

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE DE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU**

**Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques**

**Département Ecologie et Environnement**

**Spécialité Biodiversité et Ecologie Végétale**



**En vue de l'obtention du diplôme de Master II**

**En Ecologie et environnement**

**Spécialité : Biodiversité et Ecologie Végétale**

**Inventaire de champignons endophytes des racines  
d'*Artemisia campestris* L. (Armoise champêtre) de la station  
de Chabka 2 (Djelfa, Algérie)**

**Réalisé par :**

**BEKHTI Ferial**

**Soutenu le 12/07/2023**

**Devant le jury :**

**M<sup>me</sup> SAADOUN Noria Professeur à l'UMMTO .....Présidente**

**M<sup>elle</sup> BERRACHED Rachda MCB à l'UMMTO.....Promotrice**

**M<sup>elle</sup> MECHIAH Fahima Docteur à l'UMMTO .....Co-promotrice**

**M<sup>r</sup> RAHMANI ABD ELMalik MAA à l'UMBB.....Examineur**

**2022/2023**



# *Dédicaces*

À ma mère Nadia et mon père Arezki qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, et le respect que j'ai pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être. Ce travail est le fruit de vos sacrifices.

À ma sœur Manal et à mon frère A. Zineddine

A ma tante Rabea

À mon Mari S. Mohammed

À toute ma famille et ma belle famille


À ma très chers amies H. Liza et B. Farah

À tous mes enseignants et camarades de la promotion  
B.E.V 2022-2023

À tous ceux qui ont participé de loin ou de près  
à la réalisation de ce travail

Avec l'expression de tous mes sentiments de  
respect.

Je vous dédie ce modeste travail.





# Remerciements


Je remercie Dieu, le tout puissant pour la volonté, la patience et le courage qu'il m'a accordé pour mener à terme ce travail

Je présente mes profonds remerciements à mes parents qui m'ont soutenu moralement et financièrement durant ces longues années

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma promotrice M<sup>me</sup> BERRACHED R. ainsi qu'à ma Co-promotrice M<sup>me</sup> MECHIAH F. de m'avoir orienté Significativement tout au long de ce travail

Je tiens à remercier aussi les membres de jurys :  
M<sup>me</sup> SAADOUN N. d'avoir accepté de présider le jury de soutenance

M<sup>R</sup> RAHMANI M. pour avoir accepté d'être membre du jury afin d'examiner ce présent travail.



Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers toute l'équipe de l'HCDS (Haut-Commissariat Au Développement De La Steppe) avec lesquelles j'ai eu le privilège de travailler. Leur partage de connaissances et leur volonté de collaborer ont grandement contribué à mon apprentissage et à ma croissance professionnelle.

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Structure de l'hyphe : (A) hyphe coenocytique, (B) hyphe cloisonné (Lecellier, 2013).....	6
<b>Figure 2.</b> Cycle de développement de <i>Rhizopus nigricans</i> (Bouchet et al., 2000) .....	7
<b>Figure 3.</b> Cycle de développement de <i>Morcbella esculenta</i> (Raven et al., 2007).....	9
<b>Figure 4.</b> Caractéristiques macroscopiques et microscopiques du complexe d'espèces <i>Fusarium oxysporum</i> isolé FMR 13411 : (A) Colonie sur PDA après 14 jours à 25 °C. (B) Monophialides. (C) Microconidies disposées en fausses têtes. (D) Mésoconidies et microconidies (E) Chlamydospores intercalaires. Barre d'échelle=10µm (Cutuli et al., 2015).....	10
<b>Figure 5.</b> Cycle de reproduction des Basidiomycota (Lebreton, 2018).....	11
<b>Figure 6.</b> Différents modes de sporulation et les différents types de spores associées (Lecellier, 2013). .....	13
<b>Figure 7.</b> Reproduction chez les champignons (Tikour, 2018). .....	14
<b>Figure 8.</b> Représentation de l'association des mycoendophytes avec leurs hôtes. (A) différentes localisations des mycoendophytes dans les tissus végétaux (B) localisation des différentes classes d'endophytes (Kusari et Spitler, 2012). .....	17
<b>Figure 9.</b> Présentation de l'espèce <i>Artemisia campestris</i> L. A : Bourgeons floraux d' <i>A. campestris</i> en début de floraison. B : Parcours d' <i>A. campestris</i> . .....	22
<b>Figure 10.</b> A : Racines d' <i>A. campestris</i> . B : fleurs d' <i>A. campestris</i> .....	24
<b>Figure 11.</b> Distribution géographique de l'espèce <i>Artemisia campestris</i> L. (Dib et al., 2016)...	25
<b>Figure 12.</b> (A) Localisation de la wilaya de Djelfa sur la carte d'Algérie .....	30
<b>Figure 13.</b> Variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de Chabka 2. ....	32
<b>Figure 11.</b> Régime pluviométrique de la station de Chabka 2. ....	32
<b>Figure 12.</b> Données de températures représentatives de la station de Chabka 2.....	33
<b>Figure 13.</b> Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour la station de Chabka 2 (1975-2017). .....	34
<b>Figure 14.</b> Situation de la station de Chabka 2 au niveau du climagramme de Le Houérou (1995). .....	35

<b>Figure 18.</b> Préparation du milieu de culture PDA (Pommes de terre-Dextrose-Agar). .....	36
<b>Figure 19.</b> Observation macroscopique des cultures fongiques des racines d' <i>Artemisia campestris</i> . .....	38
<b>Figure 20.</b> Prélèvements des souches fongiques d' <i>Artemisia campestris</i> . .....	39
<b>Figure 21.</b> Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Alternaria</i> . .....	44
<b>Figure 22.</b> Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Aspergillus</i> . .....	45
<b>Figure 23.</b> Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Fusarium</i> . .....	45
<b>Figure 24.</b> Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Penicillium</i> . .....	46
<b>Figure 25.</b> Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Phoma</i> . .....	47
<b>Figure 26.</b> Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Rhizoctonia</i> . .....	48
<b>Figure 27.</b> Représentation de l'analyse en composantes principales (ACP) des genres mycoendophytes recensés au niveau des racines des sujets d' <i>Artemisia campestris</i> échantillonnés dans la station de Chabka 2 de la wilaya de Djelfa .....	51

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Données et variables calculées utilisés dans la classification écoclimatique de Le Houérou (1995) de la station d'étude Chabka 2.....	34
<b>Tableau 2 :</b> Classification des mycoendophytes isolés des racines d' <i>Artemisia campestris</i> .....	41
<b>Tableau 3.</b> Résultats de l'analyse de variance (ANOVA).....	48
<b>Tableau 4.</b> Matrice de corrélation de Pearson entre les genres fongiques des racines d' <i>Artemisia campestris</i> dans la station de Chabka 2 .....	49

## Glossaire

- 1. Amiboïde :** déplacement d'une cellule vivante sur son support par une reptation fondée sur l'émission d'un pseudopode vers l'avant, tel qu'on l'observe chez les amibes qui sont Protozoaire des eaux douces ou salées, des sols humides, se déplaçant grâce à des pseudopodes.
- 2. Zoospore :** spore mobile asexuée pourvue de flagelle.
- 3. Trichogyne :** c'est la partie effilée, un poil long, qui surmonte le carpogone des floridés et sert à capter la cellule mâle dans le cas d'une trichogamie ; il permet la fécondation.
- 4. Spermatoocyte :** des cellules de la lignée germinale mâle. Ce sont des gamétocytes, tout comme les ovocytes qui sont leurs équivalents dans la lignée femelle. Les spermatoocytes primaires sont diploïdes et issus des spermatogonies par mitose.
- 5. Trichogamie :** phénomène biologique lié à la reproduction sexuée chez certaines espèces de plantes, principalement les algues rouges.
- 6. Dicaryotique :** ce terme provient du grec di, signifiant deux, et "karyon", désignant le noyau. En biologie, il caractérise les cellules ou organismes possédant deux noyaux distincts.
- 7. Spore :** une cellule ou un ensemble de cellules ayant des capacités de reproduction.
- 8. Ubiquiste :** une espèce est qualifiée d'ubiquiste ou encore ubiquitaire lorsqu'elle se maintient dans plusieurs biotopes tout en occupant des niches écologiques (très) variées, éventuellement avec une distribution géographique étendue. En écologie, l'inféodation est le caractère opposé à l'ubiquisme.
- 9. Continuum :** ensemble constitué d'éléments offrant une continuité fonctionnelle, disposés de telle façon qu'une espèce (ou un groupe d'espèces ayant les mêmes exigences).
- 10. Calvicipitacea :** groupe de champignons endophytes. Qui appartiennent généralement au phylum Ascomycota Ces mycoendophytes sont limitées aux plantes herbacées (Poaceae, Juncaceae et Cyperaceae), de saison froide et chaude.

# Abréviations

- **%** : Pourcentage
- **°C** : Degré Celsius
- **ACP** : Analyse des composantes principales
- **ANOVA** : Analyse des variances
- **C** : Carbone
- **DES** : Dark septate endophyte ou champignons septes foncés
- **ECM** : Ectomycorhizes
- **MA** : Mycorhiziens à arbuscules
- **Mg EAC/g Ps** : Milligramme d'équivalent acide caféique par gramme du poids sec de la plante.
- **Mg EQ/g Ps** : Milligramme d'équivalent quercétine par gramme du poids sec de la plante.
- **P** : phosphore
- **PDA** : potato-dextrose-agar
- **S** : soufre
- **APG** : Angiosperm Phylogeny Group.

# SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Généralités sur les champignons</b>	
1. Introduction .....	3
2. Nutrition et mode de vie .....	3
2.1. Saprophytisme .....	4
2.2. Parasitisme.....	4
2.3. Symbiotisme .....	4
3. Appareil végétatif .....	5
4. Classification .....	6
4.1. Chytridiomycota.....	6
4.2. Mucoromycota.....	6
4.3. Glomeromycota .....	7
4.4. Dikarya .....	8
4.4.1. Ascomycota .....	8
4.4.2. Basidiomycota.....	10
5. Croissance des champignons .....	11
6. Mode de reproduction .....	12
6.1. Reproduction asexuée.....	12
6.2. Reproduction sexuée .....	13
7. Mycoendophytes .....	14
7.1. Caractéristiques générales .....	14
7.2. Interaction plantes endophyte.....	15
7.3. Modes de transmission .....	15
7.3.1. Transmission verticale.....	15
7.3.2. Transmission horizontale .....	16

7.4. Classification des mycoendophytes.....	16
7.5. Effet bénéfiques des Mycoendophytes.....	17
7.5.1. Protection contre les microorganismes pathogènes.....	18
7.5.2. Protection contre les herbivores mammifères.....	18
7.5.3. Protection contre les insectes ravageurs.....	18
7.5.4. Protection contre les stress abiotiques.....	18
7.5.5. Source de produits naturels bioactifs.....	19

## **Chapitre II : Généralités sur la plante « *Artemisia campestris* L. »**

1. Présentation du genre <i>Artemisia</i> .....	21
2. Présentation de l'espèce <i>Artemisia campestris</i> L.....	21
3. Nomenclature de la plante.....	21
4. Systématique de la plante.....	22
5. Description botanique.....	23
6. Répartition géographique.....	24
7. Répartition écologique.....	25
8. L'utilisation d' <i>Artemisia Campestris</i> .....	26
8.1. Activités biologiques.....	27
8.1.1. Activité antioxydante.....	27
8.1.2. Activité antibactérienne.....	27
8.1.3. Effet insecticide.....	28
8.1.4. Propriétés allélopathiques.....	28
8.1.5. Activité hypoglycémiant.....	28
8.1.6. Effets antipoison.....	28
8.1.7. Activité antifongique.....	29

