

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITÉ MOULOU D MAMMERRI, TIZI-OUZOU**  
**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE-MICROBIOLOGIE**



**Mémoire de fin d'études**

**En vue de l'obtention du diplôme de master 2 en Biologie**  
**Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes.**

*Thème*

**Contribution à l'étude des associations  
mycorhiziennes de *Taxus baccata L.* dans la station de  
Tigounatine, région de Tikjda .**

**Présenté par :**  
**SERKA Amel**  
**TIOURTIT Kenza**

***Devant le jury composé de :***

**Président : Mr LIMANE A.**

**Promotrice : Mme BOURENINE-HARCHAOUI C.**

**Examinatrice : Mme MEZAOUR N.**

**MCA-UMMTO**

**MCB-UMMTO**

**MAA-UMMTO**

***Promotion : 2024-2025***



## **REMERCIEMENTS**

*Au terme de ce travail, nous remercions en premier lieu Allah, Maître des cieux et de la terre, de nous avoir illuminés, ouverts les portes du savoir, et de nous avoir donné la volonté, la patience et le courage d'élaborer ce travail.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrante, Madame BOURNINE HARCHAOUI, Maître de Conférences B, pour sa précieuse aide, ses conseils avisés, sa disponibilité et ses encouragements constants tout au long de la réalisation de ce mémoire. Nous la remercions également pour sa confiance et pour avoir cru en nous.*

*Nous exprimons également notre profonde gratitude à Monsieur LIMANE maître de conférence A, qui nous a fait l'honneur de présider le jury. Sa présence et ses remarques constructives ont grandement enrichi l'évaluation de ce travail.*

*Nous remercions très chaleureusement Madame MEZAOUR, Maître Assistante, qui a accepté d'examiner notre travail. Sa lecture attentive et ses observations pertinentes ont été précieuses pour améliorer la qualité de ce mémoire.*

*Un grand merci à Madame KADI-BENNANE pour nous avoir accueillis chaleureusement dans son laboratoire « Mycorhize ». Sa disponibilité, sa bienveillance et les moyens qu'elle a mis à notre disposition ont été essentiels à la concrétisation de cette étude.*





# Dédicaces

Grâce à la miséricorde de Dieu, le Tout-Puissant,  
j'ai pu mener à bien ce travail, fruit d'un chemin long et  
exigeant.

Je le dédie avec tout mon amour et mon respect à la mémoire  
de mon père,  
dont la présence invisible éclaire encore chacun de mes pas.  
Que cet hommage sincère soit le témoignage de ma profonde  
reconnaissance et de l'amour éternel que je lui porte.

**AMEI**





# Dédicaces

Je dédie ce mémoire à ma mère, pour son amour, sa patience et sa force qui m'ont guidé tout au long de mon parcours. À mon père, aujourd'hui disparu, dont la mémoire continue d'éclairer mes pas et d'inspirer mes choix. À ma sœur et à mes frères, pour leur soutien indéfectible, leur présence rassurante et leur confiance en moi. Ce travail est le fruit de vos encouragements, de vos sacrifices et de votre amour.

***KENZA***



# Liste des abréviations

**MA:** Mycorhizes arbusculaires.

**ECM :** Ectomycorhizes.

**DR :** Racine diarch.

**C :** Contact.

**TCD :** Courte distance.

**MLD :** Moyenne ou longue distance.

**RH :** Réseau de Hartig.

**M :** Mycorhizes.

**Rzm :** Rhizomorphe.

**Mf :** Manteau fongique.

**FPA :** Formol, acide propanoïque, ethanol.

**T :** Cellules à tanins.

**V :** Vésicules intracellulaires et extracellulaire.

**Hy :** Les hyphes.

**Ar :** Arbuscule.

**End :** Endophyte.

**PND :** Le Parc National du Djurdjura.

**RSI :** Résistance systémique induite.

**PR :** Protéines.

# Liste des figures

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure 1</b> : Carte de répartition de <i>Taxus baccata</i> en Algérie (Hamidouche et al, 2013) .....                                   | <b>03</b> |
| <b>Figure 2</b> : Répartition de <i>Taxus baccata</i> dans le monde (Orwa et al., 2009 in Abdelli ,2011).....                              | <b>05</b> |
| <b>Figure 3</b> : Port de l'if (Guechoud , 2014).....  | <b>07</b> |
| <b>Figure 04</b> : Graines de l'if (Source : Google).....  | <b>09</b> |
| <b>Figure 05</b> : Fleurs mâles (Guechoud , 2014).....   | <b>10</b> |
| <b>Figure 06</b> : Fruits (arilles) (Guechoud, 2014).....  | <b>10</b> |
| <b>Figure 07</b> : Illustration des différents organes de l'if (Thomé et al, 1885).....  | <b>11</b> |
| <b>Figure 08</b> : Observations des mycorhizes arbutoïdes, après un mois, dans les tubes de synthèse inoculés avec <i>P. arhizus</i> ..... | <b>21</b> |
| <b>Figure 09</b> : Les différents types d'associations mycorhiziennes (Selosse et Le Tacon, 1998).....                                     | <b>23</b> |
| <b>Figure 10</b> : Localisation et illustration de la forêt Tigounatine dans la région de Tikjda (Google earth,2013).....                  | <b>27</b> |
| <b>Figure 11</b> : Répartition des principales espèces végétales à Tigounatine(Bouazza et al.,2020).....                                   | <b>28</b> |
| <b>Figure 12</b> : Les étapes de traitement des racines endomycorhiziennes.....  | <b>30</b> |
| <b>Figure 13</b> : Morphologies et anatomie des mycorhizes M1, M2, M3.....   | <b>33</b> |
| <b>Figure 14</b> : Morphologie et anatomie des mycorhizes M4, M5, M6.....  | <b>34</b> |
| <b>Figure 15</b> : Morphologie et anatomie des mycorhizes M7, M8, M9.....  | <b>36</b> |
| <b>Figure 16</b> : Morphologie et anatomie des mycorhizes M10, M11.....  | <b>37</b> |
| <b>Figure 17</b> : Morphologie et anatomie des mycorhizes M12, M13.....  | <b>43</b> |
| <b>Figure 18</b> : Morphologie et anatomie des mycorhizes M14, M15.....  | <b>44</b> |
| <b>Figure 19</b> : Morphologie et anatomie des mycorhizes M16, M17.....  | <b>45</b> |
| <b>Figure 20</b> : Morphologie et anatomie des mycorhizes M18, M19, M20.....   | <b>46</b> |
| <b>Figure 21</b> : Morphologie et anatomie des mycorhizes M21, M22.....  | <b>47</b> |
| <b>Figure 22</b> : Morphologie et anatomie des mycorhizes M23, M24.....  | <b>48</b> |
| <b>Figure 23</b> : Anatomie et morphologie des mycorhizes M25, M26 .....   | <b>49</b> |
| <b>Figure 24</b> : Anatomie et morphologie des mycorhizes M27, M28, M29.....   | <b>50</b> |
| <b>Figure 24</b> : Anatomie et morphologie des mycorhizes M30, M31, M32.....   | <b>51</b> |
| <b>Figure 25</b> : Anatomie et morphologie des mycorhizes M33, M34, M35 .....  | <b>52</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figure 26</b> : Anatomie et morphologie des mycorhizes M36, M37, M38.....  | <b>53</b> |
| <b>Figure 27</b> : Anatomie et morphologie des mycorhizes M39, M40, M41.....  | <b>54</b> |
| <b>Figure 28</b> : Anatomie et morphologie des mycorhizes M42, M43, M44.....  | <b>55</b> |
| <b>Figure 29</b> : Anatomie et morphologie des mycorhizes M45,M46.....  | <b>56</b> |
| <b>Figure 30</b> : Vésicules observées au microscope optique grossissement (Gx400).....   | <b>57</b> |
| <b>Figure 31</b> : les hyphes observés au microscope optique au grossissement (Gx400).....  | <b>58</b> |
| <b>Figure 32</b> : Les structures arbusculaires de <i>Taxus baccata</i> observées au microscope optique au grossissement (Gx400)..... | <b>60</b> |
| <b>Figure 33</b> : Les structures endophytiques observées au microscope optique au grossissement (Gx400) .....                        | <b>61</b> |

# Liste des tableaux

## Partie théorique

**Tableau 1** : La Systématique de *Taxus baccata* selon (BRIDEL, 2007) .....06

**Tableau 2** : Comparaison des différents types de mycorhizes et leurs caractéristiques (Smith et Read, 2008).....17

## Partie pratique

**Tableau 3** : Températures moyennes mensuelles (°C) des et précipitations (mm) dans la région de Tigounatine. (1990-2020), d'après les données de l'ONM, (Guechi et Aissani, 2014).....27

# TABLEAU DE MATIÈRE

|                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| <i>Remerciements</i>               |              |
| <i>Dédicace</i>                    |              |
| <i>Liste des abréviations</i>      |              |
| <i>Liste des figures</i>           |              |
| <i>Liste des tableaux</i>          |              |
| <b>Introduction générale</b> ..... | <b>01-02</b> |

## **PARTIE THEORIQUE**

### **Chapitre I : Généralités sur l'espèce**

#### **Chapitre II : Les mycorhizes**

|   |              |
|---|--------------|
| <b>1 -Généralité sur <i>Taxus baccata</i>.L</b> .....     | <b>03</b>    |
| <b>1 -1-La répartition géographique</b> .....             | <b>03</b>    |
| A-En Algérie.....   | <b>03</b>    |
| B-Dans le monde .....                                     | <b>04-05</b> |
| <b>1-2-La description de l'espèce</b> .....               | <b>05</b>    |
| <b>1-2-1 - La position systématique de l'espèce</b> ..... | <b>05-06</b> |
| <b>1-2-2 -La description botanique de l'espèce</b> .....  | <b>06</b>    |
| 1) Le système racinaire.....                              | <b>06</b>    |
| 2) Le port .....  | <b>07</b>    |
| 3) Le troc.....   | <b>07</b>    |
| 4) L'écorce.....  | <b>07-08</b> |
| 5) Le bois.....   | <b>08</b>    |
| 6) Les rameaux.....                                       | <b>08</b>    |
| 7) Les feuilles.....                                      | <b>08-09</b> |
| 8) La graines.....  | <b>09-10</b> |
| 9) Les fleurs.....  | <b>10</b>    |
| 10) Le fruit.....   | <b>09</b>    |
| <b>1-3-L'écologie de l'espèce</b> .....                   | <b>12</b>    |
| <b>1-3-1-Habitat</b> .....                                | <b>12</b>    |
| <b>1-3-2-Les conditions climatiques</b> .....             | <b>12</b>    |
| <b>1-3-3-Eau et humidité</b> .....                        | <b>12</b>    |

|   |           |
|---|-----------|
| 1-3-4-La température.....                       | 12        |
| 1-3-5-La lumière.....                           | 12-13     |
| 1-3-6-Le sol.....                               | 13        |
| <b>1-4- Toxicité de l'if.....</b>               | <b>13</b> |
| <b>1-5- Intérêt de l'if.....</b>                | <b>13</b> |
| 1-5-1. Intérêt médicinal et pharmaceutique..... | 14        |
| 1-5-2. Intérêt écologique.....                  | 14        |
| a. Rôle écosystémique.....                      | 14        |
| b. Symbiose mycorhizienne.....                  | 14        |
| 1-5-3. Intérêt esthétique et symbolique.....    | 15        |

## **ChapitreII :Les mycorhizes**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1) Définition de mycorhize.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2) Types de mycorhizes.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2-1-Les ectomycorhizes.....</b>   | <b>18</b> |
| A-Le manchon mycélium.....   | 18        |
| B-Le réseau de Hartig.....   | 18-19     |
| C-Le réseau extra matriciel.....   | 19        |
| <b>2-2-Les endomycorhizes.....</b>   | <b>19</b> |
| 2-2-1-Les mycorhizes arbusculaires (AM).....                                       | 20        |
| 2-2-2-Les mycorhizes des orchidées.....  | 20        |
| 2-2-3-Les mycorhizes arbutoïdes.....   | 20        |
| 2-2-4-Les mycorhizes éricoïdes.....  | 22        |
| 2-2-5-Les mycorhizes monotropoïdes.....  | 22        |
| <b>2-3-Les ectendomycorhizes.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>3) Fonctions des mycorhizes et des champignons associés aux mycorhizes.....</b> | <b>24</b> |
| a.Optimisation de la nutrition minérale.....                                       | 24        |
| b.Influence des hormones sur la morphogenèse des racines.....                      | 24        |
| c. Résilience face aux stress abiotiques.....                                      | 24        |
| d. Défense contre les agents pathogènes.....                                       | 24        |
| e. Apport à la biodiversité et à la composition des écosystèmes.....               | 24-25     |
| f. Échanges nutritifs et symbiose mutualiste.....                                  | 25        |
| g. Perspectives dans le domaine d'agronomie et de l'environnement.....             | 25        |

# **PARTIE PRATIQUE**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I. Présentation de la station d'étude : Tigounatine, Massif du Djurdjura.....</b>                              | <b>26</b> |
| 1) Contexte géographique et écologique duDjurdjura.....   | 26        |
| 2) Caractéristiques de la station de Tigounatine.....   | 26        |
| <b>II . Intérêt écologique de Tigounatine.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>A). Justification du choix de la station pour l'étude du <i>Taxus baccata</i>.....</b>                         | <b>29</b> |
| <b>III. L'échantillonnage.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>1. Étude morphologique et anatomique des structures mycorhiziennes associées à <i>Taxus baccata L</i>.....</b> | <b>29</b> |
| 1-1-Description des ectomycorhizes.....   | 29-30     |
| 1-2-Description des endomycorhizes.....   | 29-30     |
| <b>IV. Résultats.....</b>   | <b>31</b> |
| <b>1. Les ectomycorhizes.....</b>   | <b>31</b> |
| 1-1-analyse morphologique et anatomique .....   | 31        |
| <b>2. les endomycorhizes... ..</b>  | <b>57</b> |
| 2-1 obsevation des vésicules endomycorhiziennes .....   | 54        |
| 2-2-observation des hyphes endomycorhiziens.....  | 58        |
| 2-3-observation des arbuscules.....   | 59        |
| 2-4- observation des structures endophtique.....  | 61        |
| <b>V. Discussion.....</b>   | <b>62</b> |
| <b>VI. Conclusion.....</b>  | <b>67</b> |

**Bibliographie.**

**Annexe.**



# Introduction générale

### Introduction générale

Les écosystèmes forestiers hébergent une diversité floristique exceptionnelle, incluant certaines espèces d'une grande valeur écologique et patrimoniale. L'if commun (*Taxus baccata* L.), une gymnosperme dioïque de la famille des Taxaceae, est notable pour sa longévité et sa rareté, mais surtout pour son rôle crucial sur le plan pharmacologique et écologique. Bien que l'if soit largement répandu en Europe, en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, ses populations ont subi une réduction significative, devenant localement isolées, fragmentées voire disparues dans certaines zones. Cette situation est principalement due à des facteurs d'origine humaine, tels que la surexploitation de l'espèce, la déforestation et le réchauffement climatique (Thomas et Polwart, 2003).

En Algérie, l'if est actuellement cantonné à un statut périphérique, apparaissant sous la forme de regroupements résiduels éparpillés, principalement dans les forêts de cèdres montagneuses et certaines forêts de chênes.

Bien que cette espèce ait une importance biogéographique indiscutable, elle ne bénéficie pas de mesures de conservation dédiées, à l'exception de quelques zones protégées comme le Parc National du Djurdjura. Chréa ou la réserve naturelle des Babors (Mehdadi et *al.*, 2017).

En termes d'écologie, l'if occupe une position structurante au sein des communautés végétales forestières. De plus, ses propriétés médicinales font de l'if une espèce d'importance mondiale: il est la source principale de taxol, un alcaloïde anticancéreux très prisé en pharmacologie. La combinaison de préoccupations écologiques et médicales justifie les multiples efforts de préservation réalisés en Europe, en contraste avec le manque d'études menées en Algérie (Thomas et Polwart, 2003).

Les symbioses mycorhiziennes jouent un rôle crucial parmi les éléments biotiques qui affectent la survie et l'évolution de *Taxus baccata* (Smith et Read, 2008)

Ces associations fongiques sont essentielles pour la nutrition minérale, la résistance au stress, l'expansion des racines et la défense contre les agents pathogènes. En créant de vastes réseaux dans le sol. Les champignons mycorhiziens favorisent considérablement l'absorption du phosphore de l'azote et d'autres éléments peu mobiles, tout en encourageant le développement des parties aériennes de la plante (Smith et Read, 2008 ; van der Heijden et *al.*, 2015)

L'analyse de ces relations mycorhiziennes chez l'if s'avère donc être un outil crucial pour appréhender sa dynamique écologique, ainsi que pour concevoir des stratégies de conservation et de réhabilitation écologique appropriées. Effectivement, des études récentes ont démontré que

## ***Introduction***

---

cette espèce a un statut mycorhizien hybride, combinant des endomycorhizes (arbusculaires) et des ectomycorhizes. en fonction des conditions environnementales et des partenaires fongiques disponibles dans la rhizosphère (Brundrett, 2009 ; Wang et Qiu ,2006 ; Harchaoui 2017).). Notre travail s'inscrit précisément dans cette démarche, avec l'objectif d'enrichir notre compréhension du statut mycorhizien de *Taxus baccata*.

# Partie théorique

# *Chapitre I*

**GÉNÉRALITÉS SUR TAXUS**

**BACCATA**

### 1. Généralités sur *Taxus baccata* L.

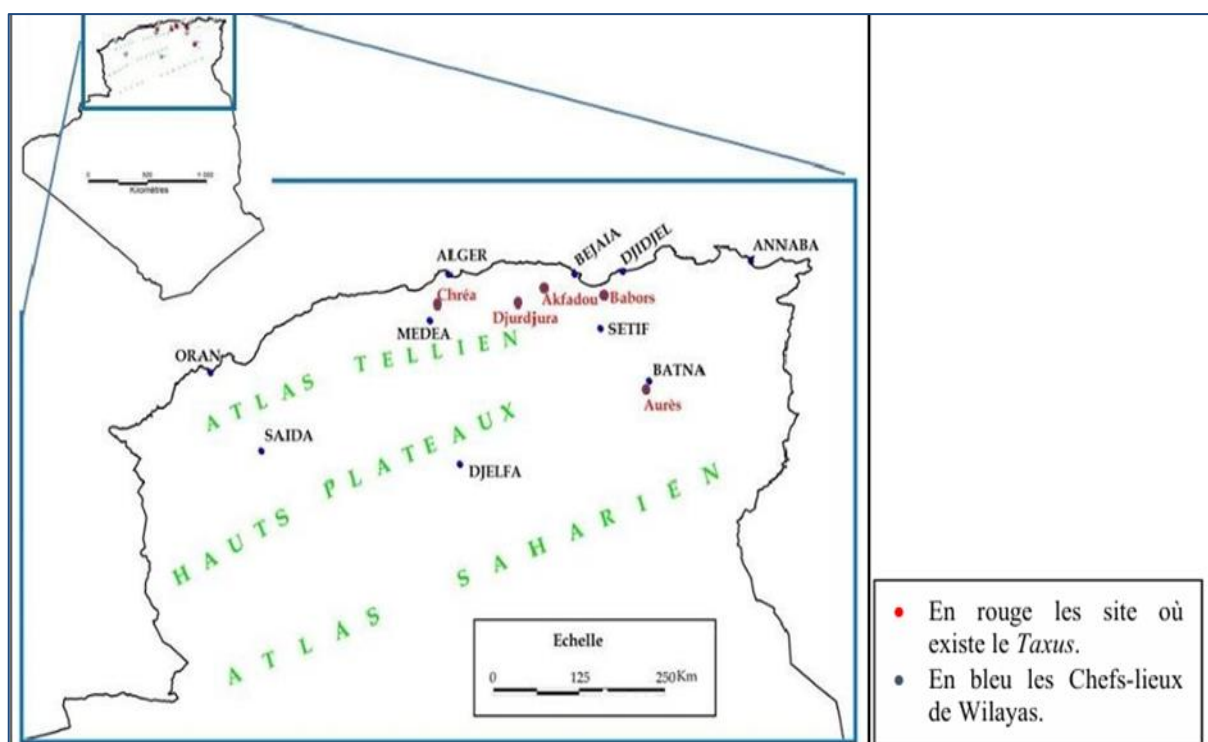
#### 1-1-La répartition géographique

##### A. En Algérie

*Taxus baccata* est principalement localisé dans les zones montagneuses du nord du pays. Il occupe des forêts spécifiques telles que celles de Tikjda, Tala Guilef et Akfadou, à des altitudes comprises entre 1300 et 1700 mètres (Quézel et Barbéro, 1989 ; Abdel, 2011).

Ces régions se caractérisent par un climat humide, des températures modérées et des sols bien drainés, réunissant ainsi des conditions écologiques favorables au développement de l'espèce (Hamidouche et al. ,2014).

La présence de *Taxus baccata* est également signalée dans les montagnes de Tlemcen, notamment au niveau de Ras El Afsour, ainsi que dans l'Atlas saharien et les Aurès, entre les massifs du Djebel Chelia et du Djebel Feraoun (Abdel, 2011) (**Fig 1**).



**Figure 1** : Carte de répartition de *Taxus baccata* en Algérie (Hamidouche et al., 2013)

### B. Dans le monde

L'if commun (*Taxus baccata* L.) est un conifère largement réparti dans de nombreuses régions de l'hémisphère Nord, principalement en Europe. Il est notamment présent en Scandinavie, où il peut atteindre jusqu'à 63° de latitude nord en Norvège et en Suède (Vidaković, 1991).

Son aire de répartition s'étend également aux régions méridionales du continent européen, telles que l'Italie, l'Espagne, le Portugal, la Grèce (Thomas et Polwart, 2003).

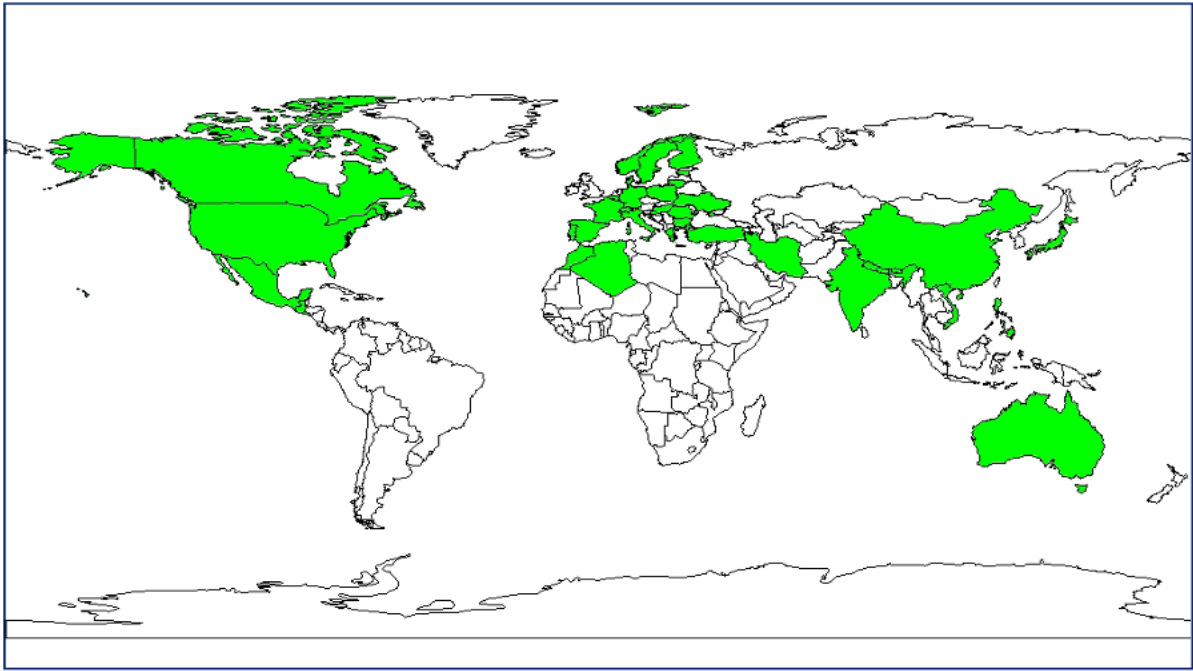
Vers l'est, *Taxus baccata* occupe des territoires allant de l'Estonie jusqu'à la Pologne, l'Ukraine, la Turquie, l'Iran, le Caucase et certaines régions de Russie, bien que sa présence y soit limitée par des conditions climatiques continentales rigoureuses (Schirone et al., 2010 ; Vessella et al., 2015).

L'espèce est également signalée sur les îles atlantiques des Açores, de Madère et des Canaries (Thomas et Polwart, 2003).

Dans le bassin méditerranéen, *Taxus baccata* se développe généralement en petits peuplements isolés, localisés dans des vallées ombragées et humides des zones montagneuses orientées vers le nord (Franco, 1986, cité dans Gracia et al., 2000 ; García et al., 2000 ; Thomas et Polwart, 2003).

En Andalousie, ces peuplements sont souvent restreints et dominés par des individus âgés, la régénération naturelle y étant limitée tant par semis que par drageonnement (Gracia et al., 2000).

Globalement, *Taxus baccata* est surtout associé aux forêts tempérées, où il prospère dans les sous-bois frais et ombragés (Thomas et Polwart, 2003) (**Fig 2**).



 Zone de répartition de *Taxus baccata*.

**Figure 2:** Répartition de *Taxus baccata* dans le monde (Orwa *et al.*, 2009 in Abdelli, 2011).

### 1-2-Description de l'espèce

#### 1-2-1- La position systématique de *Taxus baccata*

*Taxus baccata* est une Gymnosperme appartenant à la famille des Taxacée qui Comprend cinq genres (Cephalotaxus, Torreya, Podocarpus, Saxegothaea et Taxus) (Martin et Thiébault, 2010).

Le genre Taxus englobe selon Spjut (2007) huit espèces (*T.baccata* L, *T.brevifolia*, *T.canadensis*, *T.chinensis*, *T.cuspidata*, *T.floridana*, *T.globosa*, *T.wallichiana*).

**Tableau 1:** Selon (BRIDEL, 2007) Systématiquement, *Taxus baccata* L appartient à

|                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| <b>Embranchement :</b>      | Spermaphytes         |
| <b>Sous-embranchement :</b> | Gymnosperme          |
| <b>Classe :</b>             | Magnoliopsida        |
| <b>Ordre :</b>              | Taxales              |
| <b>Famille :</b>            | Taxacées             |
| <b>Genre :</b>              | Taxus                |
| <b>Espèce :</b>             | <i>Taxus baccata</i> |

### 1-2-2-Description botanique de l'espèce

*Taxus baccata*, est une espèce arborée millénaire, qui se caractérise par ses feuilles persistantes, sa croissance lente et a s'épanouir dans des conditions de faibles luminosité ce qui en fait une espèce sciaphile (Svenning et Magard, 1999; Delahunty, 2002, Thomas et Polwart, 2003; Thomas, 2010; Presutti Saba, 2013).

#### 1) Le système racinaire

Le système racinaire de *Taxus baccata* se caractérise généralement par une architecture fasciculée, étalée et peu profonde, avec un développement limité de la racine pivotante, en particulier sur des sols meubles. Il est constitué de nombreuses racines latérales fines et ramifiées, qui assurent un ancrage solide ainsi qu'une absorption efficace de l'eau et des nutriments dans les couches superficielles du sol. Ce système, à la fois horizontal et capable de s'adapter aux terrains rocheux en s'insinuant dans les fissures, combine une extension superficielle significative et une certaine profondeur, permettant ainsi à l'if de coloniser et de stabiliser des terrains escarpés. Cette configuration contribue également à sa tolérance relative à la transplantation, notamment chez les jeunes plants (Chetan et *al.*, 1994 ; Presutti Saba, 2013 ; Thomas et Polwart, 2003).

### 2) Le port

L'if présente une grande variabilité dans son port, pouvant revêtir des formes arrondies ou pyramidales, avec une couronne large ou conique dont la naissance se situe fréquemment bas sur le tronc (Maire, 1953 ; Leuthold, 1980). La taille de l'arbre peut varier grandement en fonction des conditions de croissance, allant de 3 à 9 mètres pour les individus du sous-bois. Selon Mosadegh (2004), on peut atteindre jusqu'à 20 à 32,5 mètres, voire même exceptionnellement 40 mètres dans des conditions favorables (**Fig 3**).



**Figure 03** : Port de l'if (Guechoud , 2014)

### 3) Le tronc

Le tronc de *Taxus baccata* est fréquemment multibrins, devenant plus arbustif lorsqu'il n'est pas en sous-bois (Rameau et *al.*, 1993 in Martin et Thiébault, 2010; Thomas et Polwart, 2003). Morphologiquement, il se distingue par des cannelures longitudinales marquées, ainsi que par des branches inférieures très proche du sol (Maire, 1953; Delahunty, 2002)

Le développement du tronc est souvent asymétrique influencé par des facteurs abiotiques tels que la pente, l'humidité et l'ombrage (Moire, 1999).

### 4) L'écorce

L'écorce présente une couleur allant du rougeâtre au brun foncé, avec une texture évoluant de lisse à squameuse selon le stade de développement de l'arbre. Elle est mince et se compose d'écailles imbriquées et étroitement appliquées contre le tronc (Cope, 1998; Delahunty, 2002; Thomas et Polwart, 2003). Chez les individus plus âgés, elle tend à devenir plate et plus sombre, adoptant des teintes allant du brun foncé au rouge renard, et se détache en plaques irrégulières de taille variable (Dörken et Hetzel, 2017).

Cette diversité dans les caractéristiques de l'écorce et ce mode de desquamation, semblable à celui observé chez le platane, sont souvent utilisés comme critères distinctifs pour identifier l'espèce (Leuthold et *al.*, 1980).

