les arbuscules. ....  | 25 |
| c) Les vésicules. ....   | 25 |
| II.5.2. Structure extra radulaire. ....                                    | 26 |
| a) Spores. ....  | 26 |
| b) Hyphes fongiques. ....  | 26 |
| II.6. Classification des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA). .... | 26 |

### **Description de l'espèce**

|   |    |
|---|----|
| I. Introduction. ....                               | 28 |
| II. Description de <i>Calicotome spinosa</i> . .... | 28 |
| II.1. Noms communs. ....                            | 28 |
| II.2. Classification Systématique de l'espèce. .... | 28 |
| II.3. Description botanique. ....                   | 29 |
| II.3.1. La Racine. ....                             | 29 |
| II.3.2. Rameaux. ....                               | 29 |
| II.3.3. Tige. ....                                  | 29 |
| II.3.4. Feuilles. ....                              | 29 |
| II.3.5. Fleurs. ....                                | 29 |
| II.3.6. Fruits. ....                                | 30 |
| II.3.7. Grains. ....                                | 30 |
| II.4. Composition chimique. ....                    | 30 |
| III. Utilisation. ....                              | 30 |
| IV. Aire de répartition. ....                       | 30 |

### **Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.**

|  |    |
|--|----|
| I. Présentation de la zone d'étude. ....                       | 32 |
| II. Situation géographique de la région d'étude. ....          | 32 |
| II.1. Facteurs abiotiques. ....                                | 33 |
| II.1.1. Bioclimat. ....  | 33 |
| a) Pluviométrie. ....  | 33 |
| b) Température. ....   | 33 |
| c) Hygrométrie. ....   | 34 |
| d) Synthèse climatique. ....                                   | 34 |
| 1) Diagramme Ombrothermique de Bagnols et Gaussen (1953). .... | 35 |
| 2) Climagramme pluviothermique d'emberger. ....                | 36 |
| II.1.2. Relief. ....   | 37 |

|  |    |
|--|----|
| II.1.3. Roche mère. ....                         | 37 |
| II.2. Facteurs biotiques. ....                   | 37 |
| II.2.1. Flore et végétation. ....                | 38 |
| II.2.2. Faune. ....                              | 38 |
| II.3. Patrimoine forestier de site d'étude. .... | 38 |

### **Chapitre III : Méthode et Technique d'Echantillonnage.**

|   |    |
|---|----|
| I. Matériels utilisés. ....                                     | 41 |
| I.1. Le matériel biologique. ....                               | 41 |
| I.2. Le matériel physique. ....                                 | 41 |
| I.2.1. Sur le terrain. ....                                     | 41 |
| I.2.2. Au laboratoire. ....                                     | 41 |
| II. Modes et techniques d'échantillonnage. ....                 | 41 |
| II.1. Echantillonnage sur le terrain. ....                      | 41 |
| II.2. Technique de coloration de Philips et Hayman (1970). .... | 44 |
| II.3. Ecrasement et observation des racines. ....               | 46 |

### **Chapitre IV : Résultats et discussions.**

|   |           |
|---|-----------|
| I. Observation des fragments racinaires. .... | 47        |
| II. Discussion générale. ....                 | 47        |
| II.1. Mycorhizes à arbuscules. ....           | 47        |
| II.2. Endophytes. ....                        | 51        |
| II.3. <i>Penicillium</i> . ....               | 51        |
| <b>Conclusion et perspectives. ....</b>       | <b>57</b> |
| <b>Références bibliographiques. ....</b>      | <b>59</b> |

# *Introduction*

### Introduction

Les forêts méditerranéennes constituent un milieu naturel fragile déjà profondément perturbé par les utilisations multiples. Les agressions qu'elles ont subies ont cependant considérablement varié en fréquence et en intensité au cours des âges en fonction de la démographie humaine, ce qui a déterminé des phases de progression ou régression de leurs surfaces (**Quèzel et Barbero, 1990**).

Les incendies de forêts représentent un facteur de perturbation majeure pour les différentes composantes des écosystèmes terrestres principalement le sol. Les diverses évolutions survenant sur les propriétés du sol après le passage des incendies peuvent avoir des implications importantes sur plusieurs processus critiques tels que les cycles hydrologiques et biogéochimiques, et par conséquent la dynamique à long terme des écosystèmes forestiers (**DeBano et al., 1998 ; Neary et al., 1999 ; Certini, 2005**).

Selon **Chandler et al., (1983)**, le rôle des feux de forêts dans la dégradation des écosystèmes forestiers est bien attesté et se caractérise par la destruction de la végétation conduisant de plus en plus aux pertes des sols et d'éléments nutritifs par lessivage et érosion. Les effets des feux sur les propriétés (chimiques, physiques, biologiques) des sols forestiers varient selon de nombreux facteurs tels que l'intensité et la durée de l'incendie, le type de sol, l'humidité du sol au moment de l'incendie, et la durée et l'intensité des événements après le feu comme les précipitations.

Le feu entraîne une minéralisation rapide de la biomasse, des litières et des humus, qui court-circuite le cycle biologique normal, au détriment des décomposeurs de l'écosystème tels que les champignons, les bactéries, et la microfaune (**Gherabi, 2013**), après le passage du feu, les éléments contenus dans la cendre peuvent quitter la station par lessivage, érosion et ruissellement ou s'incorporer aux sites d'échange du sol (**Feller, 1982 ; Maclean et al., 1983 ; Uleryetal, 1993**).

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 wilaya de Tizi-Ouzou a connu un nombre moyen annuel de feux de 145 qui ont parcouru une surface moyenne annuelle de 2.956 ha (période 1985-2010) (**Meddour-Sahar, 2014**).

Beaucoup d'étude sur la dynamique de la végétation après incendie ont été menée (**Bekdouche, 2010 ; Bekdouche et al., 2024**), cependant, peu d'études ont été réalisées sur l'impact du feu sur le cortège microbien édaphique et notamment fongique alors que le rôle de ces groupes d'organismes dans l'équilibre des écosystèmes forestiers est primordial. De même, les interactions entre espèces constituant le cortège floristique des espèces dominantes ont été peu explorées. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés aux champignons mychoriziens de *Calicotome spinosa*, une espèce accompagnant le chêne liège (*Quercus suber*), notamment dans les stations dégradées et sèches. *Calicotome spinosa* est abondant dans les régions méditerranéennes de l'Algérie notamment la Kabylie, (**Kofidis et al., 2003**), c'est une espèce qui recherche des stations chaudes et à comportement héliophile (aime la lumière), poussant sur des humus très variables des sols plus ou moins désaturés, à pH proche de la neutralité à acide, à réserves en eau limitées, siliceux, mais rarement sur matériaux marno-calcaires, calcaire, serpentine (**Rameau et al., 2008**), elle présente un fort besoin en micro-organismes symbiotiques en raison de son développement dans des conditions défavorables, pour lutter contre les conditions du milieu (**Cordier, 2012**).

Notre travail rentre dans les activités de recherche du laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, selon l'objectif principal qui consiste à évaluer le cortège symbiotique des champignons symbiotiques racinaires de *Calicotome spinosa* dans un peuplement à chêne liège trois années après le passage d'un incendie d'une extrême violence. Ce travail fait suite à celui de **Mahouche et Nait Abdel Aziz (2022)**, il s'agit de suivre dans le temps la recolonisation des racines de *Calicotome spinosa* par les champignons mychoriziens. Nous avons choisi la forêt domaniale d'Oumalou, située dans la circonscription de Larbaâ Nath Iathen, dans la wilaya de Tizi-Ouzou, comme site d'étude. Cette forêt a subi un incendie violent en août 2021, qui a duré plusieurs jours et a presque détruit l'ensemble de la zone.

Le présent travail se subdivise en quatre chapitres :

- Le premier chapitre consiste en une revue bibliographique.
- Le second chapitre permet de prendre connaissance avec la zone d'étude
- Le troisième chapitre représente le matériel utilisé et les méthodes adoptées dans notre expérimentation.
- Le quatrième chapitre est une présentation des résultats obtenus et de leur discussion.

Au final, nous présentons une conclusion générale selon les résultats obtenus.

# *Chapitre I :*

## *Synthèse bibliographique*

# *Les incendies*

## I. Définition d'un incendie

Le feu de forêt est le résultat d'une réaction chimique appelée combustion. C'est une oxydation intense, extrêmement exothermique, qui génère une chaleur intense. Lorsque le feu est allumé, on parle d'incendies. Lorsque le feu devient incontrôlable, sa propagation sera influencée par trois éléments qui composent le triangle du feu (oxygène, chaleur, combustible). Le climat et le type de végétation jouent un rôle essentiel dans la prédisposition au feu. Parmi les formations végétales, certaines sont plus vulnérables au feu (Plana *et al.*, 2016).

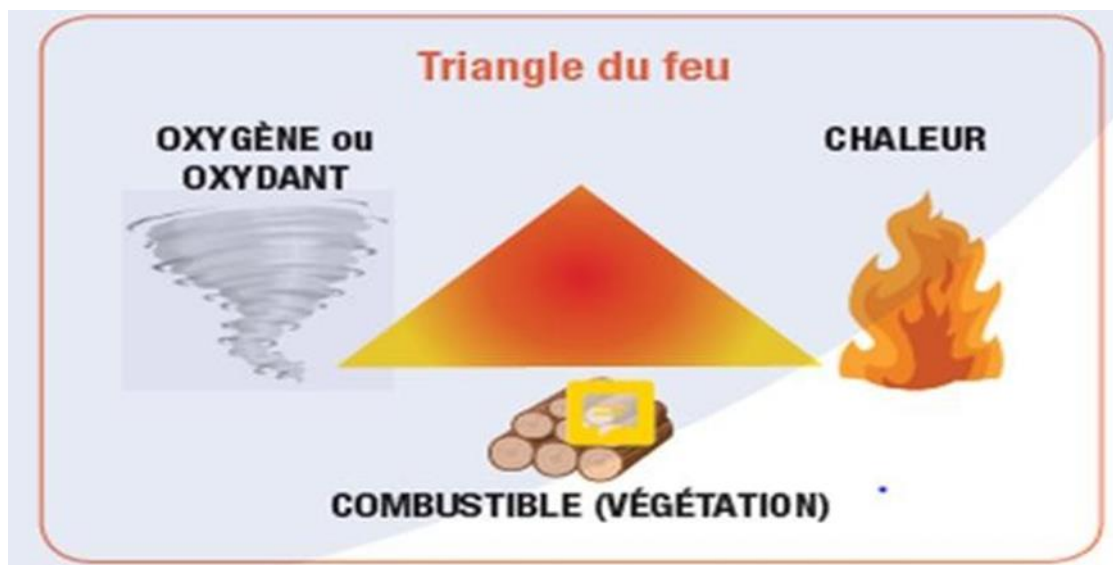


Figure n° 1 : Les éléments du feu (Plana *et al.*, 2016).

### I.1. Combustible

Selon Plana et ses collègues (2016), le type de végétation et la « charge combustible disponible » indiquent la quantité totale de biomasse qui pourrait être utilisée pour la combustion. Cette charge de combustible est influencée par la répartition dans l'espace des différentes espèces végétales présentes dans les trois strates principales (les strates herbacées, arbustives et arborées).

### I.2. Comburant

D'après Plana *et al.*, (2016), l'oxygène utilisé pour répondre aux incendies de forêts est l'oxygène présent dans l'air, avec un volume résiduel d'O<sub>2</sub> supérieur à 15,75%. De plus, le vent joue un rôle crucial dans la propagation du feu en assurant le renouvellement de l'oxygène.

**I.3. Source d'Énergie**

D'après **Elsevier (2013)**, la source d'énergie c'est l'élément nécessaire pour initier la réaction de combustion et la maintenir. Cette énergie peut provenir de diverses sources telles que la chaleur, les étincelles, une flamme ou toute autre forme d'énergie capable d'atteindre la température d'auto-inflammation du combustible.

**II. Impact des incendies****II.1. Sur la végétation**

Lorsque la fréquence des incendies de forêt dans une région donnée est élevée, les répercussions peuvent être désastreuses. Bien que certains experts voient dans le feu une opportunité pour la régénération de l'écosystème (élimination des parasites et des plantes malades, diversification des plantes et des animaux...), les cycles naturels des forêts sont perturbés et certaines espèces indigènes disparaissent, tandis que les plantes envahissantes se multiplient (**Cahier FAO, 2001**).

L'incendie se manifeste par la dégradation plus ou moins intense des organes vitaux du végétal, au niveau du feuillage, du tronc et des racines. Il en résulte une diminution de la force de l'arbre qui peut entraîner sa mort. Le degré d'altération dépend de la combinaison des dommages sur les différentes parties de l'arbre (feuillage, tronc, racines), à la suite de la nature du feu (feu de surface, feu de cime) et de l'intensité de ce dernier, ainsi que de la sensibilité au feu de l'espèce. Selon **Colin et al., (2001)**, un feu rapide entraîne beaucoup moins de dégâts qu'un feu lent. L'affaiblissement de l'arbre est causé par l'altération des organes vitaux, ce qui le rend plus vulnérable aux attaques parasitaires ou fongiques. Selon **Abdi (2014)**, les peuplements brûlés peuvent ainsi devenir des sources potentielles de contagion de la végétation environnante.

**II.2. Sur la faune du sol**

Les feux de forêt entraînent une mortalité au sein des communautés animales. La faune du sol est affectée par le feu en fonction des caractéristiques biologiques des organismes vivants, notamment de leur position dans les chaînes trophiques, de leur cycle d'activité et de leur répartition verticale, en profondeur. Ainsi la faune du sol profond n'est pas affectée par le passage du feu, alors que tous les animaux de la litière sont carbonisés. En période de sécheresse, les microarthropodes du sol ont tendance à se réfugier naturellement

dans les couches profondes du sol, ce qui permet à de nombreux organismes de s'échapper à la mort. Cependant, dans le climat méditerranéen, il est difficile de reconstituer la litière et surtout l'humus, ce qui entrave grandement la reproduction animale. En règle générale, le délai de reconstitution des communautés édaphiques peut être augmenté d'une vingtaine d'années (**Prodon, 1986**).

### **II.3. Champignons**

Les incendies affectent la communauté fongique. Après l'incendie, on observe une prolifération des champignons adaptés au feu et une modification progressive de la composition des espèces. Les champignons mycorhiziens sont fortement affectés par le feu, principalement en raison de leur développement dans la couche du sol composée de matières organiques décomposées. Les sites qui n'ont pas subi de feux depuis longtemps abritent plus fréquemment ce type de champignon que les sites récemment brûlés. La diversité des milieux fongiques peut augmenter grâce à la variété spatiale et temporelle du feu. Par conséquent, en ayant une combinaison diverse de phases post-incendie, il sera possible d'accroître au maximum la diversité des champignons dans l'écosystème (**Vennetier, 2022**).

### **II.4. Bactéries**

Selon **Vennetier (2022)**, les bactéries dans les sols jouent un rôle extrêmement crucial car elles aident à transformer les matières organiques en éléments minéraux que les plantes peuvent utiliser.

Les incendies de forêt peuvent avoir un impact significatif sur l'activité des communautés bactériennes, que ce soit à court terme ou à plus long terme. Cela peut se produire de deux manières différentes : soit par l'effet direct de la chaleur sur les bactéries, soit en modifiant les propriétés physico-chimiques de leur environnement. La densité cellulaire diminuant considérablement dans les horizons superficiels du sol, ces derniers peuvent être stérilisés par le feu, entraînant ainsi un "vide biologique" (**Stres et al., 2008**).

Les modifications au niveau des activités microbiennes après la perturbation, peuvent résulter de divers types de changements : Cela peut se manifester par des variations dans l'activité physiologique moyenne des cellules, le nombre de cellules ou la structure de la communauté microbienne. Lorsqu'un incendie se produit, la partie majeure de l'azote présent dans les végétaux et l'humus brûlé s'évapore. Parce que l'azote est un des éléments clés de la nutrition des végétaux, deux communautés microbiennes fonctionnelles, responsables de la dynamique de l'azote dans les sols, jouent un rôle essentiel pour la résilience de l'écosystème

et pourraient être utilisées comme bio-indicateurs des perturbations (**Fierer et Schimel, 2003**).

– La communauté de nitrification, responsable de l'oxydation de l'ammonium en nitrate par le biais du nitrite, et qui constitue ainsi la principale source d'azote pour les plantes. Ce groupe est composé d'un petit nombre de genres et d'espèces, il a la particularité d'être extrêmement sensible aux facteurs environnementaux (**Levy-Booth *et al.*, 2014**).

– La communauté dénitrifiante a la capacité de convertir le nitrate en substances gazeuses telles que NO, N<sub>2</sub>O et N<sub>2</sub>, permettant ainsi d'éliminer une partie de l'azote total présent dans le sol. Il existe de nombreux genres et espèces au sein de cette communauté, qui représentent la diversité des micro-organismes hétérotrophes présents dans le sol (**Levy-Booth *et al.*, 2014**).

Il est essentiel de noter que d'autres communautés microbiennes jouent un rôle crucial en contribuant au cycle des éléments nutritifs et de la matière organique, ainsi qu'à l'équilibre biologique du sol. Cependant, leur connaissance est limitée et personne n'a jamais étudié l'impact des incendies sur ces communautés (**Mendes *et al.*, 2015**).

## **II.5. Sur les sols**

### **II.5.1. Propriétés physiques**

Les premiers effets visibles du feu sont la transformation de la couleur des sols qui peut être utilisée comme indicateur de la gravité du feu. Après une période d'incendie unique, il est courant d'observer une baisse de la stabilité structurelle des sols. Le feu réduit la taille des sols, ce qui entraîne une augmentation du ruissellement et des phénomènes d'érosion, rendant les particules fines comme les argiles plus fragiles (**Boix Fayos, 1997 dans Cézanne, 2011 et Certini, 2005**).

### **II.5.2. Propriétés chimiques**

Les acides organiques sont altérés par le feu, ce qui entraîne une augmentation significative du pH des sols. Cependant, cette augmentation est minime dans les sols contenant des carbonates avec un fort pouvoir tampon. L'azote organique est également volatilisé lors des incendies (**Fisher et Binkley, 2000 cités par Cézanne, 2011**), néanmoins, une partie de cet azote organique peut rester maintenue ou être modifiée dans les sols brûlés lorsque l'intensité du feu est faible ou modérée (**Certini, 2005**).

Le phosphore du sol ne subit pas de modifications par le feu de la même façon que l'azote, car il est peu volatil et difficilement dissous. Cependant, la combustion de la végétation et des litières altère considérablement sa disponibilité, en particulier en minéralisant le phosphore organique (**Cade-Menun et al., 2000 ; Certini, 2005**), la disponibilité temporelle du phosphore varie considérablement et dépend de divers facteurs (**Cézanne, 2011**).

Le feu a également un impact sur la disponibilité d'autres nutriments, mais dans une moindre mesure et à court terme. Il est évident que cette disponibilité varie en fonction des nutriments, des espèces végétales qui ont brûlé, des caractéristiques du sol et des processus de production. Le lessivage des éléments minéraux et leur capacité à se dissoudre sont deux paramètres à prendre en considération (**Kutiel et Shaviv, 1992**), selon les recherches de **Khanna et Raison, (1986)**, il est démontré que les niveaux de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  dans la solution du sol augmentent immédiatement après un incendie (**Cézanne, 2011**).

*Le sol*

## **I. Définition du sol**

Le sol est la partie supérieure de la croûte terrestre qui présente une structure meuble et une épaisseur variable, plus ou moins colorée par l'humus. Le processus de formation des sols est complexe, impliquant la modification des roches mères par l'interaction entre les facteurs climatiques et les facteurs biotiques (flore et faune du sol). Les sols sont altérés par un processus de désagrégation physique provoqué par les conditions climatiques, auquel s'ajoute plus tard la fracturation du substrat rocheux par les racines des végétaux. Les eaux d'infiltration chargées de substances dissoutes sont soumises à un processus de décomposition chimique qui se produit par lessivage, ce qui conduit à la formation d'un mélange intime de matières minérales et organiques. C'est la raison pour laquelle le sol est perçu comme un réacteur biogéochimique interactif et un élément polyvalent (**Manneville et al., 1999**).

## **II. Constituants du sol**

Selon (**Buttler, 1992**), un volume de sol est constitué d'éléments solides, liquides et gazeux (voir tableau I) :

### **II.1. Phase solide**

Elle contient des substances minérales et organiques : Les minéraux sont directement produits par la désagrégation mécanique et la décomposition chimique des roches du substrat ou des matériaux apportés, tels que les alluvions, les colluvions et les dépôts éoliens. On distingue ainsi les sables (2 mm-50µm), les limons (50µm-20µm) et les argiles (<2µm).

La texture du sol est déterminée par les proportions de ces particules, tandis que les assemblages de ces particules élémentaires représentent la structure.

Le sol est composé de débris organiques tels que des débris animaux (détritiques, cire, etc.), des débris végétaux (feuilles, rameaux, racines, troncs d'arbres) qui représentent la masse la plus importante.

Sa composition comprend des minéraux et de la matière organique dans des proportions différentes. Les organismes vivants du sol pourraient être assimilés à la phase solide, car ils ne sont ni gazeux ni liquides (**Calvet, 2000**), il est possible de distinguer :

### II.1.1. Fraction minérale

Elle est principalement constituée de silicates, mais elle comprend également des cations tels que les ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , des nitrates et des phosphates essentiels pour les plantes. Ils varient en fonction de la nature de la roche-mère. Selon **Quénéa, (2004)**, la nature des minéraux peut varier considérablement, avec des granulométries variées. Les argiles se présentent sous la forme de petites particules de surface spécifique, qui sont des aluminosilicates. Selon **Bliefert et Perraud, (2001)**, ces couches peuvent se développer en absorbant des molécules d'eau et se fixer à des cations tels que le  $\text{K}^+$ , le  $\text{Ca}^{2+}$  et le  $\text{Mg}^{2+}$ .

### II.1.2. Fraction organique

Selon **Paul et Clark, (1996)**, plus de 80 % de d'un sol est composé de matière organique morte (résidus de plantes et d'animaux en état de décomposition naturelle). Selon **Quénéa, (2004)**, il existe également des organismes vivants tels que des bactéries, notamment des actinomycètes, des champignons et une microfaune composée de protozoaires, nématodes, insectes et vers de terre.

### II.2. Phase liquide

Il s'agit du volume qui comble en partie ou entièrement les espaces vides (pores) entre les particules solides du sol. Il est constitué d'eau ainsi que de substances minérales ou organiques qui se dissocient dans l'eau (**Roland, 1988**).