## Chapitre III : Matériel et méthodes

1. Description de la zone d'études .....	30
1.1. Situation géographique.....	30
1.2.Climat .....	31
1.2.1. Pluviométrie.....	31
1.2.2. Régime pluviométrique .....	32
1.2.3. Température .....	33
1.2.4. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953) .....	33
1.2.5. Zonation écoclimatique de Le Houérou (1995) .....	34
2. Echantillonnage sur terrain.....	35
2.1. Préparation du milieu de culture .....	36
2.2. Préparation des fragments racinaires à mettre en culture.....	36
2.3.Mise en culture .....	37
2.4.Identification des mycoendophytes .....	37
2.4.1. Observation macroscopique .....	37
2.4.2. Identification microscopique .....	38
3. Analyse statistique.....	39
3.1. Abondance des genres .....	39
3.2. Analyse de variance (ANOVA) .....	40
3.3. Analyse en composantes principales (ACP) .....	40

## Chapitre IV : Résultats et discussion

1. Abondances et diversité des souches recensées des racines d' <i>Artemisia campestris</i> .....	41
2. Description de quelques genres identifiés .....	43
2.1. <i>Alternaria</i> .....	43
2.2. <i>Aspergillus</i> .....	44
2.3. <i>Fusarium</i> .....	45

2.4. <i>Penicillium</i> .....	46
2.5. <i>Phoma</i> .....	46
2.6. <i>Rhizoctonia</i> .....	47
3. Analyse de variance (ANOVA).....	48
4. Matrice de corrélation.....	49
5. Analyse en composantes principales des mycoendophytes .....	50
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>55</b>

## **Références bibliographiques**

## **Annexes**

# **Introduction générale**

Les plantes sont un réservoir d'un grand nombre de microorganismes appelés endophytes (Bacon et White, 2000). De Bary (1866) a introduit à l'origine le mot "endophyte" pour distinguer les champignons résidant dans le tissu hôte des épiphytes. Petrini (1991) définit les champignons endophytes ou les mycoendophytes comme étant « des microorganismes qui colonisent les tissus internes des plantes pendant au moins une partie de leur cycle de vie, sans causer aucun symptôme apparent ». Les endophytes peuvent coloniser leur hôte dans les différents organes y compris les feuilles, tiges, écorces, racines, fruits, fleurs et graines (Rai et *al.*, 2012). Dans cette relation symbiotique, les champignons reçoivent la nutrition et la protection de la plante hôte et en retour, ils améliorent la compétitivité ainsi que la résistance de celle-ci aux différents agents pathogènes tels les bactéries, champignons, parasites, insectes, etc. ainsi qu'aux différents types de stress abiotiques (Saikkonen et *al.*, 1998).

Les mycoendophytes jouent un rôle vital dans le fonctionnement écologique de la succession végétale, grâce à l'interaction qui s'est installée dans l'évolution à long terme de l'écosystème (Ali et *al.*, 2018). Leur présence peut non seulement influencer la croissance, le développement, la forme physique et la diversité des plantes, mais aussi la dynamique des populations, la diversité des communautés végétales et le fonctionnement des écosystèmes (Arora et Ramawat, 2017). Ils jouent un rôle important dans la production d'une large gamme de composés bioactifs, qui pourraient être utilisés comme futurs bioinoculants et agents de lutte biologique pour les plantes poussant dans des conditions de stress abiotiques (Yadav, 2019). Par ailleurs, les endophytes augmentent la colonisation fongique des racines des plantes, en induisant la production d'exsudats racinaires, qui attirent à leur tour les microorganismes rhizosphériques. Ce qui facilite, par conséquent, la dégradation des minéraux complexes sous une forme plus simple et facilite le transport des minéraux du sol à la plante (Chhipa et Deshmukh, 2019). Une autre fonction potentielle des mycoendophytes racinaires a été également démontrée. Ils facilitent l'absorption des nutriments, ce qui conduit à la stimulation de la croissance des plantes. L'amélioration de la nutrition et de la croissance ont des effets positifs indirects sur d'autres fonctions, comme la résistance aux agents pathogènes ou une plus grande tolérance au stress chez les plantes (Kageyama et *al.*, 2008).

L'Algérie, l'un des pays méditerranéens dont la richesse floristique est remarquable. Le nombre de taxons est estimé à environ 4 000. Dont environ 90% sont présents dans le nord du pays (Sassoui et *al.*, 2020). *Artemisia* est considéré comme l'un des genres les plus répandus et ayant une grande importance en botanique, en pharmacie et dans l'industrie alimentaire en raison de leurs teneurs en composants bioactifs. Parmi les espèces de ce genre, nous avons *Artemisia campestris* L. communément appelée "tgouft", "alala" ou "tedjouq", pousse dans les zones arides et semi-arides du bassin méditerranéen (Neffatiet *al.*, 2008 ; Ghorabetal., 2013 ; Sassoui et *al.*, 2020). Cette espèce est largement utilisée en médecine traditionnelle, particulièrement en décoction ou en infusion pour ses propriétés anti-vénéneuses, anti-inflammatoires, anti-rhumatismales, pour le traitement des ulcères, des troubles digestifs des brûlures, de la diarrhée et d'autres maladies (Pavela, 2009 ; Al-Snafi, 2015 ; Dib, 2017 ; Boudjouref et *al.*, 2018 ; Bakchiche et *al.*, 2022 ; Bendifallah et Merrah, 2023). Néanmoins, à notre connaissance, aucun travail n'a été réalisé en exploitant les champignons endophytes racinaires de l'espèce *Artemisia campestris* L.

Ainsi dans le cadre des activités de recherche du laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO), nous avons effectué un travail dans le but de contribuer à l'étude de la biodiversité des champignons endophytes de la racine d'*Artemisia campestris* L. de la région Chabka 2 au niveau de la wilaya de Djelfa. Pour cela, nous nous sommes intéressés à l'étude la diversité et à l'Abondance de colonisation des champignons endophytes par la mise en culture des racines des d'*A. campestris* sur milieu PDA et une identification morphologique (macroscopique et microscopique). Notre mémoire comporte 4 chapitres :

- Le chapitre I : Concerne la description des mycoendophytes, leur écologie et leur diversité ;
- Le chapitre II : Concerne la description générale d'*Artemisia campestris* L. ;
- Le chapitre III : Présente le matériel et les méthodes utilisées dans ce travail ;
- Le chapitre IV : Présente les résultats obtenus et leurs discussions.

Nous avons terminé le travail par une conclusion générale et quelques perspectives.

# *Chapitre I*

## *Généralités sur les champignons*

**1. Introduction**

Les champignons = Fungi = mycètes ; mukes représentent l'un des plus importants groupes d'organismes sur terre et jouent un rôle clé dans un grand nombre d'écosystèmes (Mueller et Schmit, 2007). Ils présentent des caractères communs aux plantes et aux animaux qui ne permettent pas de les classer dans l'un ou l'autre règne, ils forment donc un règne à part (Bouchet et *al.*, 1999).

Il a été estimé que le nombre d'espèces de champignons vivant sur terre est de 1,5 million (Hawksworth, 2001). Cependant, seulement 14% de ces organismes ont été découverts, ce qui peut être expliqué par la difficulté de cultiver ces organismes en conditions de laboratoire mais aussi en raison d'un manque de connaissances et d'un sous-échantillonnage de ces organismes dans de nombreux biotopes de la planète (Hawksworth et Rossman, 1997 ; Hawksworth, 2001 ; Neubert et *al.*, 2006).

Les Champignons sont des organismes eucaryotes, immobiles, à mode de reproduction asexuée et/ou sexuée. Les spores produites peuvent avoir un rôle dans leur dispersion, mais peuvent également jouer un rôle dans leur survie, lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables (Madelin, 1994).

Les champignons sont un ensemble polyphylétique qui peut être uni ou pluricellulaires, dépourvus de chlorophylle ce qui les distingue nettement du règne végétal (Chabasse et *al.*, 2002). Il s'agit d'organismes hétérotrophes vis-à-vis du carbone (Roquebert, 1997).

Selon Carlile et Watkinson (1994), tous les champignons ont une paroi constituée de chitine, un polysaccharide très résistant, ce qui leur a permis de prendre le glycogène comme substance de réserve principal (Redecker, 2002).

Les mycètes sont des organismes ubiquitaires qui peuvent coloniser tous les milieux (Nafees, 2009). Ce sont des organismes aérobies pour la grande majorité, mais certains champignons unicellulaires (levures) peuvent être aéroanaérobies et participer à des processus fermentaires (Carlile et Watkinson, 1994). Elles incluent des espèces macroscopiques (macromycètes) et d'autres microscopiques (micromycètes), d'aspect filamenteux et ramifié (Lüttge et *al.*, 2002).

**2. Nutrition et mode de vie**

Le mode de nutrition des champignons est de type osmotrophe; il se fait par absorption en libérant dans un premier temps des enzymes hydrolytiques dans le milieu extérieur; digestion des aliments à l'extérieur de la cellule, c'est-à-dire que les nutriments pénètrent sous forme soluble (Redecker, 2002).

Selon Robert et Catesson (2000), les champignons sont dépourvus de plastes et incapables de réaliser la photosynthèse. Ils sont tous hétérotrophes et ils dépendent d'autres êtres vivants pour la satisfaction de leurs besoins nutritifs, suivant leur mode de vie (Carlile et Watkinson, 1994 ; Redecker, 2002). Les champignons ont un rôle très important dans la dégradation de la matière organique et constituent une part importante des décomposeurs sur terre (Lutzoni et *al.*, 2004). De plus certains d'entre eux peuvent être phytopathogènes ou provoquer des mycoses chez d'autres organismes (Lutzoni et *al.*, 2004). Un troisième mode de vie, symbiotique, est également très répandu.

### **2.1. Saprophytisme**

Les champignons ont un rôle très important dans le recyclage de la matière organique (Galagan et *al.*, 2003). Ils prélèvent leurs nutriments à partir de matières organiques en décomposition. Les espèces saprophytes jouent un rôle essentiel au sein des cycles biologiques, en minéralisant les matières végétales ou animales mortes (Marouf et Reynaud, 2007). Ils sont rencontrés dans tous les milieux terrestres, les eaux douces et les eaux marines (Robert et Catesson, 2000).

### **2.2. Parasitisme**

Environ 20% des espèces de champignons connues sont capables de parasitisme. Ils sont classés selon trois types : des parasites obligatoires, facultatifs ou opportunistes (Lutzoni et *al.*, 2004). Les champignons peuvent être nécrotrophes ou biotrophes (Canard et *al.*, 2016). C'est à dire qu'ils peuvent attaquer tous les groupes du vivant, comme par exemple les plantes, les insectes, les animaux mais aussi les bactéries et les autres champignons (Lutzoni et *al.*, 2004).

### **2.3. Symbiotisme**

Les champignons obtiennent leurs nutriments grâce à un autre organisme, leur procurant en retour certains bénéfices. Les associations symbiotiques entre champignons et végétaux supérieurs constituent la forme de symbiose la plus répandue à l'échelle planétaire (Jennings et Lysek, 1996). La majorité des plantes (90%) seraient en symbiose avec ces champignons, qui sont appelés mycorhizes. D'après Simon et *al.* (1993), cette symbiose est une association qui aurait permis aux plantes de coloniser le milieu terrestre.

Il existe plusieurs types de relations mycorhiziennes. Les plus fréquentes sont les champignons mycorhiziens à arbuscules (MA) (endosymbiose) et les ectomycorhizes (ectosymbioses) (ECM) (Jennings et Lysek, 1996). Il a été démontré que la diversité des champignons mycorhiziens à arbuscules (MA) dans le sol contrôle la diversité des plantes dans un écosystème (Van der Heijden et *al.*, 1998).