### 5) Le Bois

Les bois de l'if est connu par sa densité élevée, une texture fine et homogène, ainsi qu'une teinte rouge grenat au niveau du cœur, tandis que l'aubier présente une minceur et une coloration blanc jaunâtre. Ce bois est non résineux, inodore, et dépourvu de canaux ou de poches résinifères (Rudow et *al.*, 2004; Maire, 1953; Cope, 1998) et sa composition inclut des cernes de croissance bien définis, des rayons médullaires très fins et des trachéides présentant des épaissements spiralés (Schweingruber, 1990). La durabilité de bois est accentuée par la présence notable de cristaux d'oxalate de calcium dans le phloème et par une faible teneur en cellulose (Presutti, Saba, 2013). Néanmoins, malgré sa résistance à la décomposition le bois du cœur des arbres de grande tailles, au-delà de 4,5 mètres est souvent creux et altéré (Moire, 1999).

### 6) Les rameaux

Les rameaux sont nombreux, étalés, plus ou moins horizontaux, ascendants, alternes, irréguliers et minces (**Fig 7**). (Maire, 1952; Quézel et Santa, 1962; Cope, 1998; Thomas et Polwart, 2003). Ils sont de couleur verte durant la 1<sup>ère</sup> année chez les jeunes individus, puis évoluent vers des teintes jaune-vert, olive-vert, rouge-orangé ou brun-rougeâtre à mesure qu'ils vieillissent (Quézel et Santa, 1962; Cope, 1998, Thomas et Polwart, 2003; Rameau, 2008).

### 7) Les feuilles

Le feuillage de l'if (*Taxus baccata*) est de nature persistante, pouvant demeurer sur l'arbre jusqu'à huit ans (Delahunty, 2002). Il se compose d'aiguilles simples, allongées, plates et disposées de manière individuelle. Ces aiguilles mesurent en moyenne entre 1 et 4 cm de longueur et environ 2 mm de largeur (Pignatti, 1982 ; Vallata, 2009 ; Guechoud, 2014). Bien que les aiguilles soient insérées en spirale, leur disposition crée l'illusion d'un alignement en deux rangées opposées, en raison de la torsion du pétiole (Pignatti, 1982). La face supérieure des feuilles présente une teinte vert foncé luisante, tandis que la face inférieure est plus claire, parfois jaunâtre, et présente deux bandes stomatiques blanchâtres (Rameau et *al.*, 2008 ; Hamidouche et *al.*, 2014). Chaque aiguille se termine par une petite pointe souple, dépourvue de caractère piquant, et les stomates sont exclusivement présents sur leur face inférieure (Dörken et Hetzel, 2017). Les aiguilles sont insérées de manière alternée, parfois avec un court pétiole, et peuvent

atteindre jusqu'à 35 mm de longueur (**Fig7**) (Maire, 1953 ; Cope, 1998 ; Thomas et Polwart, 2003 ; Martin et Thiebault, 2010).

### 8) Les graines

Les graines présentent une forme ovoïde, une texture lisse et brillante, ainsi qu'une extrémité pointue, arborant une coloration variant de brun jaunâtre au jaune brun. Leur taille est d'environ 6 à 7 mm de longueur et 5 mm de largeur et elles sont recouvertes par un arille charnu (**Fig 4**).

A maturité, durant la saison automnale, l'arille acquiert une teinte rouge vif, ce qui attire les animaux frugivores, qui joue un rôle dans la dissémination des graines (Scheeder et *al.*, 1994; Thomas et Polwant, 2003; Delahunty, 2002; Leuthold, 1980; Schütt, 1995) .



**Figure 04** : Graines de l'if (Source : Google)

### 9) La fleur

L'if est une espèce dioïque dont la période de floraison s'étend de mars à avril (Quézel, 1962; Maire, 1953).

- Les fleurs mâles sont nombreuses, se présentent sous la forme de chatons globuleux et jaunâtres situés à l'aisselle des aiguilles (**Fig 5**) ; elles comportent entre 6 et 15 étamines, chacune renferment de 6 à 8 sacs polliniques (Delahunty, 2002; Vallata, 2009).
- Les fleurs femelles sont solitaires, discrètes et de couleur verdâtres, et émergent à l'aisselle des rameaux âgés de 20 ans .Elles se composent d'un ovule unique entouré de bractées écailleuses imbriquées (Quézel, 1962, Maire, 1953) (**Fig 5**).



**Figure 05 :** Fleurs mâles (Guechoud , 2014)

### 10) Le fruit

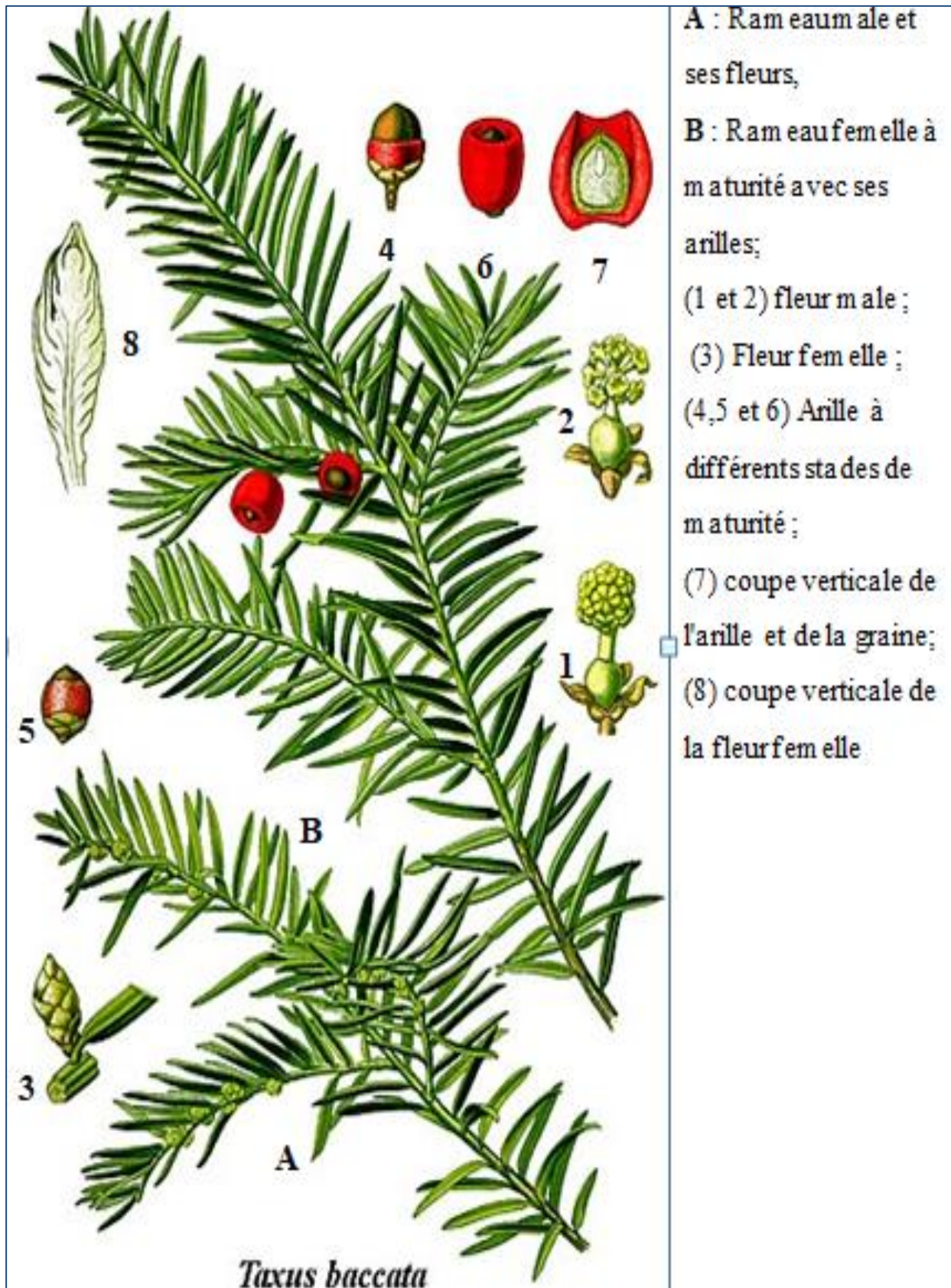
Chez *Taxus baccata*, le fruit, en réalité un faux fruit appelé arille, est la seule partie comestible de l'arbre. De couleur rouge vif à maturité, mesurant environ 9mm, avec une extrémité ouverte et un goût sucré (Maire, 1953; Delahunty, 2002; Thomas et Polwart, 2003) (**Fig 6**).

L'arille se développe suite à la floraison printanière, à partir d'un tissu charnu qui enveloppe progressivement la graine (Leuthold et *al.*, 1980).

La maturation des fruits s'effectue entre les mois d'août et d'octobre



**Figure 6:** Fruits (arilles) (Guechoud, 2014)



A : Ram eau m ale et ses fleurs,  
 B : Ram eau fem elle à m aturité avec ses arilles;  
 (1 et 2) fleur m ale ;  
 (3) Fleur fem elle ;  
 (4,5 et 6) Arille à différents sta des de m aturité ;  
 (7) coupe verticale de l'arille et de la graine;  
 (8) coupe verticale de la fleur fem elle

Figure 7: Illustration des différents organes de l'if (Thomé, 1885 in Martin et Thiébault, 2010, in Guechoud , 2016).

### 1-3- Écologie de l'espèce

#### 1-3-1- Habitat

*Taxus baccata* est une espèce discrète mais écologiquement significative des forêts de feuillus, de conifères ou mixtes. Elle est souvent rencontrée en petites populations dans des formations végétales comme les hêtraies, les hêtraies-sapinières, ainsi que, plus rarement, dans les tillaies-éablières ou les chênaies pubescentes (Rameau et *al.*, 1993; Verrière et Cuvilier, 2001 ; Thomas et Polwart, 2003). L'if apprécie particulièrement les ravins et les vallées, où l'humidité est élevée et où le sol s'accumule discrètement (Presutti Saba, 2013). De nos jours, l'if ne forme plus de vastes forêts mais constitue des bosquets denses sur la façade atlantique et devient de plus en plus isolé dans les zones à climat continental (Thomas et Polwart, 2003). Les forêts naturelles d'ifs sont extrêmement rares en Europe (Martin et Thiébault, 2010).

#### 1-3-2- Les conditions climatiques

Le climat joue un rôle clé dans la distribution de *Taxus baccata*. Elle se développe principalement dans des zones à climat océanique doux. Sa régression dans de nombreuses régions est principalement liée au changement climatique et à l'appauvrissement écologique de ses habitats naturels (Thomas et Polwart, 2003). L'if prospère dans les climats frais et humides de l'Europe de l'Ouest, où les conditions sont généralement modérées, et il est absent des régions au climat plus continental, où les hivers longs et rigoureux et les sécheresses prolongées sont fréquents (Piovensan et *al.*, 2009).

#### 1-3-3-Eau et humidité

*Taxus baccata* est particulièrement résistant à la sécheresse. Ses aiguilles peuvent supporter de fortes déshydratations en raison de leur capacité à fermer rapidement les stomates lors de périodes de déficit hydrique (Eichenberger et Heiselmayer, 1995). Bien qu'il puisse s'implanter dans des milieux avec peu d'eau souterraine, l'if préfère les environnements où l'humidité de l'air est relativement élevée ou où des pluies abondantes compensent les déficits en eau. Il est particulièrement performant dans des régions où la pluviométrie annuelle dépasse 1000 mm (Thomas et Polwart, 2003). La distribution forestière de l'if est fortement influencée par l'humidité ambiante, et il est souvent observé en bouquets ou en isolé, colonisant les zones humides le long des cours d'eau et dans les stations fraîches (Hamidouche et *al.*, 2014).

#### 1-3-4-Température

*Taxus baccata* est une espèce mésophile, capable de tolérer des températures modérées, mais sensible aux gelées sévères et prolongées. Selon Meddour (1994), la plage de température optimale pour sa photosynthèse se situe entre 14 et 25°C. L'if peut survivre dans des

températures maximales allant de 38 à 41°C et peut tolérer des températures minimales de -3 à -5°C (Thomas, 2010). Bien que l'espèce soit résistante aux températures élevées, elle reste sensible aux froids intenses, ce qui limite sa distribution dans les zones plus froides.

### 1-3-5- Lumière

*Taxus baccata* est une espèce tolérante à l'ombre, typique des sous-bois forestiers. Elle se développe bien dans des conditions de faible luminosité, à l'ombre des arbres plus grands, où la lumière est filtrée. Bien qu'elle préfère les environnements ombragés ou partiellement éclairés, une lumière trop faible peut limiter sa croissance. Cette capacité à prospérer dans des sous-bois sombres en fait une espèce importante dans les forêts mixtes, où elle colonise les zones d'ombre (Thomas et Polwart, 2003).

### 1-3-6-Sol

L'if préfère les sols calcaires, riches en éléments chimiques. Il peut se développer sur des sols acides, qu'ils soient d'origine alluviale ou morainique (Thomas et Polwart, 2003). Plusieurs études ont indiqué qu'il se développe de manière optimale sur des sols limoneux profonds, riches en humus et bien humidifiés. Il peut aussi croître sur des sols sableux humides ou des argiles bien drainées. Cependant, il préfère éviter les terrains secs, rocheux ou sablonneux, ainsi que les sols saturés en eau ou soumis à de longues périodes d'inondation, comme cela se produit dans certaines zones alluviales (Moir, 1999 ; Delahunty, 2002 ; Thomas et Polwart, 2003 ; Presutti Saba, 2013).

### 1-4-Toxicité de l'if

L'if commun (*Taxus baccata*), une plante ornementale couramment trouvée en Europe, est réputé pour sa grande toxicité depuis l'Antiquité. Autrefois, les Gaulois employaient ces extraits pour empoisonner leurs flèches (Vallata, 2009). Selon Guechoud (2016), cette toxicité est due à la présence de taxoïdes, en particulier les alcaloïdes diterpènes tricycliques tels que les taxines A et B, le taxol (paclitaxel) et la céphalomannine. Ces composés agissent essentiellement sur le système nerveux et cardiovasculaire. Chaque partie de la plante est toxique, y compris les aiguilles, le bois, l'écorce, les rameaux et les racines. Seule la pulpe rouge (arille) qui entoure la graine est comestible (Centre Antipoisons, 2023). La toxicité fluctue en fonction de la saison, du milieu ambiant et de l'espèce végétale. Durant l'hiver, les aiguilles affichent leur plus forte concentration en taxines (Guechoud, 2016).

### 1-5-Intérêt et usage de l'if

#### 1-5-1. Intérêt médicinal et pharmaceutique

*Taxus baccata* L. est largement reconnu pour son importance en médecine moderne grâce à la présence de composés anticancéreux puissants, les taxoïdes. Le plus célèbre d'entre eux est le paclitaxel (Taxol), initialement isolé à partir de *Taxus brevifolia*, mais dont les précurseurs, comme la baccatine III, sont également présents dans les feuilles et les aiguilles de *T. baccata* (Wani et al., 1971 ; Kingston, 2007). Le paclitaxel agit en inhibant la dépolymérisation des microtubules, ce qui bloque la division cellulaire, rendant cette molécule très efficace dans le traitement de divers cancers tels que ceux du sein, de l'ovaire et du poumon.

Cependant, en raison de la rareté de l'espèce et de sa croissance lente, l'extraction massive du paclitaxel à partir de l'arbre entier n'est plus soutenable. C'est pourquoi des stratégies biotechnologiques ont été mises en place, notamment la culture in vitro de cellules de *T. baccata* ou l'ingénierie microbienne, permettant une production durable et contrôlée du taxol (Frense, 2007).

#### 1-5-2. Intérêt écologique

##### a. Rôle écosystémique

Sur le plan écologique, *Taxus baccata* joue un rôle fondamental dans la structure et le fonctionnement des forêts tempérées. Son feuillage persistant assure un abri pour de nombreuses espèces animales, et son port dense permet de limiter l'érosion des sols, particulièrement dans les zones rocheuses ou de montagne (Thomas et Polwart, 2003). Bien qu'il soit toxique pour la plupart des herbivores, il participe activement à la biodiversité végétale, notamment en favorisant un microclimat humide propice à d'autres espèces de sous-bois (Khan et Ghosh, 2020).

##### b. Symbiose mycorhizienne

Par ailleurs, l'if commun forme des symbioses avec des champignons ectomycorhiziens spécifiques, qui améliorent sa nutrition minérale, sa résistance à la sécheresse et aux conditions de sols pauvres (Smith et Read, 2008). Une étude récente a démontré que les communautés mycorhiziennes associées à *T. baccata* sont distinctes et riches en diversité fongique dans les forêts calcaires (Heklau et al., 2023), ce qui souligne l'importance de ces associations dans la conservation de l'espèce et des habitats forestiers.

### 1-5-3. Intérêt esthétique et symbolique

Grâce à son feuillage sombre et persistant, *Taxus baccata* est très utilisé dans l'aménagement paysager. Il est particulièrement apprécié pour les haies taillées, les topiaires et les jardins formels, notamment dans les jardins à la française ou dans les cimetières, où sa longévité est associée à la pérennité (Rushforth, 1999).

Sur le plan symbolique, l'if occupe une place importante dans plusieurs traditions culturelles européennes. Chez les Celtes, il était considéré comme un arbre sacré représentant l'éternité et le cycle de la mort et de la renaissance. Cette symbolique s'est perpétuée à travers les siècles, expliquant sa présence fréquente dans les églises, les monastères et les sites funéraires (Thomas et Polwart, 2003).

# *Chapitre II*



## LES MYCORHIZES

### **1) Définition de mycorhize**

Les mycorhizes sont des associations symbiotiques durables entre les racines des plantes et des champignons du sol. Dans cette interaction mutualiste, les champignons reçoivent des sucres issus de la photosynthèse de la plante, tandis qu'ils facilitent l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs essentiels, en particulier le phosphore et l'azote. Cette relation améliore significativement la croissance des plantes, leur résistance aux stress abiotiques et leur capacité à coloniser divers types de sols (Smith & Read, 2008). Le concept de symbiose, utilisé pour la première fois par le biologiste allemand Albert Bernhard Frank en 1877, a précisément été introduit pour décrire ce type d'association entre racines et champignons (Frank, 1877). Depuis, les recherches ont mis en évidence le rôle fondamental des mycorhizes dans la dynamique des écosystèmes terrestres, leur diversité fonctionnelle et leur contribution majeure à la santé des sols (Brundrett, 2004).

### **2) Type des mycorhizes**

Il existe plusieurs types de mycorhizes en fonction de l'anatomie de la symbiose et des espèces végétales impliquées (**Tableau 2**).

## Chapitre II: Les mycorhizes

**Tableau 2 :** Comparaison des différents types de mycorhizes et leurs caractéristiques (Smith et Read, 2008).

|                    | MA <sup>(1)</sup>              | ECM <sup>(2)</sup>            | Ectendomycorhizes | Mycorhizes arbutoïdes | Mycorhizes monotropoïdes | Mycorhizes éricoïdes | Mycorhizes orchidoïdes |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|
| <b>Champignon</b>  |                                |                               |                   |                       |                          |                      |                        |
| Hyphes             |                                |                               |                   |                       |                          |                      |                        |
| avec cloison       | -                              | +                             | +                 | +                     | +                        | +                    | +                      |
| sans cloison       | +                              | -                             | -                 | -                     | -                        | -                    | -                      |
| Arbuscules         | +                              | -                             | -                 | -                     | -                        | -                    | -                      |
| Pelotons           | -                              | -                             | +                 | +                     | +                        | +                    | +                      |
| Manteau            | -                              | +                             | + ou -            | + ou -                | +                        | -                    | -                      |
| Réseau de Hartig   | -                              | +                             | +                 | +                     | +                        | -                    | -                      |
| Taxon              | Gloméro.                       | Basidio./Asco.<br>(Gloméro.)' | Basidio./Asco.    | Basidio.              | Basidio.                 | Asco.                | Basidio.               |
| <b>Plante hôte</b> |                                |                               |                   |                       |                          |                      |                        |
| Taxon              | Bryo./Ptérido.<br>Gymno./Angio | Gymno./Angio.                 | Gymno./Angio.     | Erica.                | Monotropa.               | Erica./Bryo.         | Orchida.               |
| Chlorophylle       | + (-)*                         | +                             | +                 | +                     | -                        | +                    | -**                    |

(1) MA= mycorhizes à arbuscules, (2) ECM = Ectomycorhizes, Gymno.=Gymnosperme ; Angio. Angiospermes ; Erica. =Ericacées ; Monotropa.=Monotropacées ; Orchida. =Orchidacées  
Gloméro. =Gloméromycota ; Basidio.=Basidiomycota ; Asco. =Ascomycota ; Bryo. =Bryophytes ; Ptérido. =Ptéridophytes

ECM =ectomycorhizes ; - =absent ; + = présent ; \*= rare;\*\* =les Orchidaceae ne sont pas chlorophylliennes au stade juvénile

### 2-1-les ectomycorhizes

Les arbres forestiers comme les pins, les chênes et les bouleaux sont principalement liés aux ectomycorhizes. Elles concernent des champignons de type Basidiomycètes ou Ascomycètes qui créent une couverture fongique autour des racines et un réseau de Hartig s'étendant dans les espaces intercellulaires, sans toutefois pénétrer les cellules végétales. Ces symbioses sont essentielles pour l'absorption de l'eau et des nutriments, surtout dans les sols démunis ou pollués, et offrent une tolérance accrue face au stress hydrique et aux métaux lourds (Strullu, 1991 ; L'Huillier et *al.*, 2010).

Les ectomycorhizes présentent une structure morpho-anatomique sophistiquée et spécialisée, qui témoigne d'une coévolution adaptative entre les champignons symbiotiques et leurs hôtes végétaux. Trois structures essentielles garantissent les fonctions d'échange et de protection propres à cette symbiose : le revêtement fongique, le maillage de Hartig et le réseau hors-matriciel (**Fig 9.A**).

#### **a) Le manchon mycélien (ou manteau fongique)**

Le manteau fongique est une enveloppe dense et ininterrompue de filaments mycéliens qui enveloppe intégralement les racines latérales de la plante. Il est constitué d'un plectenchyme, un tissu mycologique formé d'hyphes étroitement liés ou entremêlés, répartis en deux zones distinctes (Strullu, 1991) :

- **Une zone externe** : formée d'hyphes faiblement ramifiés en contact direct avec le sol, joue un rôle dans l'absorption de l'eau et des minéraux.
- **Une zone interne** : formée d'hyphes plus denses, parfois fusionnés, qui interagit directement avec les tissus des racines.

Ce manteau agit comme une barrière physique contre les agents infectieux et les agressions abiotiques, tout en diminuant les pertes d'eau au niveau des racines (Agerer, 2001). De plus, il produit des enzymes extracellulaires comme les phosphatases, les protéases et les oxydases, qui favorisent la libération de nutriments liés organiquement tels que le phosphore ou l'azote organiques présents dans la litière (Courty et *al.*, 2010).

Son rôle est fréquemment comparé à celui d'une interface synaptique, en raison de l'intensité et de la spécificité des interactions biochimique qui s'y déroulent.

#### **b) Le réseau de Hartig**

Le réseau de Hartig désigne un mécanisme d'infiltration fongique localisé dans les espaces intercellulaires du cortex des racines, sans toutefois que les cellules elles-mêmes soient pénétrées (Peterson et *al.*, 2004). C'est le principal lieu d'échange bidirectionnel entre la plante et le

champignon. Dans le cas des Angiospermes, ce réseau reste habituellement confiné à la couche épidermique, alors que pour les Gymnospermes, il est susceptible de se déployer sur plusieurs couches corticales (Strullu, 1991).

Ce réseau amplifie grandement la zone d'interaction entre les partenaires, rendant plus aisée l'assimilation de phosphore, d'azote et autres minéraux par la plante, de même que le passage de composés carbonés tels que les sucres et acides aminés au champignon (Smith et Read, 2008).

### **Le réseau extra matriciel (également appelé hyphes explorateurs)**

En plus de mycélium, le champignon crée un réseau de filaments connu sous le nom de réseau extra matriciel, qui est composé d'hyphes explorateurs se propageant de manière active dans le sol. Ces hyphes amplifient de manière significative le volume de sol que la plante explore, accédant à des nutriments qui sont inaccessibles uniquement via le système racinaire (Harley et Smith, 1983)

Il existe diverses formes

- ♣ Des hyphes libres, minces et exploratoires ;
- ♣ Des mycéliums, constitués de multiples hyphes parallèles structurés pour favoriser le transport ;
- ♣ Rhizomorphes, structures épaisses et distinctes, sont spécialisées dans le transport à grande distance de l'eau et des nutriments (Smith et *al.*, 1995).

Ce système favorise l'assimilation efficace de nutriments peu mobiles tels que le phosphore (P), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) (Taylor et Alexander, 2005), et contribue à améliorer la tolérance de la plante face à divers stress environnementaux, tels que la sécheresse, la salinité ou la pollution métallique (Voiry, 1980).

### **2-2- Les endomycorhizes**

Les endomycorhizes sont un type de symbiose mycorhizienne dans laquelle les hyphes du champignon pénètrent directement à l'intérieur des cellules corticales des racines de la plante hôte (**Fig 9**). Contrairement aux ectomycorhizes, qui restent dans les espaces intercellulaires et forment un manteau externe, les endomycorhizes établissent un contact intracellulaire, favorisant une surface d'échange accrue entre les deux partenaires (Smith et Read, 2008 ; Brundrett, 2004).

Il existe plusieurs types d'endomycorhizes :

### 2-2-1-Les mycorhizes arbusculaires (MA)

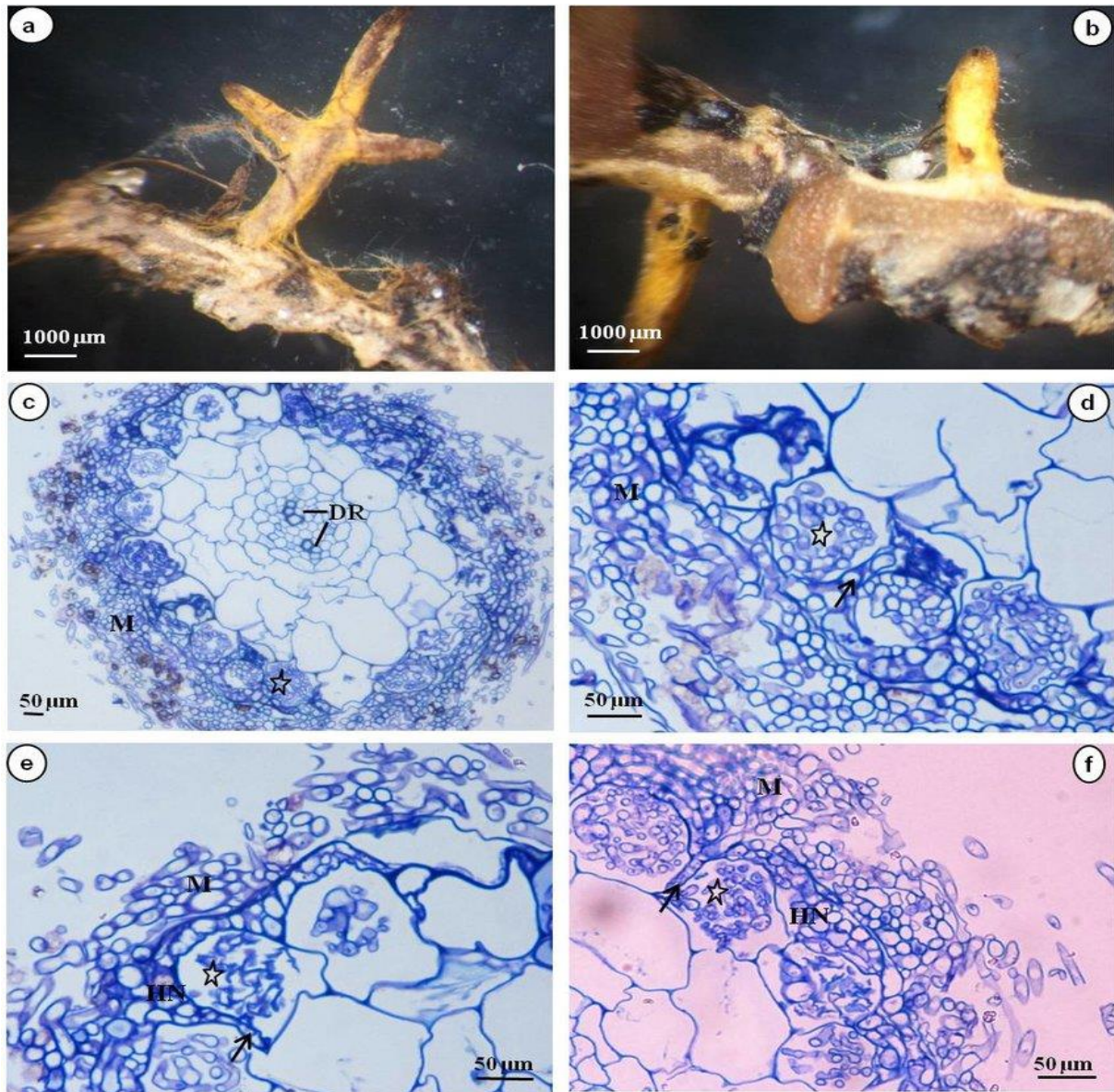
- Près de 80 % des espèces végétales sont impliquées dans ce genre de symbiose (Smith et Read, 2008).
- Les champignons de l'ordre Glomeromycota sont principalement responsables de la formation des mycorhizes arbusculaires, qui sont les plus répandues. Ils génèrent des structures à l'intérieur de la cellule nommées arbuscules, qui facilitent le transfert de nutriments (**Fig 9.B**).
- Elles boostent l'absorption du phosphore, renforcent la résistance aux agents pathogènes et diminuent la dépendance aux fertilisants chimiques.

### 2-2-2-Les mycorhizes des orchidées

Ces mycorhizes sont essentiels à la germination des orchidées, dont les graines sans réserves ont besoin d'une contribution fongique pour leur croissance. Les champignons, surtout les Basidiomycètes (Tulasnellaceae, Ceratobasidiaceae, Serendipitaceae), constituent des agrégats intracellulaires qui sont par la suite métabolisés par la plante (**Fig 9.C**) (Dearnaley et *al.*, 2012 ; Lallemand, 2018).