### II.3. Phase gazeuse

Les espaces libres entre les particules solides du sol sont occupés par la phase gazeuse. Elle est constituée de gaz tels que : vapeur d'eau,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}$ . Ces gaz sont issus de la dégradation des roches, de la dégradation des matières organiques et des apports humains. Au fur et à mesure que l'on progresse vers des niveaux d'organisation plus élevés, ces composants du sol se structurent en agrégats. (**Roland, 1988**).

Tableau I : les principaux constituants des sols (Soltner, 2005).

|                               | Constituants Solides   |   | Constituants liquides  | Constituants gazeux  |
|-------------------------------|--|---|--|--|
|                               | Minéraux   | Organique   |  |  |
| <b>Origine</b>                | Désagrégation physique et altération biochimique des roches  | Décomposition des êtres vivants   | Précipitations, nappes, ruissellement  | Air hors sol, matières en décomposition, respiration   |
| <b>Critères de classement</b> | Taille (granulométrie)<br>Qualité (minéralogie)  | Etat (vivants, morts)<br><br>Qualité chimique (originelle, transformée)   | Origine (météorique, phréatique)<br><br>Etat physique (potentiel hydrique)<br><br>Qualité chimique   | Origine (air, organismes)<br>Qualité chimique  |
| <b>Catégories</b>             | Selon granulométrie<br>– squelette (>2mm)<br>– terre fine (<2mm)<br>Selon minéralogie<br>– quartz<br>– minéraux silicatés<br>– min. Carbonatés | –Organismes vivants<br>–Organismes morts<br>–Matières organiques héritées : Cellulose, lignine, résines<br>–Matières organiques humifiées : Acides fulviques et humiques, humines | – eau<br>– substances dissoutes : glucides, alcools, acides organiques et minéraux et cations anions | – gaz de l'air : N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub><br>– gaz issus de la respiration et de la décomposition des organismes : CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> |

### III. Faune et flore du sol

Selon **Bachelier (1978)**, la faune du sol englobe tous les animaux qui passent une grande partie de leur cycle biologique dans le sol. D'après **Deprince (2003)**, plus de 80 % de la biodiversité animale est constituée par la faune du sol. L'habitat de la couverture pédologique est varié. Cette dernière limite les capacités d'adaptation des divers taxons et propose ainsi de nombreuses niches trophiques (**Girard et al., 2005**).

D'après **Gobat et al., (2003)**, le sol renferme une faune très riche et ses activités vitales jouent un rôle essentiel dans sa constitution. En mélangeant la matière organique avec la matière minérale, elle favorise la dégradation de la matière organique par les micro-organismes. Son influence sur les caractéristiques physiques du sol est importante (**Villain, 1997**).

Selon **Gobat et al., (2003)**, chaque organisme vit dans l'espace poral du sol, où sa position dans les pores varie en fonction de sa taille. Ces auteurs en donnent la classification qui suit.

### **III.1. Microfaune**

Ce sont principalement des protozoaires et des nématodes, ils vivent dans l'eau contenue dans les pores suffisamment grands pour les abriter.

### **III.2. Mésofaune**

Elle comprend les microarthropodes (acariens, collemboles...), à cela s'ajoutent des nématodes de grande taille et des enchytréides.

### **III.3. Macrofaune**

Constituée d'une très grande variété d'organismes tels que :

- Les Annélides Oligochètes (enchytrées, lombrics).
- Les mollusques Gastéropodes (limaces, escargots).
- Les Arthropodes autres que les Hexapodes : Isopodes (cloportes), Diplopodes, (ex. Glomérédés et Iulidés), Chilopodes (ex. scolopendre), Arachnides (ex. pseudo scorpions, opilions, araignées).
- Les insectes : Isoptères (termites), Orthoptères (courtilières), Coléoptères (carabes, staphylins), Diptères (chironomes, tipules), Hyménoptères (fourmis).

### **III.4. Mégafaune**

Ce sont les animaux de grande taille (vertébrés, reptiles, amphibiens...) qui utilisent le sol comme habitat.

Les bactéries et les champignons constituent les microorganismes les plus représentés dans les sols, où ils sont les principaux responsables de la minéralisation des matières organiques (**Quénéa, 2004**), ils participent aussi à un processus appelé humification qui

conduit à la formation de l'humus (**Paul & Clark, 1996**), qui est un composé complexe et majeur du cycle de la matière organique tellurique et de la fertilité du sol.

Les organes souterrains végétaux (50%), les racines principalement et la microflore (41,7%) forment plus de 90 % de la biomasse des sols.

Les végétaux jouent un rôle essentiel dans le bon fonctionnement du sol. Le système racinaire est la principale zone d'échange de nutriments et d'eau entre le sol, les micro-organismes et les plantes (**Hättenschwiler et al., 2019**), effectivement, la majorité des plantes interagissent directement avec le sol tout au long de leur vie, depuis la graine jusqu'aux débris végétaux, et dépendent largement de ce dernier pour leur alimentation en eau, leur apport minéral et leur ancrage. En contrepartie, les plantes sont des ingénieures du sol. Elles influencent notamment les propriétés physico-chimiques du sol (par exemple : pH, agrégation, porosité) et constituent l'essentiel des apports de matières organiques aux sols, ce qui les place en amont de tous les réseaux trophiques (**Freschet, 2018**).

#### **IV. Rhizosphère**

Selon **Chen et al., (2006)** et **Zhu et al., (2006)**, la rhizosphère est la partie du sol qui est directement en contact avec le système racinaire des plantes et qui est influencée par celui-ci (voir Figure 1). En fonction de la nature de la plante et des éléments nutritifs, l'extension de la rhizosphère peut varier en tenant compte des caractéristiques physiques du sol (**Hinsinger, 1998 ; Chaignon, 2001 ; Hinsinger et al., 2005**).

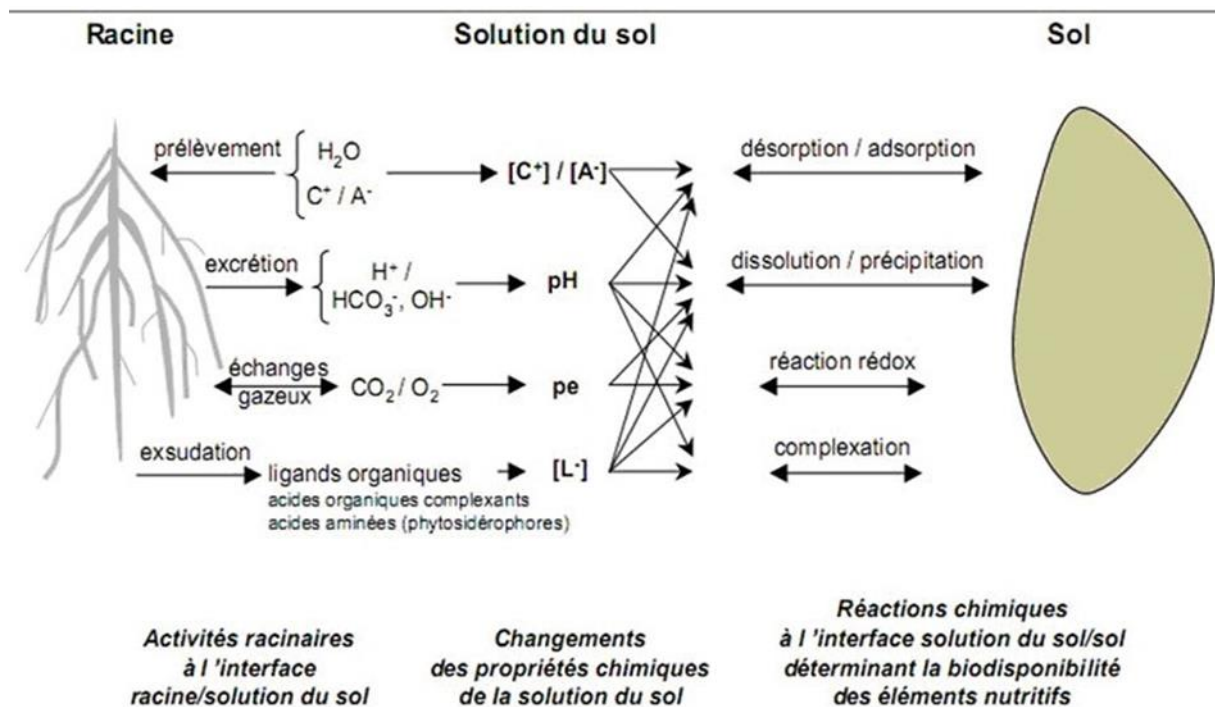


Figure 2 : Représentation schématique de la rhizosphère (Hinsinger, 2001).

## V. Fonctionnement de la rhizosphère

Le premier processus chimique qui a été décrit dans la rhizosphère est une conséquence directe de la principale fonction des plantes : l'absorption de l'eau et des nutriments par la racine, responsable de changements considérables dans la concentration des solutés (Hinsinger *et al.*, 2006).

Selon Stengel et Gelin (1998), les rhizodépôts sont une source d'énergie et d'éléments nutritifs qui favorisent la prolifération des communautés microbiennes hétérotrophes (Gregory 2006, Nguyen, 2009), cela entraînera une densité significativement supérieure à celle d'un sol sans activité racinaire (Darrah, 1993 ; Arocena et Glowa, 2000 ; Nguyen et Henry, 2002), toutefois, la richesse et la variété des populations diminuent à mesure que l'on s'éloigne de la source (Davet, 1996).

Les molécules et les ions organiques ou inorganiques libérés par les racines ont une grande influence sur la rhizosphère et les processus qui s'y déroulent. Alexis, (1988) affirme que ces derniers ont la capacité de mobiliser directement des éléments nutritifs, mais ils peuvent également influencer certaines conditions du milieu, telles que le pH, qui est influencé par l'excrétion de substances nutritives.

Le pH est un paramètre que les racines peuvent directement modifier (Hinsinger *et al.*, 2009), à travers de multiples processus parmi lesquels, principalement, la respiration racinaire et

la libération de  $H^+$  ou  $OH^-$  pour fournir un excédent net de cations ou d'anions (**Hinsinger et al., 2001**), ainsi, le pH de la rhizosphère peut différer d'une à deux unités pH de celui d'un sol sans activité racinaire (**Hinsinger et al., 2005 ; Maraschner et Römheld, 2006**).

Cette différence peut être due à plusieurs phénomènes tels que les prélèvements racinaires des cations  $K^+$  et  $Ca^{2+}$  qui sont accompagnés d'excrétion d'acides (protons  $H^+$  et acides organiques), contribuant ainsi à l'acidification du sol (**Darrah et Jones, 1994**), ou encore à une plus importante absorption de cations ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ) que d'anions ( $NO_3^-$ ,  $PO_4$ ) par les racines (**Hinsinger, 1998**), c'est le déséquilibre ionique (**Grinsted et al., 1982**), dans les sols légèrement acides et pauvres en azote, les plantes acidifient leur rhizosphère par la libération de protons résultant d'un prélèvement moindre en anions qu'en cations, parce que l'azote est soit faiblement disponible, soit il est sous forme de  $NH_4^+$  plutôt que sous la forme de  $NO_3^-$  (**Turpault et al., 2003 ; Girard et al., 2005**).

## **VI. La racine**

Selon **Raven et Evert, (2012)**, la racine est l'organe spécialisée dans l'absorption de l'eau et des sels minéraux et dans la fixation au sol. La plupart des racines sont souterraines mais il existe également des racines aériennes. On distingue deux principaux appareils racinaires :

- appareil racinaire pivotant : la racine principale a une longueur et un diamètre plus importants que les ramifications ; il est caractéristique des Angiospermes à deux cotylédons. La racine principale s'enfonce dans le sol comme un pivot.

- appareil racinaire fasciculé : c'est un ensemble de racines ayant toute la même taille. Il caractérise les Angiospermes Monocotylédones, exemple : les graminées.

Les racines ne sont pas chlorophylliennes (sauf certaines orchidées épiphytes) et ne portent jamais de feuille. Elles croissent généralement vers le bas (géotropisme positif) et fuient la lumière (lucifuges) (**Raven et al., 2005**).

Selon **Evert et Eichhorn (2013)**, la racine peut subir des modifications morphologiques pour acquérir des fonctions nouvelles. Ces modifications sont des adaptations morphologiques. Citons quelques transformations de racine :

les racines adventives ou crampons servent à se fixer sur un support (Ex : le lierre).

les racines tubérisées renflées par accumulation de substances de réserves. On trouve les racines tubérisées pivotantes (Ex : carotte cultivée), les racines tubérisées fasciculées exemple (la carotte sauvage).

### **VI.1. Structure générale de la racine**

Selon **James et Mauseth (2017)**, les principales structures de la racine des plantes comprennent plusieurs zones anatomiques distinctes, chacune remplissant des fonctions spécifiques (voir la figure 03) :

**La coiffe (ou calyptra) :** la coiffe est la pointe de la racine qui protège la zone apicale en croissance. Elle est généralement recouverte d'une masse de cellules appelée calyptra, qui aide à protéger les tissus en croissance contre les dommages mécaniques lors de la pénétration dans le sol.

**Méristème apical :** situé juste derrière la coiffe, le méristème apical est une zone de tissus végétaux indifférenciés et divisibles. C'est là que se produit la croissance en longueur de la racine grâce à la division cellulaire active.

**Zone de croissance (ou zone d'allongement) :** c'est la région de la racine où les cellules issues du méristème apical continuent de s'allonger, permettant à la racine de pousser plus profondément dans le sol.

**Zone de différenciation (ou zone pilifère) :** juste derrière la zone de croissance, la zone de différenciation est caractérisée par la présence de poils absorbants (ou radicules) qui augmentent la surface d'absorption des nutriments et de l'eau par la racine.

**Cortex :** c'est la couche externe de la racine, composée de tissus parenchymateux qui stockent les réserves nutritives et facilitent le mouvement de l'eau et des minéraux vers les vaisseaux conducteurs internes.

**Endoderme :** une couche de cellules juste en dessous du cortex, qui régule le mouvement de l'eau et des minéraux en contrôlant l'accès au cylindre central.

**Cylindre central (ou stele) :** le cylindre central comprend le xylème et le phloème, qui sont des tissus conducteurs spécialisés transportant respectivement l'eau et les nutriments à travers la plante.

**VI.2. Rôle de la racine**

Selon **Taiz et Zeiger (2010)**, le rôle de la racine dans les plantes est multifonctionnel et crucial pour leur survie et leur croissance.

Voici un résumé des rôles principaux de la racine.

➤ **Ancrage et stabilisation**

Les racines s'enfoncent profondément dans le sol et se déploient largement, permettant ainsi à la plante de bien s'ancrer. Le maintien de la position de la plante malgré les conditions météorologiques défavorables comme le vent fort et les fortes averses, est rendu essentiel grâce à cette fonction. Les racines ont également pour rôle de stabiliser la plante en empêchant le sol autour de sa base de s'éroder.

➤ **Nutrition minérale**

L'absorption de l'eau et des nutriments minéraux du sol est attribuée aux racines. La plante a besoin d'absorber des ions essentiels tels que le potassium, le phosphore, le calcium et le magnésium pour accomplir de nombreuses fonctions physiologiques. Cela inclut la synthèse des composés organiques, la régulation osmotique et la réponse aux stress environnementaux.

➤ **Stockage des réserves**

Les racines tubérisées, tout comme d'autres types de racines, agissent comme des organes de réserve pour la plante. Pendant les périodes de dormance, de stress ou lorsque les sources d'énergie sont limitées, elles stockent des réserves de glucides, lipides et parfois protéines pour soutenir leur croissance. De plus, cette forme de stockage permet à la plante de débiter sa croissance rapidement en cas de conditions favorables.

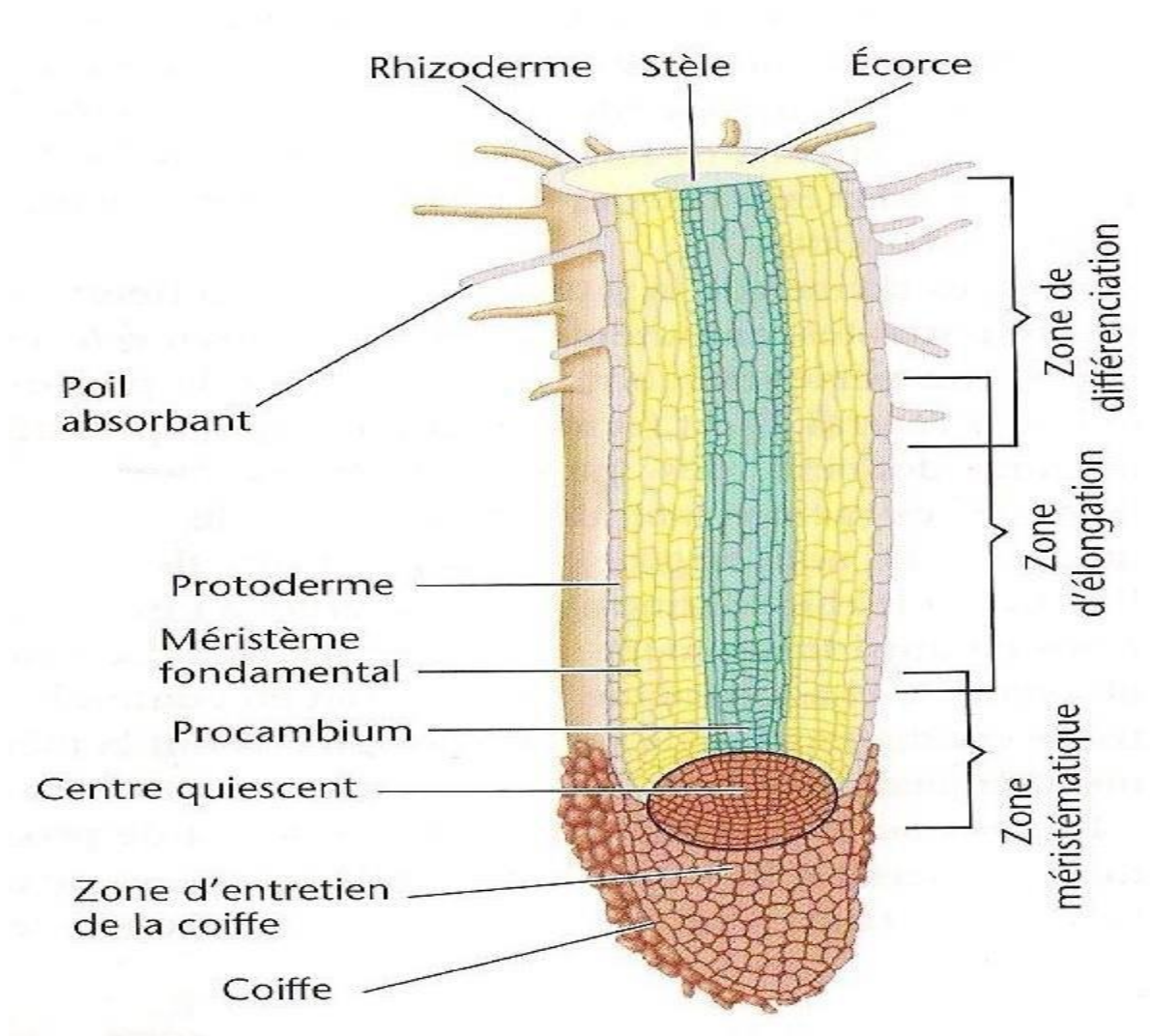


Figure 03 : Les différents structures de la racine (Meyer *et al.*,2004).

# *Les champignons*

## I. Champignons

### I.1. Généralités sur les champignons

Les champignons représentent l'un des plus importants groupes d'organismes sur terre et jouent un rôle clé dans un nombre d'écosystèmes (Mueller & Schmit, 2007), de récentes estimations suggèrent l'existence de 2,2 à 3,8 millions d'espèces de champignons, mais seulement 120 000 ont pour l'instant été décrites (Hawksworth & Lücking, 2017).

Les champignons, appelés aussi mycètes, sont des organismes eucaryotes uni- ou pluri cellulaires, incluant des espèces macroscopiques (macro mycètes) et d'autres microscopiques (micromycètes) (Chabasse *et al.*, 2002), les champignons peuvent vivre sous deux formes : sous la forme de colonies de cellules isolées, appelées les levures, ou sous la forme de mycélium (un réseau de filaments ramifiés). Leurs modes de reproduction s'accomplissent en libérant des spores, produites soit par méiose (de manière sexuée), ou alors par mitose (de manière asexuée) (Chollet, 2014).

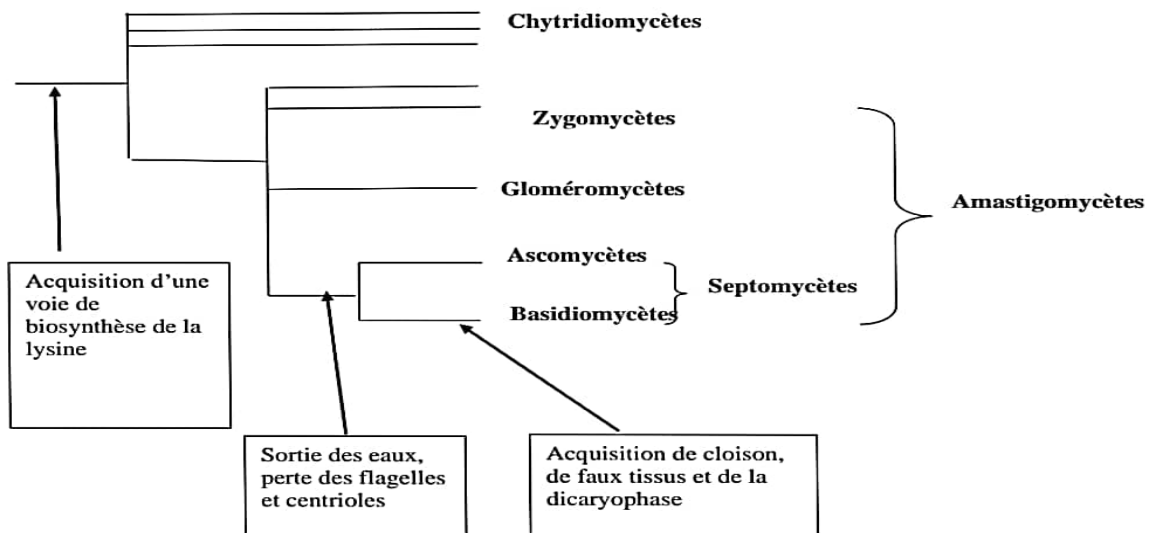
Leur mode de nutrition se fait par absorption en libérant dans un premier temps des enzymes hydrolytiques dans le milieu extérieur. Ces organismes sont dépourvus de chlorophylle et sont tous hétérotrophes ; le glycogène est le polysaccharide de réserve principal (Carlile & Watkinson, 1994 ; Redecker, 2002), tous les champignons ont une paroi constituée de chitine, polysaccharide très résistant constitué de résidus N-acétylglucosamine (Carlile & Watkinson, 1994).