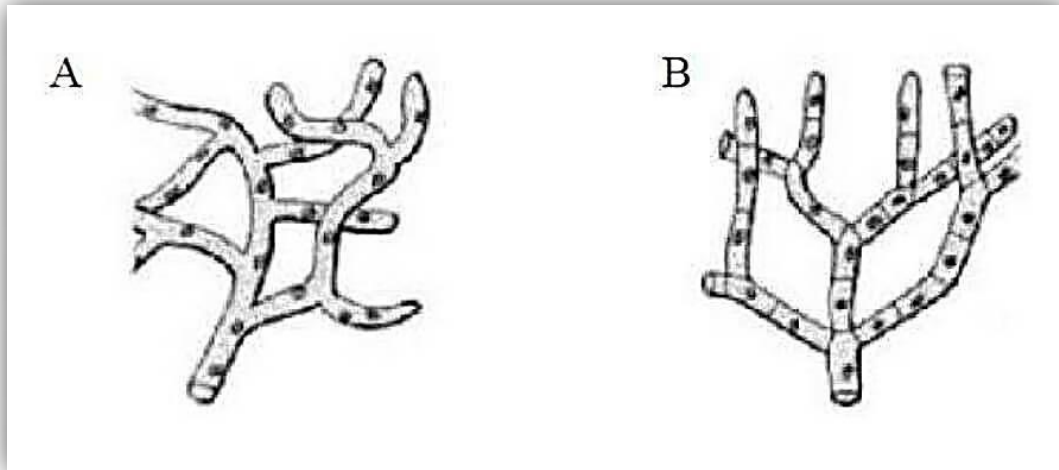
Les champignons vont également contribuer à la phytoprotection par élicitation des mécanismes de défense et produire des substances antibiotiques permettant de lutter contre d'autres microorganismes phytopathogènes. La contrepartie de l'association est que le champignon va recevoir des photosynthétats de la plante (Smith et Read, 1997).

D'autres champignons vivent en relation avec des algues, ils ne peuvent survivre l'un sans l'autre. Ce sont les lichens qui sont constitués d'une association entre champignon (principalement du phylum Ascomycota) et une cyanobactérie. L'algue, va fournir les molécules organiques carbonées au champignon qui en retour lui fournira les éléments minéraux (Gargas et *al.*, 1995).

### **3. Appareil végétatif**

L'organisation cellulaire de base des champignons est le thalle, qui constitue l'appareil végétatif. Celui-ci se caractérise par une grande variété de structures, qui vont d'une forme unicellulaire qui est une structure simplifiée, sphérique ou subsphérique (Moulinier, 2003) : cas des levures, un thalle unicellulaire dont la multiplication se fait par bourgeonnement ou par bipartition (Dufresne, 2018). Un thalle a le plus souvent une forme filamenteuse (pluricellulaire): cas des champignons mycéliens pouvant présenter un large degré considérable de différenciation (Dufresne, 2018). Certaines espèces ont la capacité d'adopter les deux formes, levure et mycélienne, tandis que d'autres sont restreintes à l'une ou l'autre (Jennings et Lysek, 1996). L'ensemble des filaments (ou hyphes) est appelé : mycélium (Boiron, 1996).

Les hyphes sont des sortes de tuyaux plus ou moins larges (2 à 15  $\mu\text{m}$ ), de diamètre généralement constant pour une espèce donnée, contenant le cytoplasme qui contient les organelles comme c'est le cas chez tous les eucaryotes. Ils sont dit «septé», lorsque des cloisons (septa) transversales s'y forment régulièrement, dans les parties actives du mycélium. Ces cloisons sont percées d'un pore central. En absence de cloisons, le mycélium est dit (coenocytique) également nommé siphon (Figure 1) (Damous et *al.*, 2008). La rigidité des hyphes est assurée par une paroi faite de fibrilles de chitine ou de cellulose (Davet, 1996), leur croissance est strictement apicale. Ce comportement s'oppose à la croissance intercalaire (Botton, 1990).



**Figure 1.** Structure de l'hyphe : (A) hyphe coenocytique, (B) hyphe cloisonné  
(Lecellier, 2013)

#### 4. Classification

La nouvelle classification a considérablement simplifié le Règne des champignons. Elle ne contient désormais que des organismes dépourvus de phase amiboïde<sup>1</sup>. Ainsi, le règne des champignons est subdivisé en quatre phyla: Chytridiomycota, Glomeromycota, Mucoromycota et Dikarya (Ascomycota et Basidiomycota) (Lutzoni et *al.*, 2004).

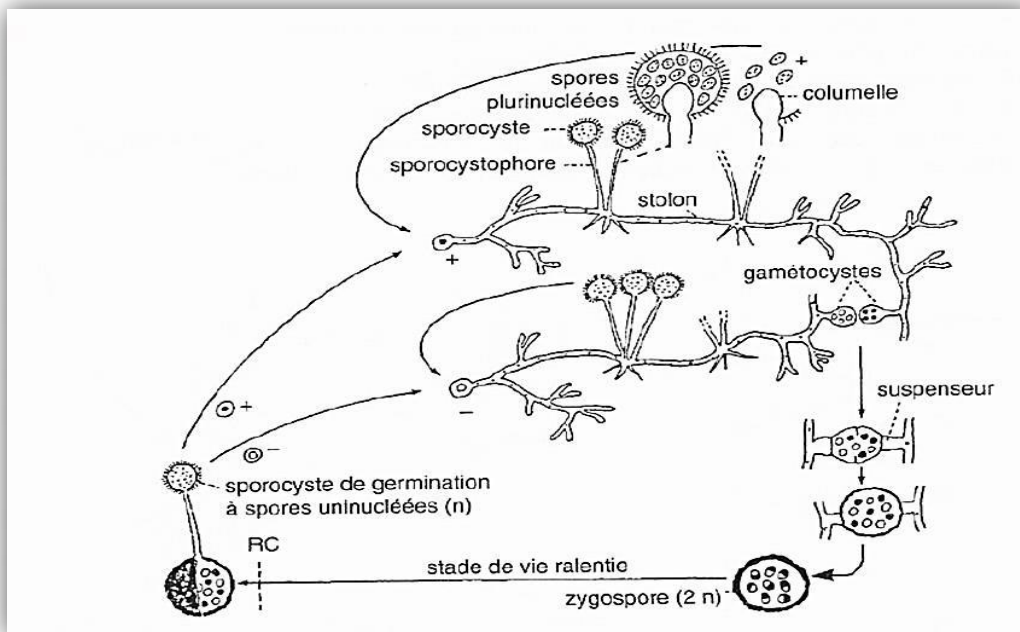
##### 4.1. Chytridiomycota

Les champignons les plus primitifs appartenant au phylum des Chytridiomycota. Ils possèdent un caractère ancestral ayant été perdu au cours de la diversification des organismes du règne des champignons : un flagelle postérieur présent au niveau des zoospores<sup>2</sup>, qui représenterait un avantage pour la dissémination des spores en milieu aquatique. Ces spores flagellées auraient disparu lors de la colonisation des écosystèmes terrestres lors de l'évolution (James et *al.*, 2000). Parmi les genres de ce groupe on trouve le genre *Allomyces*.

##### 4.2. Mucoromycota

La position taxonomique des Mucoromycota dans la classification du règne Fungi a subi de nombreux changements dus aux récentes études phylogénétiques qui établissent la nature polyphylétique de ce groupe. Pour cette raison, la division Zygomycota a été abandonnée (Garcia-Hermoso, 2013). Ce sont des champignons dépourvus de cellules flagellées et à thalle non cloisonné, la plupart possèdent des hyphes cénocytiques (Raven et *al.*, 2008). Les Mucoromycota sont des champignons ubiquistes omniprésents dans diverses interactions dans le milieu naturel (White et *al.*, 2006). Certains d'entre eux sont fréquents à la surface des fruits ou des objets abandonnés à l'humidité, constituent de véritables moisissures, d'autres vivent en parasites des animaux supérieurs et de l'homme (Bouchet, 1989).

La reproduction sexuée se passe par la fusion de gamétocystes. Ils peuvent se former sur les hyphes de types sexués différents ou sur un même hyphe, un noyau diploïde se forme et se développe en zygospore qui permet au champignon de survivre à des conditions défavorables à la croissance. La méiose, suivie de mitose, survient à la germination du zygospore, qui libère des spores haploïdes qui germent pour donner les hyphes haploïdes. La reproduction asexuée est plus fréquente que la reproduction sexuée (Bouchet et *al.*, 2015) (Figure 2). Ce groupe contient plusieurs genres tels que *Rhizopus nigricans* (Bouchet et *al.*, 2000).



**Figure 2.** Cycle de développement de *Rhizopus nigricans* (Bouchet et *al.*, 2000).

### 4.3. Glomeromycota

Historiquement, les organismes de ce phylum étaient placés au sein des Zygomycota, ils constituent désormais un phylum à part dans l'ordre des Glomérales, un groupe qui regroupait les champignons mycorhiziens à arbuscules (Morton et Benny, 1990). Toutes les espèces de ce phylum sont des organismes symbiotiques biotrophes stricts de plantes (formant des mycorhizes à arbuscules). Dernièrement, de nouvelles familles et de nouveaux genres ont été décrits (Blaszkowski et *al.*, 2018 ; Symanczik et *al.*, 2018 ; Jobim et *al.*, 2019 ; Corazon-Guivin et *al.*, 2019). Avec cela, nous avons actuellement 3 classes, 4 ordres, 13 familles, 44 genres et 343 espèces officiellement décrites (Mechiah, 2023).

#### 4.4. Dikarya

Les Dikarya sont constitués des Ascomycota et des Basidiomycota et représentent la majorité des espèces de champignons décrites (Le Calvez, 2009). Ils sont unis par la possession d'hyphes cloisonnées et une étape de la vie dicaryotique, mais différents dans les structures impliquées dans la méiose et la sporulation (Lutzoni et *al.*, 2004). Des modes de vie saprophytes et parasites sont également largement répandus.

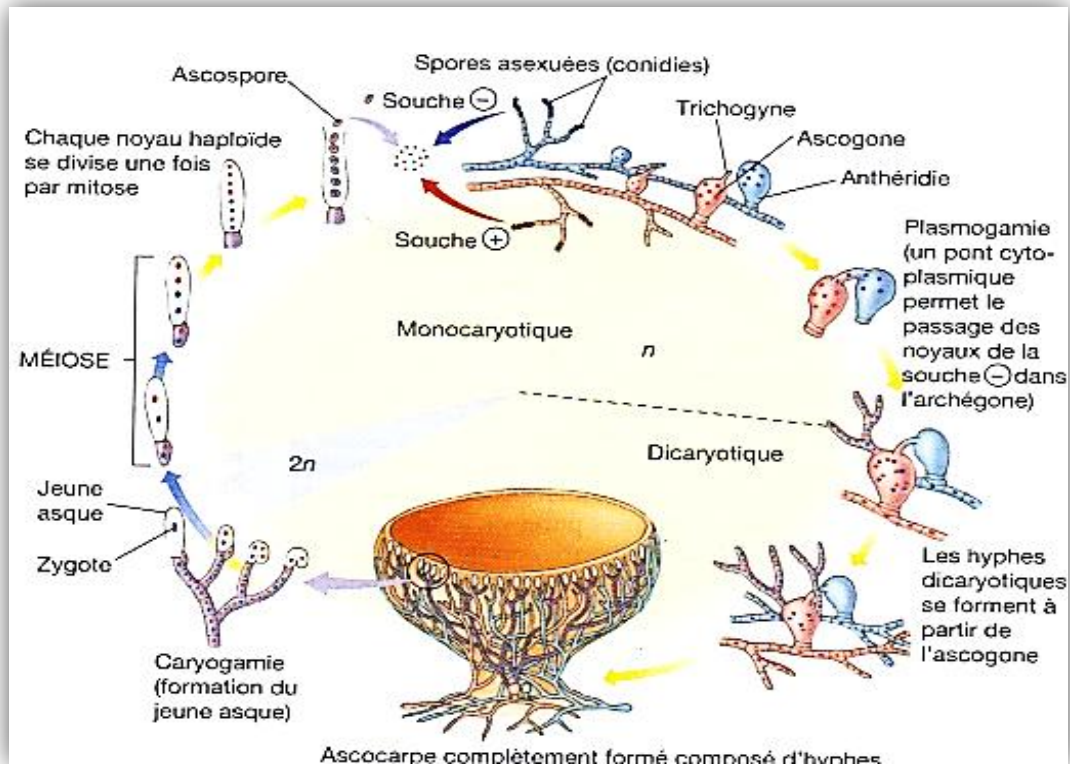
##### 4.4.1. Ascomycota

C'est le plus grand phylum de Fungi avec 6400 espèces décrites (Ainsworth et *al.*, 2008). Ainsi l'un des phyla les plus diversifiés et omniprésents des eucaryotes et constituent la quasitotalité des champignons capables de former des associations lichéniques et se caractérisent par leur organisation cloisonnée (Bouchet et *al.*, 1999). Ils sont filamenteux avec des septa simples et un thalle multicellulaire (Hibbett et *al.*, 2018).