### 2-2-3-Les mycorhizes arbutoïdes

Certaines Éricacées ligneuses (telles que les arbousiers) présentent ces mycorhizes qui possèdent les attributs tant d'ecto- que d'endomycorhizes. Le champignon s'introduit dans l'épiderme tout en demeurant limité aux strates superficielles (**Fig 8**).



**Figure 8 :** Observations des mycorhizes arbutoïdes, après un mois, dans les tubes de synthèse inoculés avec *P. arhizus* :

a-racines présentant une apparence cruciforme ;

b-détail du manteau épais jaune pâle à jaune-brun recouvrant la surface de la racine ;

c-coupe transversale d'une racine mycorhizée montrant le modèle d'organisation du faisceau vasculaire de la racine diarch (DR), le manteau (M) et les complexes hyphales intracellulaires (étoile), qui étaient confinés à l'épiderme ;

d à f -détails des coupes transversales montrant le manteau (M), le réseau de Hartig (RH), les hyphes du réseau de Hartig parépidermiques (flèches) et les complexes hyphales intracellulaires sectionnés (étoiles) dans les cellules épidermiques.

### 2-2-4-Les mycorhizes éricoïdes

Cette forme de mycorhize est propre aux plantes appartenant à la famille des Éricacées (par exemple : bruyères, myrtilles), qui se développent fréquemment dans des sols acides et déficients en nutriments (**Fig 9.D**).

- Les champignons infiltrent les cellules superficielles de la racine, créant des agglomérats à l'intérieur des cellules.
- Ils favorisent la décomposition de la matière organique et l'intégration de l'azote organique (Read, 1991 ; Fortin et *al.*, 2016).

### 2-2-5-Les mycorhizes monotropoïdes

Ces mycorhizes, dérivant des ectomycorhizes, sont liées à des plantes mycohétérotrophes telles que les Monotropes. Elles offrent à ces plantes la possibilité de parasiter le réseau mycorhizien et d'accéder indirectement aux sucres issus de la photosynthèse des arbres (Garbaye, 2013). Un hyphes unique envahit les cellules épidermiques, et la cellule hôte crée une structure distincte autour de celui-ci (**Tableau 2**) (Peterson et *al.*, 2004 in Harchaoui, 2017). Seul un nombre restreint de Basidiomycota contribue à cette symbiose (Smith et Read, 2008).

### Les ectendomycorhizes

Ces mycorhizes intermédiaires combinent des caractéristiques des deux types précédents : un manteau fongique externe et une colonisation intracellulaire bien structurée (**Fig 9.E**). On les observe surtout chez les conifères (Strullu, 1991).

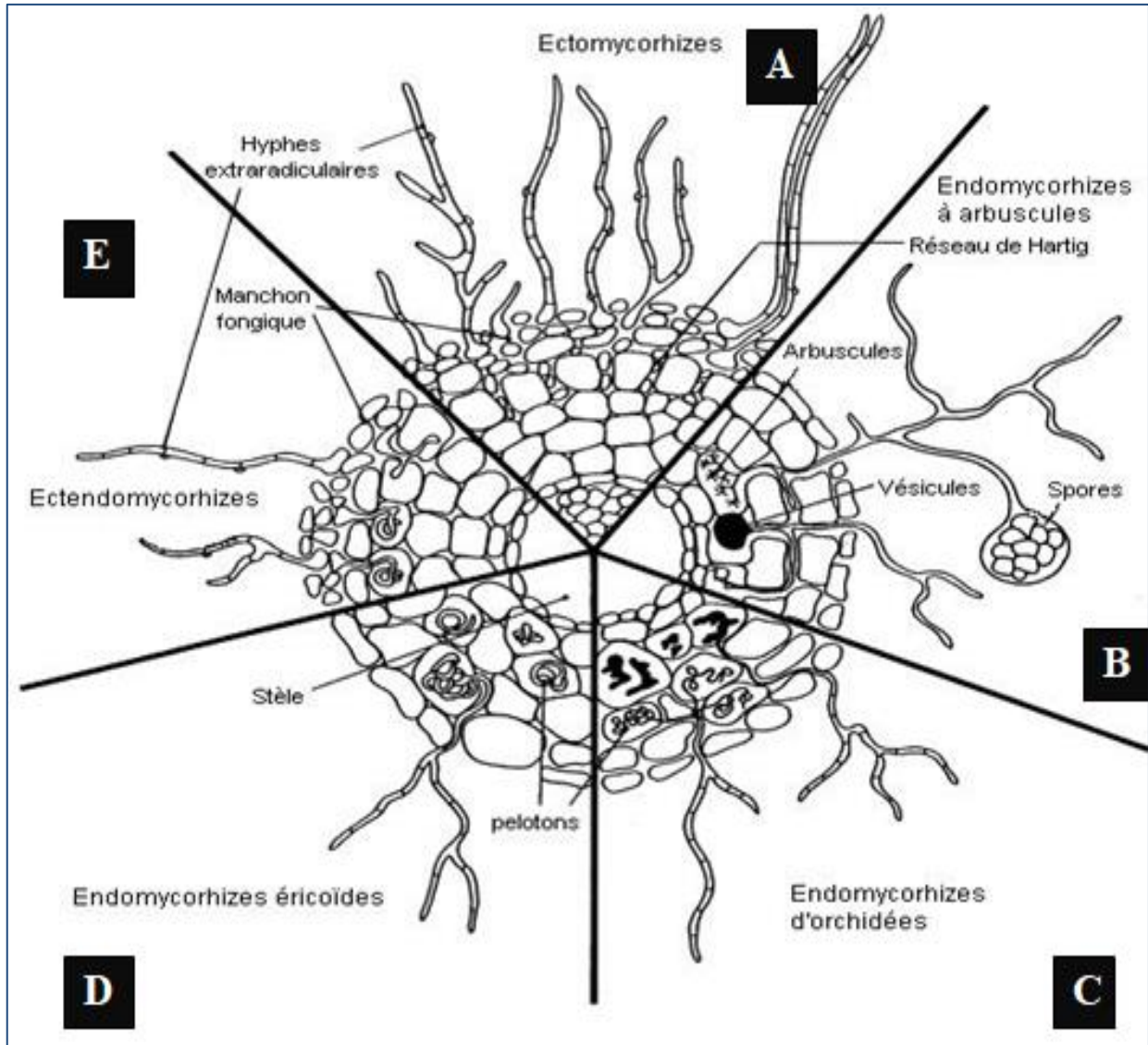


Figure 9: Les différents types d'associations mycorhiziennes ( Selosse et Le Tacon, 1998).

### 3) Fonctions des mycorhizes et des champignons associés aux mycorhizes

#### a. Optimisation de la nutrition minérale

Les champignons mycorhiziens, en tissant un large réseau d'hyphes dans le sol, offrent à la plante la possibilité d'explorer une zone de sol nettement plus étendue que celle accessible uniquement par ses racines. Ces hyphes s'introduisent dans des micropores non atteignables par les racines, facilitant donc l'absorption de divers nutriments comme le phosphore, l'azote, le potassium, le calcium, le magnésium, le zinc et le cuivre (Smith, 2011). Cette aptitude permet aux végétaux d'améliorer leur nutrition et de stimuler leur croissance (L'Huillier et *al.*, 2010 ; Abuzinadah et Read, 1989 ; Dighton et *al.*, 1990, 1993).

#### b. Influence des hormones sur la morphogenèse des racines

Certaines espèces de champignons mycorhiziens génèrent des hormones de croissance, dont les auxines telles que l'acide indole-3-acétique (AIA), qui encouragent la division des racines et transforment la structure racinaire (Garbaye, 2013). Ce développement favorise la communication entre la plante et le mycète, en particulier pour le transport de sucres, et stimule favorablement l'expansion des parties aériennes (Fortin et *al.*, 2008 dans Harchaoui, 2017).

#### c. Résilience face aux stress abiotiques

Les mycorhizes augmentent la résistance des végétaux face aux conditions abiotiques difficiles. Ces dernières augmentent la résilience à la sécheresse par le biais de l'accroissement de la conductivité hydraulique et de l'activité des aquaporines racinaires (Porcel et *al.*, 2012), tout en facilitant la régulation ionique face à la salinité (Evelin et *al.*, 2009). Elles peuvent également restreindre l'absorption des métaux lourds en les fixant dans le sol ou les tissus fongiques (Göhre et Paszkowski, 2006 ; Leyval, 2005). Des espèces comme le *Cenococcum geophilum* ont pour rôle de préserver les racines de la déshydratation (Drenou et *al.*, 2006 dans Harchaoui, 2017).

#### d. Défense contre les agents pathogènes

Les plantes bénéficient de la protection offerte par les champignons mycorhiziens contre les agents pathogènes. Ils déclenchent une résistance systémique induite (RSI), notable par l'accumulation de phytoalexines, la création de protéines PR et le renforcement des parois cellulaires (Pozo et Azcón-Aguilar, 2007). En outre, en diminuant la quantité d'exsudats racinaires disponibles pour les agents pathogènes, ils restreignent leur accès aux ressources et ont même la capacité de générer des substances antibiotiques (Marx, 1972 ; Duchesne et *al.*, 1988 ; Neumann et George, 2004).

#### e. Apport à la biodiversité et à la composition des écosystèmes

Le rôle crucial de la variété de champignons mycorhiziens dans l'organisation des communautés végétales et la productivité des écosystèmes a été souligné par van der Heijden et *al.* (1998,

2006). Ils contribuent également à l'amélioration de la structure du sol en encourageant l'agglomération des particules, ce qui contribue à la stabilité des sols érodés (Tisdall et *al.*, 1991).

### **f. Échanges nutritifs et symbiose mutualiste**

L'échange de ressources est au cœur de la relation mycorhizienne. Le champignon, qui est hétérotrophe, bénéficie de 4 à 20% du carbone issu de la photosynthèse de la plante (Watkins et *al.*, 1996 dans Lounes Hadj-Sahraoui, 2013), tout en optimisant son approvisionnement en eau et en minéraux (Javot et *al.*, 2007). Cette symbiose est basée sur un contrôle minutieux qui garantit la préservation de l'équilibre de mutuel.

### **g. Perspectives dans le domaine de l'agronomie et de l'environnement**

Les mycorhizes constituent une option encourageante pour une agriculture durable, en diminuant la dépendance aux produits chimiques (Jeffries et *al.*, 2003). Certaines cultures utilisent déjà des inoculum mycorhiziens en tant que biostimulants. De plus, leur application en restauration écologique aide à accélérer la revégétalisation des sols altérés ou pollués (Gianinazzi et *al.*, 2010). Pour conclure, ces dernières assument une fonction essentielle dans la liaison des végétaux à travers des réseaux de racines souterrains (« Wood Wide Web »), favorisant le déplacement de nutriments et d'impulsions chimiques entre les individus (Simard et *al.*, 1997 ; Van der Heijden et *al.*, 2008).

# Partie pratique



**MATÉRIELS ET**

**MÉTHODES**

**I. Présentation de la station d'étude : Tigounatine, Massif du Djurdjura****1) Contexte géographique et écologique du Djurdjura**

Le massif du Djurdjura, appartenant à la chaîne de l'Atlas tellien, se situe au nord de l'Algérie. Il s'étend sur environ 50 km et culmine à 2 308 m au niveau de Lalla Khedidja. Ce massif est formé principalement de calcaires jurassiques et de dolomies du Lias, ce qui confère au paysage un caractère karstique marqué, propice à la formation de grottes, de dolines et de lapiaz (Flandrin, 1947 ; Benmouffok, 1995).

Le Djurdjura est intégré dans un espace protégé : le Parc National du Djurdjura (PND), classé Réserve de biosphère par l'UNESCO en 1997. Cette région montagneuse constitue un réservoir majeur de biodiversité en Afrique du Nord, abritant de nombreuses espèces endémiques et relictuelles (Quézel, 1983 ; Medjahdi et *al.*, 2009).

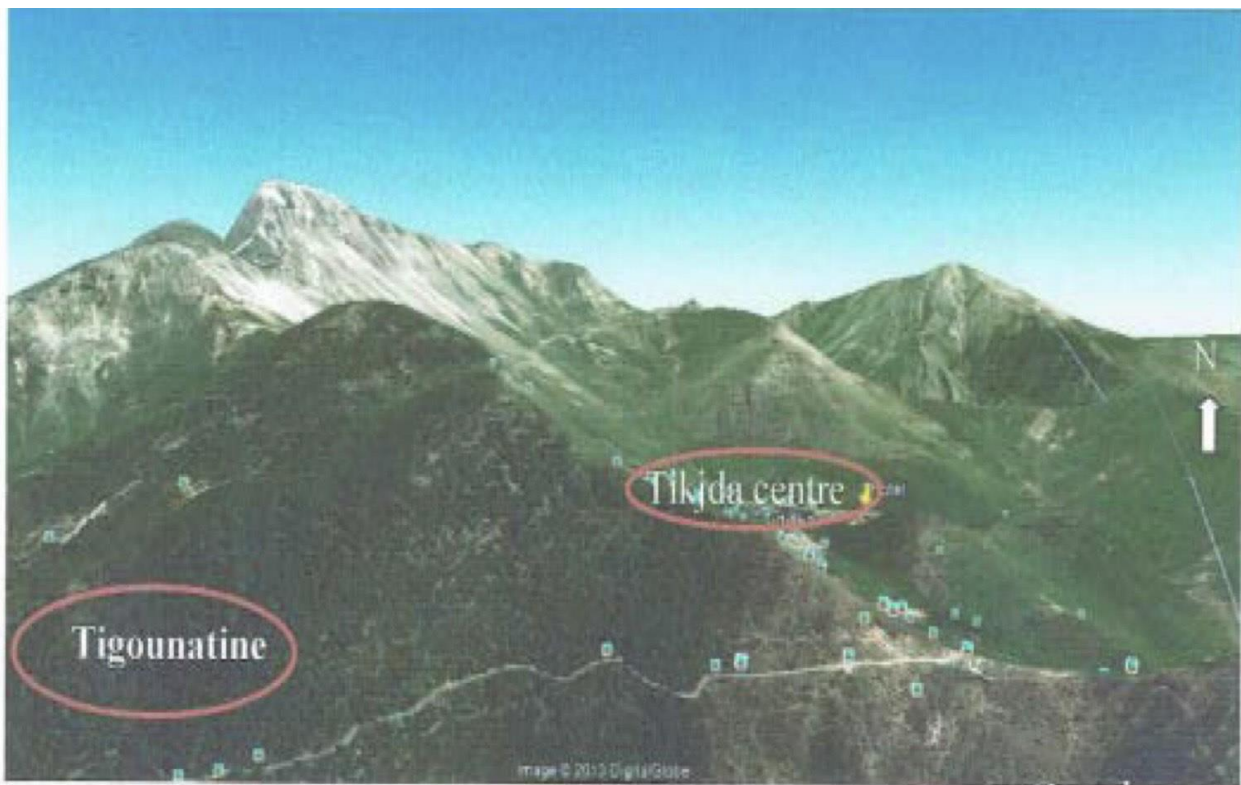
**2) Localisation et caractéristiques de la station de Tigounatine**

La station de Tigounatine, située sur le versant sud du Djurdjura dans la commune d'El Asnam (wilaya de Bouira), s'élève entre 1 470 et 1 610 m d'altitude (**Fig 10**). Elle se trouve dans une zone relevant du bioclimat humide à hiver froid, avec une pluviométrie annuelle dépassant les 1500 mm et des températures hivernales pouvant descendre en dessous de 0 °C (Derridj, 1980 ; Bensaid et Derridj, 2006) (**Tableau 3**).

Les coordonnées de la station sont : 36°27' N et 4°06' E (Yahi, 2007). Le substrat est constitué de calcaires dolomitiques du Lias, avec des affleurements rocheux fréquents. Les sols, de type rendzine, sont peu profonds mais riches en matière organique, grâce à une forte accumulation de litière et un ralentissement du processus de décomposition (Benmouffok, 1994).

**Tableau 3 :** Températures moyennes mensuelles (°C) des et précipitations (mm) dans la région de Tigounatine. (1990-2010), d'après les données de l'ONM, (Guechi et Aissani, 2014).

| Mois              | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai  | Juin | Juil | Août | Sept | Oct  | Nov | Dec |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| <b>T Moy (°C)</b> | 2,8 | 3,2 | 5,7 | 9,1 | 13,2 | 17,5 | 21,3 | 21,0 | 17,0 | 12,5 | 7,6 | 4,0 |
| <b>P (mm)</b>     | 140 | 125 | 110 | 95  | 75   | 40   | 15   | 20   | 45   | 80   | 110 | 130 |

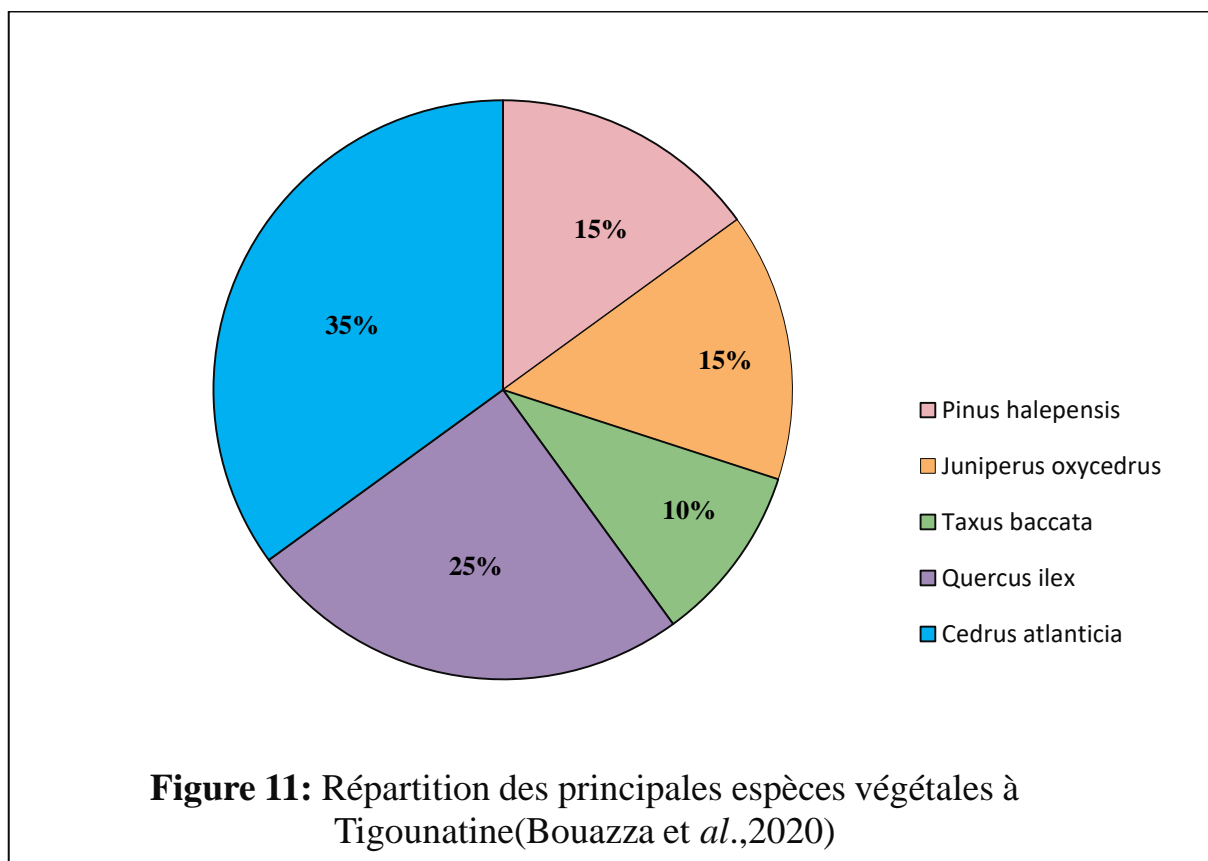


**Figure 10 :** Localisation et illustration de la forêt Tigounatine dans la région de Tikjda (Google earth,2013)

## II. Intérêt écologique de Tigounatine

La forêt de Tigounatine est représentative des formations supra-méditerranéennes montagnardes. Elle abrite des peuplements naturels de *Cedrus atlantica*, accompagnés de *Quercus ilex* et de *Juniperus oxycedrus*, mais elle se distingue surtout par la présence relique de *Taxus baccata* L., une espèce rare en Afrique du Nord, considérée comme un témoin des forêts tempérées humides postglaciaires (Quézel et Barbero, 1989 ; Médail et Quézel, 1997) (**Fig 11**).

L'If commun (*Taxus baccata*) se rencontre ici à l'état sporadique et isolé, en sous-bois humide et ombragé, souvent sur substrat calcaire et bien drainé, dans des conditions écologiques spécifiques. La présence de cette espèce à Tigounatine est d'un intérêt scientifique majeur, notamment pour l'étude de sa biologie, de ses symbioses mycorhiziennes et de sa conservation génétique, dans un contexte où elle est menacée de régression dans plusieurs régions méditerranéennes (Farjon, 2001 ; Daget, 1984).



**A. Justification du choix de la station pour l'étude du *Taxus baccata***

Le choix de la station de Tigounatine pour l'étude du *Taxus baccata* repose sur :

- ✓ Sa richesse floristique et la coexistence de conditions écologiques favorables (altitude, humidité, sol calcaire).
- ✓ La présence documentée de pieds naturels de *Taxus baccata* dans un état relativement bien conservé.
- ✓ Le statut de zone protégée au sein du Parc National du Djurdjura, qui offre un cadre sécurisé pour les observations écologiques et les prélèvements scientifiques.

**III. L'échantillonnage**

Dans le cadre de cette étude, des prélèvements racinaires ont été réalisés le 26 février 2025, sous des conditions hivernales modérées, sur trois spécimens de *T. baccata* provenant de la station de Tigounatine.

Les individus sélectionnés ont été choisis en fonction de critères d'accessibilité. La détergence des racines superficielles a été effectuée à la main en utilisant une serfouette, ce qui a permis un déchaussement graduel et localisé. Les racines exposées ont par la suite été minutieusement coupées à l'aide d'un sécateur, en visant les zones les plus propices à héberger des structures mycorhiziennes. Les segments de racine obtenus ont été rapidement placés dans des sacs scellés et étiquetés, en prévision de leur transport vers le laboratoire pour un traitement ultérieur.

**1. Étude morphologique et anatomique des structures mycorhiziennes associées à *Taxus baccata* L.****1.1. Description des ectomycorhizes**

Les échantillons racinaires collectés sur le terrain ont été soigneusement triés, puis lavés délicatement au laboratoire sous un jet d'eau courante afin d'éliminer les particules de sol sans altérer la morphologie des structures mycorhiziennes. Les racines ainsi nettoyées ont ensuite été fixées dans une solution FPA (formol, acide propanoïque, éthanol), utilisée pour la conservation des tissus végétaux et fongiques.

L'analyse morphologique a été effectuée à l'aide d'une loupe binoculaire (grossissements  $\times 20$  puis  $\times 40$ ) sans coloration préalable, les racines étant immergées dans une boîte de Pétri contenant de l'eau.

Les ectomycorhizes ont été caractérisées selon les critères de classification morpho-fonctionnelle proposés par Agerer (2001), prenant en compte : la forme, la couleur, la texture de la surface, ainsi que la présence ou non d'un réseau extra-matriciel, de cordons fongiques ou de rhizomorphes.

Trois grands types morphologiques ont été distingués :

- ♣ **Mycorhizes de contact (C)** : caractérisées par des morphotypes lisses, sans cordons fongiques ni rhizomorphes. Elles forment une interface intime avec la racine sans développement externe marqué. Ces structures traduisent une stratégie d'exploitation localisée, avec un accès limité aux ressources éloignées, mais une capacité d'absorption fine et ciblée;
- ♣ **Mycorhizes à courte distance (CD)** : présentant un réseau extra-matriciel peu dense, sans cordons ni rhizomorphes développés. Ces mycorhizes assurent un compromis entre ancrage local et légère extension dans le sol, correspondant à une stratégie d'exploitation modérée, adaptée à des ressources présentes à proximité de la racine ;
- ♣ **Mycorhizes à moyenne et longue distance (MLD)** : identifiables par la présence de cordons fongiques bien développés et de rhizomorphes structurés, qui leur confèrent une forte capacité d'exploration du sol. Ces structures correspondent à une stratégie d'exploitation extensive, permettant d'accéder aux nutriments éloignés de la zone racinaire immédiate.

Les morphotypes identifiés ont été isolés et replacés dans la solution FPA pour être soumis à une étude anatomique.

Des coupes manuelles ont été réalisées à l'aide de lames de rasoir. Ces coupes ont ensuite été colorées au bleu de lactophénol, montées entre lame et lamelle dans une goutte de lactoglycérol, puis observées au microscope optique à un grossissement de  $\times 400$ . Cette étape a permis la caractérisation du manteau fongique ainsi que la visualisation du réseau de Hartig, structure intercellulaire caractéristique des ectomycorhizes, localisée entre les cellules du cortex.

### **1.2. Description des endomycorhizes**

Pour l'analyse des endomycorhizes, des fragments racinaires fins ont été sélectionnés et découpés en segments d'environ 2 cm. Ces segments ont été placés dans une solution de potasse (KOH à 10 %) dans des tubes étiquetés hermétiquement fermés, puis portés à ébullition pendant quelques minutes, dans le but de vider les tissus corticaux et clarifier les racines (**Fig 12.A**).

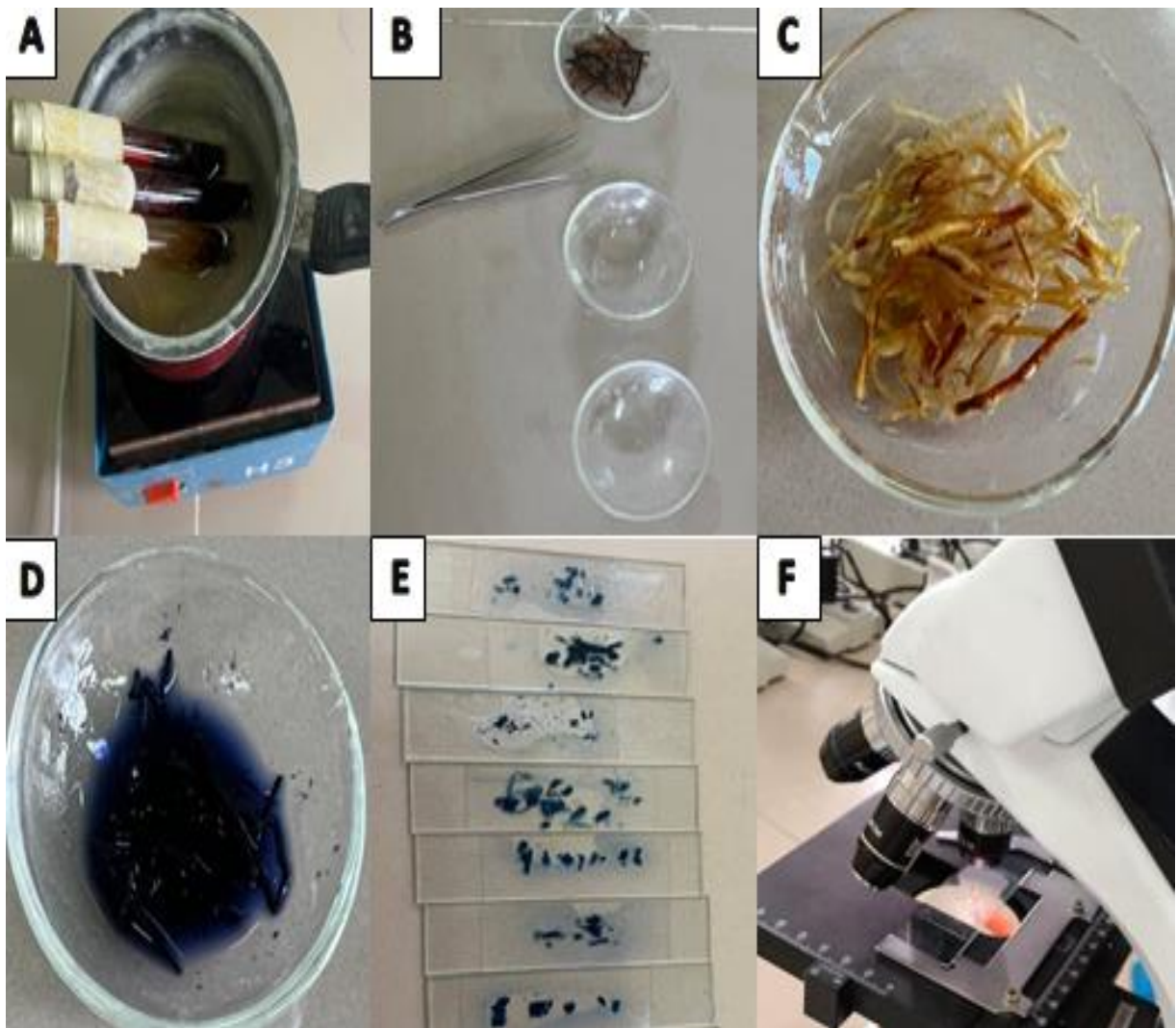
Les racines ont ensuite été rincées à l'eau distillée, puis trempées dans une solution de peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) pendant 15 minutes pour optimiser la décoloration (**Fig 12.B**). Après cette étape, un bain d'acide lactique a été appliqué pendant 15 minutes pour neutraliser l'action oxydante (**Fig 12.C**).

Enfin, les fragments ont été colorés au bleu de trypan pendant 15 minutes, permettant une fixation sélective des structures fongiques sur les parois cellulaires (**Fig 12.D**).

Les échantillons ainsi préparés ont été conservés dans du bleu de trypan, puis montés entre une lame et lamelle (**Fig 12 .E**).