D'un point de vue métabolique les champignons sont des chimio hétérotrophes, c'est à dire qu'ils utilisent du carbone organique comme source d'énergie (Carlile & Watkinson, 1994 ; Redecker, 2002), ce sont des organismes aérobies pour la grande majorité, mais certaines levures peuvent être aéro-anaérobie et participer à des processus fermentaires (Carlile & Watkinson, 1994).

La plupart des champignons s'accordent avec un pH acide et des conditions micro aérobies. Les champignons interviennent principalement dans la dégradation des sucres complexes (cellulose, lignine) et dans les processus d'ammonification (dégradation des matières azotées) (Pichard *et al.*, 2006), enfin, certaines espèces vivent en symbiose avec les plantes supérieures (mycorhizes).

## I.2. Classification des champignons

En raison de la diversité d'organismes appartenant à ce règne, la classification des champignons fut difficile à établir. Néanmoins, ce règne peut être divisé en cinq groupes majeurs : les Chytridiomycètes, les Gloméromycètes, les Zygomycètes, les Ascomycètes, les Basidiomycètes et les Deutéromycètes. Les principaux groupes d'Eumycota sont repris dans la figure (04).



**Figure 4 :** Principaux groupes des Eumycètes (sauf Microsporidies dont la position exacte reste incertaine) (Selosse, 2013).

## I.3. Mode de reproduction

Les champignons se reproduisent de deux manières :

### I.3.1. Reproduction asexuée

Les spores représentent le mode de reproduction asexué le plus commun chez les champignons : elles sont produites soit dans des sporanges, soit à partir de cellules d'hyphes appelées cellules conidiogènes (Raven *et al.*, 2000), elle permet de conserver des génomes particulièrement bien adaptés (Larpen *et Larpen*, 1985).

### I.3.2. Reproduction sexuée

Le cycle sexuel des champignons se déroule en trois étapes : plasmogamie, caryogamie et méiose (Jennings & Lysek, 1996), la plasmogamie correspond à la fusion cellulaire entre deux cellules haploïdes. La cellule résultante est appelée dicaryon car elle possède deux types de

noyaux haploïdes. Les deux noyaux vont fusionner lors de la caryogamie puis la méiose va convertir une cellule diploïde en quatre cellules haploïdes (**Carlile & Watkinson, 1994**).

#### **I.4. Mode de vie des champignons**

Les champignons ont un rôle très important dans la dégradation de la matière organique et constituent une part importante des décomposeurs sur Terre (**Lutzoni *et al.*, 2002**), de plus, certains champignons peuvent être phytopathogènes ou provoquer des mycoses chez les animaux (**Lutzoni *et al.*, 2004**), un troisième mode de vie, symbiotique, est également très répandu.

##### **I.4.1. Saprophytisme**

Les champignons saprophytes sont les principaux acteurs de la décomposition de la matière organique en milieu naturel (**Ndong *et al.*, 2011**), leur capacité d'exploration via l'extension des hyphes, couplée à la capacité de largage d'enzymes hydrolytiques, ont permis une colonisation d'une grande variété de substrats. Dans le sol, les champignons saprophytes participent au cycle de l'azote par la dégradation de l'humus. Ils ont la capacité de consommer la cellulose ainsi que la lignine et sont considérés comme les principaux recycleurs de matière organique à partir de matériels végétaux (**Lutzoni *et al.*, 2004**).

##### **I.4.2. Parasitisme**

Certains champignons (20%) sont capables de parasiter, de coloniser et d'exploiter la matière vivante et ils sont souvent pathogènes pour leurs hôtes (**Calvez, 2009 ; Lebrun, 2010**), les champignons peuvent attaquer tous les groupes du vivant, comme par exemple les plantes, les insectes, les animaux mais aussi les bactéries et les autres champignons (**Lutzoni *et al.*, 2004**).

##### **I.4.3. Symbiose**

Les mycorhizes sont des symbioses entre les racines des végétaux et les mycéliums des champignons, elles sont très répandues dans la nature (**Bouchet *et al.*, 2005**) (Voir paragraphe ci-dessous).

#### **I.5. Importance dans le sol**

Leur rôle dans le sol est considérable et très varié. Il s'exerce surtout dans la phase de décomposition de la matière organique fraîche qui précède l'humification : la plupart sont aptes à décomposer la cellulose, certains sont susceptibles d'hydrolyser les composés de nature

phénolique, plus résistants ; lignine, tannins (**Gobat *et al.*, 2003**), certains champignons sont associés aux racines des plantes supérieures (en particulier des arbres), en formant les mycorhizes (Voir paragraphe ci-dessous).

## **II. Symbiose mycorhizienne**

### **II.1. Généralités sur les mycorhizes**

Les milieux de vie des plantes et des microorganismes sont extrêmement variés sur le plan écologique (**Bacon et White, 2000**), dans la nature, les organismes ne vivent pas isolés, mais en association avec d'autres entités vivantes. **De Bary (1879)**, a décrit cette relation par le mot "Symbiose".

Dans le sol, il y a de nombreuses interactions des racines des plantes avec d'autres plantes, microbes et nématodes présents dans la rhizosphère. Certaines interactions plantes-plantes et plantes-microorganismes peuvent être positives et négatives. Parmi les interactions plantes-microbes positives, il y a les associations mycorhiziennes (**Bais *et al.*, 2006**) ; du grec "mukes", qui signifie champignon et "rhiza," qui veut dire racine.

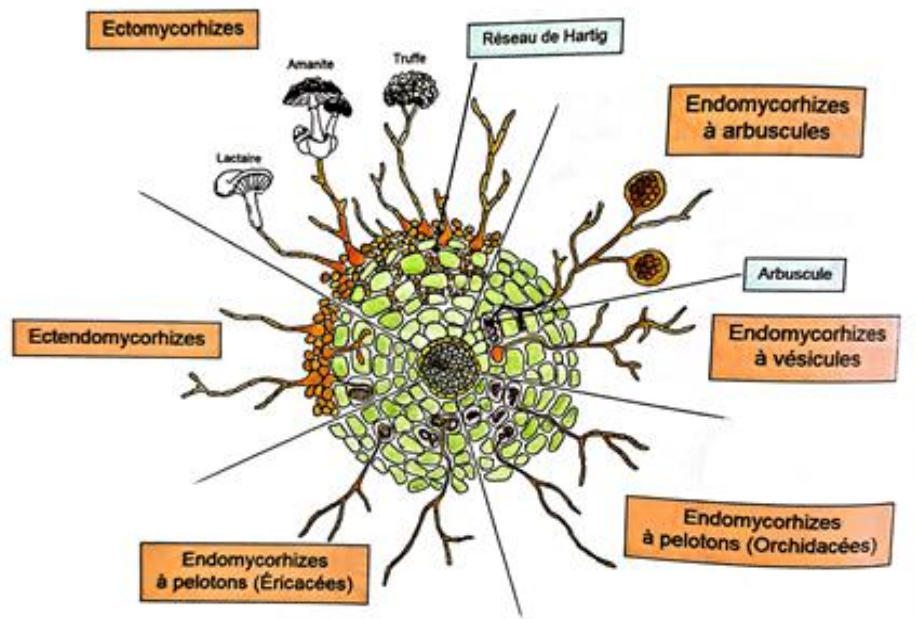
Selon **Back-Nielsen et vindaek (2001)** et **Mousain *et al.*, (1997)**, les symbioses mycorhiziennes se rencontrent chez 90% des plantes terrestres et chez les plantes aquatiques et marécageuses, distribuées dans tous les climats et les écosystèmes, indépendamment du type de sol (**Smith *et al.*, 2010**), de la végétation et des conditions environnementales. Elles jouent un rôle actif dans l'amélioration de la diversité et la productivité des plantes, dans la diversité de la microflore, de la microfaune et de la qualité du sol (**Tao et Zhiwei, 2005**).

Selon **Sahraoui, (2013)**, les champignons des associations mycorhiziennes fonctionnent comme des extensions du système racinaire. Leurs hyphes augmentent d'une façon extraordinaire le contact avec le sol et la surface totale d'absorption. Le mycorhize participe au transfert direct du phosphore, du zinc, du cuivre et d'autres nutriments du sol aux racines. La plante, de son côté, fournit du carbone organique au champignon (**Raven *et al.*, 2017**).

### **II.2. Différents types des mycorhizes**

Les structures générées par l'association mycorhizienne mutualiste peuvent être classées sur la base de critères écologiques, morphologiques et physiologiques. **Smith et Read, (1997)**, décrivent sept types de mycorhizes dont les endomycorhizes à arbuscules, les

ectomycorhizes, les ectendomycorhizes, ainsi que des mycorhizes arbutoïdes, monotropoïdes, éricoïdes et orchidoïdes (Figure 05).



**Figure 5 :** Représentation schématique des principaux types de mycorhizes d'après Le (Tacon,1985).

### II.2.1. Ectomycorhizes

La symbiose ectomycorhizienne se traduit par la formation d'ectomycorhize (ECM), organe mixte, et par l'apparition de fructifications appelées sporophores visibles à proximité de la plante hôte (Bâ *et al.*, 2011).

Les champignons ectomycorhizes sont nombreux (plus de 5 000 espèces) (Duhoux et Nicole, 2004), ce sont des champignons, Ascomycètes, ou Basidiomycètes dont les hyphes sont cloisonnés.

Ces mycorhizes ne pénètrent pas à travers des parois cellulaires à l'intérieur des cellules de la plante (Garbay, 2013), elles se développent essentiellement autour de la racine (Duponnois *et al.*, 2013), le partenaire fongique forme un manteau, pénètre entre les cellules du cortex et constitue un réseau de Hartig (Fortin, 2013).

### II.2.2. Endomycorhizes

Les endomycorhizes (du grec endon : à l'intérieur) sont caractérisées par l'absence de manchon mycélien externe et par la pénétration des hyphes fongiques dans les cellules

corticales (**Duponnois et al., 2013**), les endomycorhizes se développent sur sols minéraux, et concernent 200 à 500 espèces fongiques (**Jany, 2002**), ces symbiotes colonisent l'espace intracellulaire cortical. Elles forment des arbuscules, des vésicules ou des hyphes spiralés (**Béreau et al., 2003**).

Il existe trois types d'endomycorhizes : Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules, les endomycorhizes à pelotons (orchidées), les endomycorhizes éricoïdes.

#### a) Endomycorhizes des orchidées

Ces mycorhizes sont uniques du fait qu'elles surviennent seulement chez la famille des *Orchidacées* (**Peterson et al., 2004**), leur principale caractéristique est la formation de pelotons d'hyphes cloisonnés dans les cellules corticales (**Paek & Murthy, 2013**), les champignons impliqués sont principalement les Basidiomycètes (**Berch et al., 2009**), il en existe plus de 100 espèces (**Raven et al., 2000**).

#### b) Endomycorhizes 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**).

#### c) Mycorhizes arbusculaires (MA)

Les mycorhizes arbusculaires, appelées à l'origine mycorhizes vésiculaires-arbusculaires, un nom encore utilisé par certains auteurs (**Smith et Read, 1997**), sont la forme la plus répandue d'endomycorhizes. Le champignon forme dans l'écorce de la racine des vésicules elliptiques et des hyphes intracellulaires finement ramifiées en arbuscules qui représentent des suçoirs (**Dar, 2010**).

### II.2.3. Ectendomycorhizes

Les ectendomycorhizes sont des formes intermédiaires qui possèdent à la fois les caractéristiques des ectomycorhizes, c'est-à-dire, un réseau de Hartig bien développé et un manteau fongique plus ou moins épais, ou absent dans quelques cas, et les caractéristiques des endomycorhizes soit, la pénétration à l'intérieur des cellules corticales par les hyphes (**Yu et al., 2001**).

### II.3. Rôles des champignons mycorhiziens

Les champignons mycorhiziens assurent des rôles essentiels pour la plante :

#### II.3.1. Nutrition hydrominérale

Selon **Meyer *et al.*, (2008)**, ils favorisent la nutrition hydrominérale du végétal, par l'absorption du phosphate (nutriment le plus immobile du sol) et favorise celle de l'azote et du potassium, du zinc, du cuivre et de l'eau.

Ils facilitent l'absorption des nutriments par la plante et lui confèrent une résistance aux stress biotiques et abiotiques (**Barea *et al.*, 2002**).

#### II.3.2. Production d'hormone

Les champignons mycorhiziens peuvent produire diverses phytohormones comme l'acide gibbérellique, la cytokinine, l'auxine, l'éthylène et l'acide abscissique. Ces hormones végétales jouent un rôle important dans le développement et la croissance des plantes (**Ludwig-Müller *et al.*, 2017**).

#### II.3.3. Protection phytosanitaire

D'après **Hirsh et Kapulnik (1998)** ainsi que **Stensröm *et al.*, (1997)**, les associations mycorhiziennes jouent un rôle crucial dans la protection des plantes contre les agents pathogènes. En effet, la présence des champignons symbiotiques limite la quantité totale de substances exsudées par la racine et utilisables par les pathogènes. De plus, les champignons mycorhiziens, a la capacité de produire des inhibiteurs contre les pathogènes. Les champignons mycorhiziens augmentent également la résistance des plantes aux stress environnementaux et aux agents pathogènes, comme ils peuvent même produire des substances antibiotiques qui pourraient avoir un effet direct contre les pathogènes. Enfin, le manteau des ectomycorhizes agit comme une barrière mécanique efficace contre les pathogènes qui tenteraient de pénétrer dans la racine.

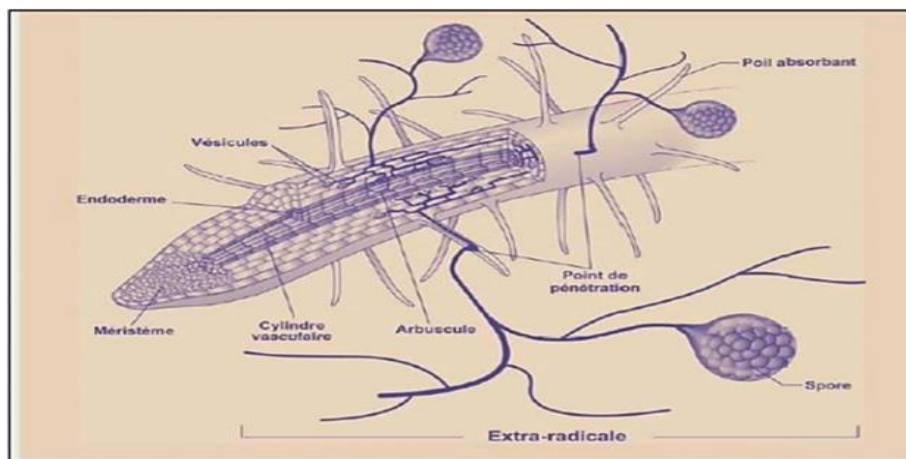
## II.4. Symbiose mycorhizienne arbusculaire (CMA)

L'association entre les plantes terrestres et les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) est très ancienne et l'évolution des plantes terrestres est étroitement liée à l'évolution des CMA. Selon **Smith & Read (2008)**, les CMA jouaient un rôle essentiel dans la colonisation des plantes terrestres. Les spores et hyphes observés dans les fossiles de l'Ordovicien, il y a environ 460 millions d'années, sont des preuves de l'existence de Glomeromycètes (**Redecker et al., 2000**), dans des plantes fossiles du Dévonien, des structures semblables à celles des arbuscules suggèrent la présence probable d'associations de champignons arbusculaires (**Remy et al., 1994**).

Les CMA sont associés avec les racines de plus de 80% des espèces végétales. Cela inclut les Angiospermes, Gymnospermes, Bryophytes et Ptéridophytes (**Smith & Read, 2008**).

## II.5. Structure des champignons mycorhiziens à arbuscules

Les champignons mycorhiziens à arbuscule forme plusieurs structures à l'intérieur des racines principalement des arbuscules, des vésicules, des spores et des hyphes. On les appelle propagules car toutes ces structures ont pour fonction de propager l'espèce (**Fortin et al., 2008**) (Figure 06).



**Figure 6 :** Représentation schématique d'un apex racinaire mycorhizé par un champignon arbusculaire (**Fortin et al., 2013**).

### II.5.1. Structure intra radriculaire

#### a) Pelotons intracellulaires

Ils sont formés par des hyphes ayant pénétré à l'intérieur de la racine, dans les cellules les plus externes du parenchyme cortical (**Saad, 2009**).

**b) Arbuscules**

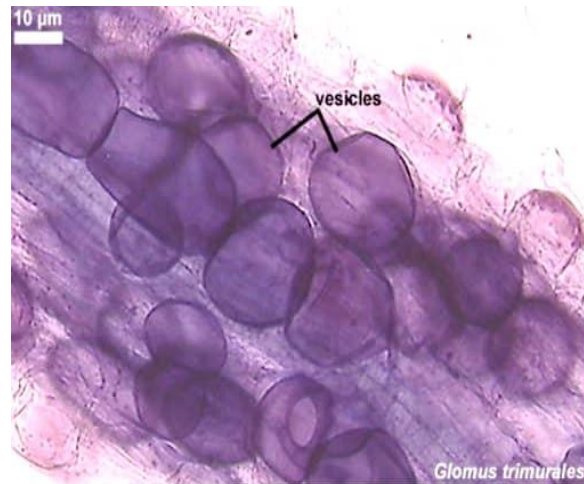
Structure hautement ramifiée produite par des champignons mycorhiziens arbusculaires à l'intérieur de la lumière cellulaire de leur hôte. Les arbuscules sont considérés comme l'élément clé des échanges symbiotiques de nutriments entre la plante et le champignon (**Bonfante et Genre, 2010**), les arbuscules sont originaires de l'hyphes intra-radical et se forment dans la cellule du cortex racinaire. Ils peuvent se produire sporadiquement le long des racines, mais dans certains cas, les arbuscules peuvent se développer presque à partir d'un point d'entrée (**Schüßler et Walker, 2010**), les arbuscules signifient littéralement « petits arbres », ils durent environ 2 à 3 semaines et ensuite développent une apparence granuleuse lorsqu'ils dégénèrent (**Ravichandra, 2014**) (Figure 07).



**Figure 7 : Aspect d'un arbuscule (Martin, Brundrett, 2008).**

**c) Vésicules**

Selon **Kapoor et al., (2012)** ; **Ravichandra (2014)**, ce sont des structures ovales ou lobées irrégulièrement, aux parois fines et contenant des lipides, produites sur les hyphes dans le cortex racinaire et servent d'organe de stockage au champignon. Lorsqu'elles sont âgées, elles servent de structure de reproduction (**Teotia et al., 2017**) (Figure 08).



**Figure 8 :** Aspect d'une vésicule (Blaszkowski, 2003).

### II.5.2. Structure extra racinaire

#### a) Spores

La spore est une structure unicellulaire, généralement globoïde, avec une paroi épaisse, composée de plusieurs couches de textures variées, reliées au réseau filamenteux par un hyphe suspenseur de morphologie différente. Les caractéristiques morphologiques sont limitées et peuvent varier en fonction de la maturité des spores étudiées (Blaszkowski, 2008).

#### b) Hyphes fongiques

Les hyphes sont des filaments mycéliens intra ou extra-racinaires permettant aux champignons d'explorer le sol et de coloniser la plante hôte. La pénétration du mycélium dans les cellules du cortex racinaire se fait par l'intermédiaire de l'haustorium (suçoir), qui gonfle en formant des vésicules ou se ramifie en donnant une forme arborescente (Luttge *et al.*, 2002).

### II.6. Classifications des champignons mycorrhiziens à arbuscules (CMA)

Ces champignons symbiotiques étaient autrefois classés dans l'ordre des Glomales parmi les Zygomycètes. Les études phylogénétiques récentes ont conduit à la création, en 2001, d'un phylum bien individualisé, celui des Glomeromycota (Schüßler *et al.*, 2001), le phylum regroupe 250 espèces comprenant 18 genres et 4 ordres (Figure 9).

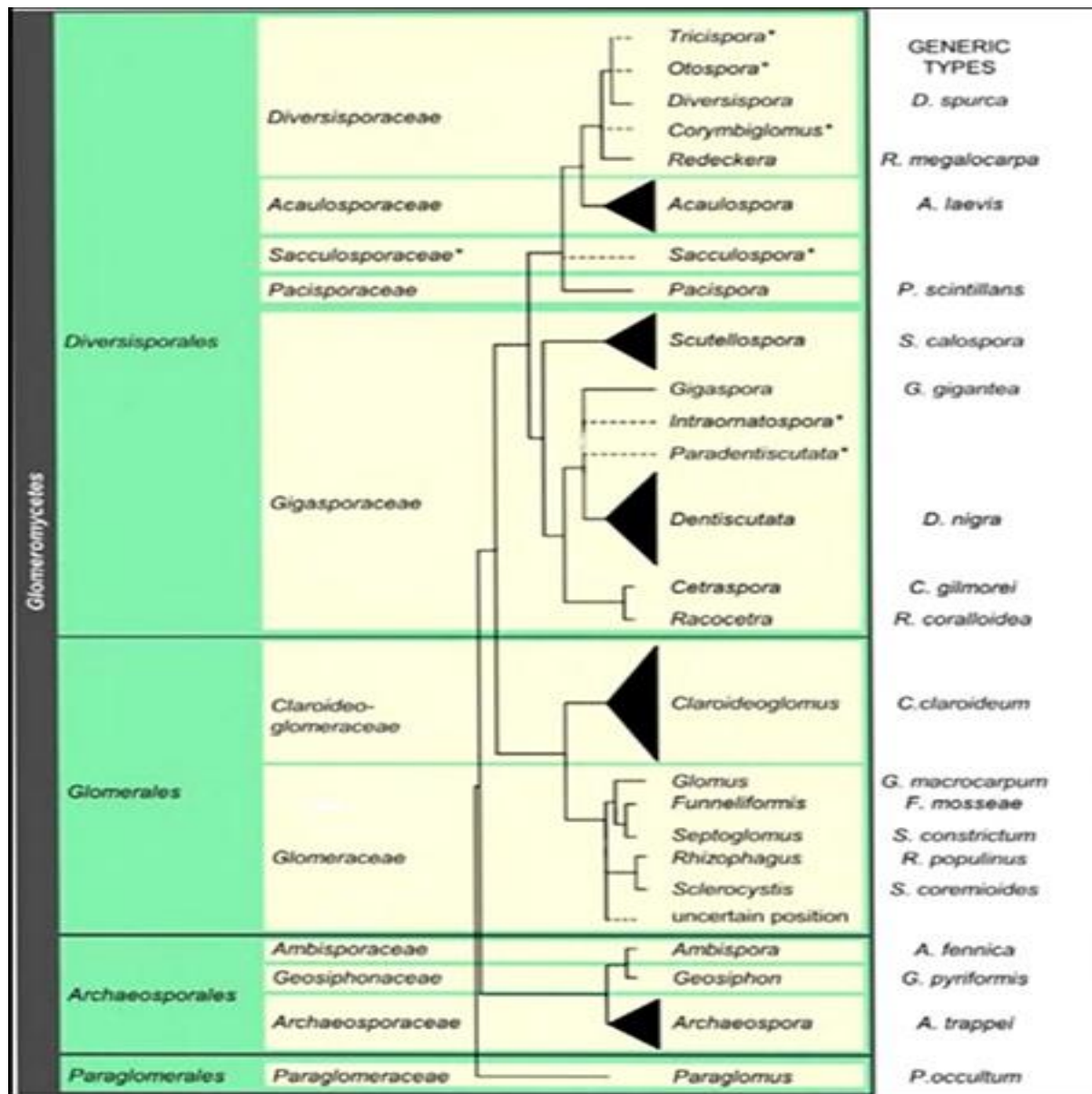


Figure 9 : Classifications des champignons mycorhiziens à arbuscules (Redecker *et al.*, 2013).