Chez la plupart des espèces de cet embranchement, la multiplication asexuée est prédominante (Bouchet et *al.*, 1999). Elle est généralement assurée par des conidies plurinucléées. Ces dernières se forment à partir de cellules conidiogènes appelées phialides qui naissent au sommet d'hyphes modifiées appelées conidiophores (Figure 4) (Raven et *al.*, 2018). Ils forment des ascospores après une caryogamie et une méiose (Sénéquier-Crowet et *al.*, 2016). La phialide peut bourgeonner un nombre illimité de spores ce qui favorise la dispersion de l'espèce (Bouchet et *al.*, 1999).

Le cycle de développement sexué comporte la production de cellules particulières, les asques (Figure 3) (Lanier et *al.*, 1978). L'appareil fructifère des Ascomycètes est unascocarpe, divisés en 3 catégories : les cléistothèces (ascocarpes globuleux, clos), les périthèces (ascocarpes plus ou moins en forme de bouteille présentant un ostiole par lequel les spores sont expulsées) et les apothécies (ascocarpes ouverts, en forme de coupe, portant des asques en surface) (Botton et *al.*, 1990).

Chez la plupart des Ascomycètes ce processus se simplifie : le trichogyne<sup>3</sup> fusionne avec le spermatocyte<sup>4</sup> le contenu des deux cellules se mêle, les noyaux males passent directement dans le gamétocyste femelle : il y a la trichogamie<sup>5</sup>, et s'est ainsi formé un zygote plurinucléé dicaryotique<sup>5</sup> appelé cénozygote (Bouchet et *al.*, 1999).

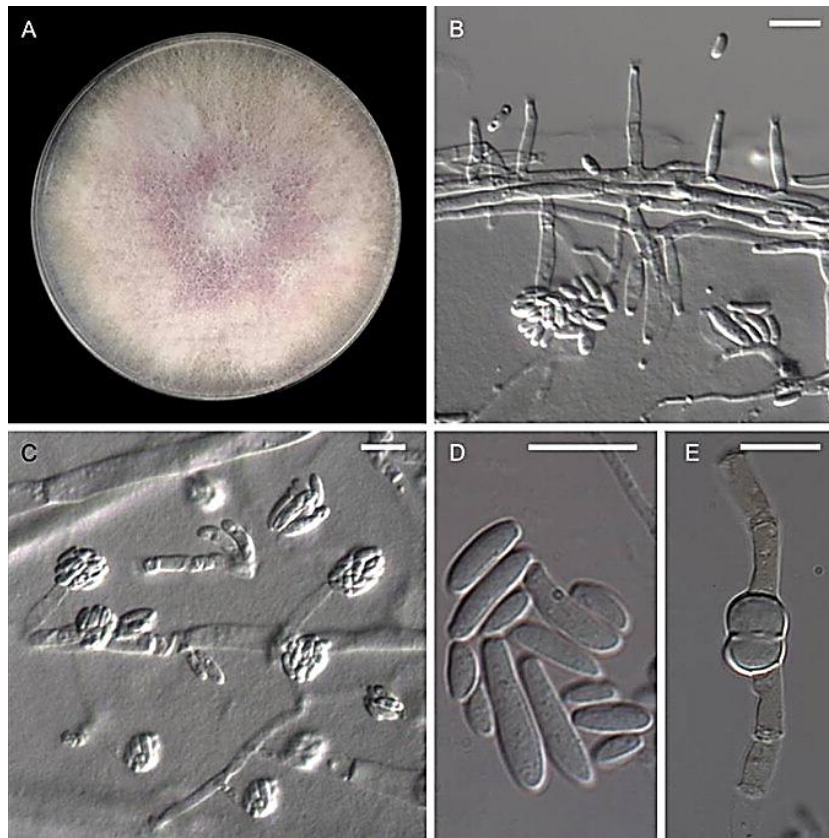


**Figure 3.** Cycle de développement de *Morchella esculenta* (Raven et al., 2007).

Le genre *Fusarium*, est un exemple de champignons Ascomycètes qui appartient à la classe des Pezizomycètes, l'ordre des Hypocreales et la famille des Nectriaceae (O'Donnell et al., 2015). C'est un champignon filamenteux cosmopolite (Gupta et al., 2019). On distingue près de 40 espèces largement répandues dans la nature et vivant en saprophytes, symbiote et parasite (Chabasse et al., 2002). Parmi lesquels on trouve l'espèce *Fusarium oxysporum* (Figure 4) qui peut être présent dans la plupart des sols : arctiques (Kommedahlet al., 1988), tropicales et désertiques (Mandeel et al., 1995), cultivés ou non (Mc Mullen et Stack, 1984).

*Fusarium oxysporum* présente des colonies duveteuses à floconneuses, blanches au départ, puis devenant rosées à pourpres. Un pigment diffusible violet foncé est généralement produit dans la gélose mais certains isolats ne produisent aucun pigment (Chabasse et al., 2002 ; Leslie, 2006). Cette espèce est caractérisée par un mycélium aérien feutré, blanc coloré de rose, revers violet intense. Ce champignon produit des microconidies fusiformes à réniformes, présentant de 0 à 2 septa, agglomérées en fausses têtes, produites par de petites phialides lagéniformes dans le mycélium aérien et des macroconidies légèrement arquées, présentant 3 septa, cellule basale pédicellée, cellule apicale en crochet, produites par des phialides sur des conidiophores ramifiés ou en sporodochies. Chlamydo-spores hyalines lisses

ou rugueuses, globuleuses, terminales ou intercalaires, en chaîne, en paire ou isolées, formées dans l'hyphe ou les macroconidies (Querin *et al.*, 2005).



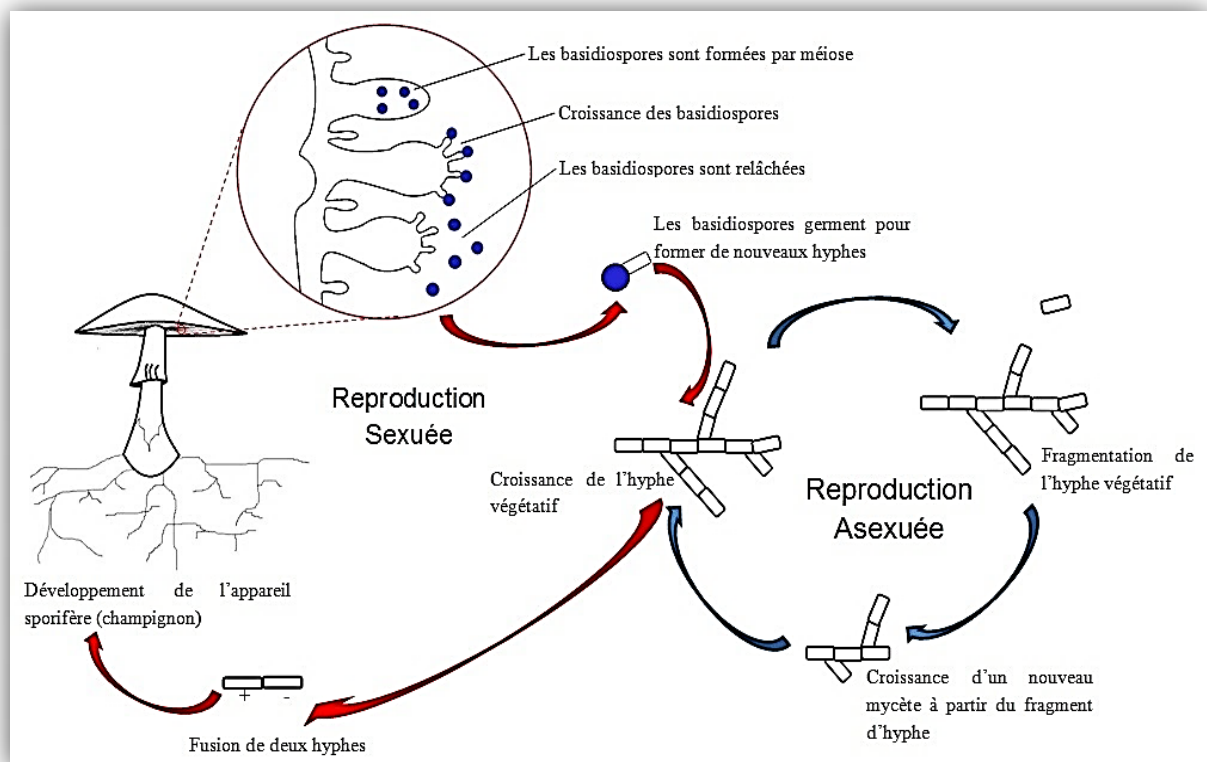
**Figure 4.** Caractéristiques macroscopiques et microscopiques du complexe d'espèces *Fusarium oxysporum* isolé FMR 13411 : (A) Colonie sur PDA après 14 jours à 25 °C. (B) Monophialides. (C) Microconidies disposées en fausses têtes. (D) Mésoconidies et microconidies (E) Chlamydo-spores intercalaires. Barre d'échelle=10µm (Cutuli *et al.*, 2015).

#### 4.4.2. Basidiomycota

Les Basidiomycota sont composés d'environ 3150 espèces décrites (Ainsworth *et al.*, 2008). Ce sont les champignons les plus perfectionnés ; ils sont caractérisés par l'existence d'un sporocyste spécialisé dans la production de spores méiotique exogènes : la baside (Bouchet,1989). Les spores exogènes se différencient à l'extrémité de filaments courts appelés stérigmates (Bouchet *et al.*, 1999). Leur mode de vie est principalement saprophyte : ce sont d'ailleurs les organismes fongiques ayant les capacités de dégradation de matériels lignocellulolytique les plus élaborées (Hibbet *et Donoghue*, 2001). Le groupe des Basidiomycota rassemble la majorité des champignons mycorrhiziens à carpophores, mais aussi des parasites des plantes et des levures (Cordier, 2012).