L'observation microscopique a été effectuée à l'aide d'un microscope optique, à des grossissements de  $\times 100$  et  $\times 400$  (**Fig 12.F**).

Cette technique, adaptée de Phillips et Hayman (1970), a permis d'identifier avec précision les structures caractéristiques des endomycorhizes, notamment les arbuscules, les vésicules et les hyphes intracellulaires, témoins d'une symbiose fonctionnelle (Smith et Read, 2008).



**Figure 12:** Les étapes de traitement des racines endomycorhiziennes.



# RÉSULTATS

## Résultats

### 1- Les ectomycorhizes

#### 1-1- Analyse morphologique et anatomique des ectomycorhizes

L'examen des échantillons racinaires prélevés sur trois individus de *Taxus baccata* révèle une présence manifeste d'ectomycorhizes. Les différents morphotypes d'ECM identifiés ont été classés et décrits selon leur type d'exploitation :

➤ **Mycorhizes de contact (C)**

**Mycorhize 1 :** Elle est de couleur marron claire, à distribution simple, avec une forme sinueuse, et une phase extra -matricielle granuleuse. L'observation microscopique des coupes anatomique montre un manteau fongique très fin et un réseau de Hartig (RH) qui s'étend sur plusieurs couches de cellules avec la présence de cellules à Tanins. Cette mycorhize présente une stratégie d'exploitation de type contact (**fig 13.a.b**).

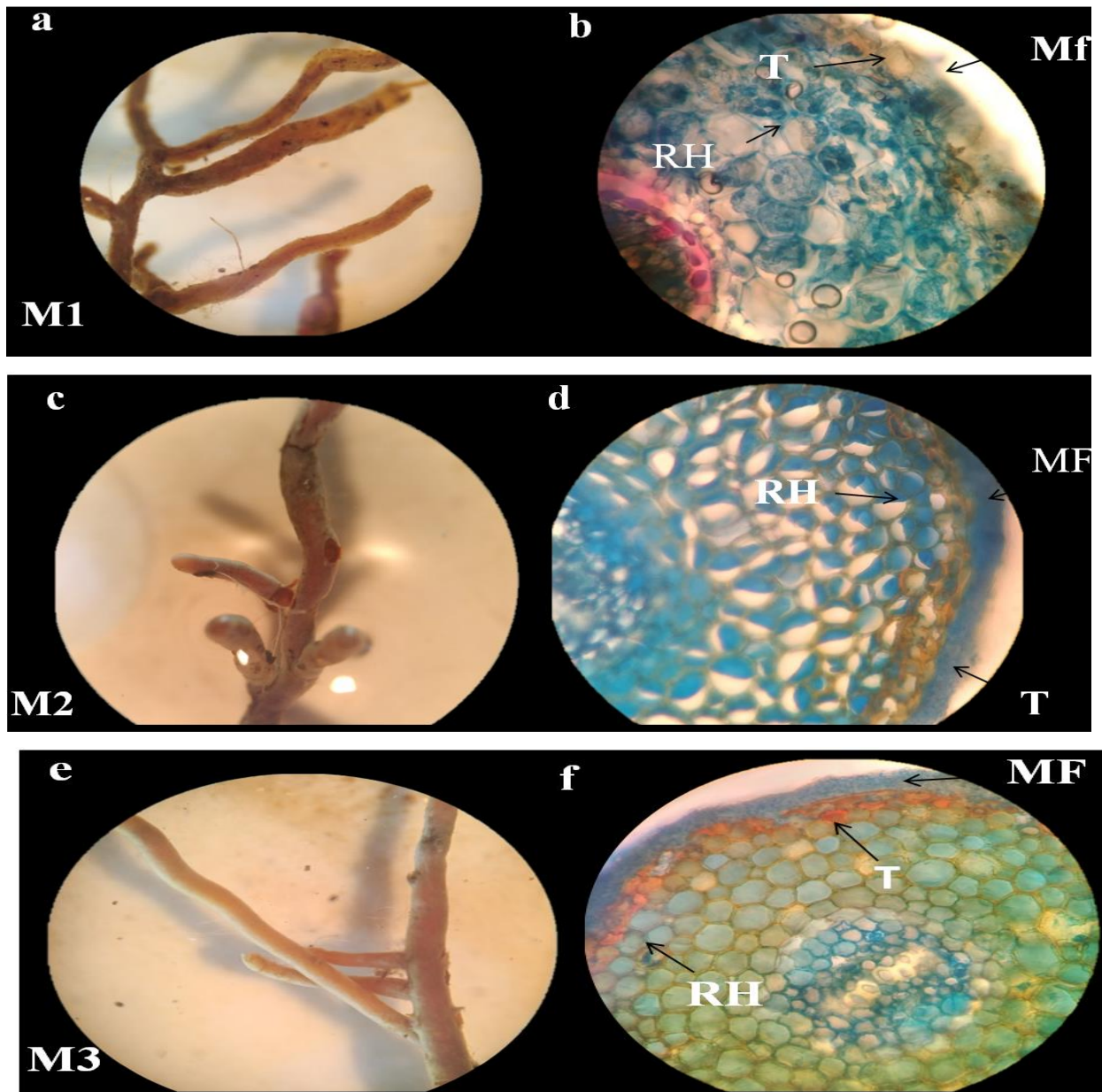
**Mycorhize 2 :** Elle est de couleur marron, à distribution simple, avec une forme courbée et une phase extra-matrice lisse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type contact. L'observation microscopique des coupes anatomique montre un manteau fongique peu épais et serré et un réseau de Hartig (RH) qui s'étendant sur plusieurs couches cellulaire, avec la présence de cellules à Tanins (**fig 13.c .d**).

**Mycorhize 3 :** Elle est de couleur orange, à distribution simple, avec une forme droite, et une phase extra-matricielle lisse .Cette mycorhize présente une stratégie d'exploitation de type contact. L'observation microscopique des coupes anatomiques montre un manteau fongique un peu épais et un réseau de Hartig (RH) qui s'étend sur deux couches de cellulaires avec la présence de cellules à Tanis (**fig 13.e.f**).

**Mycorhize 4 :** Elle est de couleur orange, à distribution simple, et une forme droite, avec une phase extra-matrice lisse. Cette mycorhize présente une stratégie d'exploitation de type contact. L'observation microscopique des coupes anatomiques montre un manteau fongique un peu épais et serré et un réseau de Hartig (RH) qui s'étend sur deux couches de cellules, avec la présence de cellules à Tanins (**fig 14.a.b**).

**Mycorhize 5 :** Elle est de couleur orange, à distribution simple, avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle lisse.Cette mycorhize présente une stratégie d'exploitation de type contact. L'observation microscopique des coupes anatomique montre un manteau fongique très épais et très serré, et un réseau de Hartig (RH) qui s'étend sur trois couches cellulaires (**fig 14.c.d**)

**Mycorhize 6** : Elle est de couleur marron, à distribution simple, de forme droite et avec une phase extra-matricielle lisse. Cette mycorhize présente une stratégie d'exploitation de type contact (**fig 14.e**).



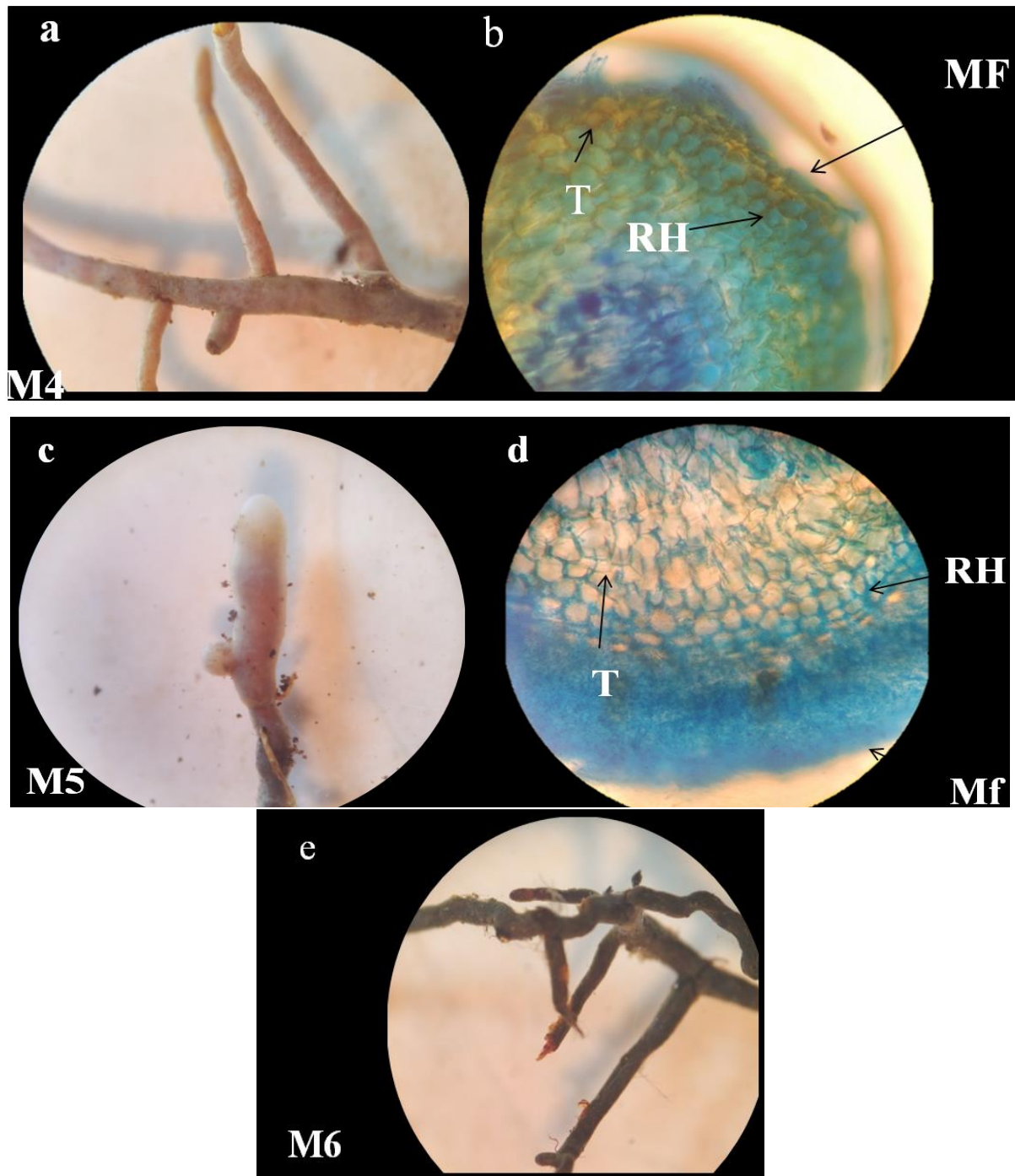
**Figure 13** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M1, M2, M3.

**a** : observation du mycorhize M1(Gx40). **b** : coupe anatomique du mycorhize M1(Gx400).

**c** : observation du mycorhize M2(Gx40). **d** : coupe anatomique du mycorhize M2(Gx400)

**e** : observation du mycorhize M3(Gx40). **f** : coupe anatomique du mycorhize M 3(Gx400)

**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins



**Figure 14** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M4, M5, M6.

**a** : observation du mycorhize M4(Gx40). **b** : coupe anatomique du mycorhize M4(Gx400).

**c** : observation du mycorhize M5(Gx40). **d** : coupe anatomique du mycorhize M5(Gx400)

**e** : observation du mycorhize M6(Gx40).

**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de Hartig, **T** : cellules à tanins

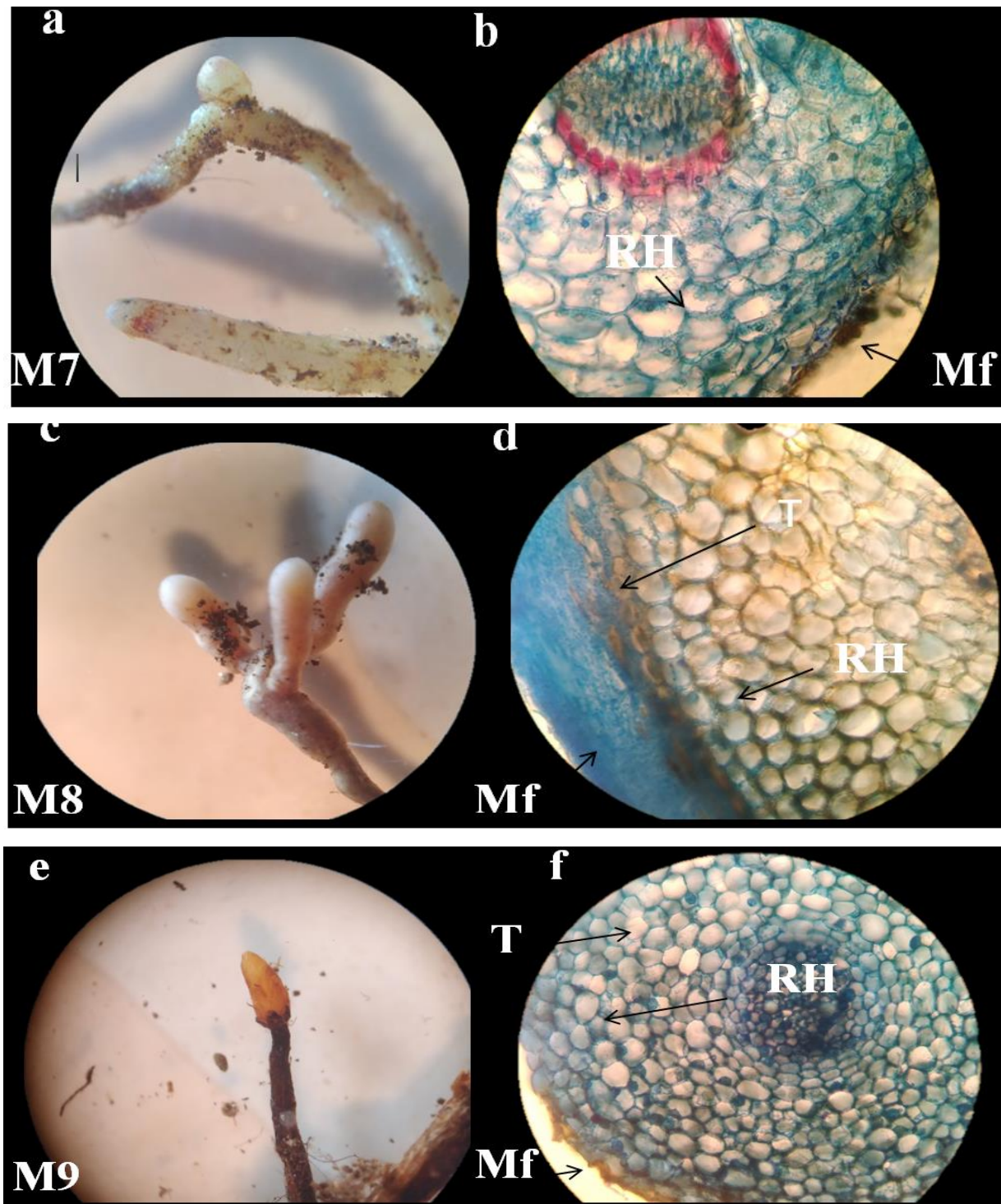
➤ **Mycorhizes à courte distance (CD)**

**Mycorhize 7** : Elle est de couleur blanche, à distribution simple, de forme droit, avec une phase extra- matrice granuleuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type courte distance (figure 13 .a). L'observation microscopique des coupes anatomique montre un manteau fongique très fin et un réseau de Hartig (RH) s'étendant sur plusieurs couches de cellules (**fig 15 .a.b**).

**Mycorhize 8** : Elle est de couleur orange, à distribution racémeuse, et de forme sinueuse, avec une phase extra-matricielle granuleuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type courte distance .L'observation microscopique des coupes anatomiques montre un manteau fongique très épais et un réseau de Hartig (RH) s'étendant sur deux couche de cellules (**fig 15.c.d**).

**Mycorhize 9** : Elle est de couleur marron, à distribution simple, avec une forme droite, et la phase extra- matricielle lisse. Cette mycorhize présente une stratégie d'exploitation de type courte distance. L'observation microscopique des coupes anatomique montre un manteau fongique fin et un peu serré et un réseau de Hartig (RH) qui s'étendant sur trois couches cellulaires avec la présence de cellules à Tanis (**fig 15.e.f**).

**Mycorhize 10** : Elle est de couleur marron claire, à distribution simple avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle granuleuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type courte distance (**fig 16.a**).



**Figure 15** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M7, M8, M9.

**a** : observation du mycorhize M7(Gx40). **b** : coupe anatomique du mycorhize M7(Gx400).

**c** : observation du mycorhize M8(Gx40). **d** : coupe anatomique du mycorhize M8(Gx400)

**e** : observation du mycorhize M9(Gx40). **f** : coupe anatomique du mycorhize M 9(Gx400)

**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins.

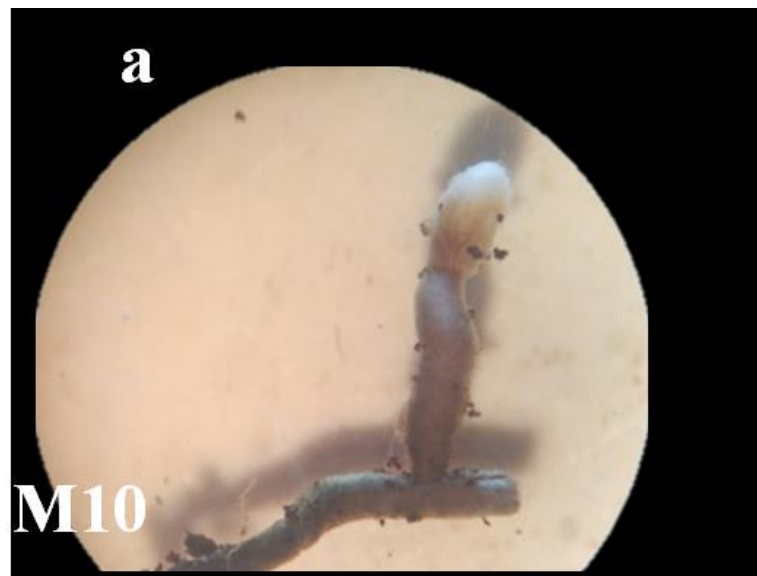


Figure 16 : Morphologie et anatomie des mycorhizes, M10.

**a:** observation du mycorhize M11(Gx40).

**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins.

➤ **Mycorhizes à moyenne ou longue distance (MLD)**

**Mycorhize 11 :** Elle est de couleur marron claire, à distribution simple, avec une forme tortueuse, et une phase extra- matrice granuleuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 17.a**).

**Mycorhize 12:** Elle est de couleur blanche, à distribution simple, de une forme courbée, avec une phase extra- matrice granuleuse .Nous avons également observée la présence de rhizomorphes de type Thelephoroïde, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance. L'observation microscopique des coupes anatomiques montre un manteau fongique très fin et un réseau de Hartig (RH) qui s'étend sur deux couches de cellules avec la présence de Tanins (**fig 17 .a.b.c**).

**Mycorhize 13 :** Elle est de couleur blanche , à distribution simple, avec une forme présentant un apex plus large que la base ,et une phase extra- matricielle granuleuse .Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type Uniforme-compacte ,suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance .L'observation microscopique des coupes anatomiques montre un manteau fongique fin et lâche , et un réseau de Hartig (RH) qui s'étend sur trois couche de cellules (**fig 18.a .b.c**).

**Mycorhize 14 :** Elle est de couleur marron clair, à distribution simple, de forme courbée, avec une phase extra- matricielle granuleuse .Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type uniforme- compacte, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 18.d .e**).

**Mycorhize 15 :** Elle est de couleur marron, à distribution dichotomique, avec une forme sinueuse, et une phase extra-matricielle granuleuse. Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type uniforme-compacte, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance . L'observation microscopique des coupes anatomique montre un manteau fongique épais et serré et un réseau de Hartig (RH) s'étendant sur plusieurs couches de cellulaires (**fig 19.a.b.c**).

**Mycorhize 16 :** Elle est de couleur marron clair, à distribution simple, avec une forme courbée, et la phase extra-matrice granuleuse .Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type uniforme-loose .Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 19.d.e**).

**Mycorhize 17 :** Elle est de couleur blanche, à distribution simple, de forme sinueuse, avec une phase extra- matricielle laineuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type longue distance. L'observation microscopique des coupes anatomique montre un manteau fongique très

épais et serré vers l'intérieure, et un réseau de Hartig (RH) qui s'étend sur deux couches de cellules (**fig 20.a.b**).

**Mycorhize 18** : elle est de couleur noire, à distribution racémeuse, de une forme tortueuse, et une la phase extra- matrice cotonneuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type moyenne distance. L'observation microscopique des coupes anatomiques montre un manteau fongique très fin et un réseau de Hartig (RH) qui s'étendant sur plusieurs couches de cellules (**fig 12 .c.d**).

**Mycorhize 19** : Elle est de couleur blanche, à distribution racémeuse, avec une forme tortueuse, et une phase extra-matricielle granuleuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type moyenne distance. L'observation microscopique des coupes anatomiques montre un manteau fongique fin et un peu serré et un réseau de Hartig (RH) qui s'étend sur trois couches de cellules avec la présence de cellules à Tanis (**fig 20 .e.f**).

**Mycorhize 20** : Elle est de couleur marron claire, à distribution simple, avec une forme droite, et la phase extra- matricielle granuleuse. Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type uniforme-compacte, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance. L'observation microscopique des coupes anatomiques montre l'absence de manteau fongique et un réseau de Hartig (RH) s'étendant sur plusieurs couches cellulaires, avec la présence de Tanins (**fig 21.a.b.c**).

**Mycorhize 21** : Elle est de couleur blanche, à distribution simple, avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle granuleuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type longue distance L'observation microscopique des coupes anatomiques montre un manteau fongique un peu épais et serré et un réseau de Hartig (RH) qui s'étend sur trois couches de cellules avec la présence de cellules à Tanis (**fig 21.d.e**).

**Mycorhize 22** : Elle est de couleur blanche, à distribution simple, avec une forme droite, et une phase extra- matricielle lisse .Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type uniforme-Loose, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance. L'observation microscopique des coupes anatomiques montre un manteau fongique très épais et un réseau de Hartig (RH) s'étendant sur trois couches de cellulaires avec la présence de cellules à Tanis (**fig 22.a.b.c**).

**Mycorhize 23** : Elle est de couleur orange, à distribution simple, avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle cotonneuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type longue distance. L'observation microscopique des coupes anatomique montre un manteau fongique un peu épais et un peu serré et un réseau de Hartig (RH) qui s'étend sur deux couches de cellules, avec la présence de cellules à Tanins (**fig 22.d.e**)

**Mycorhize 24 :** Elle est de couleur marron, à distribution simple, avec une forme sinueuse, et une phase extra- matricielle granuleuse. Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type Thelephoroïd, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance. L'observation microscopique des coupes anatomique montre de manteau fongique très épais et lâche et un réseau de Hartig (RH) qui s'étend sur plusieurs couches de cellules (**fig 23 a.b.c**).

**Mycorhize 25 :** Elle est de couleur marron, à distribution simple, avec une forme droite, et la phase extra-matricielle granuleuse . Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type uniforme- compacte, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 23 d.e**).

**Mycorhize 26 :** Elle est de couleur marron clair, à distribution simple, avec une forme présentant un apex plus large que la base, et une phase extra- matricielle granuleuse . Nous avons également observée la présence de rhizomorphe d'épaisseur de type uniforme-loose, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 24 a.b**).

**Mycorhize 27 :** Elle est de couleur blanche, à distribution simple, avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle cotonneuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 24.c**).

**Mycorhize 28 :** Elle est de couleur marron, à distribution simple, avec une forme droite, et la phase extra-matricielle cotonneuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type longue distance (**fig 24.d**).

**Mycorhize 29 :** Elle est de couleur blanche, à distribution simple, avec une forme courbée, et la phase extra-matricielle laineuse. Nous avons également observée également la présence de rhizomorphe de type uniforme-loose, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 25.a .b**).

**Mycorhize 30:** Elle est de couleur orange, à distribution, monopodiale pyramidale avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle laineuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 25.c**).

**Mycorhize 31:** Elle est de couleur marron claire, à distribution, simple avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle laineuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type longue distance (**fig 25.d**).

**Mycorhize 32:** Elle est de couleur marron, à distribution, simple avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle cotonneuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 26 .a**).

**Mycorhize 33 :** Elle est de couleur marron, à distributions racémeuse, avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle laineuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type longue distance (**fig 26.b**).

**Mycorhize 34 :** Elle est de couleur marron claire, à distribution coralloïd, avec une forme sinueuse, et une phase extra-matricielle lisse . Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type uniforme-loose, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 26.c.d**).

**Mycorhize 35 :** Elle est de couleur marron, à distribution racémeuse, avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle cotonneuse. Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type uniforme -loose, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 27.a.b**).

**Mycorhize 36 :** Elle est de couleur marron, à distribution, simple avec une forme courbée, et la phase extra-matricielle lisse . Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type Boletoid, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 27.c.d**).

**Mycorhize 37 :** Elle est de couleur marron, à distribution simple, avec une forme droite, et la phase extra-matricielle granuleuse .Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type boletoid, suggérant une stratégie d'exploitation de type longue distance (**fig 27.e.f**).

**Mycorhize 38 :** Elle est de couleur marron claire, à distribution simple, avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle granuleuse .Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type uniforme- compact, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 28.a.b**).

**Mycorhize 39 :** Elle est de couleur marron, à distribution simple, avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle granuleuse .Nous avons également observée la présence de rhizomorphe d'épaisseur de type uniforme compact, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 28.c.d**).

**Mycorhize 40 :** Elle est de couleur marron, à distribution simple, avec une forme droite, et la phase extra-matricielle lisse. Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type uniforme -compact, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 28.e.f**).

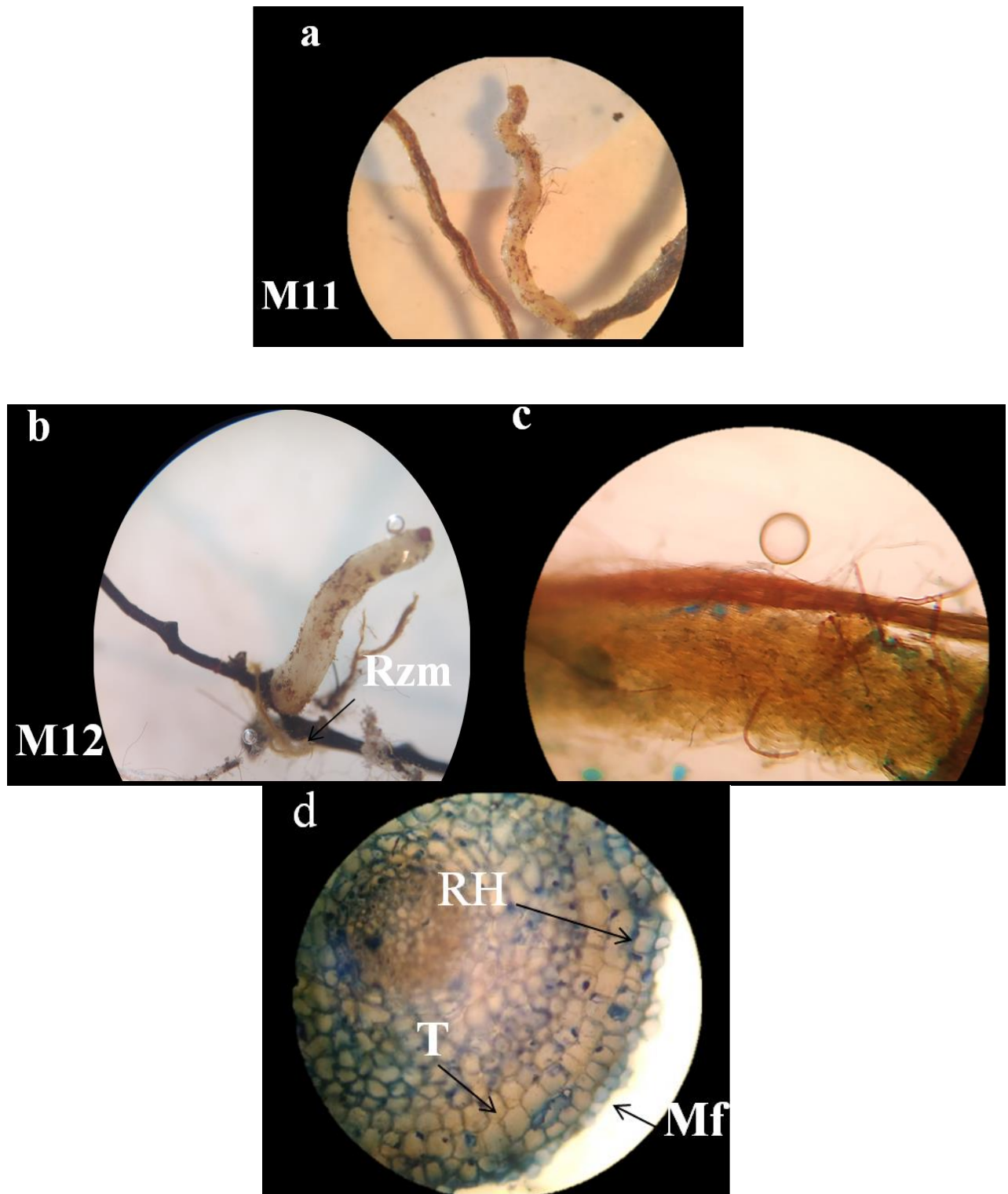
**Mycorhize 41 :** Elle est de couleur blanche, à distribution simple, avec une forme courbée, et la phase extra-matricielle granuleuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 29.a**).

**Mycorhize 42 :** Elle est de couleur marron, à distribution simple, avec une forme tortueuse, et la phase extra-matricielle granuleuse . Nous avons également observée la présence de rhizomorphe de type boletoid, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 29.b.c**).

**Mycorhize 43 :** Elle est de couleur marron, à distribution simple, avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle laineuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type longue distance (**fig 29.d**).