## *Description de l'espèce*

## I. Introduction

*Calicotome spinosa* est une espèce vivace de la famille des *Fabacées*. Cette famille est nommée d'après son fruit, connue sous le nom de gousse ou de légume, d'où l'autre nom de légumineuses, sous laquelle elle est plus connue. Les *Fabacées* sont une famille des plantes à fleurs la plus importante, comprenant plus de 730 genres et 19400 espèces. Les formes arborescentes sont présentes tant dans les pays chauds que dans les régions tempérées, tandis que les formes herbacées sont plus répandues dans les pays tempérés (Mokhtari, 2012).

Selon Damerdji et Djeddid (2012), cette plante est cultivée en tant que plante ornementale. D'après Mokhtari (2012), sa dénomination provient du grec calyx : calice, temnô : je coupe : le calice se brise en cercle et semble être coupé après la floraison.

Plantes très-épineuses, à feuilles à 3 folioles, à fleurs jaunes, le *Calicotome spinosa* est une espèce très répandue dans les régions méditerranéennes, en particulier en Algérie (Chikhi, 2014).

## II. Description de *Calicotome spinosa*

### II.1. Noms communs

*Calicotome spinosa* possède plusieurs noms communs, comme les suivants :

**Nom scientifique :** *Calicotome spinosa* L Link.

**Nom vernaculaire :** genêt épineux ou *calicotome épineux* (Hamlat et Hadji, 2016).

**Nom arabe :** guendoul (Damerdji et Djeddid, 2012).

**Nom amazighe :** azezzu ou ouzzou (Ait Youcef, 2006).

### II.2. Classification systématique de l'espèce

La position systématique de cette espèce d'après (Quèzel et Santa (1962)) :

- ♣ **Règne :** Plantae (plantes)
- ♣ **Sous règne :** Tracheobionta (plantes à vaisseaux)
- ♣ **Division :** Magnoliophyta. (Plantes à fleurs)
- ♣ **Classe :** Magnoliopsida. (Dicotylédones)

♣ **Sous classe** : Rosidae.

♣ **Ordre** : Fabales.

♣ **Famille** : Fabaceae. (*Ou* Légumineuses)

♣ **Sous famille** : Faboideae. (*Ou* Papilionoideae)

♣ **Genre** : *Calicotome*.

♣ **Espèce** : *Calicotome spinosa* L. (*Link*).

### **II.3. Description botanique**

Le *Calicotome* est présent sous forme d'un arbuste épineux pouvant atteindre 1 et même 2 m de hauteur.

#### **II.3.1. Racines**

Elles portent habituellement des nodosités renfermant des bactéries permettant la fixation de l'azote atmosphérique (**Quèzel et Santa, 1963**).

#### **II.3.2. Rameaux**

Ils sont verts, puis brun en vieillissant, courts se terminant en fortes épines, couverts d'un duvet pulvérulent, fortement imbriqués ; ce qui rend parfois les matorrals occupés par cette plante difficilement pénétrable (**Quèzel et Santa, 1963**).

#### **II.3.3. Tiges**

Elles sont dressées, élancée et écartée, à rameaux épineux, divariqués, fortement striés et glabrescents (**Quèzel et Santa, 1963**).

#### **II.3.4. Feuilles**

Elles sont assez longuement pétiolées, comportant 3 folioles ovales, subsessiles, obtuses, glabres en dessus, à poils appliqués en dessous, stipules très petites (**Quèzel et Santa, 1963**).

#### **II.3.5. Fleurs**

Elles sont jaunes de 12 à 18 mm de long, solitaires ou fasciculées par 2-4 ; pédicelles 2-3 fois plus longs que le calice, portant au sommet une bractée bi-trifide, ordinairement plus longue que large. Fleurs hermaphrodites, papilionacées (+18 mm), au calice glabre ovoïde

possédant 5 sépales soudés, corolle à 5 pétales libres, androcée à 10 étamines et un ovaire formé d'un seul carpelle, celui-ci est supère et surmonté d'un style et d'un stigmate (**Quèzel et Santa, 1963**).

### **II.3.6. Fruit**

Gousse oblongue, étroite et comprimée ; la taille est de 25 à 40 mm de long sur 6-8 mm de large, glabre, aplatie, villeuse, à ailes de la suture ventrale très courtes, luisante et noir à maturité, à suture supérieure à bord droit (**Quèzel et Santa, 1963**).

### **II.3.7. Graines**

Graines non caronculées (**Quèzel et Santa, 1963**).

## **II.4. Composition chimique**

*Calicotome spinosa* est une espèce qui se démarque des autres par sa forte teneur en matière azotée totale (33,7%). Selon **Mebirouk-Boudechiche (2014)**, la quantité de matière sèche présente dans les feuilles des arbustes varie de 28,20% à 63,57% de la matière organique.

## **III. Utilisations**

La présence de nodosités sur les racines des genêts permet de fixer l'azote atmosphérique et d'enrichir le sol en produits azotés. Cependant, cette plante est évitée par les ruminants en raison de ses épines (**Mokhtari, 2012**), la phytothérapie utilise le genêt épineux (**Hamlat et Hadji, 2016**), il est employé en tant qu'anti-ictérique (**Sari, 2013**), les flavonoïdes présents dans les fleurs et les feuilles de *Calicotome spinosa* sont employés dans le traitement des maladies cardiovasculaires, des cancers et des ulcères gastroduodénaux. Les propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires du genêt épineux sont démontrées (**Larit et al., 2012**) et sont utilisées dans le traitement des maladies musculaires et squelettiques (rhumatismes, douleurs dorsales, insuffisance de moelle osseuse, fatigue, etc) (**Meddour et al., 2009**), (**Hartwel, 1982 ; Djeddi, 2015**), selon **Lennini et al., (1993 ; Djeddi, 2015)**, elle est efficace dans le traitement des furoncles, des abcès cutanés et de l'engelure en Sicile.

## **IV. Aire de répartition**

Le *Calicotome spinosa* se rencontre dans les pays méditerranéens tels que la France, l'Espagne, l'Italie, l'Algérie et le Portugal. La plante est couverte de fleurs de mars à mai, qui se trouvent habituellement sur les pentes arides, les buissons, les sols rocheux et surtout, dans ceux qui ont été brûlés récemment (**Lourdes Sarmiento, 2022**), l'espèce est commune aux

régions chaudes et tempérées, où elle pousse sur des sols rocheux, secs et légèrement acides, dans des régions où les prélèvements sont faibles. En Algérie, elle est particulièrement répandue dans les régions siliceuses de la région méditerranéenne (**Parsons et Cuthbertson, 2001 ; Mokhtari, 2012 ; Damerdji, 2014**).

## ***Chapitre 2 :***

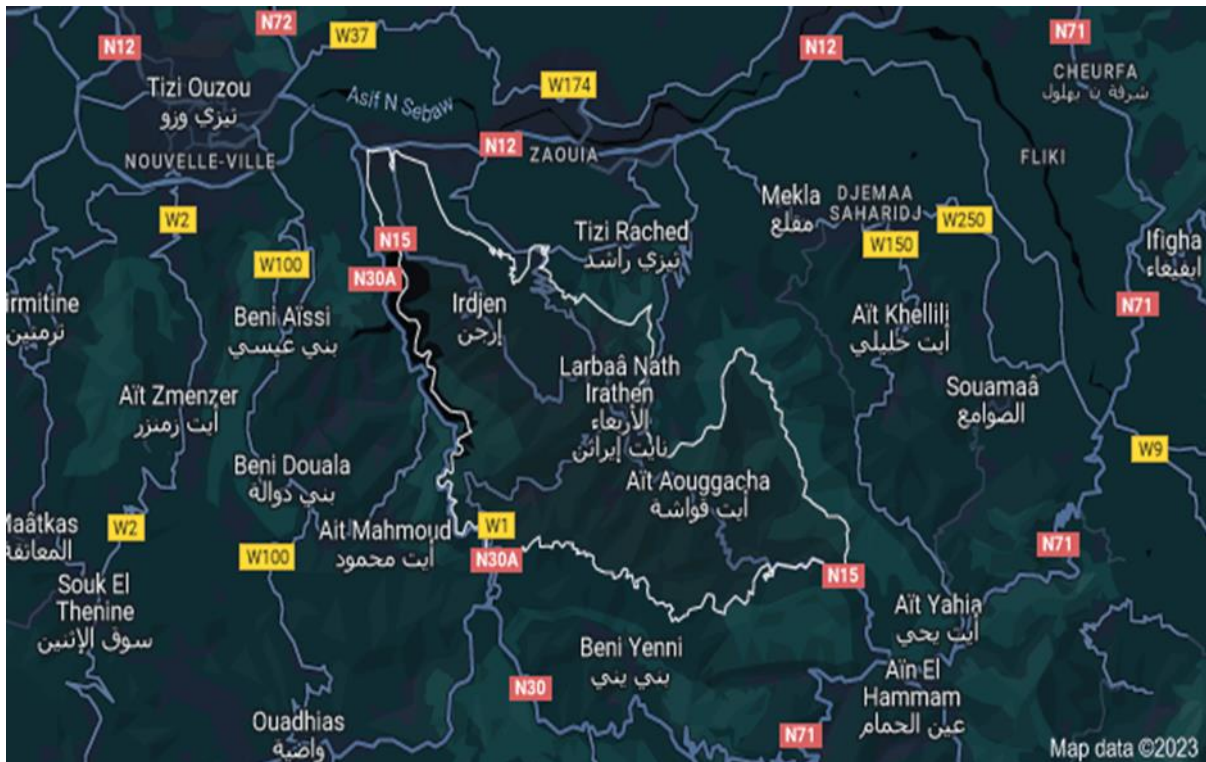
### ***Présentation de la zone d'étude***

## I. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude se situe au nord de l'Algérie, dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Le site retenu est localisé au niveau de la commune d'Aït Aggouacha, daïra de Larbaâ Nath Irathen. Les données climatiques, biotiques et abiotiques sont quasi absentes pour la commune de Ait Aougacha ; nous nous sommes servis des données existantes (notamment climatiques) de Larbaâ Nath Irathen qui est la plus proche de notre zone d'étude pour ce chapitre.

## II. Situation géographique de la région d'étude

Larbaâ Nath Irathen est une région montagneuse située dans la Grande Kabylie, à environ 30 kilomètres à l'est de Tizi-Ouzou, avec des coordonnées géographiques de latitude  $36^{\circ} 37' 4''$  Nord et longitude  $4^{\circ} 13' 57''$  Est. Cette région de montagne couvre une superficie de 8693 hectares. Elle est délimitée par plusieurs régions naturelles : au nord, elle est bordée par Aït Oumalou, à l'est par les hauteurs d'Aïn El Hammam, au sud par Oued Djemââ et Beni Yanni, au sud-ouest, elle est délimitée par Oued Takhoukht et Aït Mahmoud ; et enfin, à l'ouest, elle est bordée par Beni Douala et la plaine d'Oued Aïssi (**D.P.A.T. en 2004**) (Figure 10).



**Figure 10** : Situation géographique de la région de Larbaâ Nath Irathen

(Photo Google, Echelle : 1/150 00)

## II.1. Facteurs abiotiques

Les éléments développés dans cette partie sont : Le climat de la région, les caractéristiques de son sol et son relief.

### II.1.1. Bioclimat

#### a) Pluviométrie

Le régime pluviométrique de Larbaâ Nath Irathen est le même que celui des autres régions de Kabylie avec des précipitations irrégulières (Voir tableau II).

**Tableau II** : Précipitations mensuelles de la station Larbaâ Nath Irathen de 1992 à 2021.

| Mois                | Jan | Fév | Mars | Avl | Mai | Jui | Juill | Août | Sep | Oct | Nov | Déc |
|---------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|-----|-----|
| Précipitations (mm) | 121 | 99  | 95   | 87  | 65  | 14  | 3     | 10   | 46  | 68  | 111 | 120 |

Source : <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/tizi-ouzou/larbaa-n-ait-irathen-325165/>

Le tableau N° II nous montre que généralement les précipitations sont faibles dans la région d'étude durant la période des incendies (juillet et Août).

La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée pendant la période (1992-2021) est de 839 mm. Les précipitations les plus importantes sont enregistrées au mois de janvier, de l'ordre de 121 mm, et le minimum est constaté en Juillet, de l'ordre de 3 mm.

#### b) Températures

La région de Larbaâ Nath Irathen présente des températures semblables à celles du nord algérien, elles caractérisent toute la Kabylie du Djurdjura.

Les températures représentent un facteur limitant, car elles contrôlent l'ensemble de phénomènes métaboliques et conditionnent, de ce fait, la répartition de la totalité des espèces et des communautés des êtres vivants dans la biosphère (**Ramade, 1992**), les températures minimales, maximales et moyennes mensuelles pour la zone d'étude sont données dans le tableau N° III.

La variation des températures minimales, moyennes et maximales de la station de Larbaâ Nath Irathen durant la période (1992 et 2021) sont représentés dans le tableau N° III. Le tableau montre que le mois de février est le plus froid, avec une valeur moyenne des

températures minimales de 2°C. Cependant, le mois de juillet et août est les mois le plus chaud, avec une valeur moyenne des températures maximales de 32,7°C pour les deux mois.

**Tableau III** : Températures moyennes mensuelles de la station Larbaâ Nath Irathen (1992 -2021).

| Mois                              | Jan | Fév  | Mar  | Avl  | Mai  | Jui   | Juill | Août | Sep   | Oct   | Nov  | Déc  |
|-----------------------------------|-----|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|
| Température minimale moyenne (°C) | 2,2 | 2    | 4,6  | 7,1  | 10,6 | 14,9  | 18,6  | 19,1 | 15,9  | 12,2  | 6,7  | 3,5  |
| Température maximale (°C)         | 12  | 12,4 | 15,8 | 18,7 | 22,6 | 28,2  | 32,7  | 32,7 | 27,8  | 23,7  | 16,3 | 12,9 |
| Température moyenne (°C)          | 7,1 | 7,2  | 10,2 | 12,9 | 16,6 | 21,55 | 25,65 | 25,9 | 21,85 | 17,95 | 11,5 | 8,2  |

Source : <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/tizi-ouzou/larbaa-n-ait-irathen-325165/>

### c) Hygrométrie

L'hygrométrie est la science qui étudie l'humidité de l'air, c'est-à-dire la proportion d'eau à l'état gazeux dans l'air.

Depuis l'édification du barrage Taksebt dans la région de Larbaâ Nath Irathen, l'humidité relative aurait augmenté.

### d) Synthèse climatique

La synthèse bioclimatique permet une classification des types de climats, favorisant une meilleure compréhension du comportement de la végétation et de sa répartition. Pour effectuer la synthèse bioclimatique de la zone d'étude nous avons utilisé le diagramme ombrothermique de **Bagnouls et Gaussen (1953)**, qui exprime la durée de la période sèche de l'année et le climagramme d'Emberger modifié par **Stewart (1969)**, qui demeure le plus utilisé pour la description des étages bioclimatiques méditerranéens.

**Tableau IV** : Températures moyennes et précipitations mensuelles de la station Larbaâ Nath Irathen de 1992 à 2021.

| Mois                     | Jan | Fév | Mars | Avl  | Mai  | Jui   | Juill | Août | Sep   | Oct   | Nov  | Déc |
|--------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-----|
| Température moyenne (°C) | 7,1 | 7,2 | 10,2 | 12,9 | 16,6 | 21,55 | 25,65 | 25,9 | 21,85 | 17,95 | 11,5 | 8,2 |
| Précipitations (mm)      | 121 | 99  | 95   | 87   | 65   | 14    | 3     | 10   | 46    | 68    | 111  | 120 |

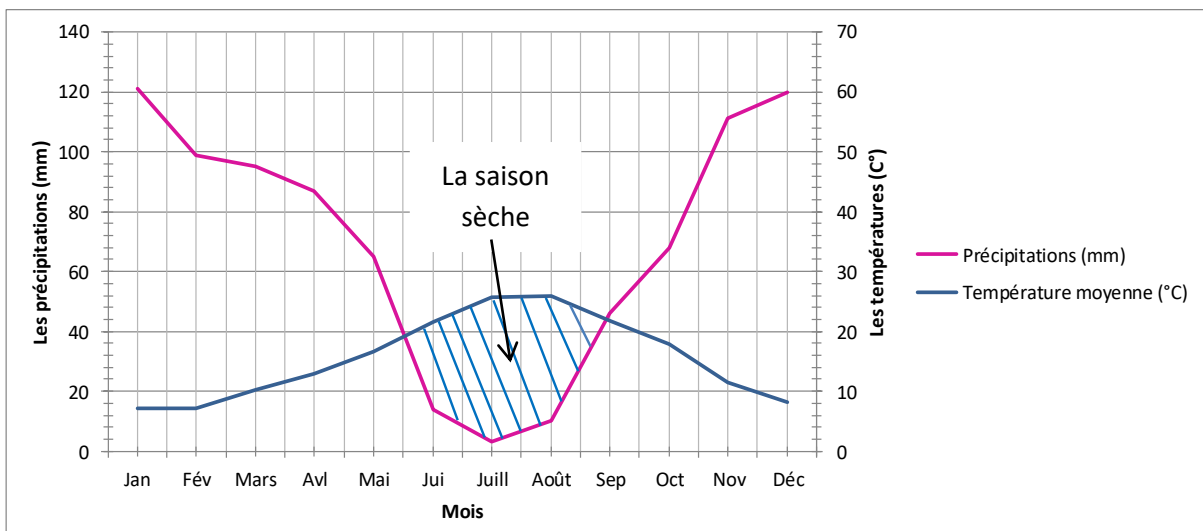
Source : <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/tizi-ouzou/larbaa-n-ait-irathen-325165/>

### 1) Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Afin de déterminer la saison sèche et humide, un diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen a été réalisé (Figure 11). Les données utilisées s'étalent sur une période de vingt-neuf ans (1992-2021) (Tableau IV).

Une période est considérée comme sèche lorsque la pluviosité mensuelle (p) exprimée en millimètres est inférieure au double de la température moyenne (T), exprimée en degré Celsius ( $P < 2T$ ).

L'observation du diagramme ombrothermique de notre zone d'étude montre que la période sèche se situe entre la fin du mois de Mai à mi de septembre, le restant de l'année étant la période humide Figure (11).



**Figure 11** : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la station de Larbaâ Nath Irathen (1992-2021).

## 2) Climagramme pluviothermique d'Emberger

Selon Dajoz (1971), le quotient pluviométrique d'Emberger permet le classement des différents types de climat. En d'autres termes, il est nécessaire pour déterminer l'étage bioclimatique d'une station dans cette dernière en se basant sur les températures et les précipitations.

Selon Stewart (1969), le quotient pluviométrique est calculé par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 \times p}{(M^2 - m^2)}$$

P : précipitations annuelles en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés kelvin (°K)

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degrés kelvin (°K).

Avec ( $1^\circ\text{K} = T^\circ + 273$ )

P = 839 mm

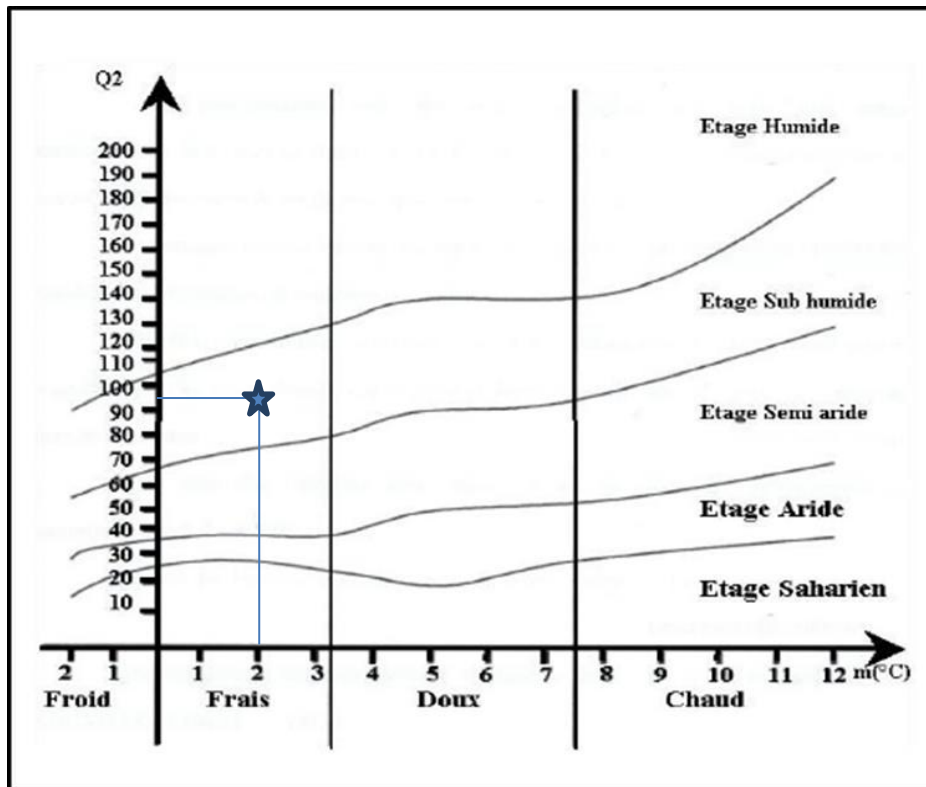
M =  $32,7\text{C}^\circ = 305,7\text{K}^\circ$

m =  $2\text{C}^\circ = 275\text{K}^\circ$

$$Q_2 = \frac{2000 \times 839}{(305,7^2 - 275^2)} = \frac{1678000}{17827,49}$$

|                                  |
|----------------------------------|
| <b>Q<sub>2</sub> = 94,124299</b> |
|----------------------------------|

En effet, dans le cas présent le quotient est calculé pour une période de (1992 – 2021). Les valeurs du quotient Q<sub>2</sub> dans la région de Larbaâ Nath Irathen est égale à 94,124299, Ce quotient permet de situer la région dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver frais (Figure12).