Leur reproduction asexuée se fait par des conidies et la reproduction sexuée par formation de méiospores (basidiospores) dans des basides (Strullu, 1991 ; Davet, 1996). Le cycle de développement des Basidiomycota se produit par production des hyphes

monocaryotique après la germination des spores (Figure 5). Les hyphes peuvent fusionner en un mycélium dicaryotique (mycélium secondaire). Les basides se trouvent dans les lamelles du chapeau du basidiocarpe, ce dernier est composé uniquement de mycéliums secondaires (Raven et *al.*, 2017). Une caryogamie se déroule à l'intérieur des basides et donne la seule cellule diploïde, suivie d'une méiose. Chez les Basidiomycètes, les quatre noyaux issus de la méiose sont incorporés dans des basidiospores, qui naissent à l'extrémité de la baside (Raven et *al.*, 2017).



**Figure 5.** Cycle de reproduction des Basidiomycota (Lebreton, 2018).

## 5. Croissance des champignons

La croissance mycélienne des champignons est assurée par des hyphes qui sont constitués de cellules hétérocaryotiques (Ascomycota et Basidiomycota) ou coenocytiques (Zygomycota et Glomeromycota). Leur extension est restreinte à l'apex. Après division, l'article apical nouvellement formé peut se séparer du reste du mycélium par une cloison (mycélium septé) ou non (mycélium siphonné) (Jennings et Lysek, 1996). Les hyphes vont se brancher en réseau, déterminant en partie la morphologie macroscopique du thalle (Carlile et Watkinson, 1994). La croissance et la nutrition vont se faire de façon concomitante ; la croissance sera réalisée par une extension de la paroi à l'apex, par un apport continu de

chitine. En même temps, au niveau de l'apex également, des enzymes hydrolytiques seront déversées dans le milieu extérieur (Carlile et Watkinson, 1994).

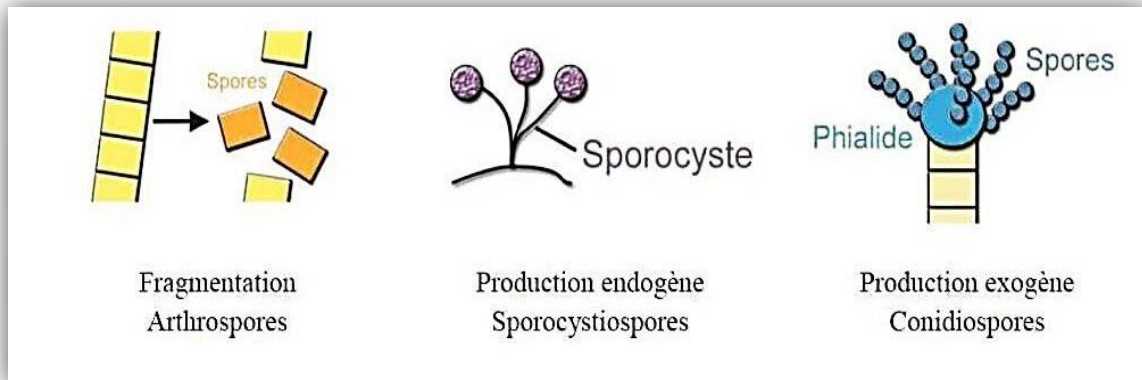
Dans la nature la croissance fongique est très lente. Ceci est dû au faible fourniture en substrats et à l'hétérogénéité de la distribution des nutriments dans les habitats microbiens. Elle peut être également ralentie par certaines perturbations telles que les interactions antagonistes d'autres espèces, qui concourent pour le même substrat, les invasions des animaux, les stress provoqués par l'épuisement des nutriments, les changements des conditions physiques (températures, pH, etc...) et par l'inhibition causée par un métabolite toxique (mycotoxines, acides organiques, ...) produit par un microorganisme voisin (Brock et *al.*, 1994).

## **6. Mode de reproduction**

La reproduction est le processus biologique par lequel de nouveaux organismes individuels « descendants » sont produits à partir de leurs « parents ». La reproduction est une caractéristique fondamentale de toute vie connue ; chaque organisme individuel existe à la suite de la reproduction. Les modes de reproduction chez les champignons connus sont globalement regroupées en deux types principaux : sexuée et asexuée (Ali, 2013; Hamza et Aloui, 2021).

### **6.1. Reproduction asexuée**

La reproduction asexuée des champignons se fait sans fusion de gamètes. Elle correspond majoritairement à la dispersion de spores asexuées, permettant la propagation des champignons, afin de coloniser d'autres substrats. Cette forme de reproduction est appelée la sporulation. Au cours de cette phase, les spores<sup>7</sup>, sont produites en grande quantité par des structures spécialisées, développées à partir du mycélium. Les spores peuvent être le résultat de la fragmentation. Dans ce cas, un nouvel organisme se développe à partir d'un fragment parent du mycélium (arthrospores). Elles peuvent aussi être produites de manière endogène à l'intérieur du sporocyste (sporocystiospores), ou de manière exogène en continu à l'extrémité des structures spécialisées appelées phialides (conidiospores) (Figure 6). Ensuite, elles se détachent du mycélium sous l'effet d'un petit choc mécanique, d'un frôlement ou d'un courant d'air (Moulinier, 2003).

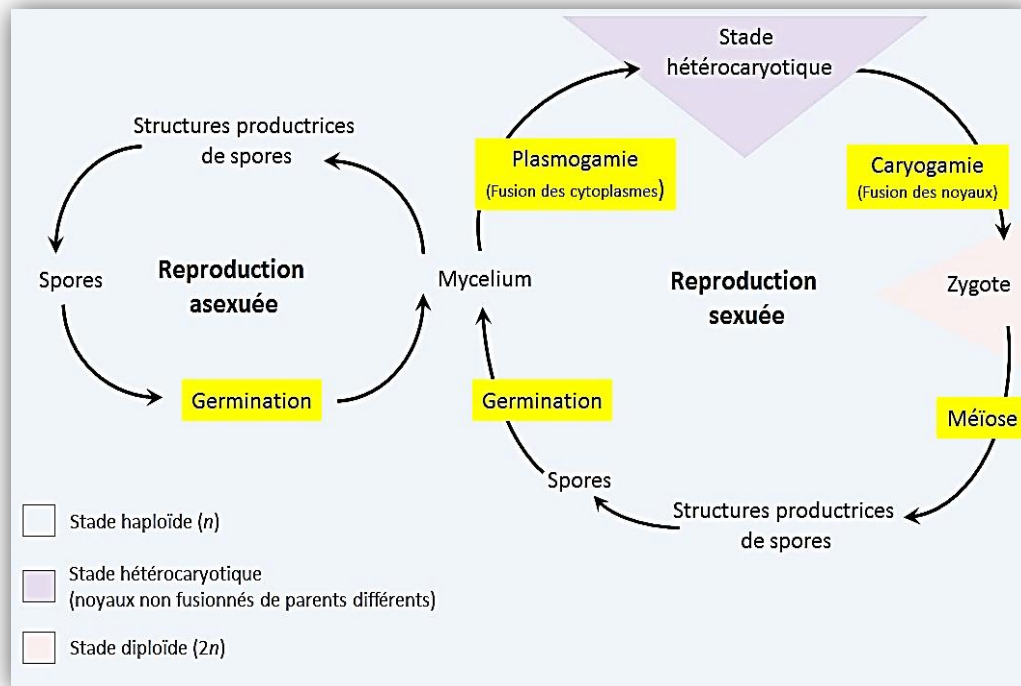


**Figure 6.** Différents modes de sporulation et les différents types de spores associées (Lecellier, 2013).

## 6.2. Reproduction sexuée

Certains champignons font appel à la reproduction sexuée lorsque les conditions deviennent défavorables (en nature) ou lorsque le milieu s'appauvrit en éléments nutritifs (en culture) (Moulinier, 2003).

Ce mode de reproduction appelé aussi téléomorphe fait intervenir la rencontre de filaments spécialisés (plasmogamie), la conjugaison des noyaux (caryogamie) et enfin une réduction chromatique (méiose) suivie d'une ou plusieurs mitoses. Ces événements sont suivis par la formation de 4 types de méiospores : l'oospore, les zygosporés, les basidiospores et les ascospores, dont le processus varie en fonction des différentes classes de champignons (Deacon, 2005) (Figure 7).



**Figure 7.** Reproduction chez les champignons (Tikour, 2018).

## 7. Mycoendophytes

### 7.1. Caractéristiques générales

Le terme « endophyte », initialement introduit par De Bary en 1866, concerne tous les organismes qui se reproduisent dans les tissus végétaux, distincts des épiphytes, qui vivent à la surface des plantes, (« endo » signifie à l'intérieur ; « phyte » est dérivé du mot Grec « phyto », qui signifie plante) (Rodriguez, 1996).

Les champignons endophytes sont des microorganismes qui colonisent les tissus vivants des plantes sans causer de symptômes, ils sont majoritairement issus du phylum des Ascomycota et présentent une grande diversité. Ils peuvent envahir tous les organes de la plante (Benmazari, 2010). Les endophytes pénètrent dans les tissus des végétaux au niveau du système racinaire, cotylédons, tiges, feuilles et fleurs (Li et *al.*, 2012). Ils sont hétérotrophes et prélèvent des nutriments à l'hôte sans que celui-ci ne présente des signes de maladie. Ils peuvent croître dans le milieu intracellulaire ou extracellulaire (Senequier-Crozet et Canard, 2016).

Les mycoendophytes peuvent contribuer à la croissance de la plante et à sa défense, mais aussi être une source importante de nouveaux composés bioactifs naturels avec des applications potentielles dans l'agriculture, la médecine et l'industrie alimentaire. Dans les deux dernières décennies, de nombreux composés à activités biologiques à savoir :

antimicrobiennes, anticancéreuses, cytotoxiques et insecticides ont été isolés de ces champignons endophytes (Schulz et *al.*, 2002 ; Zhao et *al.*, 2010).

Les champignons endophytes sont ubiquistes<sup>8</sup> : ils ont été détectés dans pratiquement toutes les espèces de plantes (Saikkonen et *al.*, 1998), à toutes les latitudes (Arlond, 2007). Une même espèce de champignon endophyte est capable de coloniser plusieurs hôtes différentes (Sénéquier-Crozet et Canard, 2016).

## **7.2. Interaction plantes endophyte**

L'interaction plante hôte-endophyte est complexe. En effet, les deux organismes synthétisent des composés qui ne sont pas directement impliqués dans le processus de croissance, il s'agit des métabolites secondaires (Schulz et Boyle, 2005). Les endophytes possèdent différents modes de vie, donnant différentes interactions qui sont variables d'un endophyte à un autre et d'une hôte à une autre, elles dépendent des facteurs abiotiques tels que la sécheresse (Bacon et Hill, 1996), les températures élevées (Redman et *al.*, 2002) et les sels minéraux (Rodriguez et Redman, 2008), des interactions avec d'autres espèces, de la géographie et de la phylogénie, et varient de l'antagonisme au mutualisme, c'est pour cette raison que la gamme d'interactions endophyte-hôte est considérée comme un continuum<sup>9</sup> (Schulz et *al.*, 1999). Les microorganismes endophytes établissent une relation plus étroite avec leurs hôtes et sont davantage protégés contre les différents types de stress biotiques et abiotiques et de ce fait, peuvent interagir plus longtemps avec la plante (Schulz et Boyle, 2006). Les effets de cette interaction peuvent se manifester par une promotion de la croissance, une protection via l'induction d'une résistance systémique et/ou une action antagoniste directe sur les agents pathogènes (Arnold, 2005). N'importe quelle interaction plante-mycosymbiote est précédée par un contact physique entre la plante et le champignon, suivi par plusieurs barrières physiques et chimiques qui doivent être surmontées pour établir une association réussie (Kusari et *al.*, 2012).