**Mycorhize 44 :** Elle est de couleur marron, à distribution coralloïde, avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle granuleuse. Cette mycorhize est à stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 30.a**).

**Mycorhize 45 :** Elle est de couleur marron claire, à distribution racémeuse, avec une forme sinueuse, et la phase extra-matricielle granuleuse . Nous avons également observée la présence de rhizomorphe d'épaisseur de type uniforme -compacte, suggérant une stratégie d'exploitation de type moyenne distance (**fig 30.b.c**).



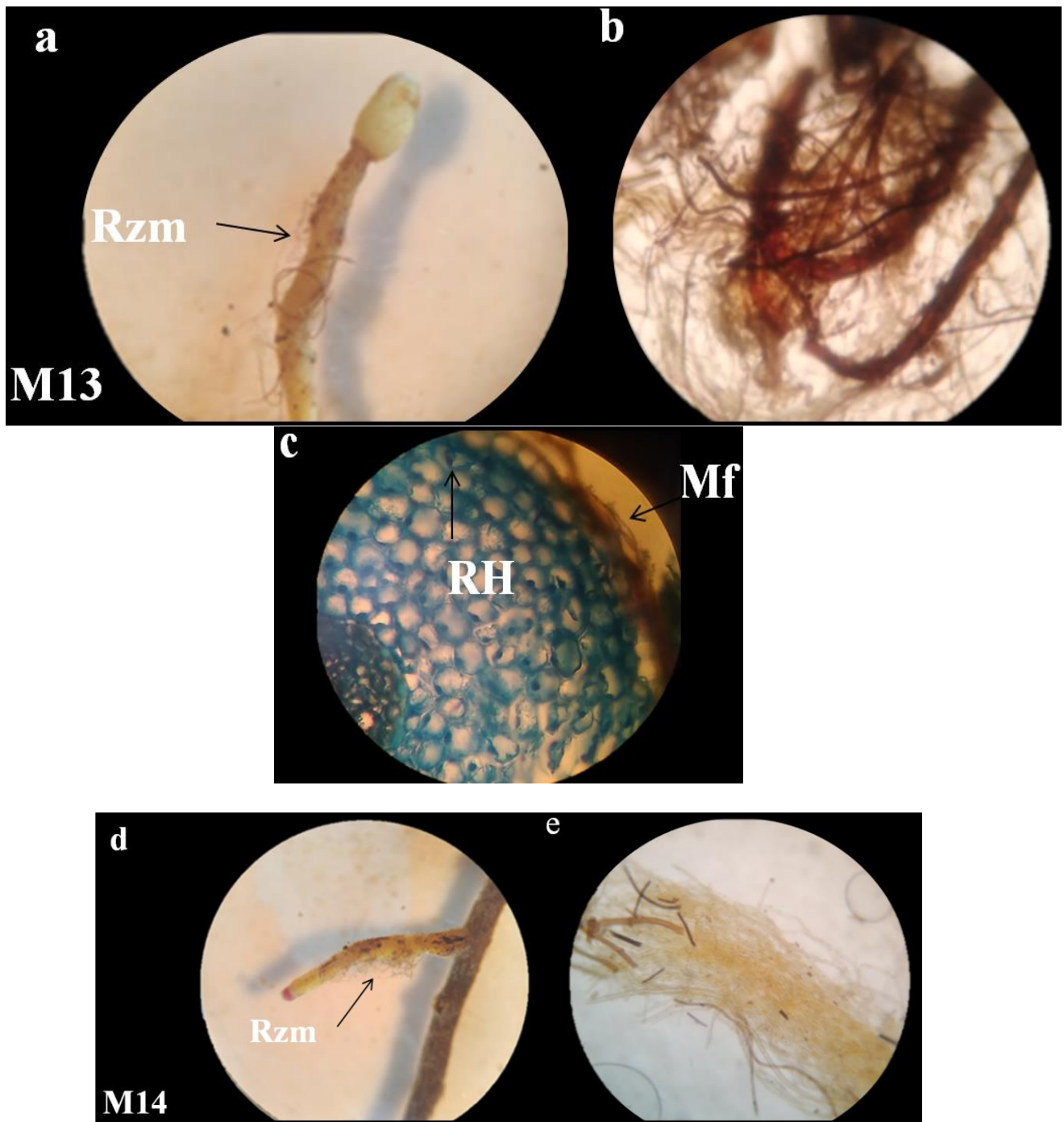
**Figure 17:** Morphologie et anatomie des mycorhizes M11, M12.

**a :** observation du mycorhize M12(Gx40).

**b:** observation du mycorhize M13(Gx40). **c :** rhizomorphe du mycorhize M4(Gx400).

**d :** coupe anatomique du mycorhize M13(Gx40).

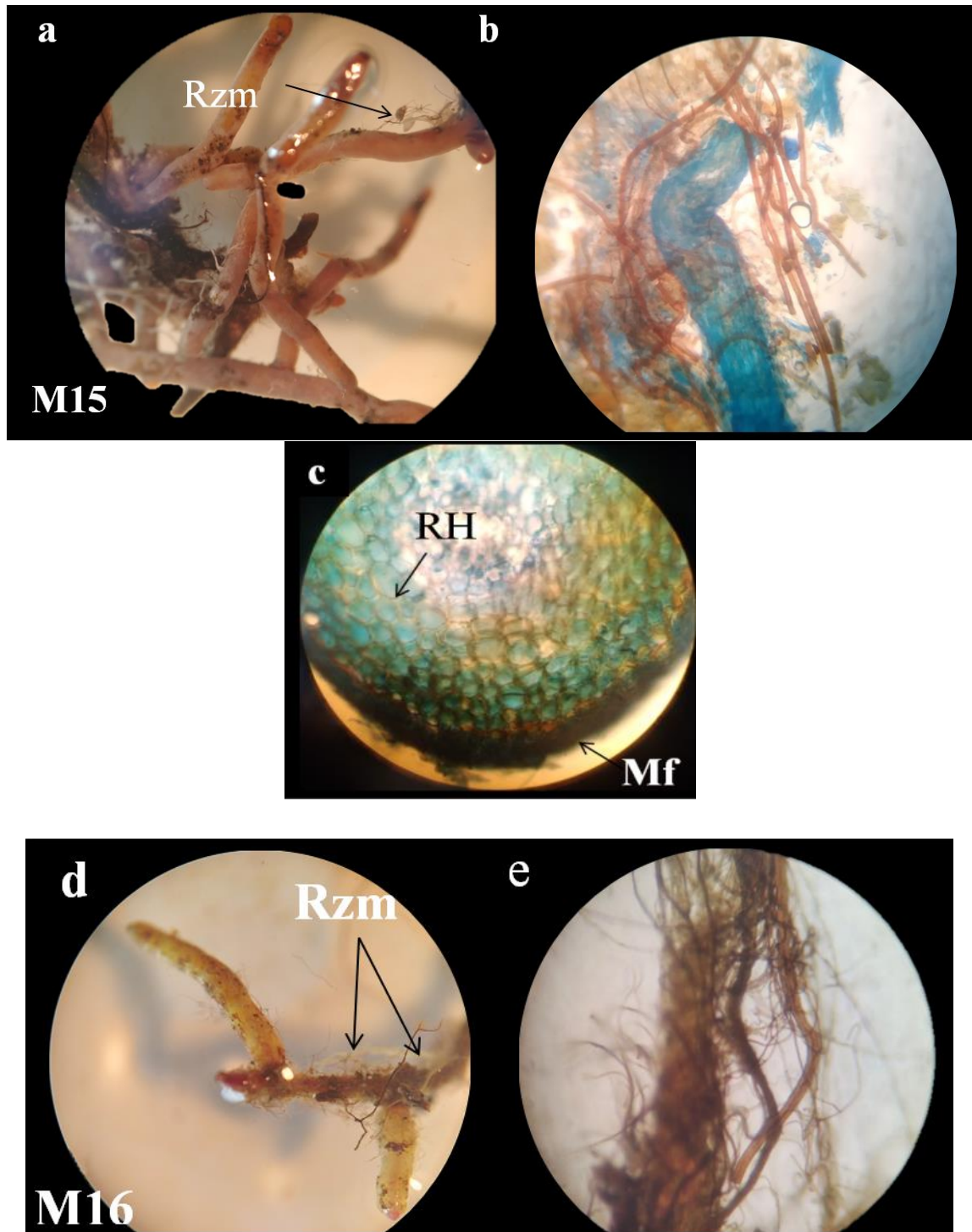
**Rzm :** rhizomorphe , **Mf :** manteau fongique, **RH :** réseau de hartig, **T :**cellules à tanins



**Figure 18** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M13, M14.

**a** : observation du mycorhize M14(Gx40). **b** : rhizomorphe du mycorhize M13(Gx400).  
**c** : coupe anatomique du mycorhize M13(Gx40). **e** : observation du mycorhize M14 (Gx40).  
**f** : rhizomorphe du mycorhize M14 (Gx400).

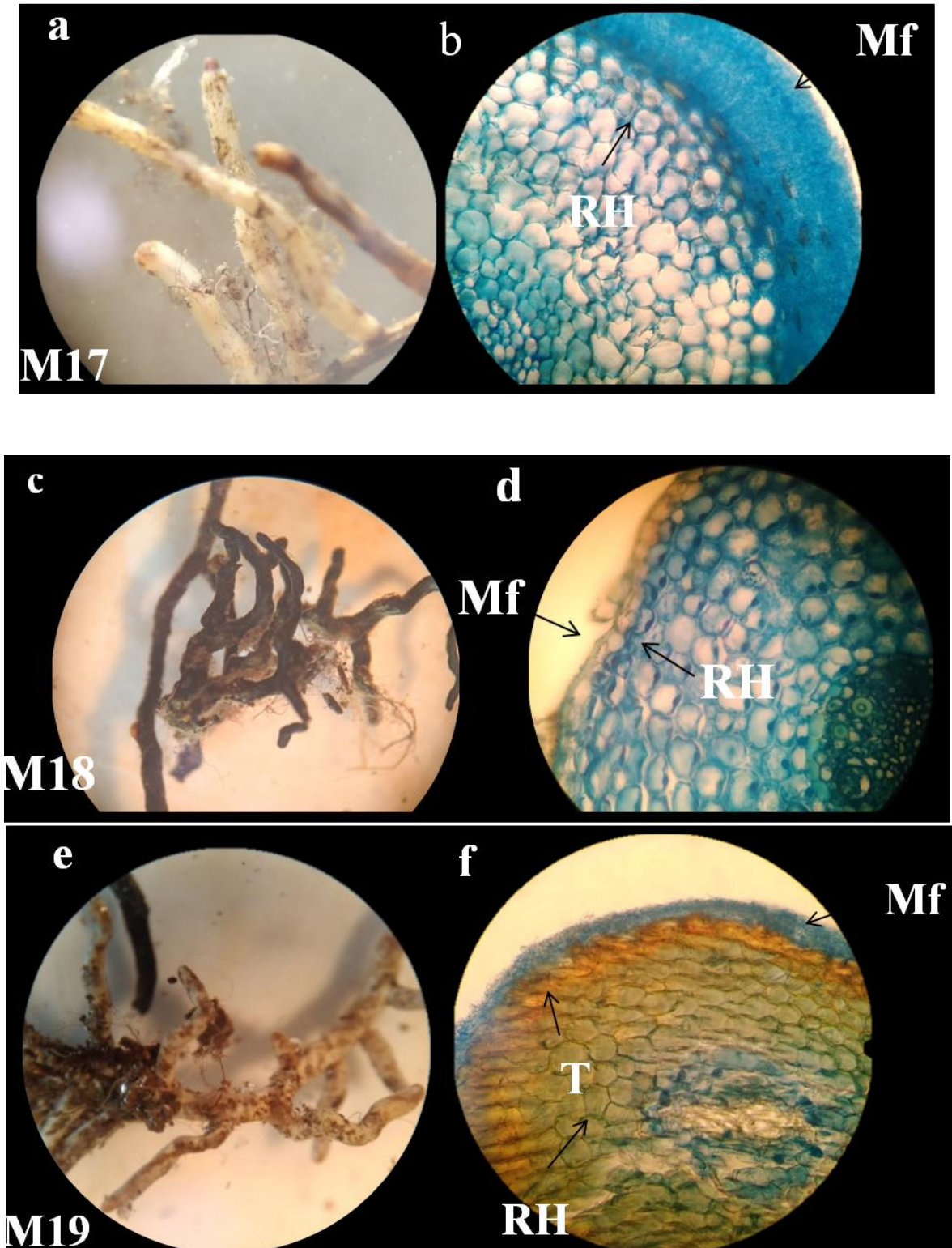
**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins



**Figure 19** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M15, M16.

**a** : observation du mycorhize M15(Gx40). **b** : rhizomorphe du mycorhize M15(Gx400).  
**c** : coupe anatomique du mycorhize M1(Gx40). **d** : observation du mycorhize M16(Gx40).  
**e** : rhizomorphe du mycorhize M16(Gx400).

**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins



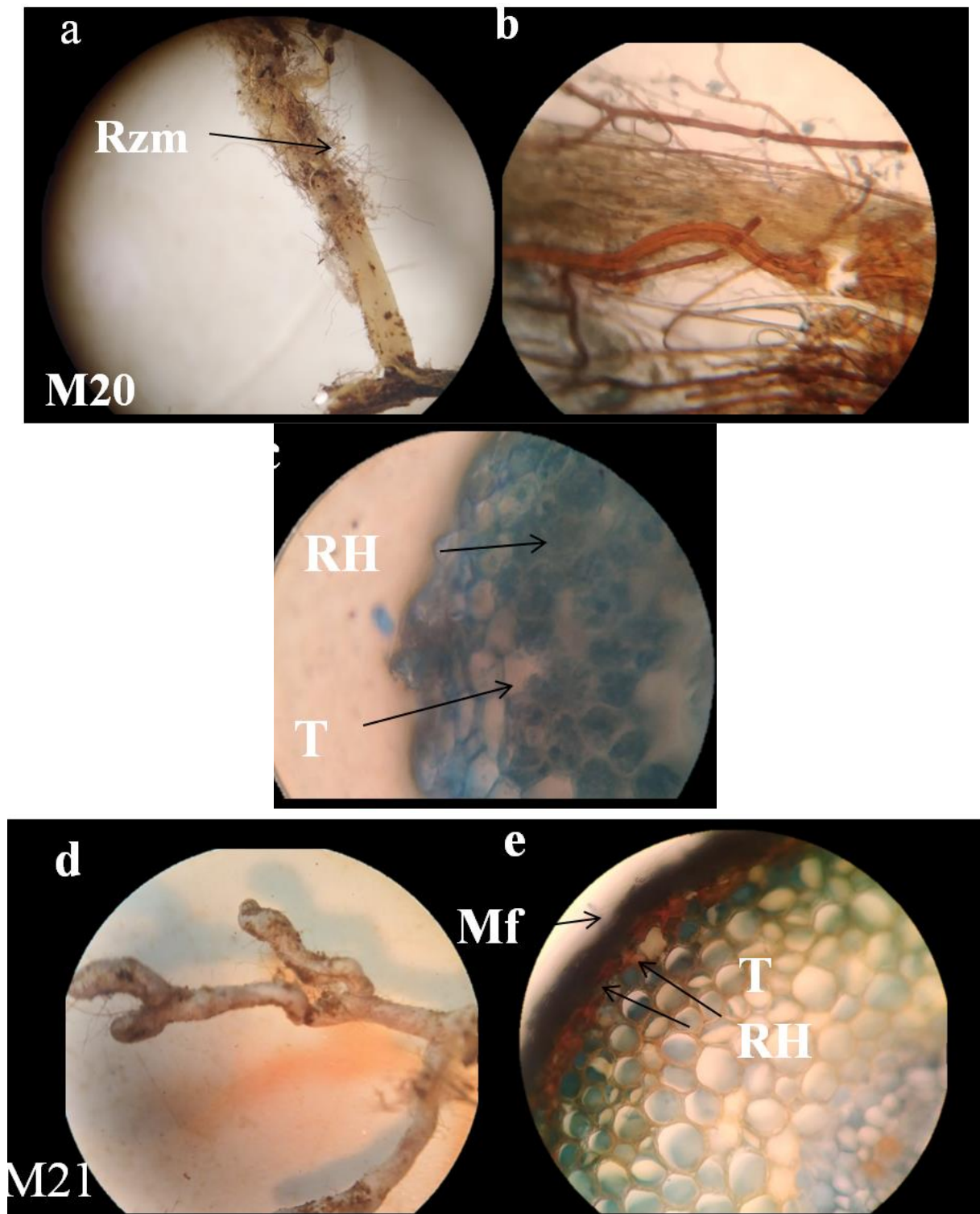
**Figure 20:** Morphologie et anatomie des mycorhizes M17, M18, M19.

**a :** observation du mycorhize M17(Gx40). **b :** coupe anatomique du mycorhize M17(Gx400).

**c :** observation du mycorhize M18(Gx40). **d :** coupe anatomique du mycorhize M18(Gx400)

**e :** observation du mycorhize M19(Gx40). **f :** coupe anatomique du mycorhize M 19(Gx400)

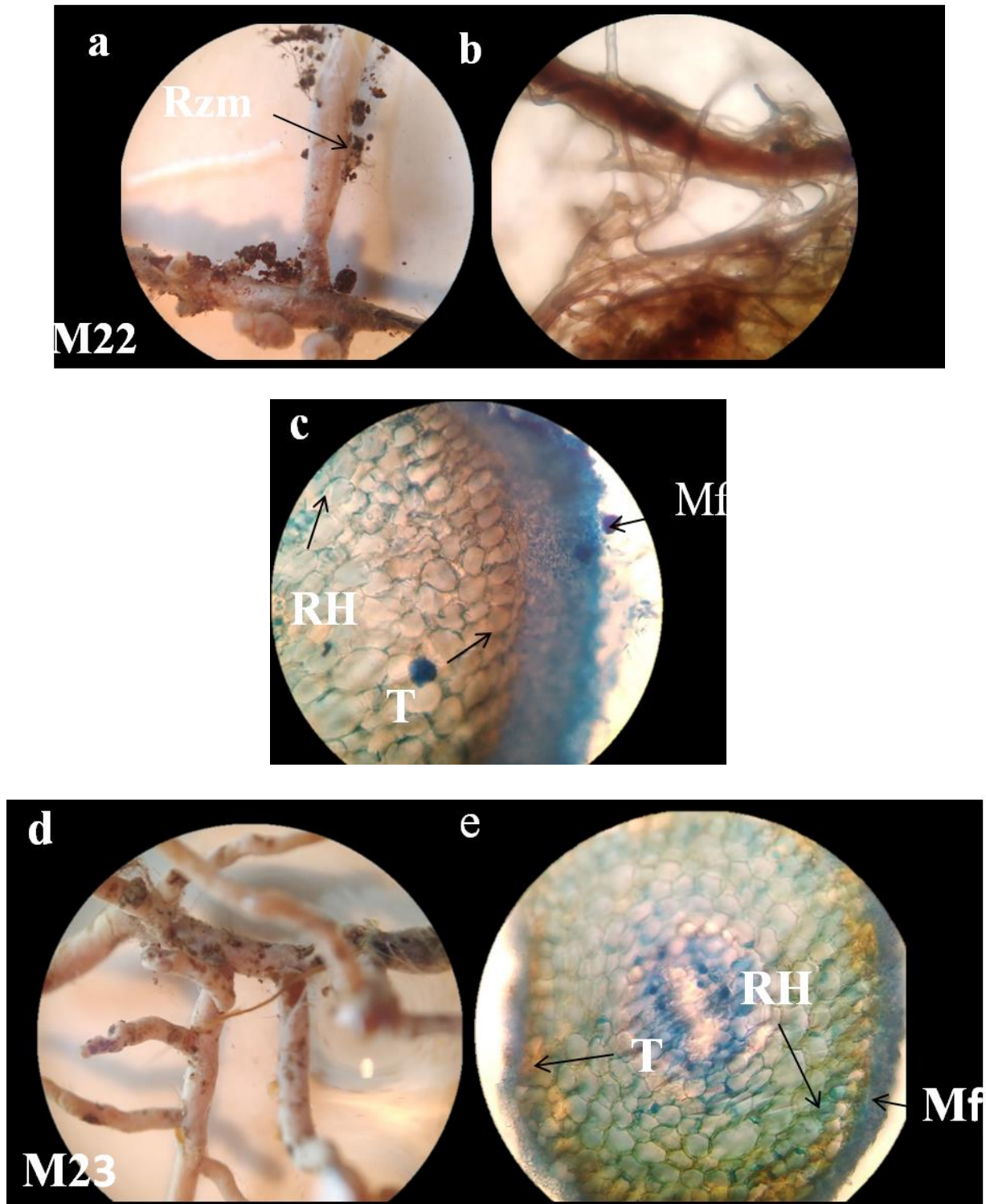
**Rzm :** rhizomorphe, **Mf :** manteau fongique, **RH :** réseau de hartig, **T :** cellules à tanins



**Figure 21** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M20, M21.

**a** : observation du mycorhize M20(Gx40). **b** : rhizomorphe du mycorhize M20(Gx400).  
**c** : coupe anatomique du mycorhize M20(Gx40). **d** : observation du mycorhize M21(Gx40).  
**e** : coupe anatomique du mycorhize M21(Gx40).

**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins



**Figure 22** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M22, M23.

**a**: observation du mycorhize M22(Gx40). **b** : rhizomorphe du mycorhize M22(Gx400).  
**c**: coupe anatomique du mycorhize M22(Gx40). **d**: observation du mycorhize M23(Gx40).  
**e** :coupe anatomique du mycorhize M23(Gx40).

**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins

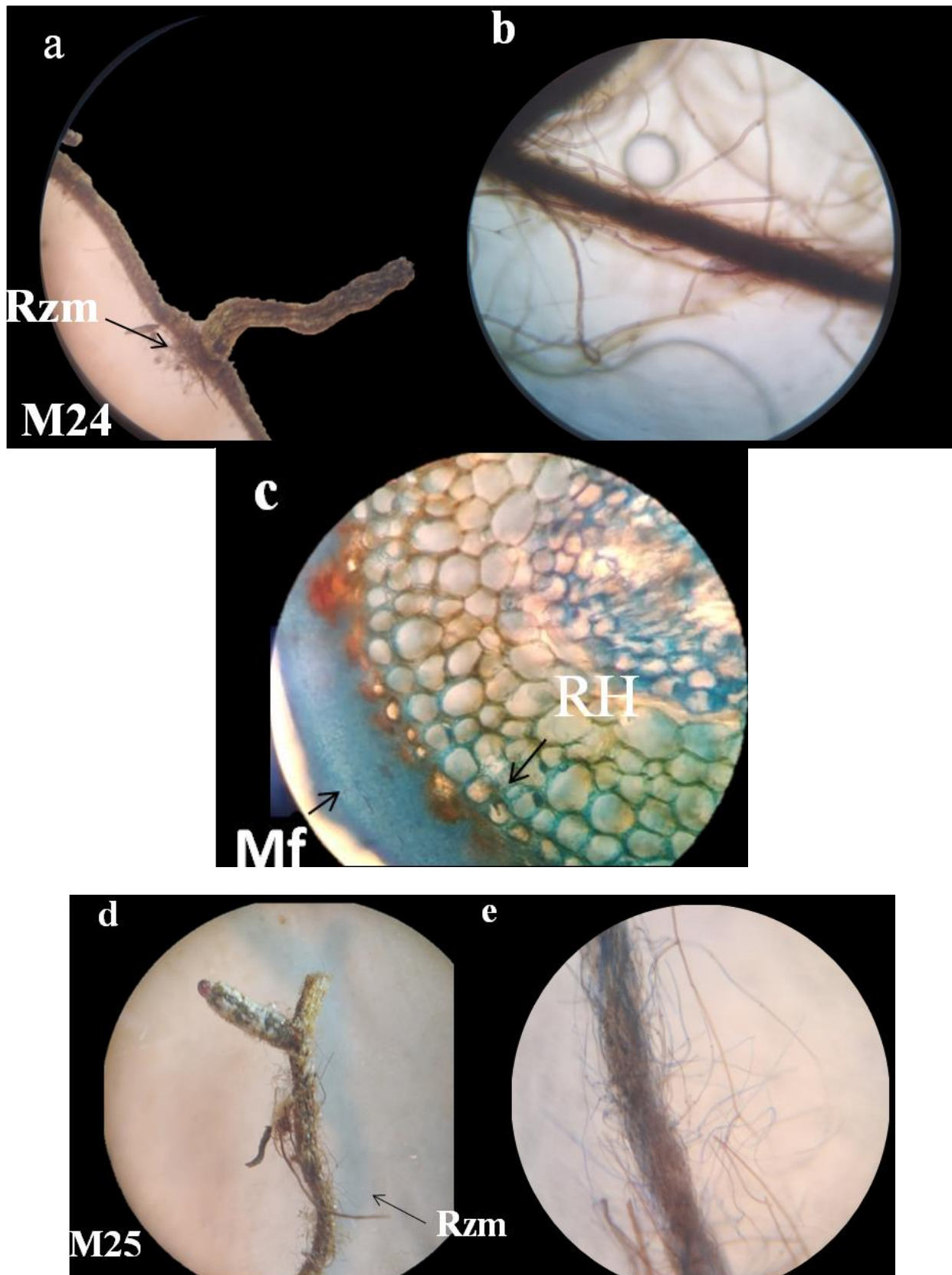
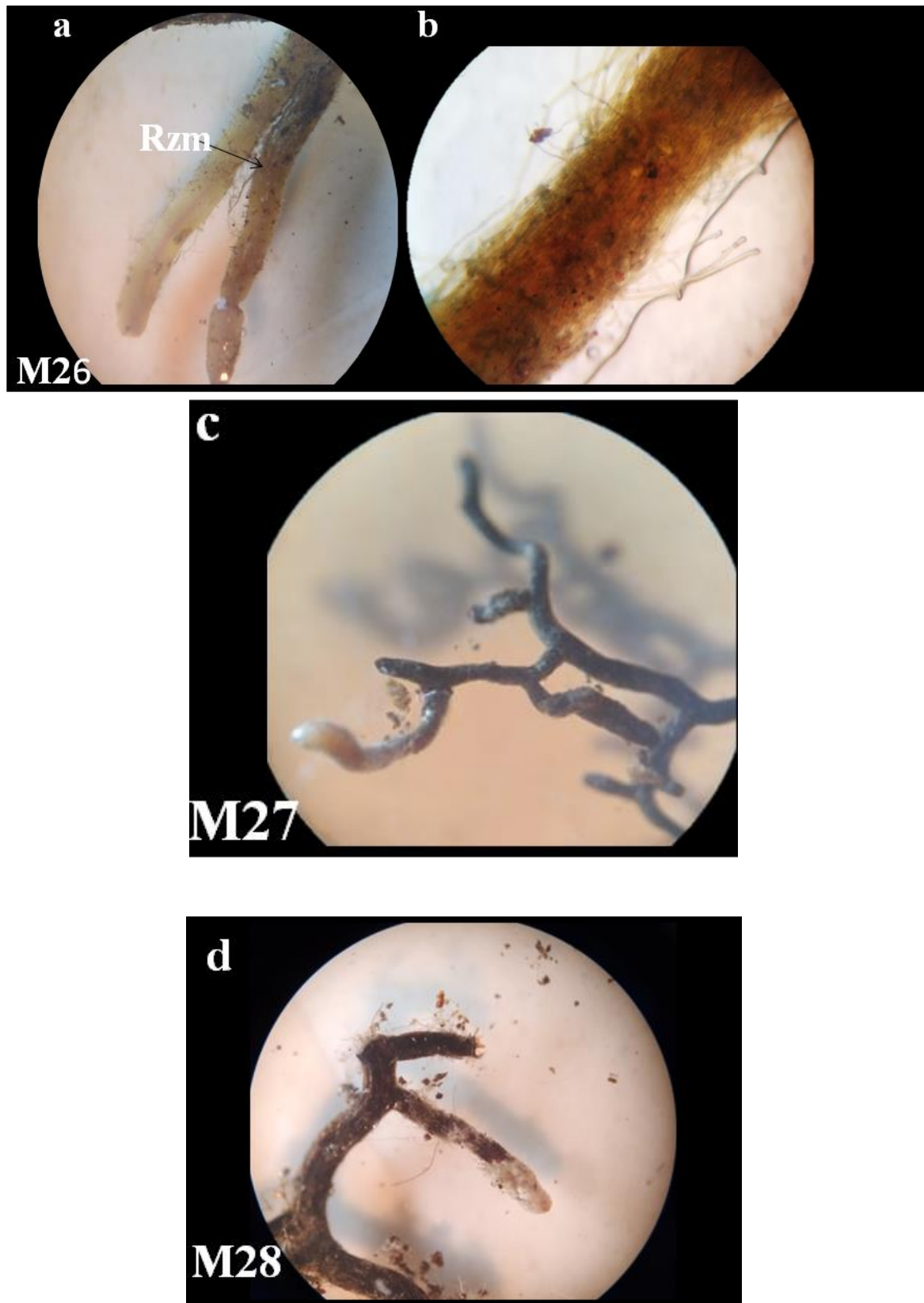


Figure 23 : Morphologie et anatomie des mycorhizes M24, M25.