**Figure 12 :** Etage bioclimatique de la région de Larbaâ Nath Irathen durant (1992-2021).

### II.1.2. Relief

Le relief de la région d'étude fait partie du massif central de la Grande Kabylie. Le massif dont l'altitude moyenne est de 700 m, est constitué par une série de chaînons qui culminent à 1065 m, situé à Ichiridhen. La région d'étude est caractérisée par un relief très accidenté présentant des pentes en général supérieures à 25 % (D.P.A.T, 2004).

### II.1.3. Roche mère

La région de Larbaâ Nath Irathen dont fait partie Ait Aouaggacha, fait partie du complexe métamorphique de la Grande Kabylie. Selon **Ficher (1890)** cité par **Gani (1988)**, le sol se subdivise en gneiss, en micaschistes, en schistes, en calcaires cristallins.

## II.2. Facteurs biotiques

Dans cette partie, nous allons aborder les principales espèces faunistiques et floristique présentes dans la zone d'étude.

### II.2.1. Flore et végétation

Dans la région de Larbaâ Nath Irathen, Il n'y a pratiquement pas de travaux réalisés à ce sujet. Certains travaux concernant la région de Tizi-Ouzou et la grande Kabylie en général renseignent et donnent un aperçu sur la richesse et la diversité floristique potentielle de la région de LNI.

D'après (**Fernane, 2005**), la région de Larbaâ Nath Irathen est caractérisée par des espaces généralement broussailleux, forestiers et des maquis essentiellement constitués de chêne vert (*Quercus ilex*), d'oléastre (*Olea europea*), parfois de l'association des deux et la strate arbustive est généralement formée par le genêt (*Genistatricuspidata*), la bruyère (*Erica arborea*) et l'arbousier (*Arbutusunedo*).

### II.2.2. Faune

Les travaux effectués dans ce sens sont rares dans la région d'étude. Le travail de **Fernane (2009)** dans trois stations forestières de la région de Larbaâ Nath Irathen a permis d'inventorier 714 espèces d'arthropodes réparties dans 5 classes. La classe des Insecta est la plus riche avec 107 familles réparties dans 15 ordres, notamment les Coléoptères, les Hyménoptères et les Diptères. Les autres classes représentées sont les Arachnida, les Myriapoda, les Gastéropodes et les Crustacés, mais avec un nombre d'espèces beaucoup plus faible.

### II.3. Patrimoine forestier de site d'étude

La région de Larbaâ Nath Irathen ne compte qu'une seule forêt domaniale nommée « Oumalou » (figure20). Elle est située dans la commune d'Aït Aggouacha, d'une superficie de 211,5 ha. Cette forêt se compose de deux cantons, à savoir Ialem situé entre les villages Ait Yahlem, Ichariden et Tighilt Tigmounine avec 68.5 ha et Imzoughane situé sur la limite sud-ouest de la commune Ait Aggouacha avec 143 ha. Ces deux cantons sont séparés par des terrains privés. Cette forêt domaniale constitue le site d'études de notre projet. Néanmoins, la région compte également plusieurs périmètres forestiers privés, principalement composés de maquis de chêne vert.

Les espèces floristiques observées au sein de la forêt domaniale d'Oumalou sont très variées, on y aperçoit principalement un chêne liège abondant, du chêne vert ainsi que l'Arbousier, Lavande Sauvage, le Diss, et le Calicotome épineux, mais aussi le ciste et d'autres espèces. Nous présentons dans les figures ci-dessous quelques espèces présentes dans la forêt domaniale d'Oumalou (Figure 13, 14, 15, 16, 17, 18).



**Figure 13 :** Diss (*Ampelodesmos mauritanicus*). (Mahouel, Tafat 2024)



**Figure 14 :** Calicotome épineux (*Calicotome spinosa*) (Mahouel, Tafat 2024)



**Figure 15 :** Arbousier (*Arbutus unedo*). (Mahouel, Tafat 2024)



**Figure 16 :** Chêne liège (*Quercus suber L.*). (Mahouel, Tafat 2024)



**Figure 17 :** Ciste (*Cistus albidus L.*). (Mahouel, Tafat 2024)



**Figure 18 :** Lavande sauvage (*Lavandula angustifolia Mill.*). (Mahouel, Tafat 2024)



**Figure 19 :** Photo Forêt domaniale (OUMALOU), commune d'Aït Aggouacha, daïra de Larbaâ Nath Irathen, wilaya de Tizi-Ouzou (Mahouche, Nait abdelaziz 2022).



**Figure 20 :** Photo forêt domaniale « OUMALOU », commune d'Aït Aggouacha, Daïra de Larbaâ Nath Irathen, wilaya de Tizi-Ouzou (2024).

***Chapitre III :***  
***Méthode et techniques***  
***d'échantillonnage***

## **I. Matériels utilisés**

### **I.1. Matériel biologique**

L'étude a été réalisée sur des échantillons des racines de *Calicotome spinosa* provenant de la forêt domaniale d'Oumalou trois ans après l'incendie.

### **I.2. Matériel physique**

#### **I.2.1. Sur le terrain**

- Des sacs en plastique pour transporter les racines.
- Etiquettes.
- La pioche.
- Pelle.

#### **I.2.2. Au laboratoire**

- Etuve de séchage.
- Bécher.
- Boîtes en plastiques.
- Pied à coulisse.
- Minuteur.
- La pince.
- Les lames et lamelles.
- Le microscope.

## **II. Méthodes et technique d'échantillonnage**

### **II.1. Echantillonnage sur terrain**

Notre travail fait suite à celui de **Mahouche et Nait Abdelaziz (2022)**, nous avons adopté le même mode d'échantillonnage. Trente sujets de chêne liège ont été choisis d'une façon aléatoire et ensuite 5 individus ont été retenus par tirage au sort. A proximité de chaque arbre de chêne liège, des racines fines de *Calicotome spinosa* ont été prélevées. La collecte du matériel végétal a été effectuée le 21 Avril 2024.

- Le premier sujet de *Calicotome spinosa* a été prélevé à environ 3 mètres de l'individu du chêne liège avec une anastomose racinaire entre les deux individus (voir figure 24).
- La pente est forte. Le sol est noirâtre, signe d'une richesse en matière organique.

- Le deuxième sujet a été prélevé à environ 3 mètres de l'individu du chêne liège. La pente est faible, le sol est clair.
- Le troisième sujet est situé à 50cm vers le bas d'une souche morte de chêne liège. Il est entouré par d'autres individus de chêne liège.
- Le quatrième individu est sur un sol noir riche en matière organique, avec une pente forte. Un insecte a été observé ; ce qui n'est pas le cas des stations précédentes.
- Le cinquième individu est sur une pente forte, un sol noir riche en matière organique et présence de quelques insectes.

Les racines prélevées de chaque sujet sont transférées dans des sacs en plastique étiquetés, et transportés ensuite au laboratoire, puis conservées dans des boîtes pour éviter leur dessèchement (figure 21).

Un tri des racines en fonction de leur diamètre a été effectué ; les plus fines dont le diamètre est inférieur à 0.5mm mesuré à l'aide d'un pied à coulisse, ont été isolées (figure 22).



**Figure 21** : Les racines dans les boîtes en plastiques étiquetés



**Figure 22** : Photo de mesure des racines du *Calicotome spinosa* à l'aide d'un pied à coulisse



**Figure 23 :** *Calicotome spinosa* (**a** : partie aérienne ; **b** : partie souterraine).

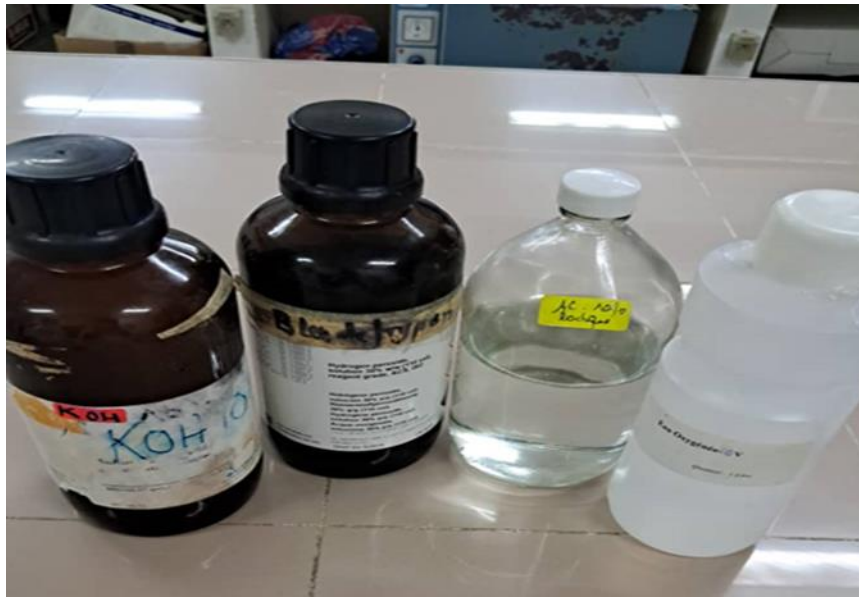


**Figure 24 :** Anastomose racinaire entre *Calicotome spinosa* et le Chêne liège.

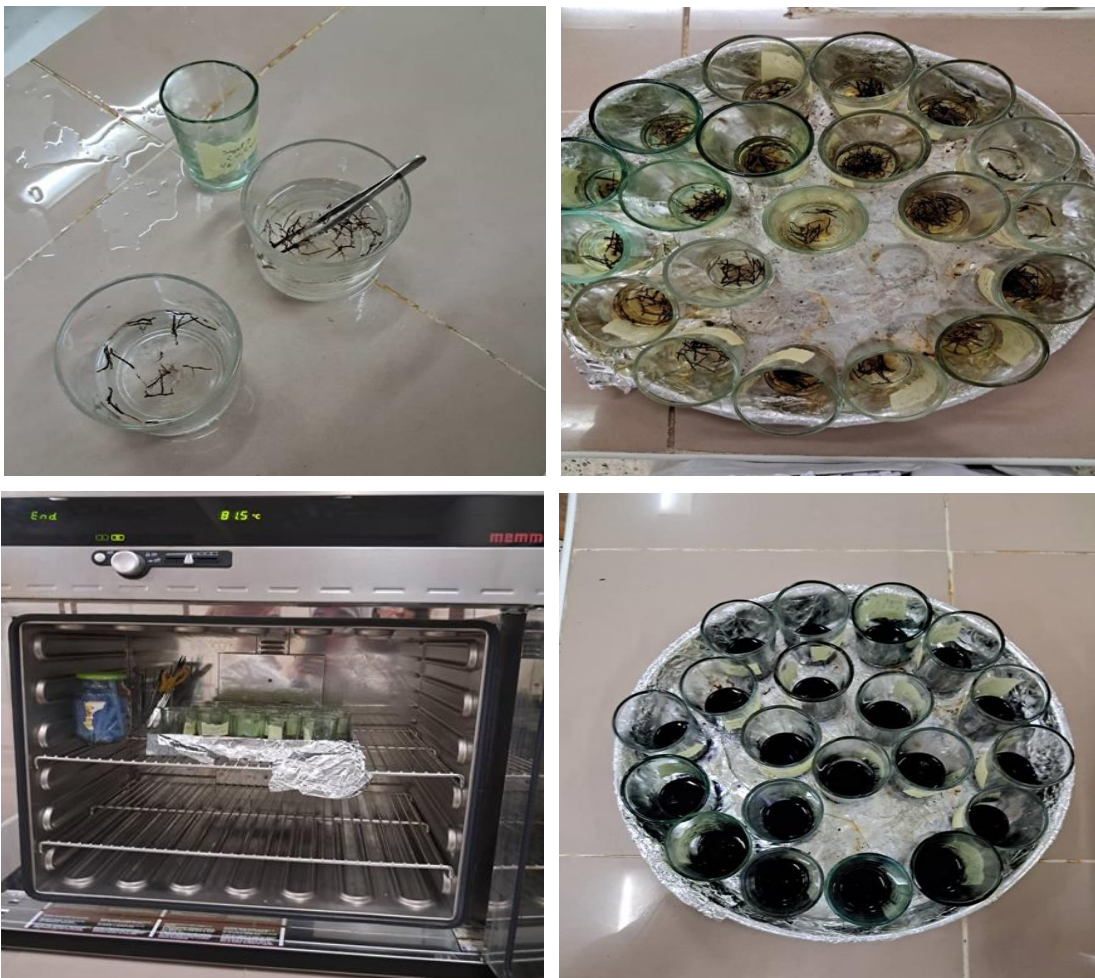
## II.2. Technique de coloration de Philips et Hayman (1970)

Les racines de diamètre inférieur à 0,5 mm sont colorées selon la technique de Philips et Hayman dont les étapes sont les suivantes :

- Découper les racines en fragments de 1cm.
- Rincer les racines à l'eau courante dans une passoire, afin de les débarrasser de débris végétaux et de sol.
- Mettre les racines dans des piluliers en verre contenant une solution de KOH à 10% à l'étuve pour une durée de 20 mn à une température de 90° C pour vider les cellules de leur contenu.
- Éliminer via l'eau du robinet toute trace de KOH.
- Mettre dans une solution d'eau oxygénée à 10% pendant 20 mn au sein d'une étuve à 90°C. L'opération est répétée jusqu'au blanchiment des racines.
- Rinçage à l'eau de robinet.
- Neutralisation avec l'acide lactique (10%) pendant 3 à 4 mn.
- Laver soigneusement à l'eau du robinet.
- Mettre les racines dans une solution colorante de bleu de Trypan (à 0.8% dans du lactophénol) à l'étuve à 90 °C pendant 20 minutes.
- Laver les racines colorées (en bleu) à l'eau du robinet.
- Mettre les racines dans du glycérol en attendant leur écrasement.



**Figure 25 :** Principales produits utilisés dans laboratoire.



**Figure 26 :** Principales étapes de protocole de d'éclaircissement et coloration des racines selon le protocole de **Philips et Hayman (1970)**.

### II.3. Ecrasement et observation des racines

Après la coloration des racines avec le bleu de Trypan, les fragments racinaires sont mis entre lame et lamelle avec une goutte de glycérol puis écrasés soigneusement pour ne pas abimer les différentes parties de la racine traitée. Cette opération permet l'observation au microscope.



**Figure 27 :** Les fragments racinaires entre lame et lamelle.

*Chapitre IV :*  
*Résultats et discussion*

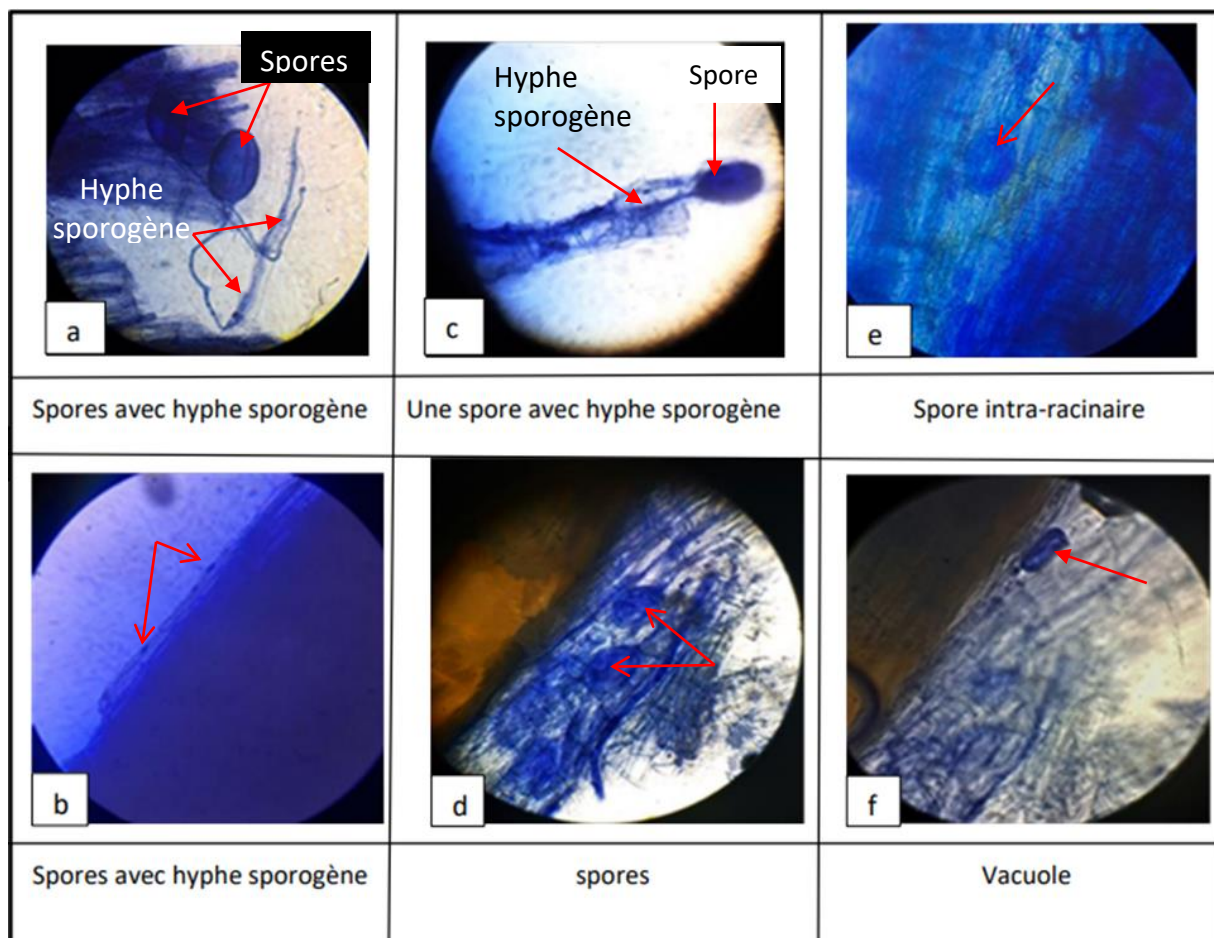
## I. Observation des fragments racinaires

L'observation microscopique des 90 fragments racinaires colorés par le Bleu Trypan de *Calicotome spinosa* prélevés a permis de mettre en évidence la présence de la plupart des structures caractéristiques des mycorhizes à arbuscules telles que les vésicules, spores, hyphes mycéliens. Cependant, d'autres structures caractéristiques des champignons endophytes tels que les filaments septés ont été observés. Nous avons observé et identifié plusieurs spécimens du genre *Penicillium*.

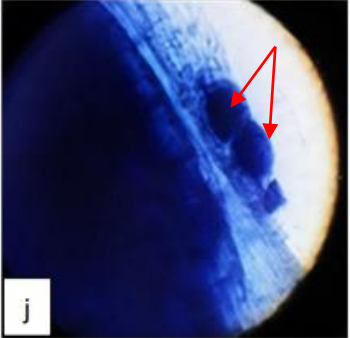
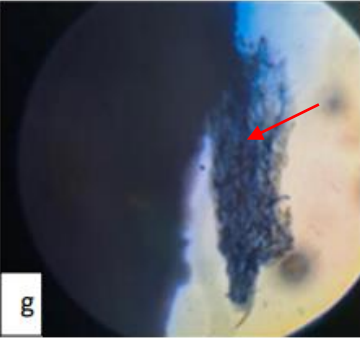
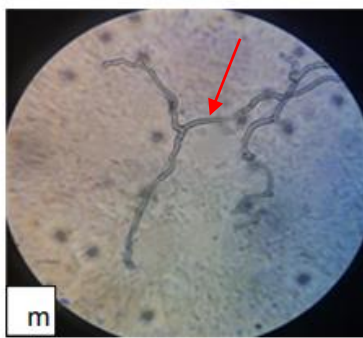
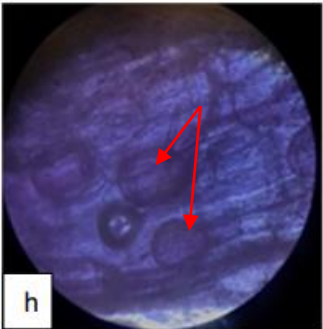
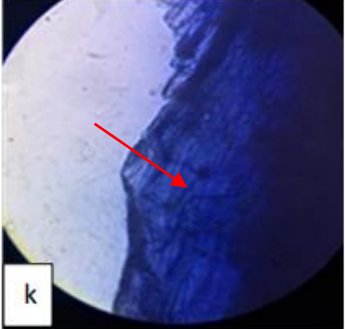
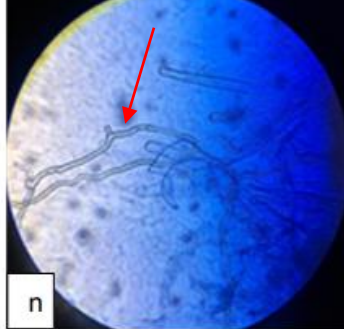
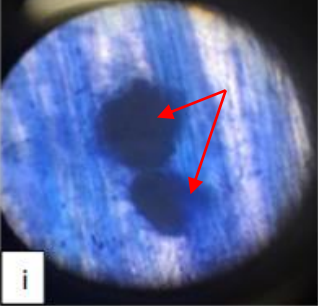

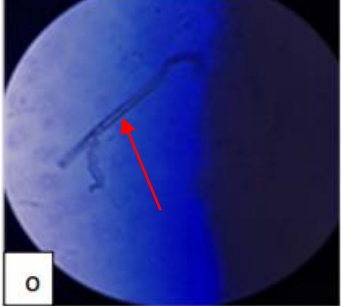
## II. Discussion générale

### II.1. Mycorhizes à arbuscules

La colonisation des racines par les champignons mycorhiziens s'est surtout manifestée par la présence de spores à l'extrémité d'un hyphe sporogène (figure 28 : a, b, c) ou à l'intérieur des racines (figure 28 : d, e). Elles sont de tailles différentes et de forme globulaire ou sphérique. Nous n'avons observé qu'une seule vacuole (figure 28 : f).