## **7.3. Modes de transmission**

Deux modes de transmission sont observés chez les champignons endophytes : le mode de transmission est le moyen par lequel le mycosymbiote peut coloniser un autre individu végétal à partir de l'hôte initial :

### **7.3.1. Transmission verticale**

Elle se caractérise par la colonisation d'un nouvel hôte progéniture de l'hôte primaire. Elle a été principalement observée chez quelques espèces de champignons endophytes de la famille Clavicipitaceae<sup>10</sup> qui colonisent les Poaceae (Saikkonen et *al.*, 2004).

### 7.3.2. Transmission horizontale

Elle se caractérise par la colonisation d'un nouvel hôte n'ayant la plupart du temps pas de lien avec l'hôte primaire. La caractérisation des groupes endophytes est basée surtout sur le groupe végétal infecté, la modalité de l'infection et de la colonisation des tissus de l'hôte ainsi que le mode de transmission au sein de la communauté végétale (Saikkonen et *al.*, 2004).

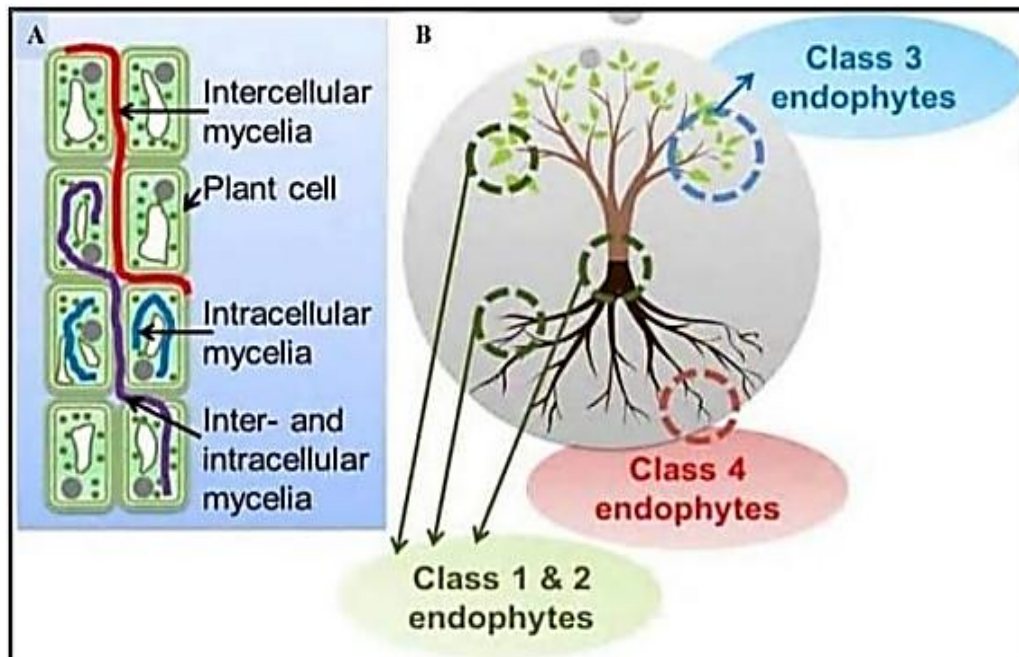
### 7.4. Classification des mycoendophytes

Les champignons endophytes représentent un groupe écologique et taxonomique extrêmement diversifié. La plupart des mycoendophytes appartiennent au phylum des Ascomycota. Cependant, certains appartiennent à d'autres taxons tels que les Deutéromycota, les Basidiomycota et les Mucoromycota (Saar et *al.*, 2001).

La classification des Mycoendophytes est basée sur la colonisation des tissus, leur diversité, les bénéfiques pour les plantes hôtes et le mode de transmission (Tableau 1). Ils ont souvent été divisés en deux groupes principaux en fonction des différences de l'évolution de la parenté, la taxonomie, la gamme d'hôtes et de la fonction écologique (Figure 8). Le premier groupe est constitué d'endophytes Clavicipitacées et le deuxième celui des endophytes non Clavicipitacées (Rodriguez et *al.*, 2009).

Les Mycoendophytes appartenant au groupe des Clavicipitaceae dont la classe 1 et 2, infectent certaines plantes et incluent 22 genres tels que, *Atkinsonella*, *Balansia* et *Epichloé* (Bischoff et White, 2005). Ces champignons présentent une croissance systémique au niveau des tissus des parties aériennes et des rhizomes. Ils sont souvent transmis verticalement d'une génération à l'autre et peuvent augmenter la survie de leurs plantes hôtes par de nombreux mécanismes, incluant la production de métabolites secondaires (Bacon et White, 2000 ; Rodriguez et *al.*, 2009).

Cependant les mycoendophytes non Clavicipitaceae (classes 3 et 4) qui se transmettent horizontalement, appartiennent essentiellement aux genres *Balansia*, *Myriogenospora*, *Parepichloe* ou *Echinodthis* (Bacon et White, 2000). La majorité des plantes sur terre hébergent ce type d'endophytes (Arnold, 2007). Ces derniers peuvent coloniser les tissus du végétal soit localement -même une seule cellule végétale ou d'une manière systémique (Boyle et *al.*, 2001). En revanche, les classes 3 et 4 comprennent des champignons endophytes très diversifiés associés à des feuilles de plantes non vasculaires, des plantes vasculaires sans graines, des conifères, des Angiospermes ligneux et les herbacées, dans les biomes allant des forêts tropicales à des forêts boréales et à l'arctique (Rodriguez et *al.*, 2009 ; Rai et *al.*, 2012).



**Figure 8.** Représentation de l'association des mycoendophytes avec leurs hôtes. (A) différentes localisations des mycoendophytes dans les tissus végétaux (B) localisation des différentes classes d'endophytes (Kusari et Spitlller, 2012).

### 7.5. Effet bénéfiques des Mycoendophytes

Les endophytes fongiques peuvent fournir plusieurs bénéfices aux plantes, tels que la protection contre les maladies (Redman et *al.*, 2001), la protection contre les phytopathogènes, la protection contre des insectes ravageurs (Liu et *al.*, 2001). Il a été rapporté également que les endophytes ont une action sur la stimulation de la croissance végétale (Ernst et *al.*, 2003). De ce fait, quelques endophytes peuvent améliorer l'absorption du phosphore par l'hôte (Sieber, 2002), augmenter l'efficacité photosynthétique (Obledo et *al.*, 2003). En effet lors de l'association bénéfique entre une plante et un endophyte, divers mécanismes directs et/ou indirects sont impliqués dans la protection et la stimulation de la croissance de la plante. Les mécanismes directs se manifestent lors de la fixation de l'azote atmosphérique, la solubilisation des minéraux tel que le phosphore et la production des régulateurs de croissance tels que les auxines, les gibbérellines, les cytokinines et l'éthylène (Ahmad et *al.*, 2008). Les mécanismes directs par la production de sidérophores et des enzymes de lyse cellulaire (Farrar et *al.*, 2014). Les mécanismes indirects peuvent se produire par le biais d'un effet de mycoparasitisme, d'une sécrétion d'inhibiteurs allélochimiques (Sturz et Christie, 2003) et/ou d'un phénomène de compétition avec les microorganismes pour l'espace et les nutriments (Whipps, 2001, Howell, 2003). Les plantes hôtes permettent aux

champignons endophytes de se nourrir, se protéger et de se propager ; en retour les plantes profitent aussi de certains avantages des endophytes (Clay et Schardl, 2002).

### **7.5.1. Protection contre les microorganismes pathogènes**

Plusieurs mécanismes peuvent être utilisés par les endophytes pour inhiber les microorganismes phytopathogènes. Parmi eux, il y a la production d'antibiotiques, la stimulation des mécanismes de défense de l'hôte, la concurrence pour la nourriture ou les sites de colonisation et le mycoparasites (Cao et *al.*, 2009). Plusieurs extraits liquides des cultures des endophytes ont démontré une inhibition de la croissance de plusieurs espèces de champignons phytopathogènes (Liu et *al.*, 2001; Park et *al.*, 2005 ; Inacio et *al.*, 2006). Certains champignons endophytes peuvent être des mycoparasites; ils peuvent produire des enzymes dégradant les parois cellulaires, qui leur permettent de percer des trous dans les champignons phytopathogènes et d'extraire des nutriments pour leur croissance (Cao et *al.*, 2009).

### **7.5.2. Protection contre les herbivores mammifères**

Bacon et *al.* (1977) ont démontré pour la première fois la corrélation existant entre les champignons endophytes et la toxicité de leurs plantes hôtes, qui se protègent contre les mammifères herbivores domestiques. Plusieurs types de maladies peuvent atteindre les animaux qui ont broutés des herbes infectées par des endophytes, comme le syndrome de toxicité de la fétuque des bovins aux États-Unis, où des variétés de fétuque élevée (*Festuca arundinaceae* Schreber) sont cultivées comme fourrage (White et *al.*, 1993).

### **7.5.3. Protection contre les insectes ravageurs**

Certains endophytes peuvent aussi protéger leurs hôtes contre les insectes en produisant des métabolites secondaires (Riedell et *al.*, 1999 ; Clay et Schardl, 2002 ; Spiering et *al.*, 2005). Webber (1981) a probablement été le premier à démontrer la protection des végétaux contre les insectes, due à des champignons endophytes. L'endophyte *Phomopsis oblonga* protège les ormes contre le dendroctone *Physocnemum brevilineu*, vecteur d'un champignon pathogène qui provoque la maladie hollandaise de l'orme. Cet endophyte produit des composés toxiques qui auraient un effet répulsif contre ce vecteur de l'agent pathogène.

### **7.5.4. Protection contre les stress abiotiques**

Tout au long de l'évolution, les plantes ont été confrontées à des conditions environnementales changeantes, les obligeant à s'adapter ou à succomber à des températures extrêmes, des insuffisances d'eau et d'éléments minéraux. Plusieurs études ont démontré que les plantes associées à des champignons endophytes ont été plus tolérantes à la sécheresse, à

la chaleur, à la toxicité des métaux et à une salinité élevée (Lewis, 2004 ; Rodriguez et *al.*, 2009 ; Waller et *al.*, 2005).

Les mycoendophytes des graminées fourragères augmentent de manière significative la tolérance à la sécheresse de cette espèce (Clay et Schardl, 2002). Redman et *al.* (2002) ont démontré que les champignons endophytes pourraient aussi augmenter la tolérance à la chaleur chez leurs hôtes. Cette tolérance a été détectée chez *Dichanthelium lanuginosum* infecté par l'endophyte *Curvularia sp* et qui résiste à des températures élevées de 65 °C, alors que les plantes non infectées ne résistaient même pas à une température de 40 °C. Ce phénomène peut s'expliquer par l'accumulation des solutés dans les tissus des plantes infectées par les endophytes, ou par la réduction de la conductance foliaire et un ralentissement du flux de transpiration (Malinowski et Belesky, 2000), ou encore par la limitation de la germination des graines et donc la réduction du risque de la mort des plantules (Gundel et *al.*, 2006).

#### **7.5.5. Source de produits naturels bioactifs**

Les champignons endophytes sont considérés comme un important réservoir de métabolites secondaires bioactifs (Das et *al.*, 2010). Ils ont un large spectre d'activités biologiques (Zhang et *al.*, 2006), comprenant des composés antibiotiques, antifongiques, antiviraux, immunosuppresseurs, anticancéreux, antioxydants et autres substances biologiquement actives (Strobel et Daisy, 2003).