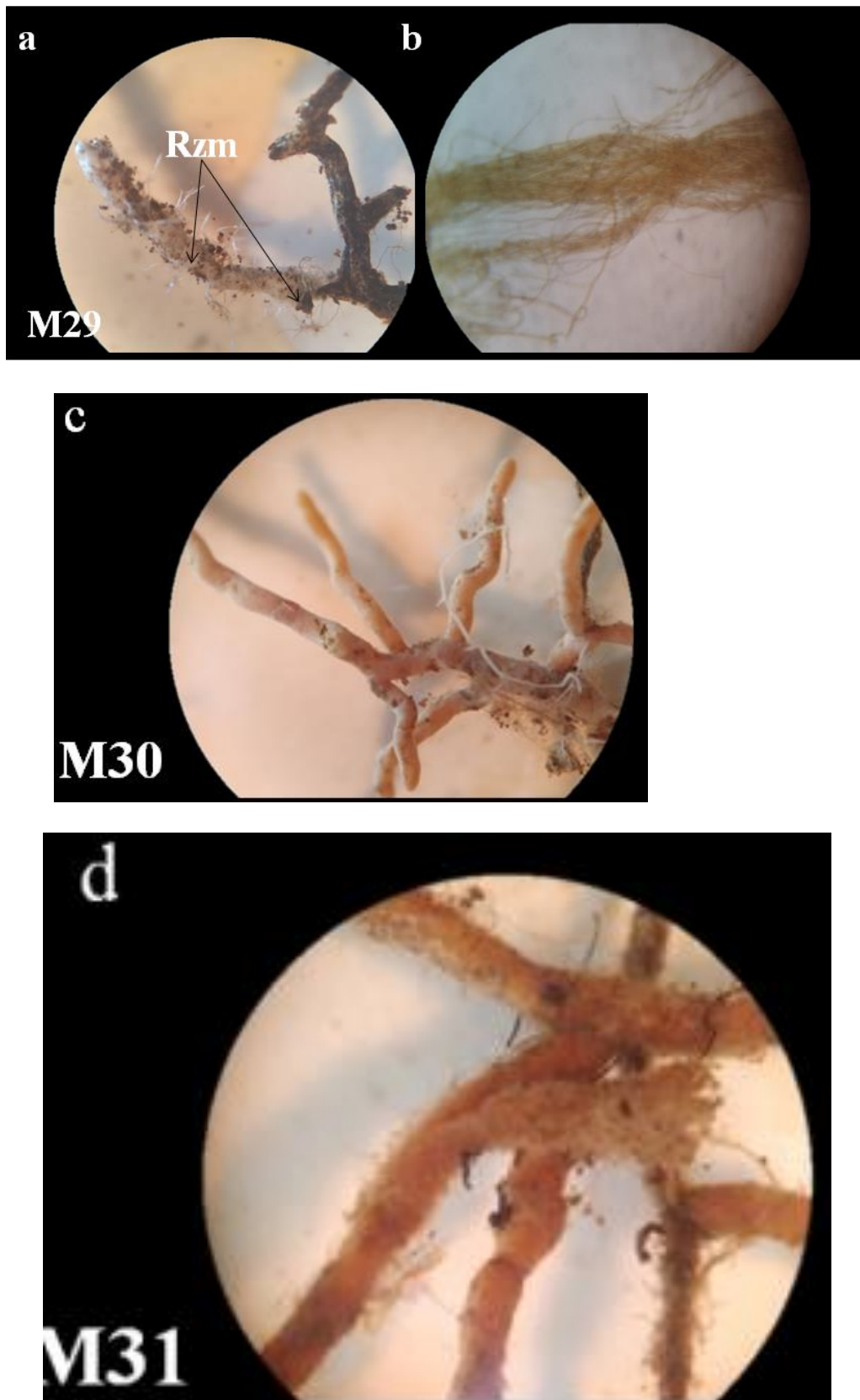
**a** : observation du mycorhize M24(Gx40). **b** : rhizomorphe du mycorhize M24(Gx400).  
**c** : coupe anatomique du mycorhize M24(Gx40). **d** : observation du mycorhize M25(Gx40).  
**e** : rhizomorphe du mycorhize M25(Gx400).

**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins



**Figure 24** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M26,M27,M28.

**a** : observation du mycorhize M26(Gx40). **b** : rhizomorphe du mycorhize M26(Gx400).  
**c** : observation du mycorhize M27(Gx40). **d** : observation du mycorhize M28(Gx40).  
**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins

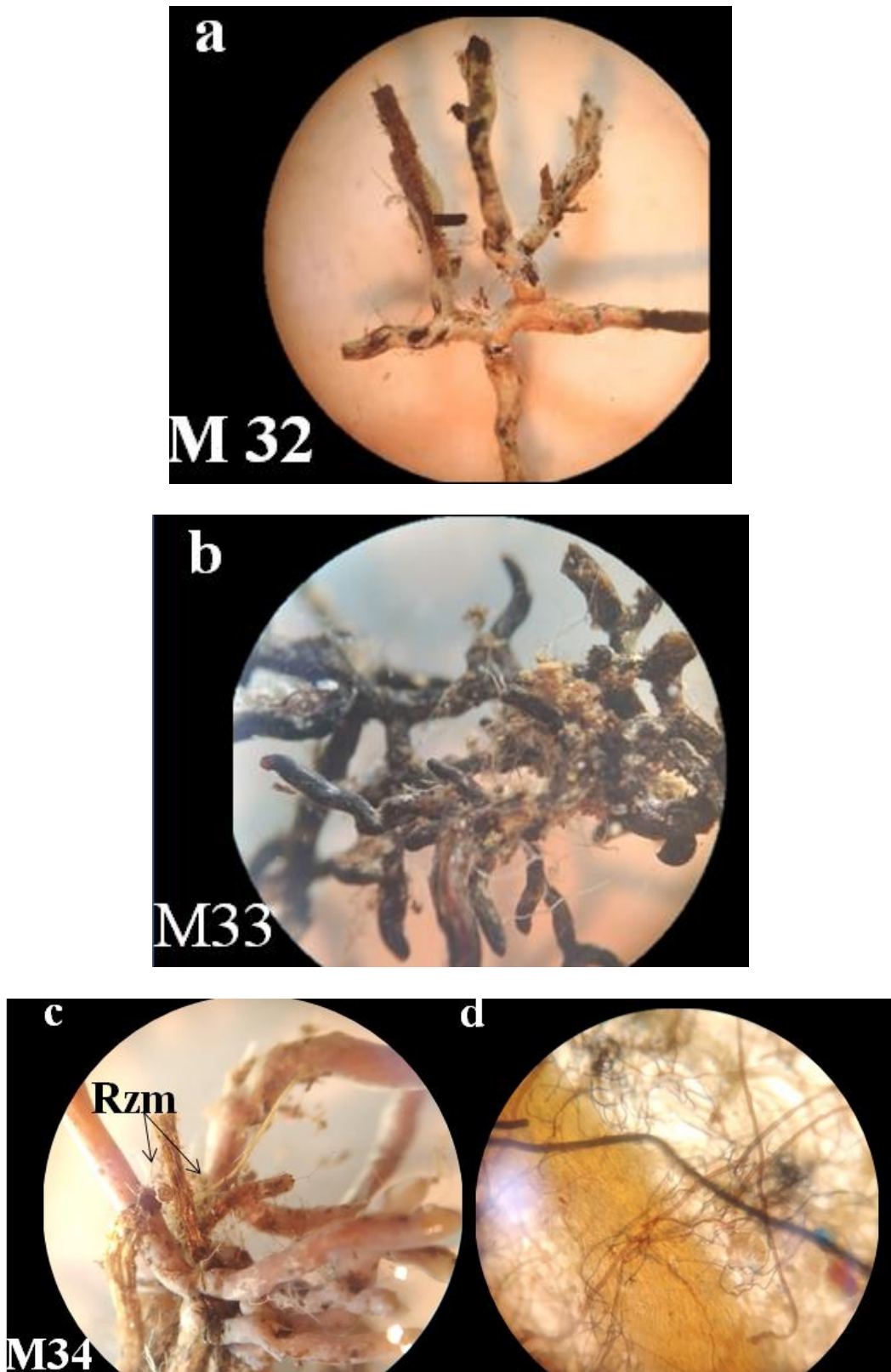


**Figure 25** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M29, M30, M31.

**a** : observation du mycorhize M29 (Gx40). **b** : rhizomorphe du mycorhize M29 (Gx400).

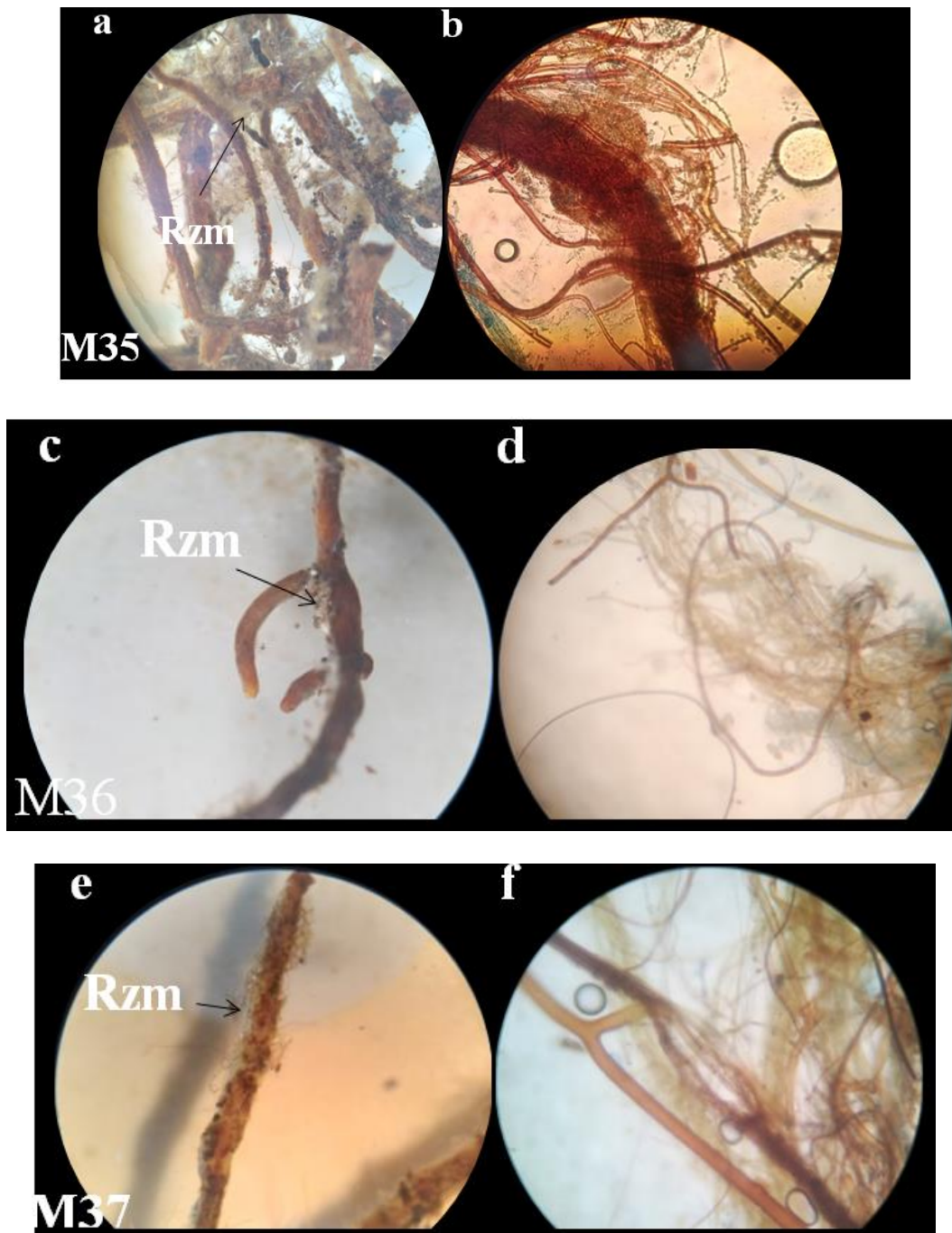
**c** : observation du mycorhize M30(Gx40). **d** : observation du mycorhize M31(Gx40).

**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins



**Figure 26** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M32, M33, M34.

**a** : observation du mycorhize M32(Gx40). **b** : observation du mycorhize M33(Gx40).  
**c** : observation du mycorhize M34(Gx40). **d** : rhizomorphe du mycorhize M34(Gx400).  
**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins



**Figure 27** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M35, M36, M37.

**a** : observation du mycorhize M35(Gx40). ). **b** : rhizomorphe du mycorhize M35(Gx400).  
**c** : observation du mycorhize M36(Gx40). ). **d** : rhizomorphe du mycorhize M36(Gx400).  
**e** : observation du mycorhize M37Gx40). ). **f** : rhizomorphe du mycorhize M37(Gx400).  
**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins

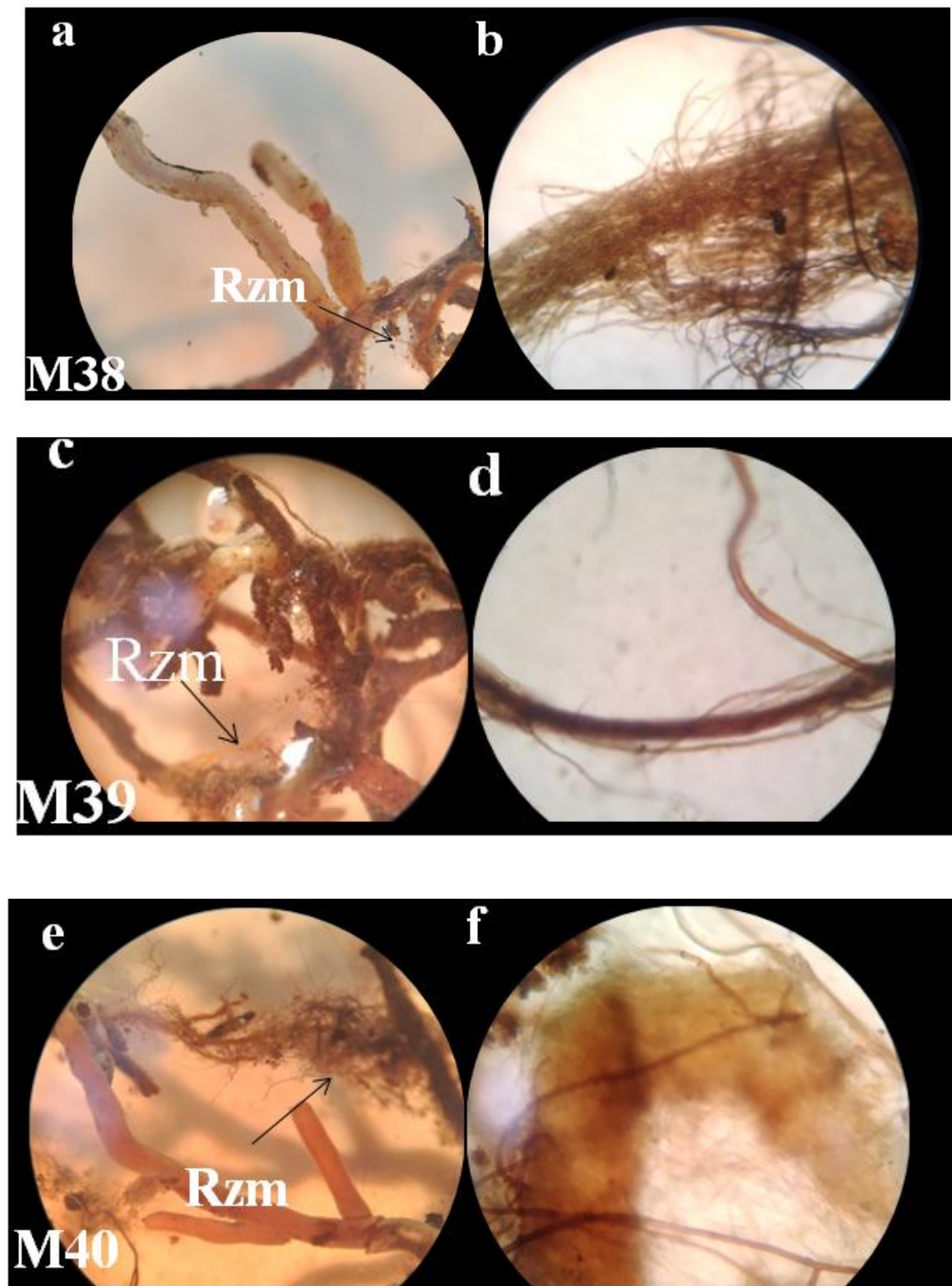
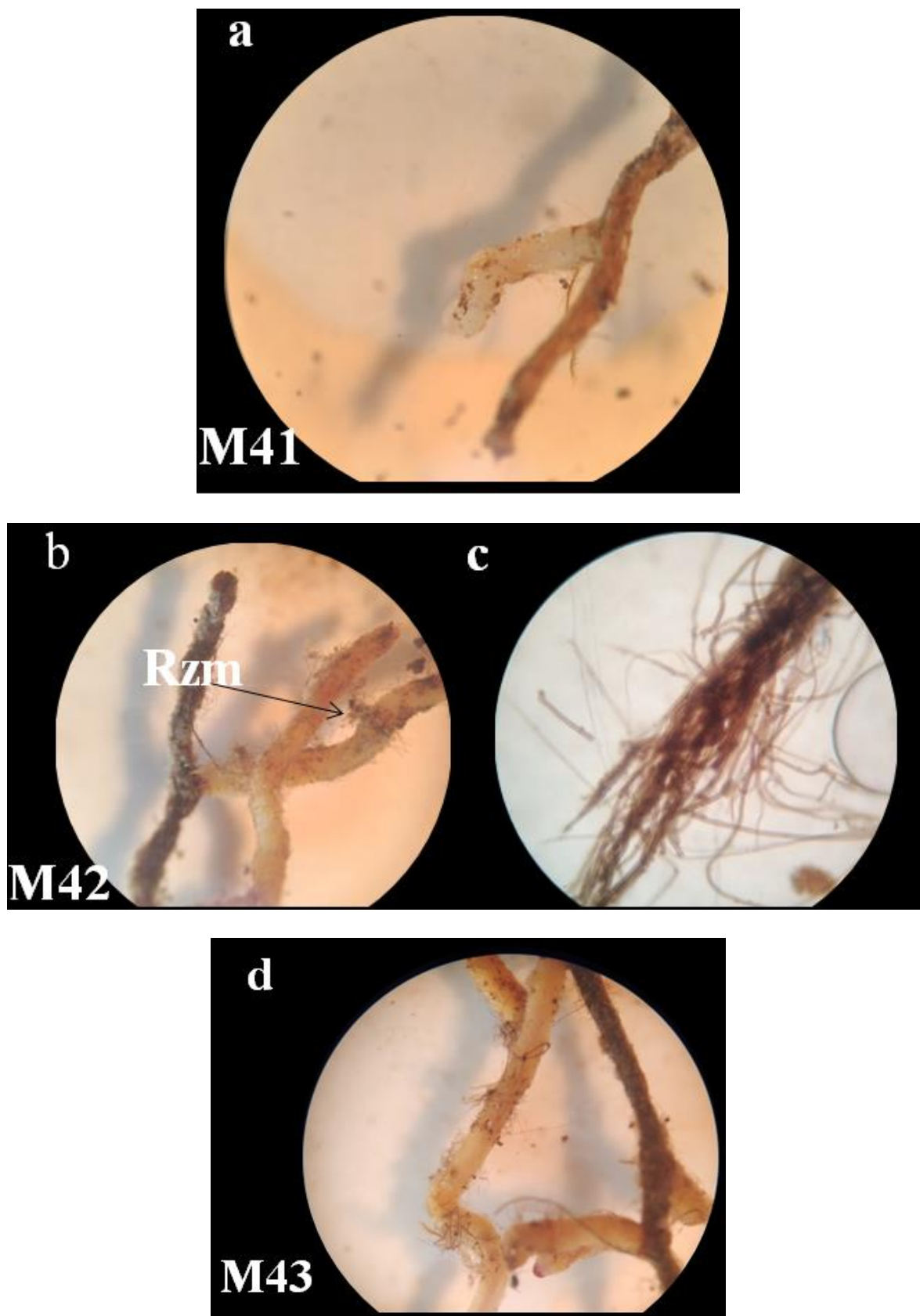


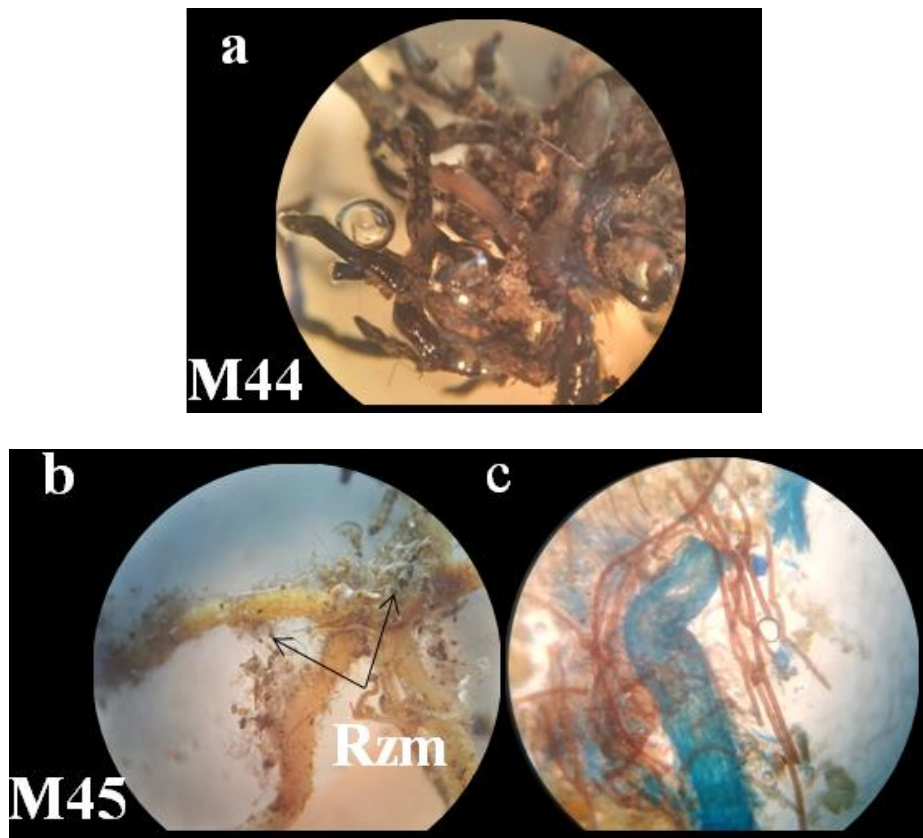
Figure 28: Morphologie et anatomie des mycorhizes M38, M39, M40.

**a**: observation du mycorhize M38(Gx40). ). **b** : rhizomorphe du mycorhize M38(Gx400).  
**c**: observation du mycorhize M39(Gx40). ). **d** : rhizomorphe du mycorhize M39(Gx400).  
**e**: observation du mycorhize M40(Gx40). ). **f** : rhizomorphe du mycorhize M40(Gx400).  
**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins



**Figure 29** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M41, M42, M43.

**a** : observation du mycorhize M41(Gx40). **b** : observation du mycorhize M41 (Gx40).  
**c** : rhizomorphe du mycorhize M42 (Gx400). **d** :observation du mycorhize M43 (Gx40).  
**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins



**Figure 30** : Morphologie et anatomie des mycorhizes M44, M45.

**a** : observation du mycorhize M44(Gx40). **b** : observation du mycorhize M45(Gx40).

**c** : rhizomorphe du mycorhize M45(Gx400).

**Rzm** : rhizomorphe, **Mf** : manteau fongique, **RH** : réseau de hartig, **T** : cellules à tanins

## 1-2- Les endomycorhizes

L'examen microscopique des racines vidées et colorées a permis d'observer différentes structures endomycorhiziennes.

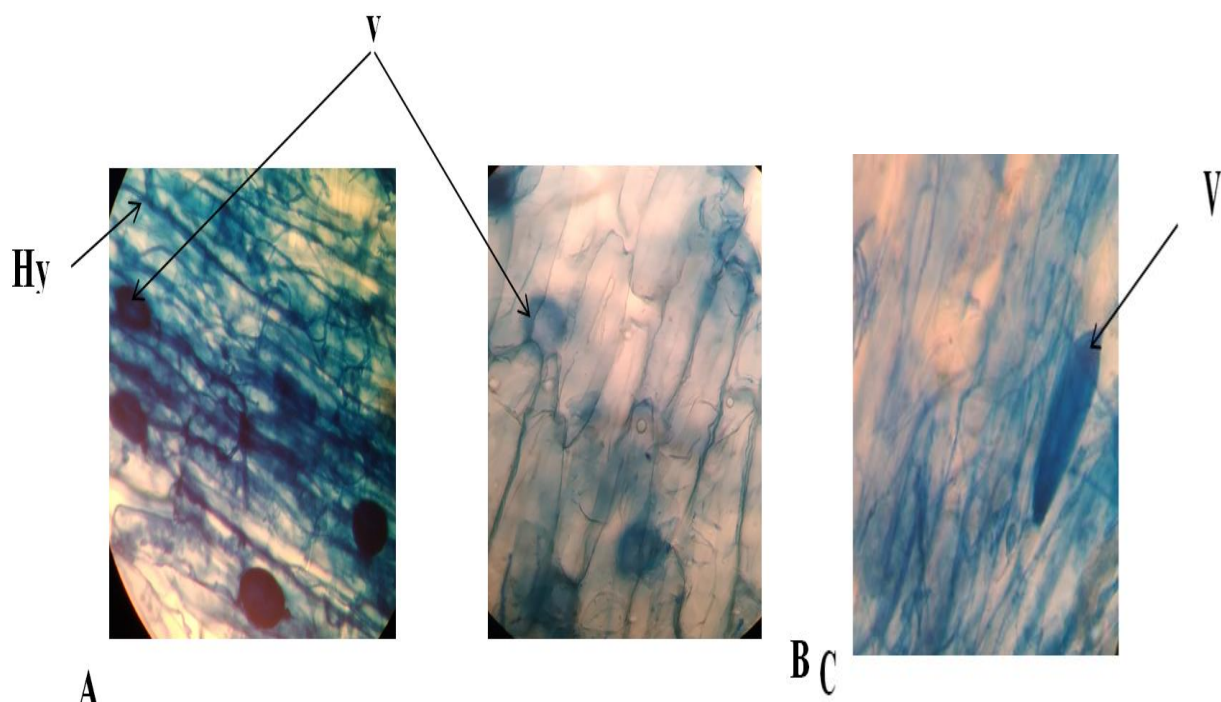
### 1-2-1- Observation des vésicules endomycorhiziennes

Des vésicules présentant des formes, des tailles et des localisations variées ont été observées, comme illustré dans la figure 27.

**A** : Présence de nombreuses vésicules intracellulaires, de grande taille et rondes, associées à des hyphes fongiques abondants.

**B** : Présence de petites vésicules rondes, en position extracellulaire, peu nombreuses.

**C** : Observation d'une vésicule extracellulaire, grande et ovale, située à la périphérie du tissu cortical.



**Figure 27** : les vésicules observées au microscope optique au grossissement (Gx400).

**A** : vésicules intracellulaires    **B** : vésicules extracellulaires    **C** : vésicule extracellulaires

**Hy** : hyphes

**V** : vésicules intracellulaires et extracellulaire.

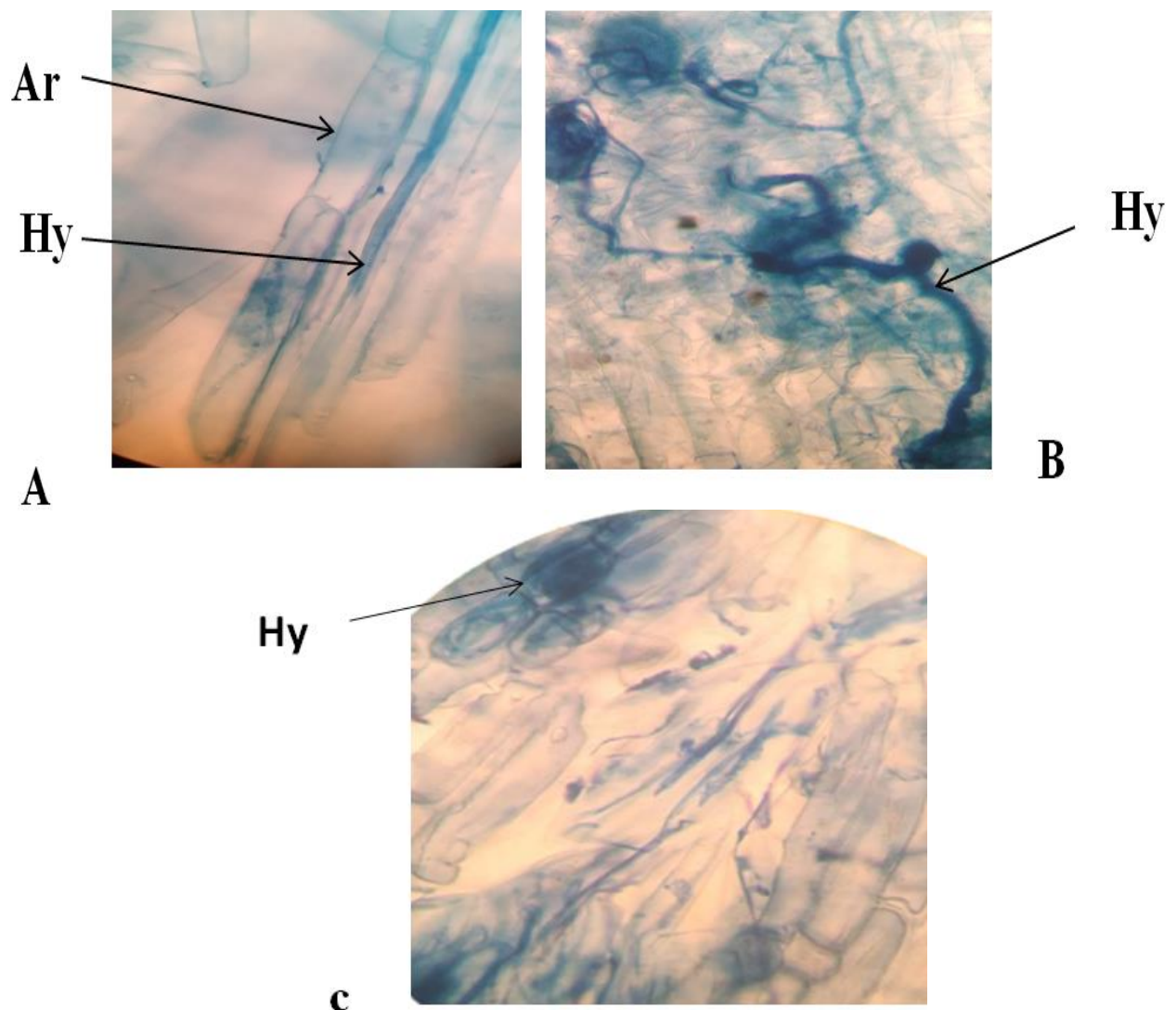
**1-2-2- Observation des hyphes endomycorhiziens**

L'analyse microscopique a permis de distinguer plusieurs types d'hyphes fongiques, différent par leur localisation et leur organisation dans les tissus racinaires (**Figure 28**).