**Figure 28 :** Structures caractéristiques des champignons mycorhiziens arbusculaires observées dans les racines *Calicotome spinosa* (a, b, c, d, e, f). (GX400)

|   |   |   |
|---|---|---|
|  <p>Micrograph showing vesicles on the root cortex, indicated by red arrows. The label 'j' is in the bottom left corner.</p> |  <p>Micrograph showing blue-stained mycelial filaments, indicated by a red arrow. The label 'g' is in the bottom left corner.</p>  |  <p>Micrograph showing a septate mycelial filament, indicated by a red arrow. The label 'm' is in the bottom left corner.</p>            |
| <p>Vésicules sur le cortex racinaire</p>  | <p>Filaments mycélien coloré en bleu</p>  | <p>Filament mycélien septés</p>   |
|  <p>Micrograph showing intercellular vesicles, indicated by red arrows. The label 'h' is in the bottom left corner.</p>     |  <p>Micrograph showing blue-stained mycelial filaments, indicated by a red arrow. The label 'k' is in the bottom left corner.</p> |  <p>Micrograph showing a mycelial filament, indicated by a red arrow. The label 'n' is in the bottom left corner.</p>                   |
| <p>Vésicules intercellulaire</p>  | <p>Filaments mycélien coloré en bleu</p>  | <p>Filament mycélien</p>  |
|  <p>Micrograph showing a mycorrhizal mass, indicated by red arrows. The label 'i' is in the bottom left corner.</p>        |  <p>Micrograph showing a Y-shaped mycelial filament, indicated by a red arrow. The label 'l' is in the bottom left corner.</p>   |  <p>Micrograph showing a septate Y-shaped mycelial filament, indicated by a red arrow. The label 'o' is in the bottom left corner.</p> |
| <p>Masse mycorrhizienne</p>   | <p>Filament mycélien en forme de Y</p>  | <p>Filament mycélien septés en forme de Y</p>   |

**Figure 28 :** Structures caractéristiques des champignons mycorhiziens arbusculaires observées dans les racines *Calicotome spinosa* (J, h, i, g, k, l, m, n, o). (GX400)

Selon **Blaszkowski, (2008)**, la spore est une structure unicellulaire de forme généralement globoïde à paroi épaisse formée de plusieurs couches de différentes textures reliées au réseau filamenteux par un hyphe suspenseur de morphologie variée. Les caractères morphologiques sont réduits et varient souvent selon la maturité des spores étudiées. Le développement des spores ressemble à celui décrit chez les espèces de *Glomus* (**Sanguin et al., 2016**), les *Glomus* (en Latin : Pelote de laine) ont des spores glomoides, produits à la surface du sol, dans des sporocarpes, habituellement avec un péridium partiel ou complet ou sous forme de spores isolées ou en grappes dans le sol.

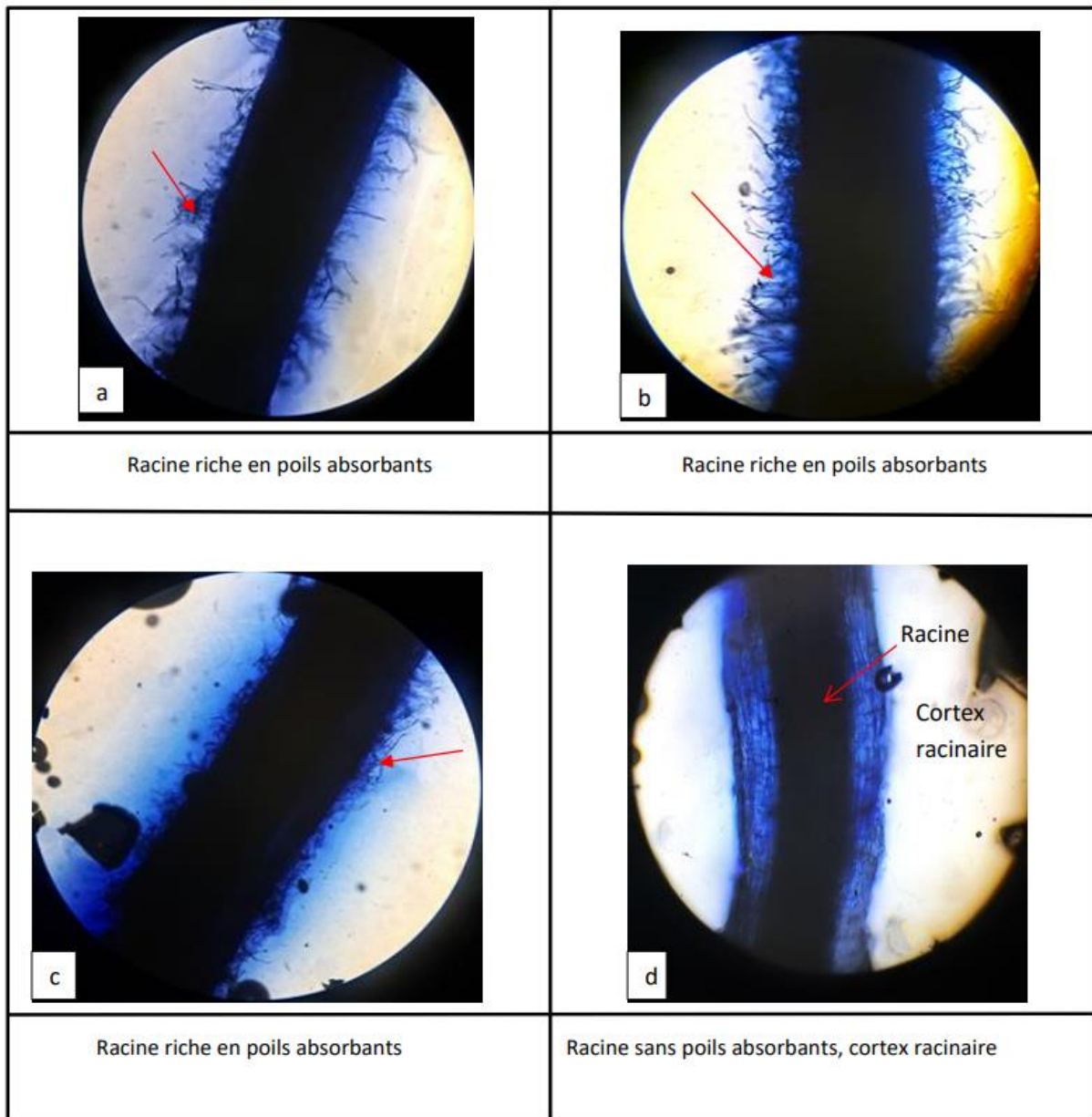
Les vésicules que nous avons observé en nombre important étaient inter et extracellulaires portées par les hyphes mycéliens, et de différentes formes : arrondies, ovales, ou allongées selon l'espace qui leur est offert (figure 28 j, h). Nous avons remarqué la présence d'une tache bleue qui représente une masse mycorhizienne (figure 28.i)

Selon **Sanguin et al., (2016)** ces vésicules peuvent se former en fonction du champignon et de l'environnement durant le développement mycorhizien dans la plante hôte. Lorsqu'elles sont abondantes, elles peuvent être localisées près des points d'entrée mais le plus souvent elles sont largement dispersées à travers un mycorhize. Elles sont généralement de forme oblongue à elliptique et se colorent habituellement de façon sombre en bleu de Trypan et autres colorants. Elles se forment généralement tardivement dans le développement mycorhizien car ils perdent leur capacité d'absorption des nutriments et subissent une sénescence.

Les hyphes extra-radiculaires ont été observés sur les racines de *Calicotome spinosa*. Ils présentent le diamètre le plus important (figure 28 l, m, n, o), par contre les hyphes intra-radiculaires présentent un diamètre moins important (figure 28.g, k). Des hyphes droits s'étendent entre les cellules racinaires et se ramifient parfois en prenant des formes d'un « Y » et des liaisons en «H » (figure 28 g, k). Les hyphes mycorhiziens en forme d'un Y sont caractéristique des Glomeromycètes.

Les champignons septés ont un mycélium formé de filaments cloisonnés et sont appelés septomycètes (septum = cloison) (**Roland et al., 2008**), quand chaque cellule est bien délimitée par une cloison, les filaments sont des hyphes (**Laberche, 2010**), quand les filaments ne sont pas cloisonnés, tous les noyaux sont répartis dans les filaments. Les filaments sont des siphons (**Laberche, 2010**).

Comme nous avons observé des racines très riche en poils absorbants sur la plupart des fragments racinaires (figure 29 a, b, c), d'autres avec aucun poil absorbant et la présence de cortex racinaire (figure 29 d).



**Figure 29** : Observations microscopique racinaires du *Calicotome spinosa*. Les poils absorbants et le cortex racinaire (GX100)

## II.2. Endophytes

Aussi on remarque la présence des champignons endophytes sous forme de filaments foncés septés et des filaments foncés non septés (figure 30.c, d, e, f, j, h), comme on a observé des endophytes soit occupé toute la racine soit remplissant les cellules corticales d'une couleur brune (figure 30.a, b).

Les endophytes cloisonnés foncés, Dark Septate Endophyte (DSE) sont divers groupes de champignons Ascomycètes qui colonisent les tissus racinaires intracellulaires et intercellulaires (**Jumpponen, 2001**), ils ont en nombre important sur les racines observées (Figure 30). Ils sont définis comme les champignons qui passent tout ou une partie de leur cycle de vie en colonisant les espaces inter- et/ou intracellulaire dans les tissus sains des plantes hôtes ; ce qui ne provoque habituellement aucun symptôme apparent de la maladie (**Zaho et al., 2010**), les DSE jouent un rôle important dans la régulation du bio- fonctionnement d'un sol, d'où leur importance dans la restauration de sols dégradés ou épuisés. **Wu et Guo (2007) et Peterson et al., (2008)**, signalent que, les endophytes foncés et septés s'associent aux plantes dans les milieux contraignants en améliorant leur nutrition hydrique et minérale, en les protégeant contre les herbivores en sécrétant des mycotoxines et des substances régulatrices de croissance en échange de carbone issu de la photosynthèse. Néanmoins, cette association pourrait varier du mutualiste, en neutre ou en parasite selon la résistance de la plante et la concentration des tissus en éléments minéraux (**Jumpponen, 2001 ; Boudiaf Nait Kaci, 2014**).

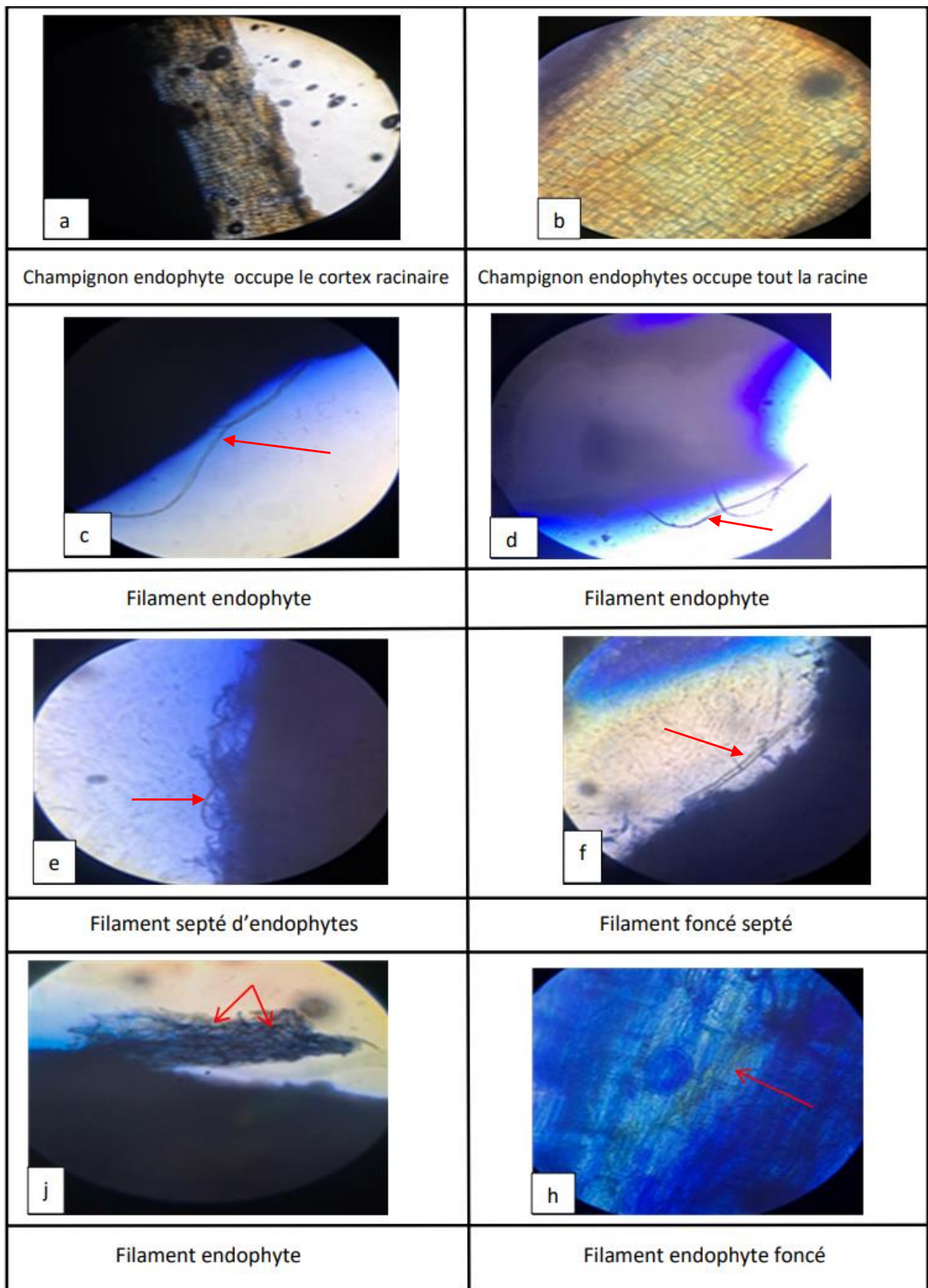
## II.3. *Penicillium*

Les *Penicillium* observés dans les racines sont nombreux et en plusieurs tailles (figure 31 : a, b, c, d), et d'autres en train de se reproduire (figure 31 : e, f).

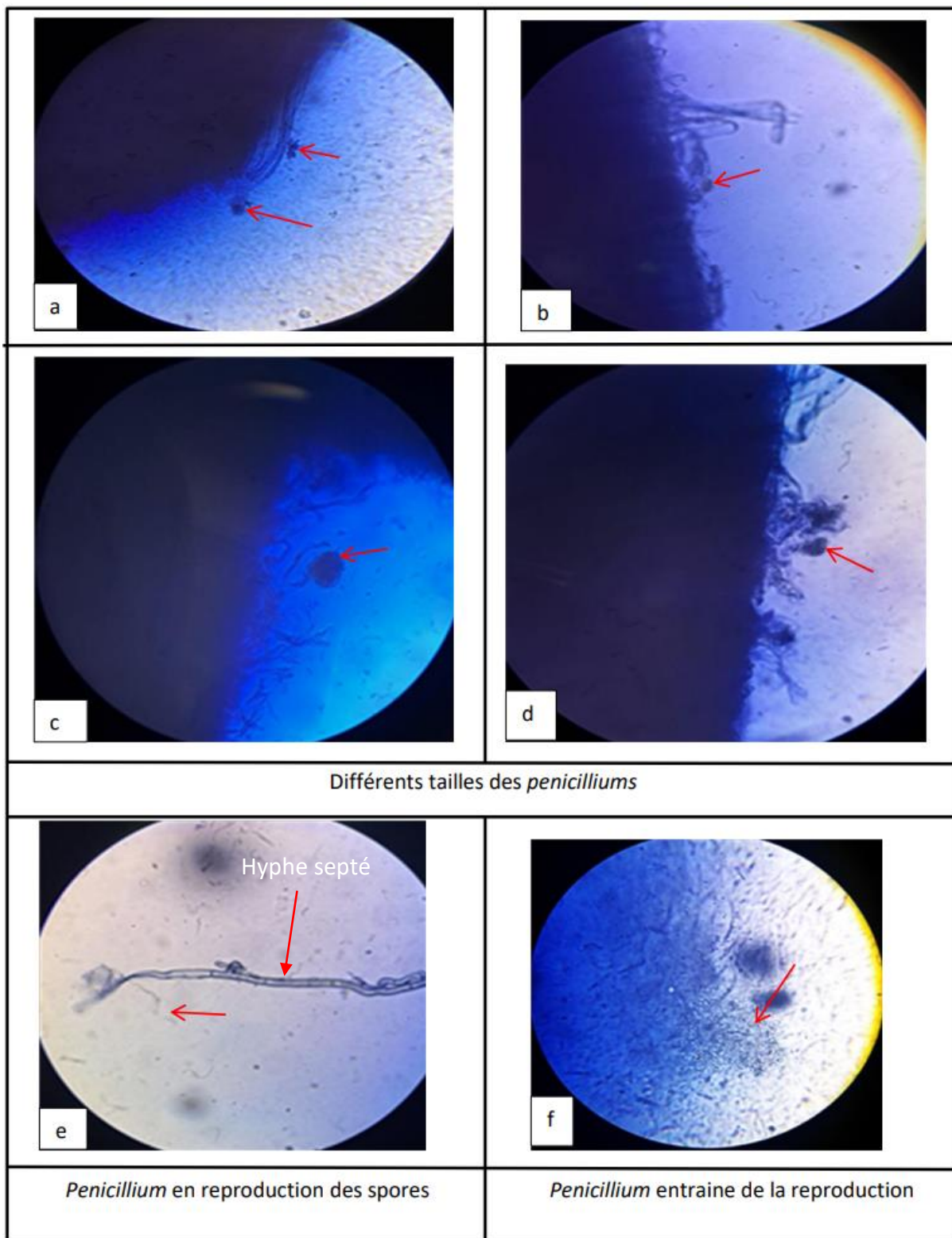
Ce genre regroupe des mycètes filamenteux appartenant à la classe des Ascomycètes. Le genre *Penicillium* comprend environ 227 espèces reconnues d'après les caractères du thalle, des pénicilles et des spores (**Pitt, 2000**).

Ce genre est caractérisé par son organisation en pinceau. Le thalle, constitué de filaments mycéliens septés et hyalins, porte des conidiophores lisses ou granuleux, simples ou ramifiés qui se terminent par un pénicille. Les conidiophores peuvent être séparés ou regroupés en faisceaux lâches ou agrégés ou bien individualisés (**Anani et Bentaleb, 2016**), *Penicillium* est l'un des genres de champignons les plus courants dans les différents environnements tels que le sol et l'air. Il est également associé à des plantes et à des produits alimentaires spécifiques où il joue un rôle important dans divers processus naturels. Pour

toutes ces raisons, il est largement utilisé dans diverses applications environnementales, industrielles et biotechnologiques (**Yadav et al., 2018**), certaines espèces sont pathogènes pour l'homme et les infections peuvent être causées par le champignon ou par ses toxines. Ces dernières peuvent bloquer la croissance et la reproduction (**Ropars et al., 2020**).

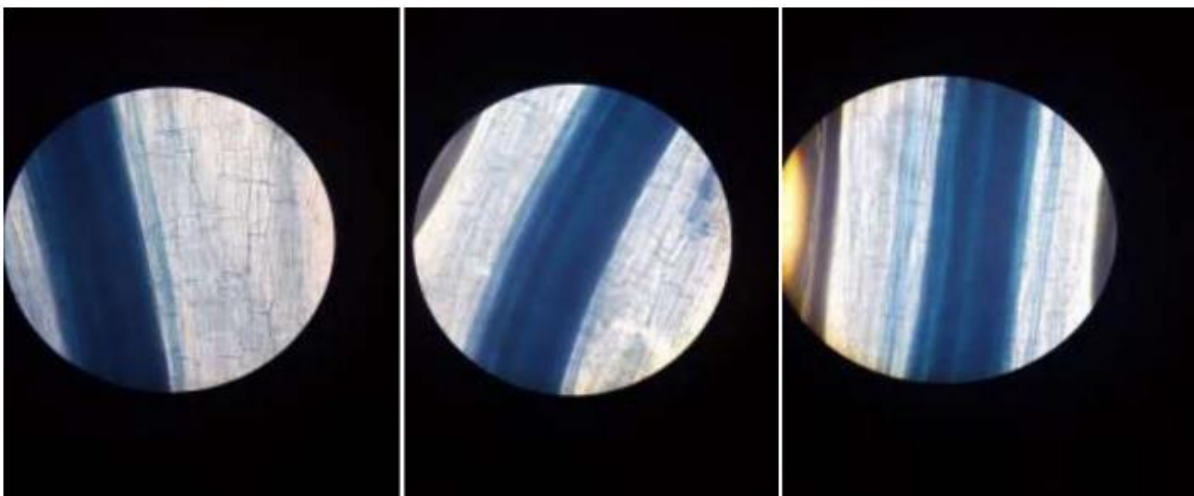


**Figure 30 :** Structures caractéristiques des champignons endophytes observées dans les racines *Calicotome spinosa* (a, b, c, d, e, f, j, h). (GX400)



**Figure 31** : Déférents structures des Gléromycota (*Penicillium*). (GX 400)

Les observations effectuées par Mahouche et Nait Abdelaziz (2022) (voir figure 32), le premier printemps après l'incendie sur les racines de *Calicotome spinosa* échantillonnées dans la même station montrent une coloration en bleu qui indique la présence fongique, mais ne révèlent pas la présence de structures des champignons mycorhiziens, telles que les vésicules, les spores et le mycélium et les arbuscules. Cela suggère que les plantes examinées ne présentaient pas de symbiose mycorhizienne avec les champignons. Cela montre l'effet dévastateur du feu, ce qui aurait pu endommager ou détruire la symbiose mycorhizienne. Les champignons se réduisent à l'état de spores uniquement pour résister à l'incendie et ses conséquences.



**Figure 32 :** Observation sous microscope photonique d'une infection mycorhizien (Mahouche et Nait Abdelaziz, 2022).

Les observations de cette année (printemps 2024) montrent que les racines de *Calicotome spinosa* présentent une colonisation endomycorhiziennes avec la présence des vésicules, des spores, de mycélium, des endophytes et des *Penicillium* et l'absence des arbuscules.