Les métabolites porteurs d'une activité antibiotique peuvent être définis comme des substances naturelles organiques produites par des microorganismes actifs, contre d'autres microorganismes (Guo et *al.*, 2008). Il existe un grand nombre de composés antimicrobiens isolés à partir d'endophytes, appartenant à plusieurs classes structurales comme les alcaloïdes, les peptides, les stéroïdes, les terpénoïdes, les phénols, les quinine et les flavonoïdes (Yu et *al.*, 2010). Les composés peuvent être utilisés non seulement comme médicaments, mais aussi comme conservateurs alimentaires (Liu et *al.*, 2008).

#### **1. Mycoendophytes des racines**

Les mycoendophytes peuvent envahir tous les organes de la plante : feuilles, tiges et racines (Peterson et *al.*, 2008). Ils sont d'importants colonisateurs des racines de plantes dans les écosystèmes (Khidir et *al.*, 2010). La diversité, les fréquences de colonisation et la densité de la communauté mycoendophyte au niveau des racines varient selon les conditions climatiques et édaphiques, ainsi que l'hétérogénéité de l'habitat. Les changements observés

dans la dynamique des populations endophytes limitées à cette partie souterraine de la plante sont déterminés par les variations saisonnières subies par la partie aérienne (Sieber, 2002).

*Piriformospora indica* est un mycoendophyte colonisateur de la racine qui permet aux plantes de pousser dans un stress extrême en éléments nutritifs. Il contient des quantités substantielles d'une phosphatase acide, qui a le potentiel de solubiliser les phosphates dans le sol et les remettre à la plante hôte, améliorer l'absorption de nitrates et réguler le métabolisme du carbone (C) et du soufre (S). D'autres endophytes solubilisant les phosphates ont été rapportés également par Fitter et *al.* (2011).

Les genres *Cryptosporiopsis*, *Cylindrocarpon*, *Fusarium*, *Microdochium*, *Phialocephala* et *Phialophora* dominent les rhizoendophytes (Sieber, 2002). *Phialophora frontinii* est une espèce souvent inféodée aux membres des Ericacées et des Pinacées. D'autre part, *Fusarium sp.*, *Phialophora sp.*, ainsi que *Microdochium bollelyi* peuvent prendre un aspect pathogène en plus du mode de vie endophyte (Stone et *al.*, 2004). Une catégorie distincte des champignons endophytes associés aux racines est communément appelée dans la littérature anglo-saxonne «Dark Septate Endophytes» ou DES. Jumpponen, (2001); définirent récemment les DSE comme étant des Ascomycètes stériles colonisant les racines d'une vaste gamme de plantes supérieures. Ils ont pu être isolés à partir des racines de presque toutes les espèces végétales étudiées, les études ont été focalisées essentiellement sur des plantes cultivées (Poacées, Fabacées) des essences forestières, ainsi que sur des membres de la famille des Ericacées (Sieber, 2002).

Contrairement aux espèces liées aux autres parties de la plante, la croissance des endophytes dans les racines est souvent plus marquante. Ainsi, les rhizoendophytes peuvent parfois générer des structures « ectomycorhizoïdes » (Schulz et Boyle, 2005).

**Chapitre II**  
**Généralités sur la plante**  
**« *Artemisia campestris* L. »**

L'Algérie possède une flore végétale riche et diversifiée. D'après les données de la littérature (Quézel, 1965; Ozenda, 1991), les Asteraceae, dominant dans le sous-secteur de l'Atlas saharien aurésio-constantinois du domaine maghrébin steppique (Boughani, 2009). Cette famille comprend près de 23 000 espèces (Barreda et *al.*, 2015), réparties en 1500 genres décrites dont 750 endémiques (Harkati, 2011). Bien que tous les types biologiques se retrouvent chez les Asteraceae : arbres, lianes, arbustes, plantes succulentes, épiphytes, plantes aquatiques, etc..., la plupart des espèces sont surtout des plantes herbacées vivaces ou annuelles (Bremer et *al.*, 1994). Parmi les genres appartenant à cette famille se trouve *Artemisia*.

### 1. Présentation du genre *Artemisia*

Le genre *Artemisia* est considéré comme l'un des genres les plus abondants et largement distribués de la famille des Asteraceae. Cette dernière est la famille la plus large famille des Angiospermes qui compte environ 23 000 espèces réparties dans le monde entier. Elle comprend des herbes, arbustes, arbres (Glimn-Lacy et Kaufman, 2006),

*Artemisia* est un genre hétérogène, composé de plus de 500 espèces diverses réparties principalement dans les zones tempérées d'Europe, d'Asie et d'Amérique du Nord. Ces espèces sont pérennes, herbes bisannuelles et annuelles ou petits arbustes (Watson et *al.*, 2002; Mehrdad et *al.*, 2007). Par ailleurs, il a été rapporté que le genre *Artemisia* est riche en métabolites secondaires tels que les flavonoïdes, les acides cafféoylquinic, les coumarines, les huiles essentielles, les stérols et les acétylènes (Kundan et Anupam, 2010).

Les espèces d'*Artemisia* sont largement utilisées en médecine traditionnelle parce qu'elles renferment plusieurs molécules douées d'activités thérapeutiques. Parmi les espèces les plus connues se trouve « *Artemisia campestris* ». Cette plante est largement utilisée pour traiter les troubles digestives, les ulcères, les brûlures et les diarrhées (Rauter et *al.*, 1998; Akrouit et *al.*, 2001; Dib et *al.*, 2019).

### 2. Présentation de l'espèce *Artemisia campestris* L.

Au niveau de la flore algérienne, le genre *Artemisia* est représenté par 11 espèces spontanées dont *Artemisia campestris* en fait partie, communément appelée "dgouft" d'après Quézel et Santa (1962-1963). C'est une espèce qui pousse dans la steppe et le désert (Dobm 2005), elle est connue par ses propriétés allélochimiques inhibant la croissance et la germination de certaines plantes qui l'entourent (Neffati, 2002).

### 3. Nomenclature de la plante

*Artemisia campestris* prend des appellations très diversifiées et celles-ci varient, en Algérie, d'une région à une autre (Chehma, 2006).

**En Arabe (Algérie)**

- Chaouia : Tguft
- Mazabite : Hellâla ou Alâ
- Touaregs : Taga (Benchelah et *al.*, 2004 ; Boudjelal et *al.*, 2013).

**En Français**

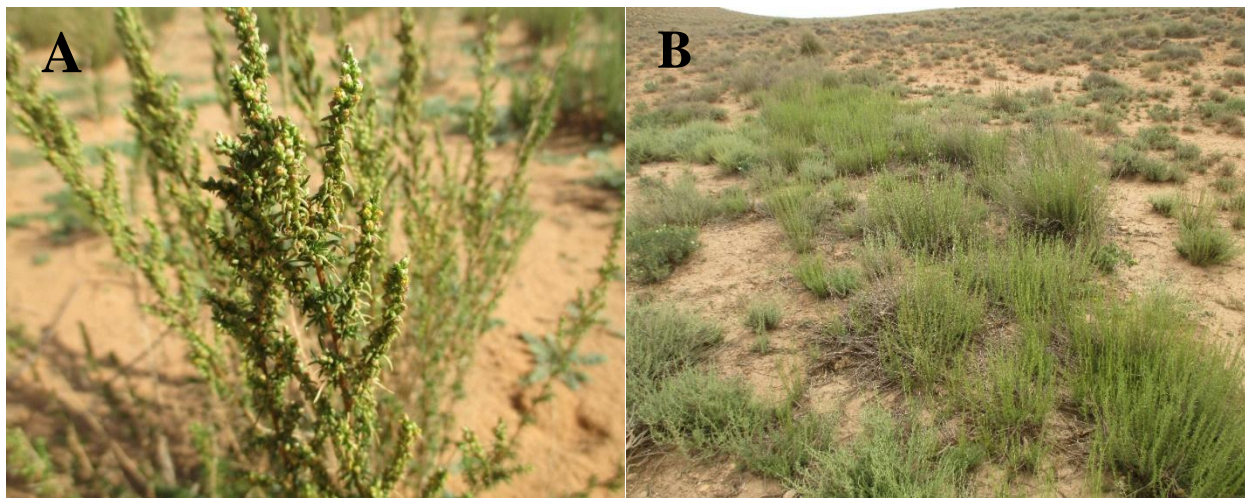
- Armoise champêtre, Auronne-des-champs.

**En Anglais**

- Field wormwood Name also Tall wormood.

**Nom Latin**

- *Artemisia campestris* L. (Figure 9)



**Figure 9.** Présentation de l'espèce *Artemisia campestris* L. A : Bourgeons floraux d'*A. campestris* en début de floraison. B : Parcours d'*A. campestris*.

**4. Systématique de la plante**

Selon l'APG III *Artemisia campestris* est classée dans :

<b>Rang</b>	<b>Nom Scientifique</b>
<b>Règne</b>	Plantae
<b>Sous règne</b>	Tracheophytes
<b>Clade</b>	Euphyllophytes
<b>Embranchement</b>	Spermatophytes
<b>Clade</b>	Angiospermes
<b>Clade</b>	Eudicotyledones
<b>Sous classe</b>	Asteridees
<b>Ordre</b>	Asterales
<b>Famille</b>	Asteraceae

**Genre**

*Artemisia*

**Espèce**

*Artemisia campestris* L.

Selon Tutin et *al.* (1976), l'armoise champêtre est une espèce très polymorphe qui est par six sous-espèces, à savoir

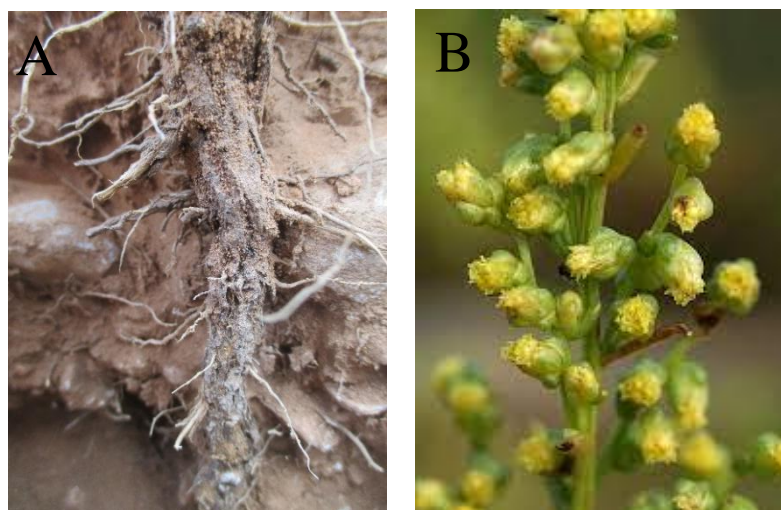
- *A. campestris* subsp. *alpina* ;
- *A. campestris* subsp. *campestris* ;
- *A. campestris* subsp. *glutinosa* ;
- *A. campestris* subsp. *lempergii* ;
- *A. campestris* subsp. *maritima* ;
- *A. campestris* subsp. *variabilis*.

Néanmoins, selon Quezel et Santa (1962-1963), les sous-espèces présentent en Algérie sont : *A. campestris* subsp. *campestris* et *A. campestris* subsp. *glutinosa*.

### 1. Description botanique

*Artemisia campestris* est un arbuste aromatique à tiges robustes, d'une hauteur de 30 à 80 cm. cette plante possède des capitules très petits, étroits (1 à 1,5 mm) ovoïdes ou coniques, à involucre scarieux, ne contient que 3 à 8 fleurs de couleur jaunâtre bordées de rouge, et à pédoncule muni de poils blanchâtres à brunâtre. Les fleurs du rayon sont femelles, pistillées et fertiles, tandis que les fleurs en disque sont stériles et fonctionnellement mâles avec des ovaires avortés réduits (Gillet et Magne, 1863 ; Quezel et Santa, 1962-1963; Ouyahya, 1990; Chalchat et *al.*, 2003) (Figure 10 B).