**A** : Hyphes intracellulaires accompagnés de la présence d'un arbuscule, structure ramifiée témoignant d'une interaction symbiotique active à l'intérieur des cellules corticales.

**B** : Hyphes extracellulaires ramifiés, localisés entre les cellules, traduisant une colonisation externe en cours.

**C** : Hyphes intracellulaires enroulés, formant des pelotons typiques dans le cytoplasme des cellules hôtes



**Figure 28** : les hyphes observés au microscope optique au grossissement (Gx400).

**A** : hyphe intracellulaire    **B** : hyphe extracellulaires    **C** : hyphe intracellulaire  
**Hy** : hyphes                      **Ar** : arbuscule.

**1-2-3-Observation des arbuscules**

Les observations microscopiques ont révélé la présence d'arbuscules présentant divers stades de développement et de complexité, traduisant différents niveaux d'activité symbiotique (**Figure 29**).

**A:** Arbuscule bien développé et fortement ramifié, occupant entièrement la cellule hôte, caractéristique d'une symbiose active et pleinement fonctionnelle.

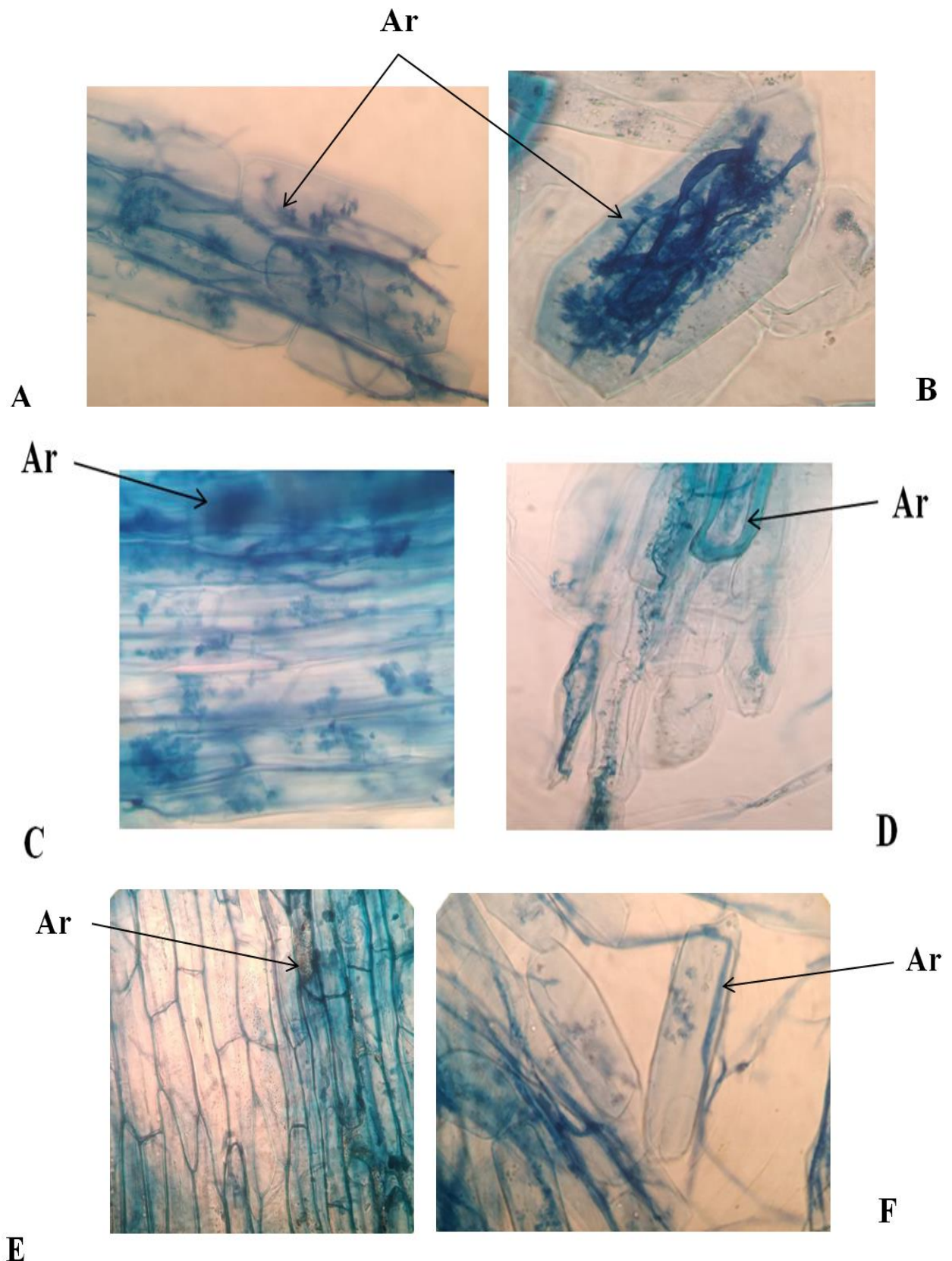
**B :** Arbuscule très ramifié, compact et intensément coloré, témoignant d'une colonisation complète et d'un stade avancé de développement.

**C :** Arbuscule faiblement ramifié, avec des ramifications peu nombreuses et linéaires, n'occupant qu'une partie de la cellule, suggérant un stade initial ou une faible activité symbiotique.

**D :** Arbuscule modérément ramifié, à structure moins dense et partiellement développé, correspondant probablement à une phase transitoire ou à une activité symbiotique réduite.

**E :** Arbuscules densément ramifiés, remplissant presque entièrement l'espace intracellulaire, indiquant une forte colonisation. Les hyphes (Hy) en arrière-plan assurent la connexion mycélienne.

**F :** Arbuscule moins développé, occupant partiellement la cellule, suggérant une colonisation plus faible ou un stade précoce de développement.



**Figure 29 :** Les structures arbusculaires observées au microscope optique au grossissement (Gx400).

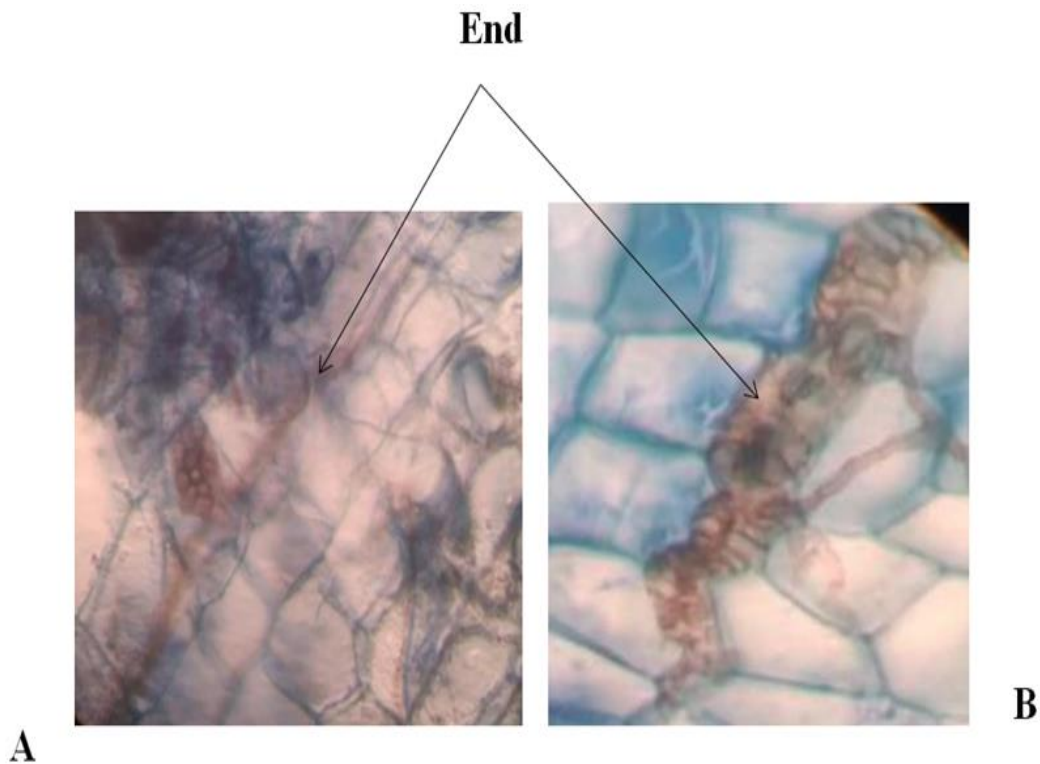
Hy : Hyphes

Ar : arbuscule.

**1-2-4- Observation des structures endophytiques**

L'analyse des racines a également permis de mettre en évidence des structures endophytiques, illustrées dans la Figure 3. Ces structures correspondent à des hyphes fongiques localisés à l'intérieur des tissus racinaires, sans provoquer de déformation ou de nécrose cellulaire apparente, suggérant une association symbiotique discrète et non pathogène.

La présence d'hyphes endophytiques pénétrant les cellules corticales de façon diffuse, sans organisation en arbuscules ni pelotons.



**Figure 30** : Les structures endophytiques observées au microscope optique au grossissement (Gx400).

**End** : endophytes.

## DISCUSSION

L'analyse morphologique et anatomique des racines de trois individus de *Taxus baccata* prélevés dans la station de Tigounatine (versant sud du Djurdjura) a permis d'identifier 45 morphotypes ectomycorhiziens distincts. Cette diversité remarquable reflète la richesse fongique de cette région montagnarde méditerranéenne. Ces résultats sont comparables, voire supérieurs, à ceux rapportés dans des études antérieures menées dans d'autres stations du même massif ou dans des régions similaires. Bournine-Harchaoui (2017) a recensé 26 morphotypes dans la station de l'Akfadou. Doufene (2018) a observé jusqu'à 82 morphotypes dans les stations d'Akfadou et de Chréa, et Doufene-Chabane (2019) en décrit 42 dans la station de Tikjda. Taalabi et Takharabte (2023) ont quand à elles identifié 47 morphotypes dans les stations de la Fontaine des Ifs et de Chréa au printemps. Plus récemment, Tiachtine Imane et Sellami Amina (2024) ont mis en évidence 21 morphotypes au niveau de la Fontaine des Ifs. Ces différents résultats confirment une diversité ectomycorhizienne particulièrement élevée chez *Taxus baccata*, probablement favorisée par des facteurs environnementaux locaux, la nature du sol, ainsi que par les spécificités écologiques du couvert forestier.

Les mycorhizes recensées se distinguent par une grande variabilité de couleur (blanche, jaune, orange, marron, noire), de forme (droite, sinueuse, tortueuse, pyramidale, coralloïde) et de type de ramification (simple, dichotomique, racémeuse, monopodiale). Cette diversité morphologique illustre la pluralité des espèces fongiques impliquées et leur adaptation aux microhabitats locaux. Si les caractéristiques morphologiques peuvent être influencées par l'environnement (Chilvers, 1968), elles demeurent des critères fondamentaux pour la typification des ectomycorhizes (Agerer, 2001).

Les structures extra-matriciellees observées (granuleuses, laineuses, cotonneuses, lisses) parmi les 45 types de mycorhizes identifiés révèlent une diversité morphologique traduisant des stratégies fongiques différenciées dans l'exploration du sol et l'acquisition des nutriments. Sur l'ensemble des morphotypes analysés, 22 mycorhizes présentent une texture granuleuse, 10 une surface lisse, 7 une structure cotonneuse et 6 une apparence laineuse. Cette répartition met en évidence la prédominance des textures granuleuses (soit 50 % des cas). Ce type de structure, caractérisé par une accumulation dense d'hyphes à la surface du manteau fongique, est généralement associé à une stratégie d'exploration efficace du sol par contact direct avec le substrat, optimisant ainsi les échanges hydriques et nutritifs (Agerer, 2001 ; Smith et Read, 2008).

Les structures granuleuses peuvent également refléter une forte capacité d'absorption des ions nutritifs, en particulier dans des environnements où les nutriments sont faiblement mobiles, comme le phosphore (Smith et *al.*, 2010).

La mise en évidence de rhizomorphes de types boletoïde, uniforme-compact, uniforme-loose et thelephoroïde chez certaines mycorhizes (notamment M12, M16, M29, M37 et M42) indique des stratégies d'exploration fongique différenciées. Selon Agerer (2001), les rhizomorphes bien développées permettent aux champignons ectomycorhiziens d'exploiter efficacement des volumes de sol plus étendus, en facilitant le transport de l'eau et des nutriments sur des distances moyennes à longues. Ces structures jouent un rôle clé dans la colonisation des substrats pauvres ou hétérogènes, typiques des environnements montagnards (Agerer, 2001 ; Hobbie et Agerer, 2010). En particulier, les stratégies à moyenne distance sont associées à une croissance modérée mais persistante, contribuant à la connectivité entre différentes zones racinaires et assurant un apport nutritif régulier à l'hôte (Agerer, 2001).

Sur les 45 types d'ectomycorhizes identifiés chez *Taxus baccata* dans la station de Tigounatine, la majorité (27 types) adopte une stratégie d'exploration de moyenne distance (ex. : M11, M14, M16, M22, M25, M29, M35, M41...), caractérisée par un développement modéré d'hyphes extramatriciels et, parfois, de courts rhizomorphes, permettant une exploration étendue mais localisée autour de la racine. Cette stratégie est généralement adaptée aux sols forestiers tempérés où les ressources sont distribuées de manière hétérogène mais sans fragmentation extrême (Agerer, 2001 ; Smith et Read, 2008).

Huit types (M17, M21, M23, M28, M31, M33, M37, M43) présentent une stratégie de longue distance, caractérisée par des rhizomorphes bien développés, épais et organisés, capables d'explorer des volumes importants de sol. Ce mode est souvent associé à des champignons basidiomycètes tels que *Piloderma* ou *Cortinarius*, et reflète une capacité à rechercher des nutriments éloignés dans des environnements pauvres ou très hétérogènes (Agerer, 2001 ; Lilleskov et *al.*, 2011).

En revanche, 4 types (M7, M8, M9, M10) sont classés dans la catégorie des courtes distances, avec des hyphes limités au voisinage immédiat des racines. Ces mycorhizes sont souvent associées à une faible capacité d'exploration mais à une grande efficacité locale d'absorption (Tedersoo et Smith, 2013).

Enfin, seuls 6 types (M1, M2, M3, M4, M5, M6) présentent une stratégie de contact, caractérisée par l'absence de structures extramatricielles différenciées, traduisant une colonisation restreinte à la surface des racines. Ce type est souvent observé dans des sols riches en matière organique ou humides, où les ressources sont facilement accessibles à proximité immédiate (Weiß et *al.*, 2016 ; Smith et Read, 2008).

La prédominance de la stratégie de moyenne distance met en évidence une réponse adaptative à des sols modérément riches et peu profonds, caractéristiques des milieux montagnards méditerranéens. La coexistence de diverses stratégies suggère également une complémentarité fonctionnelle entre les symbiotes fongiques, permettant une exploitation optimisée du sol selon les micro-variations environnementales (Tedersoo et *al.*, 2006 ; Courty et *al.*, 2010).

L'analyse anatomique des manteaux fongiques révèle une gamme de structures allant de manteaux très fins à très épais, organisés de manière lâche ou compacte. Cette variabilité traduit probablement des stades de développement symbiotique distincts ou des spécificités fonctionnelles propres aux espèces fongiques impliquées. Les manteaux épais et denses (observés notamment chez les mycorhizes M5, M17, M22) traduisent une association symbiotique stable et efficace (Agerer, 2006).

Le réseau de Hartig, présent dans la majorité des mycorhizes, s'étend au-delà de la couche corticale externe, illustrant une intégration profonde du champignon dans les tissus racinaires de l'hôte. Une telle configuration est généralement corrélée à une efficacité accrue des échanges nutritionnels (Smith et Read, 2008).

Les variations dans la structure du manteau fongique et l'intensité du réseau de Hartig traduisent des adaptations fines favorisant des échanges nutritifs efficaces, tandis que la présence concomitante d'ecto- et d'endomycorhizes témoigne d'une plasticité symbiotique renforçant la capacité d'exploitation des ressources du sol (Brundrett, 2009; Smith et Read, 2008). La modulation de la symbiose par les tanins et autres composés phénoliques produit par *T. baccata* illustre une régulation dynamique entre partenaires, essentielle à la stabilité de l'association (Wang et *al.*, 2020).

La présence de tanins dans certains mycorhizes ( M4, M12, M15, M19, M20, M20,M22) suggère une régulation chimique des interactions symbiotiques. Ces composés phénoliques, produits par la plante hôte, jouent un rôle dans la sélection des partenaires fongiques, favorisant certaines espèces tout en inhibant d'autres (Wang et *al.*, 2020). Leur présence pourrait également indiquer une réponse de défense ou un mécanisme de coévolution entre *T. baccata* et les champignons associés (Marx, 1973).

L'analyse microscopique des racines vidées de *Taxus baccata* issues des trois individus échantillonnés dans la station de Tigounatine a révélé la présence de structures caractéristiques d'endomycorhizes : hyphes intraracinaires, arbuscules et vésicules, appartenant probablement au phylum des Glomeromycètes. Des hyphes de calibres variés, fins et épais, ont été observés dans le cortex racinaire. Les vésicules, de formes diverses (rondes, ovales), sont présentes aussi bien en position intracellulaire qu'extracellulaire. Leur abondance et leur diversité morphologique témoignent d'une colonisation fongique avancée, voire sénescence, typique des mycorhizes à arbuscules (Smith et Read, 2008).

Des arbuscules intracellulaires, structures fines et hautement ramifiées constituées d'un tronc arbusculaire et de ramifications progressives, ont également été observés. Ces structures sont le siège des échanges actifs entre le champignon et la plante (Wubet et *al.*, 2003). Après pénétration de l'épiderme, les hyphes progressent dans le cortex racinaire et s'organisent parfois en pelotons mycéliens à l'intérieur des cellules corticales externes.

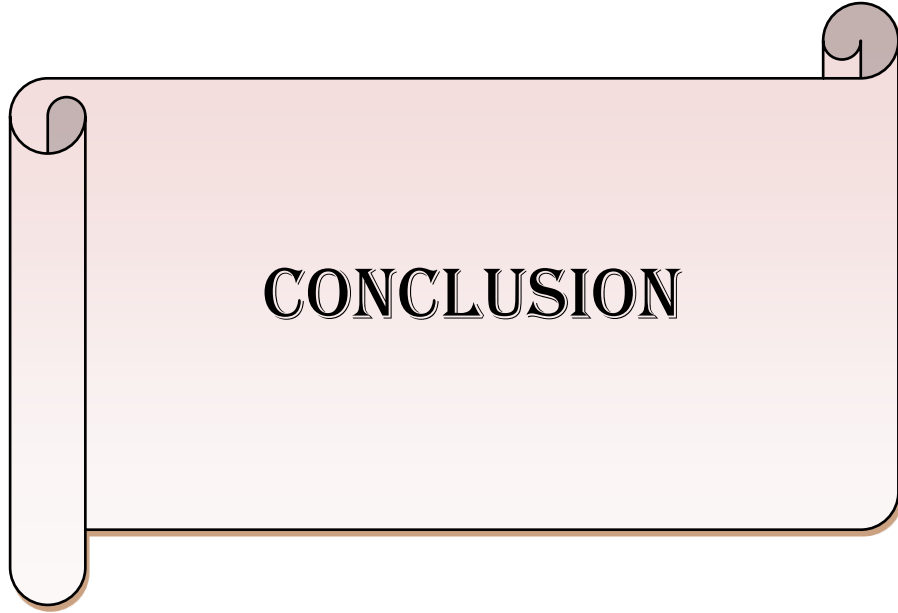
Ces résultats concordent avec ceux rapportés dans des travaux antérieurs réalisés dans la même station. En effet, des structures endomycorhiziennes similaires telles que des arbuscules, des vésicules, des endophytes et des hyphes intracellulaires et extracellulaire ont été observées chez *Taxus baccata* (Maloum et Yachir, 2006 ; Challali, 2013 ; Khedam et Lhocini, 2013). Des observations analogues ont été faites dans des stations écologiquement proches, où les mêmes types de structures ont été décrits (Bournine-Harchaoui, 2017 ; Kebti, 2019 ; Doufene Chabane, 2019 ; Taalabi et Takharabte, 2023 ; Tiachtine et Sellami, 2024).

Par ailleurs, des structures fongiques non mycorhiziennes ont été observées à l'intérieur des tissus racinaires, probablement attribuables à des champignons endophytes. Ces derniers, bien que distincts des mycorhizes fonctionnelles, peuvent jouer un rôle complémentaire dans la santé

des racines, la résistance aux pathogènes et la tolérance au stress abiotique (Rodriguez et *al.*, 2009). Leur présence suggère une diversité symbiotique racinaire plus large que la seule association mycorhizienne.

La coexistence de symbioses ectomycorhiziennes et endomycorhiziennes chez *T. baccata* révèle ainsi une stratégie adaptative mixte. Cette double association permet à l'arbre de mobiliser différentes sources nutritives, notamment le phosphore (via les endomycorhizes) et l'azote organique (via les ectomycorhizes), dans un environnement potentiellement pauvre en nutriments.

En effet, les sols de la station de Tigounatine sont acides, peu profonds, à texture grossière, avec une faible teneur en azote total et en phosphore assimilable, ce qui limite la disponibilité des éléments minéraux pour les plantes (Harchaoui-Bournine, 2017). Dans ce contexte, le recours à une stratégie symbiotique duale représente un avantage écologique important, renforçant la résilience de *T. baccata* face aux contraintes édaphiques et climatiques locales (Brundrett, 2009).



**CONCLUSION**

### CONCLUSION

L'étude du statut mycorhizien associé à *Taxus baccata* dans la station de Tigounatine a révélé une double symbiose mycorhizienne. Au total, 46 morphotypes ont été observés ainsi que divers structures endomycorhiziennes. La diversité morphologique, anatomique et fonctionnelle des mycorhizes, notamment les différentes stratégies d'exploration via les rhizomorphes de types moyenne distance (MD) et longue distance (LD), assurait à l'if une capacité d'adaptation optimale aux contraintes édaphiques et climatiques. Parallèlement, l'analyse microscopique a révélé la présence de structures endomycorhiziennes typiques, telles que des hyphes intraracinaires, des arbuscules, des vésicules et des spores, témoignant d'une colonisation active par des champignons à symbiose endomycorrhizienne.

La symbiose mycorhizienne constitue un pilier fondamental de la biologie de *Taxus baccata*, contribuerait non seulement à sa nutrition mais aussi à sa résistance aux stress environnementaux dans un contexte méditerranéen souvent défavorable. La mycorhization ouvre des perspectives prometteuses pour la conservation de cette espèce, ainsi que pour la gestion durable des forêts méditerranéennes où les interactions fongiques jouent un rôle écologique majeur.

En définitive, La diversité morpho-anatomique et fonctionnelle des mycorhizes observés chez *T. baccata* à Tigounatine met en lumière la capacité de cette espèce à s'associer avec un large éventail de champignons symbiotiques. Cette plasticité symbiotique témoigne d'une coévolution favorable dans un écosystème à forte hétérogénéité écologique. Elle pourrait également jouer un rôle essentiel dans la survie et la régénération naturelle de l'espèce, notamment en réponse aux pressions climatiques et anthropiques croissantes.

# Références bibliographiques

- **Abdel, S. (2011).** Étude écologique et phytosociologique des peuplements forestiers à *Taxus baccata* dans le Djurdjura. Mémoire de Magister, Université de Tizi-Ouzou.
- **Abuzinadah, R.A., et Read, D.J. (1989).** The role of proteins in the nitrogen nutrition of ectomycorrhizal plants. *New Phytologist*, 111(4), 495–500.
- **Agerer, R. (2001).** Exploration types of ectomycorrhizae: A proposal to classify ectomycorrhizal mycelial systems according to their patterns of differentiation and putative ecological importance. *Mycorrhiza*, 11(2), 107–114.
- **Benmouffok, A. (1994).** Contribution à l'étude de la flore du Djurdjura (Algérie). Thèse de Doctorat, Université d'Alger.
- **Benmouffok, A. (1995).** Analyse floristique et phytogéographique du versant sud du Djurdjura. Publications de l'université.
- **Bensaïd, S., et Derridj, A. (2006).** Dynamique de la végétation dans les zones montagneuses d'Algérie. *Ecologia Mediterranea*, 32(2), 1–12.
- **Bouazza, M., Djebbar, M., et Touahria, M. (2020).** Évaluation écologique des peuplements à Ifs (*Taxus baccata* L.) dans le massif du Djurdjura (Algérie). *Revue des Sciences de la Nature et de la Vie*, 17(2), 87–98.
- **Bridel, L. (2007).** Le patrimoine naturel forestier des Alpes. CNRS Éditions.
- **Brundrett, M. (2009).** Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: Understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant and Soil*, 320(1–2), 37–77.

- **Chetan, A., et Ak, M. (1994).** Studies on the ecological preferences of *Taxus* species in mountainous areas. *Journal of Forestry Research*, 5(3), 211–219.
- **Chilvers, G.A. (1968).** Biology of the ectotrophic mycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius*. *Mycologia*, 60(2), 326–333.
- **Cope, E.A. (1998).** Taxaceae. In *Flora of North America* (Vol. 2, pp. 402–405). Oxford University Press.
- **Courty, P.E., Buée, M., Diedhiou, A.G., Frey-Klett, P., Le Tacon, F., Rineau, F., Turpault, M.-P., Uroz, S., et Garbaye, J. (2010).** The role of ectomycorrhizal communities in forest ecosystem processes: New perspectives and emerging concepts. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5), 679–698.
- **Daget, P. (1984).** La phytogéographie méditerranéenne : éléments de biogéographie. CNRS.
- **Dearnaley, J.D.W., Martos, F., et Selosse, M.-A. (2012).** Orchid mycorrhizas: Molecular ecology, physiology, evolution and conservation aspects. In *Fungal Associations* (pp. 207–230). Springer.
- **Delahunty, T. (2002).** *Taxus baccata* L.: Traditional uses and conservation strategies. *The Botanical Review*, 68(3), 333–349.
- **Derridj, A. (1980).** Essai de cartographie dynamique de la végétation du versant sud du Djurdjura (Algérie). Thèse de Doctorat, Université d'Alger.
- **Dighton, J., Tuininga, A., et Gray, D.M. (1990).** Role of mycorrhizal fungi in the degradation of toxic organics in forest soils. *Mycological Research*, 94(6), 767–772.
- **Dighton, J., et Boddy, L. (1993).** Role of fungi in nitrogen, phosphorus and sulfur cycling in temperate forest ecosystems. In *Fungi in Ecosystem Processes*. Marcel Dekker Inc.

- **Dörken, V.M., et Hetzel, N. (2017).** Morphological differences in *Taxus baccata* needles from various European populations. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 183(2), 187–202.
- **Eichenberger, P., et Heiselmayer, P. (1995).** Conifer growth and regeneration dynamics in alpine ecosystems. *Alpine Forest Research Journal*, 10(3), 221–235.
- **Evelin, H., Kapoor, R., et Giri, B. (2009).** Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: A review. *Annals of Botany*, 104(7), 1263–1280.
- **Farjon, A. (2001).** *World Checklist and Bibliography of Conifers*. 2nd ed. Royal Botanic Gardens, Kew.
- **Flandrin, J. (1947).** *Les végétations du massif du Djurdjura*. Publications de l'Institut de Botanique d'Alger.
- **Fortin, J.A., Plenchette, C., et Piché, Y. (2008).** Les mycorhizes arbusculaires : rôle écologique et applications. In Harchaoui (2017).
- **Fortin, J.A., Plenchette, C., et Piché, Y. (2016).** *Les mycorhizes : biologie et applications*. Éditions Quae.
- **Franco, M. (1986).** Conifer conservation in the western Mediterranean. In: Gracia, C., et *al.* (2000).
- **Frank, A. B. (1877).** Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 5, 128–145.
- **Garbaye, J. (2013).** *Les mycorhizes : biologie et applications*. Éditions Quae.
- **Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M.N., van Tuinen, D., Redecker, D., et Wipf, D. (2010).** Agroecology: The key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, 20(8), 519–530.

- **Göhre, V., et Paszkowski, U. (2006).** Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. *Planta*, 223(6), 1115–1122.
- **Gracia, C., Retana, J., Roig, P., et Bellot, J. (2000).** Ecology of Mediterranean evergreen oak forests. Springer-Verlag.
- **Guechi, A., et Aissani, F. (2014).** Données climatiques de la station de Tikjda (Djurdjura, Algérie). *Bulletin de l'ONM*.
- **Guechoud, H. (2014).** Étude écologique des peuplements à *Taxus baccata* dans le Djurdjura. Mémoire de Magister, Université de Tizi-Ouzou.
- **Guechoud, H. (2016).** Analyse de la dynamique des peuplements d'ifs dans le massif du Djurdjura. Thèse de Doctorat, Université de Tizi-Ouzou.
- **Hamidouche, M., Derridj, A., et Yahi, N. (2014).** État de conservation de *Taxus baccata* L. dans le massif du Djurdjura (Algérie). *Revue d'Écologie*, 69(2), 123–132.
- **Harley, J.L. (1989).** The significance of mycorrhiza. *Mycological Research*, 92(2), 129–139.
- **Harley, J.L., et Smith, S.E. (1983).** Mycorrhizal symbiosis. Academic Press.
- **Harchaoui, H. (2017).** Rôle des mycorhizes dans l'adaptation des plantes forestières aux stress abiotiques. Thèse de Doctorat, Université de Bejaia.
- **Javot, H., Penmetsa, R.V., Terzaghi, N., Cook, D.R., et Harrison, M.J. (2007).** A *Medicago truncatula* phosphate transporter indispensable for the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(5), 1720–1725.
- **Kadi, R. (2016).** Étude de la diversité des champignons mycorrhiziens associés à *Taxus baccata* dans le Djurdjura. Mémoire de Master, Université de Tizi-Ouzou.