Trois années après l'incendie, nous constatons le retour d'un cortège fongique important, première étape pour la régénération de l'écosystème dans son ensemble, au vu du rôle prépondérant et pionnier de ce groupe dans la réinstallation de la biodiversité dans les milieux fortement dégradés.

## *Conclusion et perspectives*

Les incendies étant un phénomène récurrent dans l'espace méditerranéen, la régénération des écosystèmes après cette perturbation forte de réplétive a fait l'objet de plusieurs études. Cependant le retour de l'activité fongique après incendie n'a reçu que peu d'intérêt. C'est ce qui ressort de la recherche bibliographique effectuée. Cette lacune se doit d'être comblée au vu du rôle primordial des champignons du sol et symbiotique dans la cicatrisation de l'écosystème après incendie.

L'objectif du présent travail à évaluer le cortège des champignons symbiotiques racinaires de *Calicotome spinosa* dans un peuplement à chêne liège trois années après le passage d'un incendie.

Au terme de cette étude, en comparaison avec les résultats obtenus par Mahouche et Nait Abdelaziz en 2022, les conclusions suivantes peuvent-être émises :

- présence de structures du champignon mycorhizien à savoir les spores, vésicules, vacuoles, filaments mycélium, masse mycorhizienne ;
- présence de champignon endophytes foncés septés ;
- présence de champignon du *Penicillium* comme endophyte au niveau de l'écorce ;
- présence de l'anastomose racinaire entre chêne liège et *Calicotome spinosa* ;

La symbiose mycorhizienne joue un rôle essentiel dans le fonctionnement et la structuration des communautés végétales, la restauration des sites dégradés et l'augmentent d'absorption des nutriments du sol. Ils sont essentiels à la germination des graines et à l'établissement des semis.

Les champignons endophytes sont des champignons qui vivent à l'intérieur des tissus végétaux sans causer de dommages apparents à la plante hôte. Ils peuvent améliorer la résistance des plantes aux stress abiotiques et biotiques.

Quant aux *Penicillium*, ce sont des champignons filamenteux très répandus dans les sols. Certaines espèces de *Penicillium* sont connues pour leur capacité à solubiliser les phosphates et à promouvoir la croissance des plantes.

Une richesse certaine du cortège fongique mycorhizien est donc observée trois années après le passage d'incendie. Ce qui n'était pas le cas de la première année. La cicatrisation de cet écosystème fortement endommagé et donc lancée. Le rôle et la capacité des champignons

dans ce processus sont mis en évidence par les observations enregistrées et les résultats obtenus par cette étude.

### **Perspectives**

Ce travail mérite d'être approfondi et poursuivi sur plusieurs aspects :

- l'identification de la flore fongique jusqu'à l'espèce.
- la mise en culture des racines.
- reproduire la même démarche sur d'autres espèces accompagnant le chêne liège comme *Cytisus triflorus* (une légumineuse), *Arbutus unedo*, pour apporter un éclairage sur les interactions entre les espèces lors de la régénération après incendie des écosystèmes à chêne liège.
- s'intéresser à l'évolution d'autres groupes biologiques comme la faune du sol.

*Références*  
*Bibliographiques*

### Références bibliographiques

1. **Adl, S. M., Simpson, A. G. B., Farmer, M. A., Andersen, R. A., Anderson, O. R., Barta, J. R., Taylor, M. F. J. R. (2005).** The New Higher-Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 52(5), 399-451. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2005.00053.x>
2. **AIT YOUCEF, M. (2006).** Plantes médicinales de kabylie. Paris : edition Ibis Press, 334.
3. **Alessio Alessi et al. (2021).** Chemical analysis, biological and therapeutic activities of *Olea europaea* L. extracts, *Natural Product Research Formerly Natural Product Letters* 1-15 P.
4. **Anani B et Bentaleb S. (2016).** Production des protéases extracellulaire des moisissures du sol : effets de PH et température. Mémoire du master. Sciences de la nature et de la vie. Université des frères Mentouri. Constantine.
5. **ARFA A. M. T., (2008).** « Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plans de gestion ». Mémoire de Magistère en écologie végétale. Université Mentouri, Constantine, 115 P.
6. **Bâ, A., Duponnois, R., Diabaté, M. et Dreyfus, B. (2011).** Les champignons ectomycorhiziens des arbres forestiers en Afrique de l'Ouest. Marseille: IRD. 254P.
7. **BACHELIER G., (1978).** La faune des sols son écologie et son action. Edition O.R.S.T.O.M. 391P.
8. **Bahaaeldin EA., Yusoff S., Abdul Rahim WY., Zuhairi W., Abdul Ghani MR., (2011).** Tracing subsurface migration of contaminants from an abandoned municipal landfill. *Environ Earth Sciences*, DOI 10.1007/s12665-010-0780-3.
9. **Barea, J., Azcon-Aguilar, C., Azcon, R. (2002).** Interactions between mycorrhizal fungi and rhizo- sphere micro-organisms within the context of sustainable soil-plant systems. In: Gange A.C., Brown, V.K. (eds). *Multitrophic interactions in terrestrial systems*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 65–68. In Nadeem, S. M., Khan, M. Y., Waqas, M. R., Binyamin, R., Akhtar, S., Zahir, Z. A. (2017). *Arbuscular mycorrhizas: An overview*. In *Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants* (pp. 1-24). Springer, Singapore.
10. **Beck-Nielson D., Vindaek M., (2001).** Occurrence of vesicular.

11. **Ben Ali W. (2021)**. Criblage de la diversité fongique Marine visant à identifier de nouvelles oxydases pour les biotechnologies et le développement durable. De doctorat en sciences de la vie et de la santé, université d'Aix Marseille avec université de sfax (Tunisie), 24 -31-32-36-37-38.
12. **Bekdouche F. (2010)**. Evolution après feu de l'écosystème subéraie de Kabylie (nord algérien). PhD Thesis. University of M. Mammeri Tizi-Ouzou, Algeria.
13. **Bekdouche F., Abdelkrim Si B., Benzina I (2024)**. Post-fire dynamics of recolonization by Cistus plants in the Aleppo pine and Cork oak forests in Bejaia region, central north Algeria. Environmental & Socio-economic Studies
14. **Berch, S.M., Monreal, M.A., &Kernaghan, G. (2009)**. Mycorrhizas in Canadian forests and agricultural ecosystems. In: Advances in Mycorrhizal Science and Technology, pp: 1-14. D., Khasa, Y., Piché, & A.P., Coughlan (eds.). CABI Publishing, Canada.
15. **Béreau, M., Éliane, L., Agnès, G., Garbaye, J. (2003)**. Symbiose mycorhizienne et nutrition minérale, Description et dynamique des milieux forestiers, numéro spécial, 47-83P.
16. **Blaszkowski J., 2003**. Arbuscularmycorrhizal fungi (Glomeromycota), Endogone, and Complexipes species deposited in the Department of Plant Pathology, University of Agriculture in Szczecin, Poland.<http://www.agro.ar.szczecin.pl/~jblaszkowski/>.
17. **Blaszkowski, J., Czernionka, B. (2008)**. Glomus eburneum and scullospora fulgida, especies of arbuscular mycorrhiz.al fungi (Glomeromycota), new for Europ, Acta mycol, 43(1), P37-65.
18. **Bliefert C., Perraud R. (2001)**. Chimie de l'environnement : Air, eau, sols, déchets. De Boeck, 496 p.
19. **Bliefert C. et Peraud R. (2004)**. Chimie de l'environnement : air, eau, sol et déchets. Ed. Boeck, 477 p.
20. **Bonfante, P., Genre, A. (2010)**. Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. Nature Communications. 1, 48. In Driai, S. (2016). Impact des polluants d'origine industrielle sur le développement des champignons mycorhiziens à arbuscules, sur leur diversité et sur la viabilité microbienne des sols des agro-écosystèmes du Nord-est algérien. Université BADJI MOKHTAR-ANNABA, 137P.
21. **Bouchet, P. Guignard, J.-L. Pouchus, Y.-F, 2005**, Les champignons : mycologie fondamentale et appliquée, .2ème édition, Masson.191p.

22. **Bousseboua H. (2005).** Eléments de microbiologie. Campus-club, Algérie, (2<sup>ème</sup> édition), 179-199.
23. **Brundrett, 2008.** mycorrhizal associations: the web resource mark.
24. **Calvet R. (2000).** Le sol propriétés et fonctions, constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Tome 1. Edition France Agricole. Paris (France), 83-90.
25. **Calvet R. (2003).** Le sol. Tom1 : propriétés et fonctions ; construction et structure, phénomène aux interfaces. Ed. France agricole, 365p.
26. **Calvez Th. (2009).** Diversité et fonctions écologiques des champignons en écosystème hydrothermal marin profond. Thèse de doctorat Biologie, Université de Rennes 1,11.
27. **Carlile M.J., Watkinson S.C. The Fungi (1994).** (Academic Presseds).
28. **Certini, G. (2005).** Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia*, 143(1), 1-10.
29. **Chabasse, D., Bouchara, J. P., De Gentile, L., Brun, S., Cimon, B., Penn, P. (2002).** Les moisissures d'intérêt médical. Cahier de formation, (25).
30. **Chabasse D., Bouchara J.P., De Gentile L., Brun S., Cimon B., Penn P. (2002).** Les moisissures d'intérêt médical. Cahier de formation n°25, Bioforma. 159p.
31. **Chandler C., Cheney P., Thomas P., Trabaud L. & Williams D. (1983).** Fire in Forestry. John Wiley & Sons. New York, USA, 298p.
32. **Chandler, P. J., Thomas, P. A., & Tatchell, G. M. (Eds.). (1983).** The ecology of natural disturbance and patch dynamics\*. London: Academic Press.
33. **Cherfia R, Kara Ali M, Talhi I, Benaissa A, Kacem Chaouche N. (2017).** Phytochemical analysis, antioxidant and antimicrobial activities of leaves and flowers ethyl acetate and nbutanol fractions from an Algerian endemic plant *Calycotome spinose* (L.) Link. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*.9 (12):185-196.
34. **Chikhi I. (2001).** Composition chimique et activités biologiques des extraits de cinq plantes aromatiques et médicinales de l'ouest d'Algérie. *Chimie Bio Organique et Thérapeutique*. Université Abou bekrbelkaid – Tlemcen. Algérie, 2014. P12.

- 35. Chikhi I. (2014).** Composition chimique et activités biologiques des extraits de cinq plantes aromatiques et médicinales de l'ouest d'Algérie (Thèse de doctorat, Université Abou BekrBelkaid, Tlemcen).
- 36. Chollet L. (2014).** Identification des dermatophytes en cultures sur la base de leurs critères macroscopiques et microscopiques. Mémoire de Maitrise en médecine. Université de Lausanne.
- 37. Chouahada S. (2016).** Résilience des écosystèmes forestiers du Nord-est algérien après incendie : cas des subéraies. Thèse doctorat en écologie animale, Univ. Badji Mokhtar, Annaba, 100 p.
- 38. Colin P., Jappiot M., Mariel A., Cabaret C., Veillon S., et Brochiero F. (2001).** Protection des forêts contre l'incendie : Fiches techniques pour les pays du bassin méditerranéen, FAO et CEMAGREF n° 36, [ftp://ftp.fao.org/docrep/fa0/005/Y2747f/](http://ftp.fao.org/docrep/fa0/005/Y2747f/) .
- 39. Cordier T. (2012).** Structure des assemblages fongiques de la phyllosphère des arbres forestiers et effet potentiel du changement climatique. Thèses de Doctorat. Ecole doctorale : Sciences et Environnements. Spécialité : Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés. Université Bordeaux 1. 3-16.
- 40. Damerdji A. Djeddid A. (2012).** Les orthoptéroïdes associés à une plante xérophile (calicotome spinosa L. (Link) (fabacées) dans la région de Tlemcen (nord-ouest algérien) Rev. Ivoir. Sci. Techno, 20: 111-123.
- 41. Damerdji A. (2014).** Diversité orthoptérologique sur différentes plantes dans la région de Tlemcen. Actes AFPP. Dixième conférence internationale sur les ravageurs en Agriculture. Montpellier 25-26 et 27 Octobre 2011. 8 pages.
- 42. Dar G.H. (2010).** Soil microbiology and biochemistry. New India Publishing.
- DeBano et al. (1998).** Fire's effects on ecosystems. New York: John Wiley & Sons.
- 43. Dajoz R. (1971).** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434 p.
- 44. Deprince A. (2003).** La faune du sol, diversité, méthodes d'étude, fonctions des sols : le sol vivant. Deuxième Edition PPUR Edition Lausanne. 569p.
- 45. DGF. (2012).** Bilan des incendies de forêts depuis l'indépendance de l'Algérie (1962-2012) » Portail du cinquantenaire de l'indépendance [www.djazair50.dz](http://www.djazair50.dz)

46. **Djeddi S., Djahoudi. AG. ; Benchalia N. et Himour H. (2015).** Antibacterial activity of *Calycotum villosa* (Poiret) Link extracts .3(1) :13-18.
47. **Dhif M. et Dahmani N. (2018).** contribution à l'élaboration de la carte du degré de base d'incendie de forêt de la wilaya de Médéa), Mémoire de Master En écologie (université de Yahya Farés Médéa.). Pp11-20, Algérie.
48. **D.P.A.T. (2004).** Monographie de la Wilaya de Tizi-Ouzou. Ed. Direction de la plammication et aménagement du territoire, Tizi-Ouzou, 133 p.
49. **Duchaufour P. (2001).** Introduction à la science du sol. 6ème édition de l'abrégé de pédologie. Dunod. Ed. Masson. Paris. 314p.
50. **Duhoux E. et Nicole M., (2004).** Biologie végétale, Edition : paris. P166.
51. **Duponnois R., Hafidi M., Doye I., Ramana H., Kierana N., Muad B.A. (2013).** Des champignons symbiotiques contre la des certification. Institut de recherche pour les développements, 511P.
52. **Duponnois, R., Hafidi, M., Ndoye, I., Ramanankierana, H., Bà, A. M. (2013).** Des champignons symbiotiques contre la désertification : écosystèmes méditerranéens, tropicaux et insulaires, 511P.
53. **Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2013).** "Raven Biology of Plants" (8th ed.). W.H. Freeman and Company
54. **Fao, (2007).** Fire management 3 global assessment 2006. FAO forestry paer, 151, Rome, Italy, 156 p. <http://www.fao.org/docrep/009/a0969e/a0969e00.htm> .
55. **Fao (2009).** Situation des forêts du monde. Rome, Italy, 152 p. <http://www.fao.org/docrep/011/i0350f/i0350f00.htm>
56. **Fao (2015a).** Rapport de la Conférence de la FAO, trente-neuvième session. Rome, 6-13 juin 2015 C 2015/REP, <http://www.fao.org/3/a-mo153f.pdf>.
57. **Fao (2018).** State of Mediterranean Forests 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Plan Bleu, Marseille, 2018, 331 pp.
58. **Fao (2015a).** Rapport de la Conférence de la FAO, trente-neuvième session. Rome, 6-13 juin 2015 C 2015/REP, <http://www.fao.org/3/a-mo153f.pdf>.

- 59. Feller, (1982) ; Maclean et al. (1983) ; Ulery et al. (1993) Feller M. C. (1982).** The ecological effects of slash Brünig with particulier référence.
- 60. Fernane A. (2005).** Place de l'entomofaune dans l'arthropodologie de trois stations forestières dans la région de Larbâa Nath Irathen (Tizi-Ouzou). Thèse Magister, Inst. nati. Agro. El Harrach, 149 p.
- 61. Fernane (2009).** Place de l'entomofaune dans l'arthropodologie de trois stations forestières dans la région de Larbâa Nath Irathen. (Tizi-Ouzou), 1-123 P.
- 62. Fierer, N., & Schimel, J. P. (2003).** "A proposed mechanism for the pulse in carbon dioxide production commonly observed following the rapid rewetting of a dry soil." *Soil Science Society of America Journal*, 67(3), 798-805. doi :10.2136/sssaj2003.0798
- 63. Fortin, J.A. Et Al. (2008).** Les mycorhizes la nouvelle révolution verte. Québec, Éditions multimondes, 131 p.
- 64. Fortin J.A. (2013).** Le point de vue du naturaliste morphologie. Diversité et distribution des différents type de mycorhizes dans le règne végétale, In, la symbiose mycorhizienne, ministère de l'agriculture et de l'agricole, canada, P25-64.
- 65. Fortin JA, Plenchette C, Piché Y. 2013.** Les mycorhizes- la nouvelle révolution verte. Québec : Quae et multimondes 148 p.
- 66. Fournier P. (2001).** Les quatre flores de France : générale, alpine, méditerranéenne, littorale, 1160p. Page 535, Dunod.
- 67. Frankenberger WT., Poth M. (1987).** Biosynthesis of Indole-3-Acetic Acid by the Pine Ectomycorrhizal Fungus *Pisolithus tinctorius*. *Applied and Environmental Microbiology* 53, 2908–2913.
- 68. GANI R. (1988).** Etude petro-structurale des massifs cristallins de Larbâa Nath Irathen et de Djemaa Saharidj (Grande kabylie, Algérie) The.Mag.Univ. Des sciences et de la technologie Houari Boumediene, 240 p.
- 69. Garbaye J. (2013).** Le point de vue du naturaliste morphologie, diversité et distribution des différents types de mycorhizes dans le règne végétal, In, La symbiose mycorhizienne une association, Quae.visicule, France, P25-64.
- 70. Gaudefroy M. et Mouillefarine M. (1872).** La florule obsidionale des environs de Paris en 1872. *Bulletin de la société botanique de France*, 19(8), 266-277.

- 71. Gherabi B. (2013).** Contribution à l'étude de la reprise végétative du chêne liège après les incendies.
- 72. Gillon D., Trabaud L. (1997a).** Etat des méthodes de suivi des impacts des incendies. In INRA Avignon ed. « Etat des connaissances sur l'impact des incendies. Convention INRADERF 61.21.14/97, 30- 37.
- 73. Girard J., Walter C., Remy J., Berthelin J., Morel J, (2005).** Sol et environnement, Edition Campus DUNOD, Paris, 816p.
- 74. Gobat J., Aragno M., Matthey W. (2003).** Le sol vivant. Edition 3. 817p.
- 75. Gobat J., Arango M., Matthey W. (2003).** Le sol vivant, base de pédologie, biologie des sols, 568p.
- 76. Gresselin F., Hericher S., Le Gouee P. (2015).** « Les sols nourrissent l'humanité », Profil environnemental régional de Basse-Normandie, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, France. 45P.
- 77. Halimi Rahma, Ould Ahmed Sylia (2015-2016).** Impact de la récurrence des incendies sur les invertébrés du sol : cas de la subéraie de TaksebtZekri.
- 78. Hamlat I., Hadji D. (2016).** Effets insecticides, mycocides et bactéricides de l'asphodèle (*Asphodilus microcarpus*) et de calicotome (*Calicotome spinosa*). Mémoire de Master. Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre. Université Akli Mohand Oulhad-Bouira.
- 79. Hamlat I., Hadji (2017).** Effets insecticides, mycocides et bactéricides de l'asphodèle (*Asphodelusmicrocarpus*) et du calicotome (*Calicotome spinosa*). UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – Bouira. Algérie. P : 8.
- 80. Hartwell J.L. (1982).** Plants Used Against Cancer. A survey, USA7. Lawrence, MA : Quarterman Publications.
- 81. Hawksworth D. L. & Lücking R. (2017).** Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 million Species. *Microbiology Spectrum*, 5(4). <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016>
- 82. Hesses N. (2005).** Evolution cartographie et évolution diachronique par télédetections du risque incendie de forêt, simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du

- Paillon, Nice Alpes-Maritimes, thèse de doctorat en Science géographie, Université Grenoble I-Joseph Fourier, 409p.
- 83. Hirsh Ann M., Kapulnik Y. (1998).** Signal transduction pathways in Mycorrhizal association: comparisons with the Rhizobia-Legum Symbiosis. *Fungal genetics and Biology*, 23, PP 205-212.
- 84. Jaffre T., Veillon J., Riguil F., Dagostin G. (1997).** Impact des feux de brousse sur le milieu naturel en Nouvelle Calédonie, document, laboratoire de botanique et d'écologie végétale, centre arstom de Nouméa-BPA5988486, Centre ORSTOM de Nouméa-BP A5 98848Cedex- Nouvelle Calédonie, 49P.
- 85. James D. Mauseth. (2017).** "Botany: An Introduction to Plant Biology", 6th Edition, Jones & Bartlett Learning.
- 86. Jany J.L. (2002).** Le champignon éctomycorhizien *Genococcum géophilum* fr. Dans les hêtraies lorraines : structure génétique des populations et rôle dans la résistance à la sécheresse de racines superficielles du hêtre, université Aenripoincare, 183P.
- 87. Javot H., Penmetsa R.V., Terzaghi N., Cook D.R., Harrison., M.J. (2007).** A *Medicago truncatula* phosphatetransporter indispensable for the arbuscular symbiosis. *Proc. Natl. Acad. USA.*, 104 :1720-1725p.
- 88. Jennings D.H., Lysek G. 1996.** *Fungal biology: understanding the fungal lifestyle.* (Bios Scientific publisherseds).
- 89. ennings D.H., Lysek G. 1996.** *Fungal biology: understanding the fungal l.*
- 90. Kapoor, R., Evelin, H., Mathur, P., & Giri, B. (2012).** Arbuscular mycorrhiza: approaches for abiotic stress tolerance in crop plants for sustainable agriculture. In: *Plant Acclimation to Environmental Stress*, pp: 359–402. N., Tuteja, & G.S., Singh (eds.). Springer Science & Business Media.
- 91. Kazakis G. et Ghosn, D. (2008).** Le problème des incendies de forêts en Méditerranée. *La Lettre de veille du CIHEAM- N°6.*
- 92. Kofidis G., Bosabalidis A., Moustakas M. (2003).** Contemporary seasonal and altitudinal variations of leaf structural features in oregano (*origanum vulgare L.*) *Annals of Botany.* 92: 635-645.
- 93. Larit F., Benyahla S., Benayache F., Leon F., Brouard I., Bermijo J. (2012).** Flavonoïdes from *calycotome spinosa*. *Link. Int. J. Med.Arom. Plants*, 2(1): 34-37.