- **Lambers, H., Chapin III, F.S., et Pons, T.L. (2009).** Plant physiological ecology. Springer Science et Business Media.
- **Leuthold, H. (1980).** Étude écologique des forêts à *Taxus baccata* en Suisse. *Revue Suisse de Botanique*, 89(3), 215–230.
- **Leyval, C. (2005).** Rôle des mycorhizes dans la tolérance des plantes aux métaux lourds. *Comptes Rendus Biologies*, 328(10-11), 963–973.
- **L’Huillier, L., Plenchette, C., et Fortin, J.A. (2010).** Les mycorhizes : un outil pour la gestion durable des écosystèmes forestiers. *Revue Forestière Française*, 62(6), 567–576.
- **Lounes Hadji Sahraoui, A. (2013).** Interactions entre champignons mycorhiziens et plantes hôtes en milieu forestier méditerranéen. Thèse de Doctorat, Université de Bejaia.
- **Maire, R. (1952-1953).** Flore de l’Afrique du Nord. Alger : Imprimerie officielle.
- **Marx, D.H. (1972).** Ectomycorrhizal fungi and their significance in forest ecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 36(2), 263-267.
- **Meddour, R. (1994).** Étude écologique des peuplements forestiers dans le massif du Djurdjura. *Revue des Sciences de la Nature*, 10(3), 25-40.
- **Medjahdi, B., Benmouffok, S., et Yahi, N. (2009).** Conservation de l’If commun (*Taxus baccata*) en Algérie. *Bulletin de l’ONM*, 5(1), 15-22.
- **Mosadegh, H. (2004).** Role of mycorrhizal fungi in plant nutrition. *Journal of Plant Physiology*, 161(2), 123-130.
- **Martin, F., et Thiébaud, G. (2010).** Biologie des champignons mycorhiziens. Paris : Éditions Quae.
- **Medail, F., et Quézel, P. (1997).** Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: Setting global conservation priorities. *Conservation Biology*, 12(6), 134-144.

- **Moire, M. (1999).** Étude morphologique des ectomycorhizes. *Annales des Sciences Forestières*, 56(4), 312-320.
- **Neumann, E., et George, E. (2004).** Mycorrhizal symbiosis and phosphorus uptake. *Plant and Soil*, 262(1-2), 237-249.
- **Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., et Simons, A. (2009).** Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre.
- **Peterson, R.L., Massicotte, H.B., et Melville, L.H. (2004).** Mycorrhizas: Anatomy and cell biology. *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 1043-1057.
- **Piovensan, N., Holscher, D., et Rexer, K.H. (2009).** Diversity and distribution of ectomycorrhizal fungi in the Mediterranean Basin. *Mycologia*, 101(5), 699-709.
- **Pignatti, S. (1982).** Flora d'Italia. Bologna: Edagricole.
- **Pozo, M.J., et Azcón-Aguilar, C. (2007).** Mycorrhizal symbiosis and plant immunity. *Trends in Plant Science*, 12(8), 352-357.
- **Presutti, Saba. (2013).** Rôle des champignons mycorrhiziens dans la restauration écologique. *Journal of Ecology*, 101(2), 380-388.
- **Quézel, P., et Barbero, M. (1989).** Flore et végétation du bassin méditerranéen. Montpellier : Éditions CNRS.
- **Rameau, J.C., Mansion, D., et Dumé, G. (1993).** Flore forestière française. Paris : Institut pour le Développement Forestier.
- **Read, D.J. (1991).** Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia*, 47(4), 376-391.
- **Rudow, F., Hager, H., et Hager, J. (2004).** Anatomical characteristics of ectomycorrhizas in conifers. *Mycorrhiza*, 14(2), 75-83.

- **Scheeder, M., Schütt, P., et Mosandl, R. (1994).** Morphology of ectomycorrhizal associations in temperate trees. *Plant and Soil*, 159(1), 1-10.
- **Schirone, B., Marinelli, F., et Rossi, G. (2010).** Conservation of *Taxus baccata* populations in Italy. *Biodiversity and Conservation*, 19(12), 3491-3505.
- **Schütt, P. (1995).** Mycorrhizal colonization and root morphology. *Mycorrhiza*, 5(5), 257-263.
- **Schweingruber, F.H. (1990).** Anatomy of European trees. Paul Haupt Verlag.
- **Smith, S.E., et Read, D.J. (2008).** Mycorrhizal symbiosis. Academic Press.
- **Spjut, R.W. (2007).** A systematic review of the Taxaceae. *Botanical Journal*, 45(1), 22-40.
- **Strullu, D.G. (1991).** Mycorrhizal fungi and plant nutrition. *Plant Science*, 80(1), 1-20.
- **Svenning, J.C., et Magard, E. (1999).** Ecological factors controlling distribution of *Taxus baccata*. *Ecography*, 22(1), 41-50.
- **Taylor, T.N., et Alexander, E.B. (2005).** Fungal biodiversity and forest ecosystem function. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 36, 575-601.
- **Thomas, P.A., et Polwart, A. (2003).** *Taxus baccata* L. – A comprehensive guide. Forest Research.
- **Thomas, P.A. (2010).** Ecology of the European yew. *Botanical Review*, 76(2), 164-172.
- **Tisdall, J.M., Oades, J.M., et Smith, S.E. (1991).** Soil aggregation and mycorrhizas. *Soil Biology and Biochemistry*, 23(6), 465-471.
- **Voire, P. (1980).** Physiologie des plantes et symbioses mycorrhiziennes. *Revue Générale de Botanique*, 87, 23-36.

- **Vallata, E. (2009).** Diversité des champignons mycorhiziens en zones méditerranéennes. *Mycologia Mediterranea*, 24(1), 15-29.
- **van der Heijden, M.G.A., Bardgett, R.D., et van Straalen, N.M. (2008).** The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(3), 296-310.
- **Vessella, F., Piccolo, A., et Esposito, S. (2015).** Study of mycorrhizal fungi diversity in Mediterranean forests. *Plant Biosystems*, 149(4), 636-643.
- **Vidakovic, M. (1991).** Conifers: morphology and variation. Zagreb University Press.
- **Wang, B., et Qiu, Y.L. (2006).** Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16(5), 299-363.
- **Wang, B., et Qiu, Y.L. (2020).** Glomeromycota: evolution and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Annual Review of Microbiology*, 74, 361-386.
- **Watkins, J.E., Jr., Mack, M.C., et Baltzer, J.L. (1996).** Role of mycorrhizas in plant colonization of new environments. *Ecology*, 77(2), 547-553.
- **Wood Wide Web (Simard et al., 1997).** Common mycorrhizal networks: mechanisms and ecological consequences. *Nature*, 388(6642), 579-582.
- **Zarek, M., et al. (2011).** Diversity and ecology of ectomycorrhizal fungi in Mediterranean forests. *Mycological Progress*, 10(2), 225-234.

### **Les sites internet :**

**1. Centre Antipoisons belge (2023).** If commun (*Taxus baccata*) – Fiche toxicologique.

<https://www.centreantipoisons.be>

**2. Google Maps.** Consultation de la localisation et topographie de la station de Tikjda (Tigounatine, Djurdjura Sud).

<https://www.google.com/maps>

**3. INPN - Inventaire National du Patrimoine Naturel (France).** Fiche espèce : *Taxus baccata* L.

<https://inpn.mnhn.fr>

**4. Kew Science – Plants of the World Online.** *Taxus baccata* L.

<https://powo.science.kew.org>

**5. The Gymnosperm Database** – *Taxus baccata* and other species profiles.

<https://www.conifers.org>

**6. MycoBank** – Base de données taxonomique sur les champignons mycorhiziens.

<https://www.mycobank.org>

**7. Fungorum** – Données taxonomiques des espèces fongiques.

<https://www.indexfungorum.org>

**8. Wood Wide Web** – L'interconnexion des arbres par les mycorhizes (article vulgarisé basé sur Simard et *al.* 1997).

<https://www.nature.com/articles/388579a0>

(ou pour une version vulgarisée : <https://www.bbc.com/earth/story/20141111-plants-have-a-hidden-internet>)

**9. ScienceDirect** – Recherches sur les champignons, mycorhizes et *Taxus baccata*.

<https://www.sciencedirect.com>

**10. PubMed** – Articles scientifiques en biologie végétale et microbiologie.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>



# Annexes

◆ **Annexe 1** : Préparation du fixateur FPA.

Le fixateur FPA est composé de :

- ✚ 5 % d'acide propionique
- ✚ 3 % de formol
- ✚ 92 % d'éthanol à 70°

◆ **Annexe 2** : Préparation de la potasse à 10 %.








Pour obtenir une solution de potasse à 10 %, dissoudre :

- 100 g de pastilles de KOH
- dans 1 litre d'eau distillée



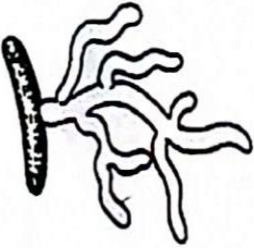



Bien agiter jusqu'à dissolution complète. Conserver dans un flacon hermétique.

# GRILLES D'OBSERVATION

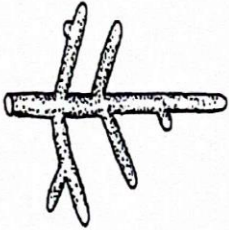


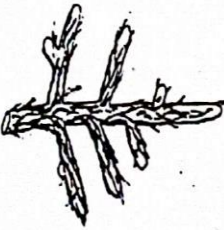
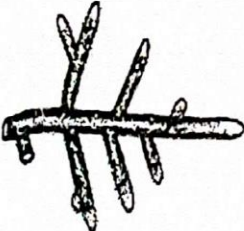
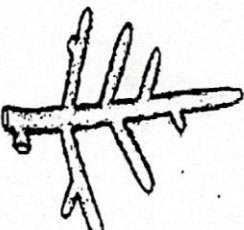
Tab 1 : Différentes forme de distributions des ectomycorhizes ([www.Deemy.de](http://www.Deemy.de))

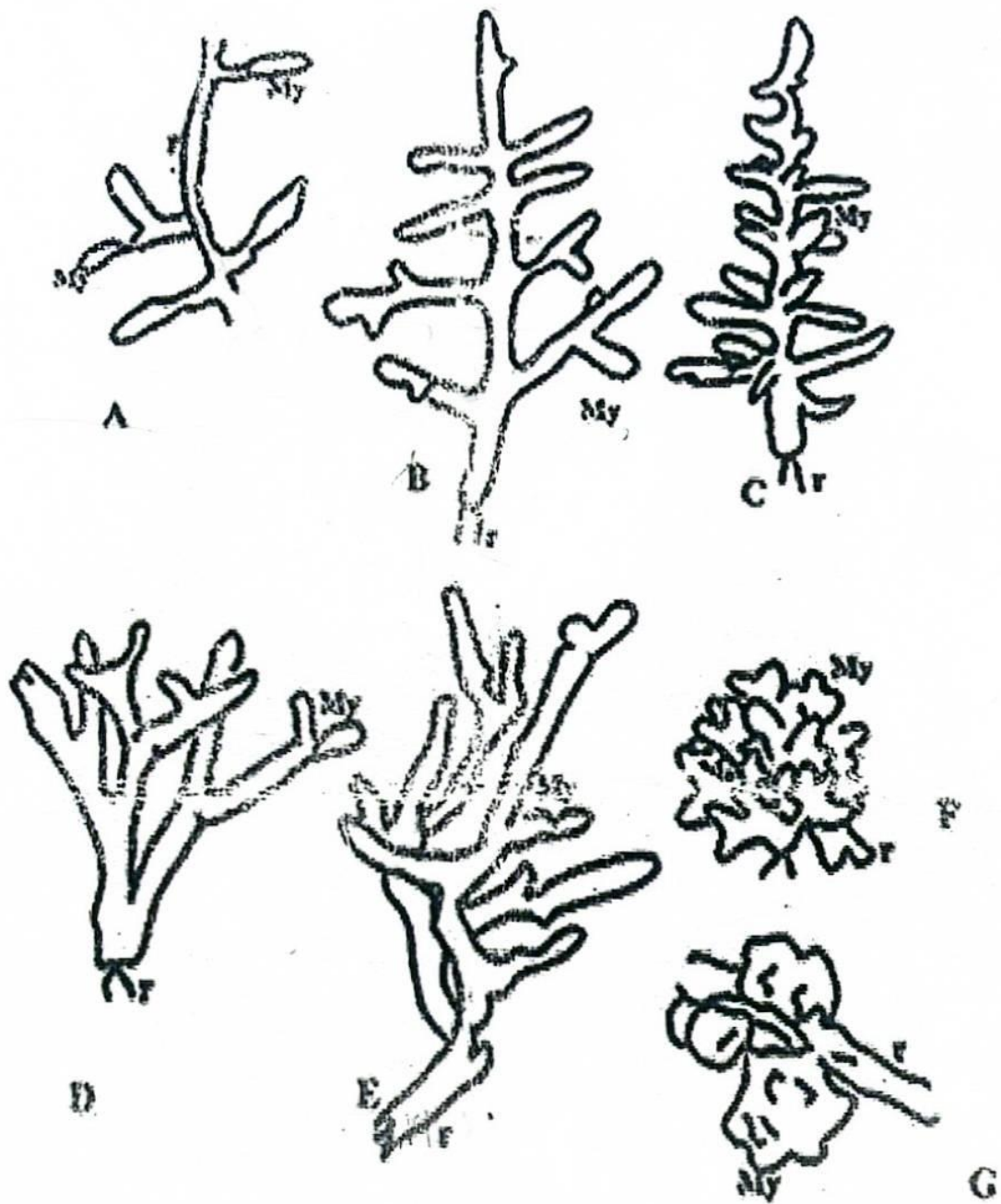
|   |   |  |
|---|---|--|
|    | <p>Noduleuse</p>  | <p>Elle caractérise des racines courtes, dichotomiques ou coralloïdes regroupées sous un voile fongique faisant disparaître toute organisation, dont l'ensemble donne l'aspect d'une nodosité.</p> |
|    | <p>Coralloïde</p>   | <p>Dans ce cas les mycorhizes, sont un ensemble de dichotomies successives et rapprochées, dont l'ensemble rappelle l'aspect d'un arbre.</p>   |
|   | <p>Irrégulière, pennée à dichotomique<br/>(Racémeuse)</p> | <p>Nous parlons de distribution racémeuse des mycorhizes lorsqu'elles naissent çà et là, échelonnées de part et d'autre le long de la racine longue, rappelant les fleurs sur une grappe.</p>      |
|  | <p>Dichotomique</p>                                       | <p>Les mycorhizes sont très vite divisés en deux d'une façon répétée le long de la racine longue.</p>  |
|  | <p>Monopodiale-pyramidale</p>                             | <p>Les mycorhizes sont de plus en plus développés en s'éloignant de l'apex de la racine longue qui les porte.</p>  |
|  | <p>Monopodiale-penné</p>                                  | <p>C'est un système mycorhizien possédant un long axe avec des ramifications latérales situées sur le même plan.</p>   |
|  | <p>Simple</p>   | <p>La mycorhize possède un axe qui est dépourvue de ramification.</p>  |

Tab 2 : Différentes formes d'ectomycorhizes ([www.Deemy.ucj](http://www.Deemy.ucj)).

|   |                             |
|---|-----------------------------|
|    | Droite                      |
|    | Courbée                     |
|   | Sinueuse                    |
|  | Tortueuse                   |
|  | Apex plus large que la base |
|  | Perlée                      |

Tab 3: Différents types de phase extra-matricielle des ectomycorhizes ([www.Deemy.de](http://www.Deemy.de)).

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
|    | <p>Graisseuse</p>               |
|    | <p>laineuse</p>                 |
|   | <p>Cotonneuse</p>               |
|  | <p>Denses Licelles</p>          |
|  | <p>En feutrage<sup>44</sup></p> |
|  | <p>lisse</p>                    |



A-simple

D-dichotomique

G-coralloïde

B-monopodiale

E-racémeuse

r- racine porteuse de mycorhize

C- pyramidale

F-noduleuse

My-mycorhize

**Figure 3:** les distributions morphologiques des ectomycorhizes.



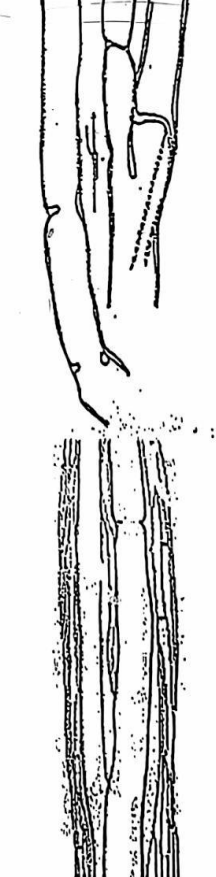
Uniform-loose, hyphae uniform and loosely arranged (*Cortinarius atropusillus* J. Favre).



Thelephoroid, slightly differentiated with only the peripheral hyphae differing somewhat in diameter and structure (*Quercirhiza nodulosomorpha*).



Russuloid, with some irregularly distributed thickened hyphae with often incomplete septa, accompanied by ladder-like thick-walled hyphae with several septa in short distance (*Russula medullata* Romagn.).

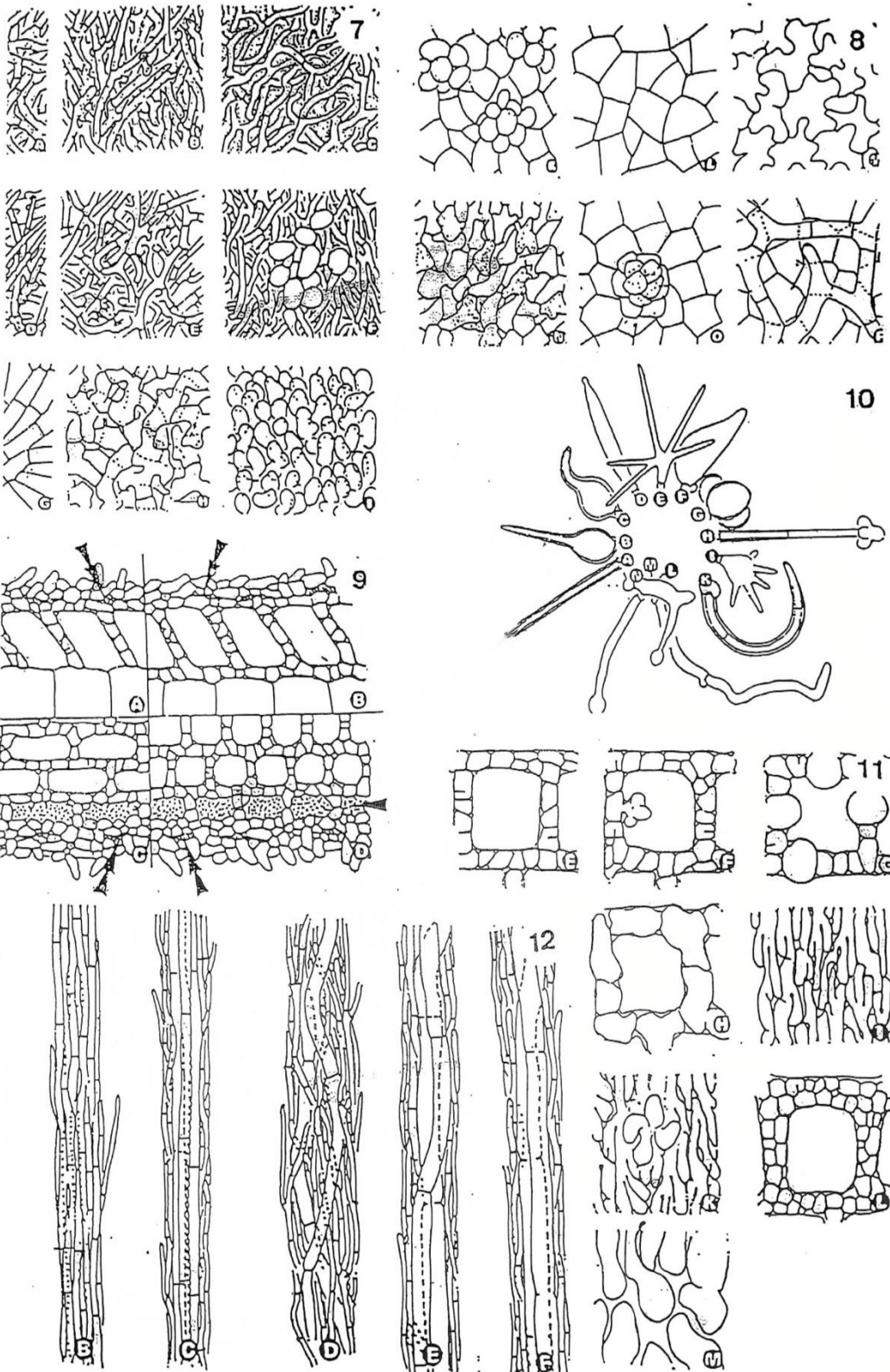


Agaricoid, highly differentiated and with vessel-like hyphae, predominantly centrally arranged, strongly inflated hyphae reveal partially or even completely dissolved septa (*Tapinella atrotomentosa* (Batsch) Šutara).

Ramarioid, internally differentiated and distinctive due to ampullate inflations at the hyphal septum of the lower cell (*Ramoricium albochraceum* (Bres.) Jülich).

Boletoid; similar to that of Agaricoid ones, but backward-growing hyphae fork close to their origin, one of the resulting branches grows backward, i.e., towards the base of the rhizomorph, the other forward, i.e., towards the tip of the rhizomorph (*Quercirhiza sclerotigera*).

Fig. 8. Différents types de rhizomorphes selon Agerer (1999- 2006)



Caractères microscopiques des ectomycorhizes, d'après Agerer (1991).

Schematic drawings of different mantle types in surface view (différents types de structure du manteau fongique).

1) Plectenchymatous mantles (manteaux plectenchymateux).

2) Pseudoparenchymatous mantles (manteaux pseudoparenchymateux).

3) Features of the Hartig net (arrows, tumid cells; double arrows, residues of root cap cells) (différents aspects des cellules du réseau de Hartig).

4) Different types of cystidia of ectomycorrhiza (différents types de cystides des ectomycorhizes).

5) Schematic drawings of different types of ectomycorrhizal rhizomorphs (différents types de rhizomorphes chez les ectomycorhizes).

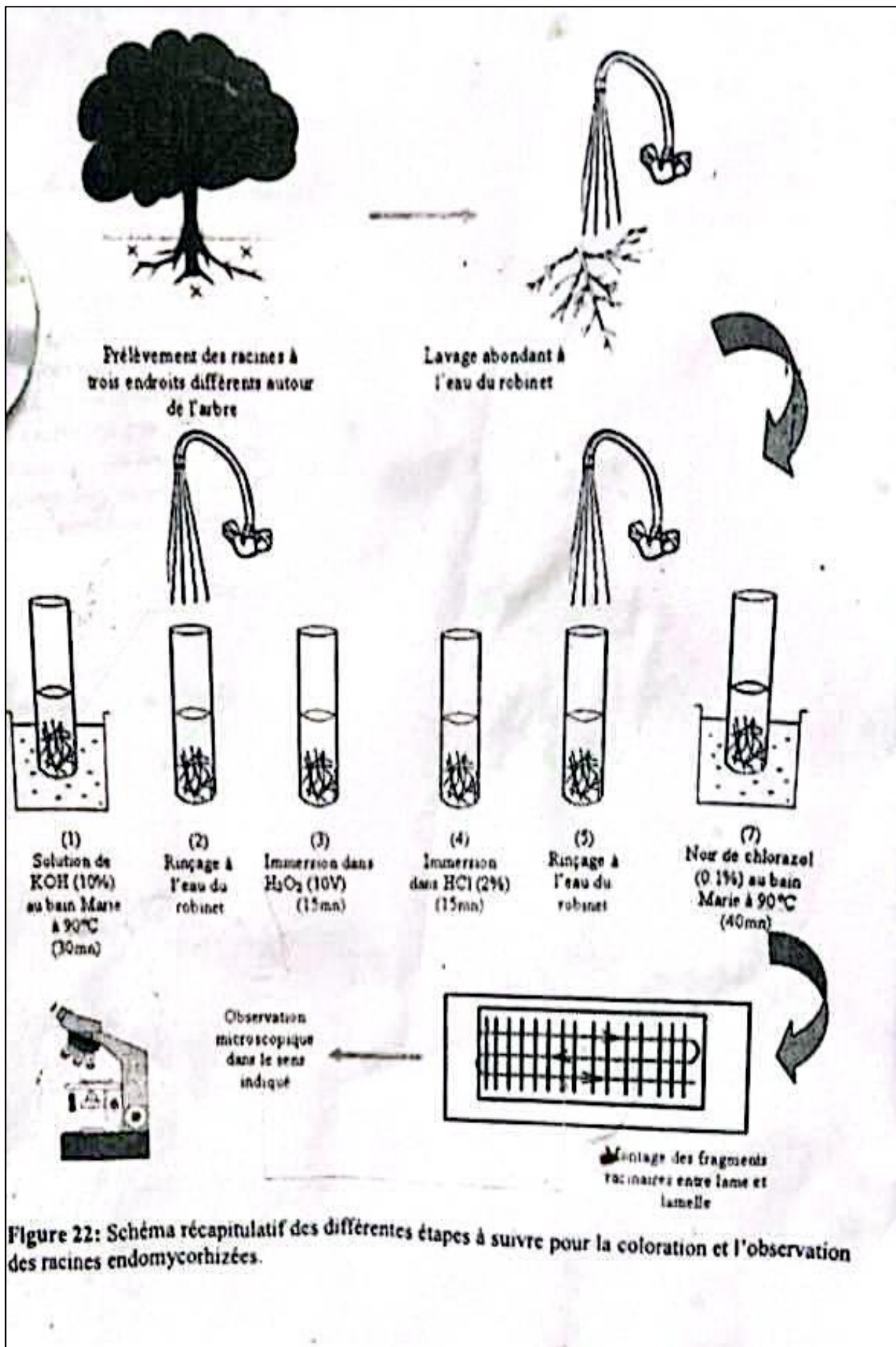


Figure 22: Schéma récapitulatif des différentes étapes à suivre pour la coloration et l'observation des racines endomycorhizées.

## **Abstract**

This thesis focuses on the study of mycorrhizal associations established between *Taxus baccata* L. (European yew) and symbiotic fungi. The root samples were collected from Tigounatine, located in the Djurdjura mountain range (Algeria). The main objective is to characterize the morphological and anatomical diversity of the mycorrhizae associated with this species.

The work involved fine root sampling in the field, followed by macroscopic observations (shape, color, branching pattern, presence of rhizomorphs) and microscopic analyses (fungal mantle, Hartig net, intraradical structures, etc.) on a total of 46 distinct mycorrhizal morphotypes. The results reveal a high diversity of ectomycorrhizal (ECM) structures, including various types of rhizomorphs (boletoid, theleporoid, uniform) associated with different exploration strategies (contact, short-, medium-, and long-distance). Endomycorrhizal associations were also observed, particularly arbuscules, vesicles, and intracellular hyphae characteristic of Glomeromycetes. Additionally, root endophytic fungi were detected in some roots, indicating non-mycorrhizal fungal interactions.

Our study highlights the coexistence of two types of symbioses (ECM and arbuscular mycorrhizae, AM) in *Taxus baccata*, as well as endophytic colonization, suggesting remarkable ecological flexibility and adaptive capacity through mycorrhization to local edaphic and climatic conditions. These findings confirm the ecological significance of mycorrhizae and root-associated fungi in the dynamics and resilience of Mediterranean mountain forests.

**Keywords:** *Taxus baccata* L., Tigounatine, Djurdjura, ectomycorrhizae, rhizomorphs, endomycorrhizae, endophytes.

## Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude des associations mycorhiziennes établies entre *Taxus baccata* L. (if commun) et les champignons symbiotiques. Les prélèvements ont été réalisés à Tigounatine, située dans le massif du Djurdjura (Algérie). L'objectif principal est de caractériser la diversité morphologique et anatomique des mycorhizes associées à cette espèce.

Le travail a consisté en un échantillonnage de racines fines sur le terrain, suivi d'observations macroscopiques (forme, couleur, ramification, présence de rhizomorphes) et microscopiques (manteau fongique, réseau de Hartig, structures intraradicales, etc.) sur un total de 46 morphotypes mycorhiziens distincts. Les résultats révèlent une forte diversité de structures ECM, avec différents types de rhizomorphes (boletoïdes, thelephoroïdes, uniformes) associés à des stratégies d'exploitation variées (contact, courte, moyenne et longue distance). Des associations endomycorhiziennes ont également été observées, notamment des arbuscules, des vésicules et des hyphes intracellulaires caractéristiques des Glomeromycètes. En parallèle, la présence de champignons endophytes racinaires a été détectée dans certaines racines, traduisant des interactions fongiques non mycorhiziennes.

Notre étude souligne la coexistence de deux types de symbioses (ECM et MA) chez *Taxus baccata*, ainsi que la colonisation endophytique, suggérant une flexibilité écologique remarquable et une capacité d'adaptation, grâce à la mycorhization, aux conditions édaphiques et climatiques locales. Ces résultats confirment l'importance écologique des mycorhizes et des champignons racinaires dans la dynamique et la résilience des forêts de montagne à climat méditerranéen.

**Mots clés :** *Taxus baccata* L, Tigounatine, Djurdjura, ectomycorhizes, rhizomorphes endomycorhizes, endophytes.