- 94. Lebrun J. D. (2010).** Biodiversité fonctionnelle fongique : Indicateur d'écotoxicité des Bibliographie métaux dans les sols. De doctora en Biologie Intégrative et Santé et Environnement, Université de Rouen, 33.
- 95. Lentini F., Aleo M. et Amenta R. (1993).** L'usopopolar delle piantenelle Isole Egadi (Sicilia). *Giorn Bot Ital.*127(3) :702.
- 96. Levy-Booth, D. J., Campbell, R. G., Gulden, R. H., Hart, M. M., Powell, J. R., & Pauls, K. P. (2014).** "Functional guild classification predicts the enzymatic role of fungi in litter and soil biogeochemistry." *Soil Biology and Biochemistry*, 76, 237-251. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.05.002
- 97. Lourdes S. (2022).** Jardineria on, Arbres et arbustes. Ajonc (Calicotome spinosa).
- 98. Ludwig-Müller, J., Jülke, S., Geiß, K., et al. (2017).** "Hormonal balance in plants during colonization by mycorrhizal fungi." *Frontiers in Plant Science*, 8, 1547. doi :10.3389/fpls.2017.01547
- 99. Luttge, U., Kluge, M., Bauer, G. (2002).** Botanique, 3ème Edition, Lavoisier, Paris, 571P.
- 100. Lutzoni F., M, M. J., & Vilgalys, R. (2002).** Phylogeny of Agarics: partial systematics solutions for-core omphalinoid genera in the Agaricales (Euagarics). 83, 19-57.
- 101. Lutzoni F., Kauff F., Cox C.J., McLaughlin D., Celio G., Dentinger B., Padamsee M., Hibbett D., James T.Y., Baloch E., Grube M., Reeb V., Hofstetter V., Schoch C., Arnold A.E., Miadlikowska J., Spatafora J., Johnson D., Hambleton S., Crockett M., Shoemaker R., Sung G.H., Lücking R., Lumbsch T., O'Donnell K., Binder M., Diederich P., Ertz D., Gueidan C., Hansen K., Harris R.C., Hosaka K., Lim Y.W., Matheny B., Nishida H., Pfister D., Rogers J., Rossman A., Schmitt I., Sipman H., Stone J., Sugiyama J., Yahr R., Vilgalys R. (2004).** Assembling the fungal tree of life: progress, classification, and evolution of subcellular traits. *American Journal of Botany*. 91: 1446–1480.
- 102. Maclean et al. (1983).** Shizgal HM. Body composition. In Fischer JE, ed. *Surgical Nutrition*. Boston: Little, Brown and Company, 1983; 3-17. Shizgal HM. Body composition. In Fischer JE, ed. *Surgical Nutrition*. Boston : Little, Brown and Company, 1983 ; 3-17.

- 103. Maclean, J. R., Dixon, J. A., & Brinson, M. M. (Eds.). (1983).** \*Wetlands\*  
(Proceedings of the International Conference on Wetlands and Waterfowl Conservation in the Northern Hemisphere, Edmonton, Alberta, Canada, 10-15 November 1981).  
International Waterfowl Research Bureau.
- 104. Manneville, O., Vergne, V. Et Villepoux, O. (1999).** Le monde des tourbières et des marais. Delachaux et Niestlé. 320p.
- 105. Margret J., 1998 :** Modalisation et simulation numérique de la propagation du feu de forêt, thèse de doctorat, institut national polytechnique de Lorraine Nancy, France, 260p.
- 106. Martin P., 2008.** Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology* : 6. pp. 763-775.
- 107. Mebirouk-Boudechiche L., Cherif M., Boudechiche L. et Sammar F. (2014).** Teneurs en composés primaires et secondaires des feuilles d'arbustes fourragers de la région humide d'Algérie. *Revue Méd.Vét.*165, 11-12, 344-352.
- 108. Meddour R., Mellal H., Meddour O., Derridj A. (2009).** La flore médicinale et ses usages actuels en Kabylie (Wilaya de Tizi Ouzou, Algérie) : quelques résultats d'une étude Ethnobotanique. *Revue des régions arides*, n° Spécial : 181-201.
- 109. Meddour-Sahar O. (2008).** Contribution à l'étude des feux de forêts en Algérie. Diplôme de magister en science agronomique. Institut national agronomique El Harrach, 269p.
- 110. Meddour-Sahar et al. (2014).** Motifs des incendies de forêt en Algérie : analyse comparée des dires d'experts de la Protection Civile et des Forestiers par la méthode Delphi.
- 111. Mendes, L. W., Tsai, S. M., Navarrete, A. A., de Hollander, M., van Veen, J. A., & Kuramae, E. E. (2015).** "Soil-Borne Microbiome: Linking Diversity to Function." *Microbial Ecology*, 70(1), 255-265. doi :10.1007/s00248-014-0559-2.
- 112. Meyer S., Reeb C., Bosdeveix R., 2004.** Botanique : Biologie et physiologie végétale. Edition Maloine, 461
- 113. Meyer S., Reeb C. et Bosdeveix R., (2008).** Botanique : biologie et physiologie végétales ; 2<sup>ème</sup> édition : MALOINE, paris, P490.
- 114. Mokhtari. M. (2012).** Etude phytochimique de la plante *Calicotome spinosa*. Link. Chimie organique. Mémoire de magister. Faculté des sciences. Université El-Hadj Lakhdar. Batna. Algérie.

115. **Mol T. et Küçükosmanoglu A. (1997).** Forest fires in Turkey, In Proc. XI World Forestry Congress, Antalya, Turkey, 10 p.
116. **Moulinier, C., 2003,** Parasitologie et mycologie médicale : éléments de morphologie et de biologie, Paris : Lavoisier ,796p.
117. **Mousain, D., Matumoto-Pintro, P., Quiquampoix, H. (1997).** Le rôle des mycorhizes dans la nutrition phosphatée des arbres forestiers. Revue forestière française, n° sp. : 67-81.
118. **Mueller G.M., Schmit J.P. (2007).** Fungal biodiversity: what do we know? What can we predict? Biodiversity and Conservation. 16: 1-5.
119. **Ndong, H. E., Degreef, J., De Kesel, A. (2011).** Champignons comestibles des forêts denses d'Afrique centrale. Taxonomie et identification. ABC Taxa, 10.
120. **Neary, D. G., Ryan, K. C., & DeBano, L. F. (Eds.). (1999).** Wildland fire in ecosystems: Effects of fire on flora. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-volume 2. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
121. **NPGS (2020).** Germplasm Resources Information Network (GRIN - Taxonomy). United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Plant Germplasm System. <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomydetail.aspx?id=8670>.
122. **Paek, K.Y., & Murthy, H.N. (2013).** Temperate oriental Cymbidium species. In: Orchid Biology VIII: Reviews and Perspectives, pp: 235-286. T., Kull, & J., Arditti (eds.). Springer Science+Business Media, B.V.
123. **Parsons WT., et Cuthbertson EG. (2001).** Noxious Weeds of Australia. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. 698 pp.
124. **Paul E. A. & Clark F. E. (1996).** Soil microbiology and biochemistry. 2nd edition. Academic Press. San Diego, California (USA), 340.
125. **Prodon, R. (1988).** Dynamique des systèmes avifaune-végétation après déprise rurale et incendies dans les Pyrénées méditerranéennes siliceuses. Thèse de doctorat d'Etat. Université P. et M. Curie. Paris.
126. **Peterson, R.L., Massicotte, H.B., & Melville, L.H. (2004).** Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology. CABI Publishing, Ottawa, Canada.
127. **Pichard G. et Rolland B. (Octobre 2006).** Les champignons, éléments essentiels dans l'écosystème forestier.

128. **Pitt J.I. (2000).** Toxigenic fungi and mycotoxins. *British Medical Bulletin*. 56(1): 184-192.
129. **Plana E., Serra M., Chanvin, S., et Gladiné, J. (2016).** Les incendies en forêts, guide pour le journaliste et les médias, Project Efirecom, Edition CTFG, 36 PP.
130. **Quezel, P., & Barbero, M. (1990).** Les forêts méditerranéennes : une histoire de perturbations. In *Forêts méditerranéennes* (pp. 1-15). Paris : Éditions de l'ORSTOM.
131. **Quezel, P., & Barbero, M. (1990).** Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Paris: Masson.
132. **Quénéa K. (2004).** Etude structurale et dynamique des fractions lipidiques et organiques réfractaires de sols d'une chronoséquence forêt/maïs (CESTAS, Sud-ouest de la France). Thèse de Doctorat. Université de Paris 6 (France).
133. **Quèzel P., Santa S. (1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Tome 2, Ed. Centre nationaux de la recherche scientifique, Paris. Pp.935-936.
134. **Ramade F. (1992).** Précis d'écotoxicologie. Ed. Masson, Paris, 758 p
135. **Rameau J.C, Mansion D, Dumé G. (2008).** Flore forestière française : guide écologique illustré. Région méditerranéenne. Vol 3. Ed. Forêt privée française.
136. **Rameau J.C., Mansion D., Dumé G., Gauberville C., Bardat J., Bruno E., Keller R. (2008).** Flore forestière française tome 3, région méditerranéenne : Guide écologique illustré région méditerranéenne. Institut pour le développement forestier- CNPPF.
137. **Rashid A, Ahmed T, Ayub N, et al. (1997).** Effect of forest fire on number, viability and post-fire reestablishment of arbuscular mycorrhizae. *Mycorrhiza*, 7: 217-220.
138. **Raven P.H., Evert, R.F., & Eichhorn S.E. (2000).** Biologie végétale. Éditions De Boeck université.
139. **Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE.** *Biology of Plants*. 8th edition. New York: W.H. Freeman and Company; 2012.
140. **Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2005).** "Biology of Plants" (7th ed.). W.H. Freeman and Company.
141. **Ravichandra, N.G. (2014).** Nematode disease complex. In: *Horticultural Nematology*, pp: 206–238. N.G., Ravichandra (eds.). Springer.

142. **Redecker, D., Kodner, R., & Graham, L.E. (2000).** Glomalean fungi from the Ordovician. *Science*, 289: 1920–1921.
143. **Redecker D. 2002.** New views on fungal evolution based on DNA markers and the fossil. *Research in Microbiology*. 153 : 125-130.
144. **Redecker D., Schüßler A., Stockinger H., Stürmer SL., Morton JB., Walker C. (2013).** Un Consensus fondé sur des preuves pour la classification des champignons mycorhiziens arbusculaires (Glomeromycota). *Mycorrhize.*, 23 : 515-531p.
145. **Remy, W., Taylor, T.N., Hass, H., Kerp, H. (1994).** Four hundred-million-year-old vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91: 11841–11843
146. **Rivett Ramade (1997).** Bushfires 3 Living with Australia's Natural Heritage, Country Fire Authority, en association avec la Geography Teachers' Association of Victoria Inc. Burwood East, Victoria.
147. **Robitaille, (1995) Robitaille, D. (1995).** Influence du complexe Combustible sur le comportement du feu, le sol et le développement de plantations d'épinettes dans deux expériences de brûlage dirigé. Université Laval. Fac. For. Géom., Thèse ph. D. 306 p.
148. **Rocco C., Duro I., Di Rosa S., Fagnano M., Fiorentino N., Vetromile A., Adamo P. (2016).** Composite vs. discrete soil sampling in assessing soil pollution of agricultural sites affected by solid waste disposal. *Journal of Geochemical Exploration*, 170, 30-38.
149. **Rolland P. (1988).** Le système des grandes tourbières équatoriales. *Ann. Géographie* N°97 (544). Pp942-666.
150. **Ropars, J., Cruaud, C., Lacoste, S., & Dupont, J. (2020).** A taxonomic and ecological overview of cheese fungi. *International Journal of Food Microbiology*, 319, 108505.
151. **Rougemont M. (2007).** Les mycorhizes et l'olivier. Effets sur le développement des plants en pépinière et en verger. *Mycosym international bâle. Suisse*, p9 : 1-3.
152. **Saad, D. (2009).** Etude des endomycorhizes de la variété Sigoise d'olivier (*Olea europea* L.) et essai de leur application à des boutures semi – ligneuses. Mémoire de Magister, en Biotechnologie, Faculté des Sciences, Université d'Oran, Oran, Algérie. P. 33.
153. **Sahraoui, A. L. (2013).** La Mycorhize à arbuscules : quels bénéfices pour l'homme et son environnement dans un contexte de développement durable. Synthèse : *Revue des Sciences et de la Technologie*, 26, 06-19.

154. **Salmi A., Boulila F., Bourebaba Y., Le Roux C., Belhadi D., et de Lajudie P. (2018).** Phylogenetic diversity of Bradyrhizobium strains nodulating *Calicotome spinosa* in the northeast of Algeria. *Systematic and Applied Microbiology* 41:452-459.
155. **Sari M., Handel N., Sarri D., Boudjellal A., Benkhaled A. (2013).** Ethnobotanical study of medicinal Flora used by the people of the forest El Haourane-Msila (Algeria). *Journal Of Ecoagritourism*, 9(2) : 27.
156. **Schüßler A., Schwarzott D., Walker C. (2001).** Un nouveau phylum fongique, les Glomeromycota : phylogénie et évolution. *Recherche mycologique.*, 105 : 1413-1421p.
157. **Schüßler, A., Walker, C. (2010).** The Glomeromycota: a species list with new families and new genera. The Royal Botanic Garden, Edinburgh. In Souza, T. (2015). *Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi*. Cham: Springer, 153P.
158. **Schwartz D. (2012).** Le temps du sol. *Etude et gestion des sols*, 19-1. Pp 51-67.
159. **Sélosse M-A. (2013).** Une classification phylogénétique des eucaryotes, 24p.
160. **Smith, S.E., Read, D.J. (1997).** *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London, 605P. In Peterson, R. L., Massicotte, H. B., Melville, L. H. (2004). *Mycorrhizas: anatomy and cell biology*. NRC Research Press, 173P.
161. **Smith S. E., Christophersen H. M., Pope S., Smith F.A. (2010).** Arsenic uptake and toxicity in Plants: integrating mycorrhizal influences. *Plant Soil*, 327: 1-21.
162. **Smith S.E., Read D.J. (2008).** *Mycorrhizal symbiosis*, 3<sup>rd</sup> Edition. Clarendon Press, Oxford. 16-32 p.
163. **Smith, S.E. & Read, D.J. (2008).** *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, Cambridge, Royaume-Uni.
164. **Smith, S.E., & Read, D. (2008).** The symbionts forming arbuscular mycorrhizas. In *Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition)*, S.E.S. Read, ed. (London: Academic Press), p. 13.
165. **Souidi Z., et Benbaker H. (2017).** l'Algérie aux incendies de forêts, intégrant de riveta territorium, RiscosISSH0872-8942, n° 24,77-186p, <http://www.uc.pt/fluc/riscos/Territorium/24>.
166. <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/tizi-ouzou/larbaa-n-ait-irathen-325165/>
167. **Splivallo R, Fischer U, Göbel C, Feussner I, Karlovsky P. (2009).** Truffles regulate plant root morphogenesis via the production of auxin and ethylene. *Plant Physiology* 150, 2018–2029.

- 168. Stendell E. R., Horton T. R., BRUNS T. D. (1999).** Early effect of prescribed fire on the structure of the ectomycorrhizal fungus community in Sierra Nevada ponderosa pine forest. *Mycological Research*, 103: 1353-1359.
- 169. Stensröm E., Damm E. et Unestam T. (1997).** Le rôle des mycorhizes dans la protection des arbres forestiers contre les agents pathogènes du sol, PP 121-128.
- 170. Stres B., Danevcic T., Pal L., et al. (2008).** "Resilience of Soil Bacterial Community Structure under Prolonged Elevated Temperature Disturbance." *Environmental Microbiology*, 10(8), 2397-2409. doi :10.1111/j.1462-2920.2008.01679.x
- 171. Tacon F. 1985.** INRA Nancy- La Recherche n° 166 mai.
- 172. Taiz, L., & Zeiger, E. (2010).** "Plant Physiology" (5th ed.). Sinauer Associates.
- 173. Tan RX, Zou WX. (2001).** Endophytes: A rich source of functional metabolites. *Natural Product Reports* 18, 448–459.
- 174. Tao L., Zhiwei Z. (2005).** Arbuscular mycorrhizas in a hot and arid ecosystem in southwest China. *Appl.SoilEcol.*, 29 :135-141.
- 175. Teotia, P., Kumar, M., Prasad, R., Kumar, V., Tuteja, N., & Varma, A. (2017).** Mobilization of micronutrients by mycorrhizal fungi. In: *Mycorrhiza - Function, Diversity, State of the Art*, pp: 8–26. A., Varma, R., Prasad, & N., Tuteja (eds.). Springer.
- 176. Ulery, A. L., Graham, R. C., & Amrhein, C. (1993).** Soil carbon dynamics during a long-term incubation: Implications for soil carbon storage. *Soil Science Society of America Journal*, 57\*(5), 1269-1276.
- 177. Umme A., Adeel M., Sidra W., Riffat -Naseem M. (2016).** Enrichment, geo accumulation and risk surveillance of toxic metals for different environmental compartments from Mehmood Booti dumping site, Lahorecity, Pakistan. *Chemosphere*, 144, 2229-2237.
- 178. Velez R. (1999).** Protection contre les incendies de forêts, principe et méthode d'action série B, étude et recherche n°26. CIMEAM, édition VELEZ, <http://www.ciheam.org/http://om.ciheam.org/>.
- 179. Vennetier (2004).** incendies de forêts : bilan des connaissances et des besoins pour la recherche et l'action, pp.323-336.
- 180. Villain M. (1997).** La production végétale : la composante de la production. Ed. Tec et Doc, 247p.

- 181. Vodyanitskii YN., (2016).** Biochemical processes in soil and groundwater contaminated by leachates from municipal landfills (Mini review). *Annals of agrarian science*, 14, 249 -256.
- 182. Yadav, A. N., Verma, P., Kumar, V., Sangwan, P., Mishra, S., Panjiar, N. & Saxena, A. K. (2018).** Biodiversité du genre *Penicillium* dans différents habitats. Dans *Développements nouveaux et futurs en biotechnologie microbienne et en bio-ingénierie*. Éd. Elsevier, p. 3-18.
- 183. Yu T.E., Egger K.N., Peterson L.R. (2001).** Ectoendomycorrhizal associations-characteristics and functions. *Mycorrhiza*. 11 : 167-177 p.
- 184. Zidat S. (2016).** *Imyan n Tensawt - Plantes de Kabylie*. Editions Innexsys, Luxembourg. ISBN 978-99959-0-205-6.
- 185. Zirar M. (2009).** Contribution à l'étude chimique et biologique de *Calicotome spinosa* L. Université Aboubekr Belkaid-Tlemcen. (Algérie) endophytic fungi associated with 29 traditional chinese medicinal plants. *Fungal Endophytic Fungi. Current Research in Environmental & Applied Mycology*. Vol (1) n° 2: 31-61 on nitrogen accumulation and metabolism in tall fescue. *Plant Physiol*, 1990, 92 : 726-732.

## Résumé

*Calicotome spinosa* est une plante vivace appartenant à la famille des Fabacées, elle est capable d'associer à divers microorganismes fongiques du sol. Parmi ces derniers, on cite les champignons mycorrhiziens et les endophytes foncés septés.

L'objectif de notre travail consiste à mener une étude approfondie sur la régénération de cortège fongique mycorrhizien de *Calicotome spinosa* trois ans après l'incendie d'un peuplement à chêne liège. *Calicotome spinosa* est une espèce accompagnant le chêne liège, notamment dans les stations dégradées et sèches. Les échantillons ont été prélevés dans la forêt domaniale d'Oumalou, au niveau de la commune d'Ait Aggouacha, daïra de Larbaâ Nath Irathen le 21/04/2024. Les 30 arbres choisis selon un échantillonnage aléatoire dans notre station d'étude, ensuite 5 individus ont été retenus par tirage au sort. A proximité de chaque arbre de chêne liège, des racines fines de *Calicotome spinosa* ont été prélevées.

L'observation des fragments racinaires colorés par la technique de Philips et Hayman a montré la présence de structures caractéristiques des mycorhizes à arbuscules, ainsi que des champignons endophytes foncés septés sur toutes les lames fixées. Cela démontre une régénération de ces champignons trois années après le passage du feu.

**Mots clés :** champignons mycorrhiziens, endophytes, forêt, *Calicotome spinosa*, incendie.

## Abstract

*Calicotome spinosa* is a perennial plant belonging to the Fabaceae family, capable of associating with various soil fungal microorganisms. These include mycorrhizal fungi and septate dark endophytes.

The objective of our study is to conduct a thorough investigation on the regeneration of the mycorrhizal fungal community of *Calicotome spinosa* three years after a cork oak forest fire. *Calicotome spinosa* is a species found accompanying cork oaks, particularly in degraded and dry habitats. Samples were collected in the Oumalou state forest, at the commune of Ait Aggouacha, daïra of Larbaâ Nath Irathen on April 21, 2024. Thirty trees were randomly selected from our study site, and subsequently, 5 individuals were chosen by random sampling. Fine roots of *Calicotome spinosa* were collected near each cork oak tree.

Observation of root fragments stained using the Philips and Hayman technique revealed the presence of characteristic structures of arbuscular mycorrhizae, as well as septate dark endophytic fungi on all fixed slides. This demonstrates a regeneration of these fungi three years after the fire passage.

**Keywords:** mycorrhizal fungi, endophytes, forest, *Calicotome spinosa*, fire.

## ملخص

*Calicotome spinosa* هي نبات دائم ينتمي إلى عائلة الفاباسي، وهي قادرة على التعاون مع مجموعة متنوعة من الكائنات الفطرية الصغيرة في التربة، بما في ذلك الفطريات الميكوريزية والفطريات الداخلية الداكنة المقطوعة. هدف عملنا هو إجراء دراسة معمقة حول إعادة تكوين المجموعة الفطرية الميكوريزية لـ *Calicotome spinosa* بعد ثلاث سنوات من حريق غابة البلوط الفرنسي *Calicotome spinosa*. هي نوع يرافق البلوط الفرنسي، خاصة في المواقع المتدهورة والجافة. تم جمع العينات في غابة أومالو الدولية، في بلدية أيت أغواشا، دائرة الأربعاء ناث إيراثن في 21/04/2024. تم اختيار 30 شجرة عشوائياً من موقع الدراسة لدينا، ثم تم اختيار 5 أفراد عن طريق السحب العشوائي. تم جمع الجذور الدقيقة لـ *Calicotome spinosa* بالقرب من كل شجرة بلوط فرنسي.

أظهرت ملاحظة شظايا الجذور الملونة باستخدام تقنية Philips و Hayman وجود هياكل مميزة للميكوريزاب الأربوسكولات، بالإضافة إلى الفطريات الداخلية الداكنة المقطوعة على جميع الشرائح المثبتة. يظهر هذا إعادة تكوين هذه الفطريات بعد ثلاث سنوات من مرور الحريق.

**كلمات مفتاحية:** فطريات ميكوريزية، فطريات داخلية، غابة، *Calicotome spinosa*، حريق.