Les feuilles d'*Artemisia campestris* sont glabres de couleur verte foncée, les inférieures dipinnatiséquées, les supérieures pinnatiséquées, les basales pétiolées et auriculées, les tiges sont ligneuses à la base striée (David, Hervé., 1994 ; Ozenda, 1983 ; Quezel et Santa., 1962) La racine d'*A. campestris* se présente sous forme d'une racine principale, ligneuse et épaisse, bien distincte des racines secondaires et qui s'enfonce dans le sol tel un pivot (Figure 10 A). La racine pénètre profondément jusqu'à 40 à 50 centimètres et ne se ramifie qu'à cette profondeur (Aidoud, 1983).



**Figure 10.** A : Racines d'*A. campestris*. B : fleurs d'*A. campestris*

## 2. Répartition géographique

Les espèces qui appartiennent au genre *Artemisia* sont des arbustes aromatiques, qui poussent de façon spontanée dans plusieurs régions de l'hémisphère nord de la terre, surtout dans les zones semi-arides et le bassin méditerranéen et s'étendent jusqu'à l'Himalaya (Vernin et al., 1995). Dans l'hémisphère Sud, elles sont trouvées en Afrique du Sud, l'Australie et l'Amérique du Sud.

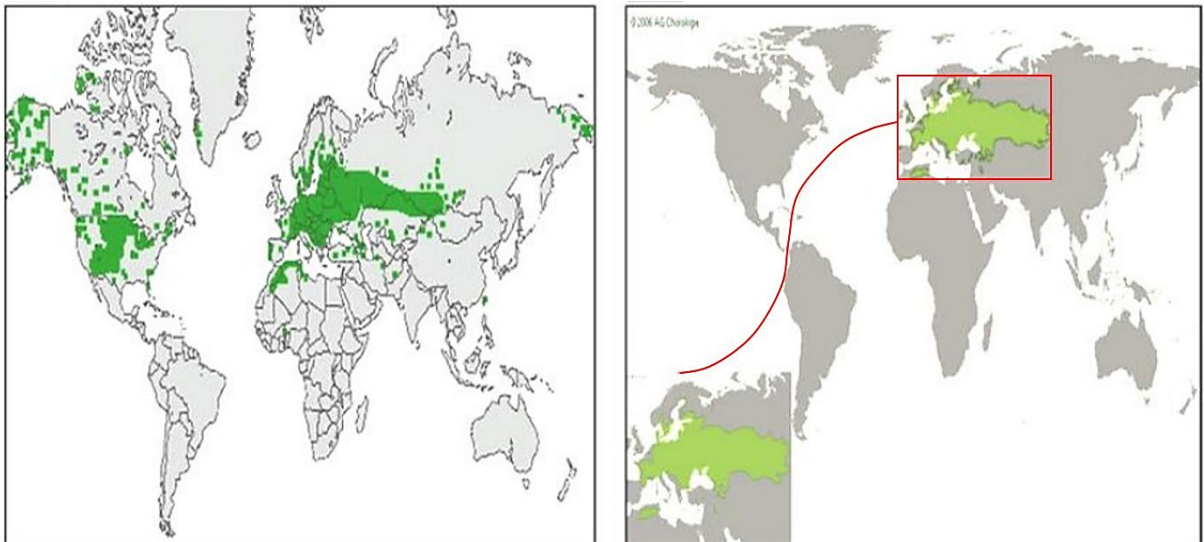
*A. campestris*, espèce originaire de l'Asie (Kyeong, 2007). Elle est très répandue en Afrique du Nord (Ghliasia, 2016). Particulièrement les pays de la méditerranée où elle préfère un habitat semi-aride et constitue une bonne couverture des terrains, une source de production de litière en plus de sa propriété protectrice des surfaces (Geeson et al., 2003). L'Algérie fait partie des principaux pays où règne cette plante (Rebbas and Bounar, 2014), mais elle présente une distribution inégale : assez bien représentée dans le sud et l'ouest et plus rare dans les montagnes de l'est et plus encore dans le nord-est (Berrouane, 2014).

La répartition géographique de cette herbe est aussi influencée par la sous-espèce étudiée. Ainsi, la sous-espèce *A. campestris* L. sub sp. *campestris* possède la plus large distribution géographique en Europe, en Asie Centrale, en Asie du Nord et en Afrique du Nord (D'Andrea et al., 2003), suivi par la sous-espèce *A. campestris* L. subsp. *glutinosa* qui s'étend depuis la Sibérie jusqu'au Grande-Bretagne du continent Européen (Juteau et al., 2002; Masotti et al., 2012). De plus, cette sous-espèce a été décrite comme étant l'arbuste nain qui appartient aux steppes des zones arides et désertiques du Nord d'Afrique (Le Houerou, 2013). Concernant *A. campestris* L. subsp. *maritima*, elle constitue la sous-espèce qui pousse essentiellement dans les sables maritimes de la côte atlantique européenne et vers

le nord néerlandais (Tutin et *al.*, 1976 ; Kreitschitz and Vallès, 2003;). Finalement, la sous-espèce *A. campestris* L. subsp. *borealis* existe principalement dans les Alpes et au niveau de la Russie arctique (Tutin et *al.*, 1976).

Elle est également présente dans toute l'Europe, à l'exception des zones arctiques et de la plupart des îles : Baléares, Corse, Sicile, Crète, Irlande, Islande, Spitzberg, aussi en Sibérie, en Asie occidentale et au Maghreb.

L'armoise champêtre est une espèce capable de prospérer dans une gamme extrêmement vaste d'habitats écologiques, du maquis thermo-méditerranéen aux ceintures montagneuses et du saharien aux zones humides. Elle peut être trouvée dans l'étage bioclimatique supraméditerranéen vers le haut. Elle préfère les habitats ouverts comme les prairies, les clairières et les lisières des forêts, et pousse principalement sur des sols secs (Figure 11) (Dib et *al.*, 2016).



**Figure 11.** Distribution géographique de l'espèce *Artemisia campestris* L. (Dib et *al.*, 2016).

### 3. Répartition écologique

L'espèce *Artemisia campestris* est assez commune sur les sols siliceux et les bords des rivières jusqu'à 1 500 m (Le Floch, 1983). Elle est commune dans les régions semi-arides. Dans la steppe algérienne, sa résistance à la sécheresse lui permet de vivre dans les régions où il y a peu d'eau (Baba Aissa, 1991; Chalchat et *al.*, 2003). Elle occupe une amplitude considérable qui s'étend de l'étage thermo-méditerranéen jusqu'à l'étage montagnard et depuis les zones sahariennes jusqu'aux zones humides (Subally et Quezel, 2002). Généralement, elle se développe dans des habitats ouverts tels que les prairies arides, les pinèdes, les clairières et les sommets des montagnes, les zones rudérales (Nobis et *al.*, 2014).

En outre, il a été détaillé que différentes formes d'*Artemisia campestris* existent en fonction des différents habitats et écotypes (Turesson, 1925) :

- Une forme de dune mouvante, principalement reliée à l'écotype des dunes ;
- Une forme qui pousse dans les milieux salés le long de la côte ;
- Une forme liée aux champs qui pousse au niveau des champs de pâturages secs et des sols graveleux ;
- Une forme calcaire qui prédomine dans les champs de roches calcaires et les terres arides.

Il a été précisé par Subally et Quézel (2002) que l'occurrence d'*A. campestris* L. est essentiellement conditionnée par les facteurs édaphiques plutôt que les critères climatiques. En effet, c'est une espèce répandue dans les pâturages et champs cultivés (Chifu et Meziani, 1978) des steppes Nord africaines situées dans des milieux perturbés et dégradés (Bradai et al., 2015). Le surpâturage semble être la cause principale de la dégradation de la végétation dans ces milieux (Slimani, 1998 ; Babali et al., 2018) et qui favorise l'installation des chaméphytes, faiblement recherchés par le bétail, telles que : *Astragalus armatus*, *Atractylis serratuloides* et *Artemisia campestris* (Boughani, 2014). Il a été signalé également que *A. campestris* est espèce post-culturale (Le Houérou, 1969) traduisant à cet effet un impact de l'extension des cultures et elle se trouve donc liée un facteur de dégradation d'ordre socio-économique (Martinez et al., 2018). Par ailleurs, l'espèce *A. campestris*, a été considérée comme une espèce psammophile et rudérale qui apparait après une dégradation liée au surpâturage (Le Houérou, 1995).

#### 4. L'utilisation d'*Artemisia Campestris*

*Artemisia campestris* est une plante utilisée depuis longtemps dans la médecine traditionnelle pour traiter plusieurs maladies :

- En usage local, elle est utilisée pour traiter les troubles digestives, les ulcères et les douleurs menstruelles (Dib et al., 2005). Elle est également utilisée dans le traitement de diabète ;
- La partie aérienne est utilisée dans le traitement de brûlures, de la diarrhée, les morsures de serpents, les piqûres de scorpions, l'eczéma, la gastroentérite, la dysenterie et le rhumatisme. Elle est utilisée également pour traiter les infections urinaires, la fièvre et la toux (Ben Sassi et al., 2007 ; Saoudi et al., 2010). Les feuilles de cette espèce sont utilisées dans la médecine traditionnelle en décoction pour leur propriétés antispasmodiques, anti-inflammatoires, anti-rhumatismales, antimicrobiennes, anthelminthiques et anti-veineuses.

Elle possède d'autres actions traditionnelles comme traitement des plaies (Ghliissi et *al.*, 2016).

- En Algérie et dans de nombreux autres pays *A. campestris* est couramment utilisé comme traitement pour les problèmes cutanés, respiratoires et digestifs. Elle a aussi une extension comme emménagogue et comme régulateur de circulation en particulier dans les soins postpartum en Algérie (Dib et *al.*, 2016).

### 4.1 Activités biologiques

En plus de leurs utilisations traditionnelles, *A. Campestris* possède de nombreuses propriétés biologiques, parmi lesquelles nous citons les plus importantes :

#### 4.1.1 Activité antioxydante

La partie aérienne d'*Artemisia Campestris* possède des activités antioxydantes significatives. En effet, cette plante est riche en composés ayant une activité antioxydante tels que: les flavonoïdes, les polyphénols et les tanins. Ces différents constituants ont la capacité d'inhiber la production de l'anion superoxyde, l'hydroxyle et ils inhibent la peroxydation lipidique au niveau des microsomes (Bruneton, 1999). Par ailleurs, l'étude de l'activité antioxydante de l'extrait aqueux d'*Artemisia campestris*, testée par la méthode de DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), a montré que l'extrait aqueux possède une activité antioxydante élevée (Aniya et *al.*, 2000),

De leur côté, Akrouit et *al.*, (2011), ont étudié l'activité antioxydante de trois extraits de la partie aérienne d'*Artemisia campestris* (huile essentielle, extrait aqueux, extrait éthanolique 50%) en utilisant trois méthodes différentes: la méthode de DPPH, la technique de décoloration du  $\beta$ -carotène et la méthode d'ABTS (2,2 azinobis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acide), ont trouvé que l'huile d'*Artemisia campestris* possède une faible activité antioxydante, alors que les extraits aqueux et organique montrent une activité antioxydante importante en comparaison à celle de l'huile essentielle.

#### 4.1.2 Activité antibactérienne

*Artemisia Campestris* est une plante médicinale utilisée dans le traitement de nombreuses infections telles que les infections urinaires. Par ailleurs, il a été démontré que l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique de ses feuilles est plus efficace contre les bactéries gram positif (*Staphylococcus aureus*) que les bactéries gram négatif (*Escherichia coli*) (Naili et *al.*, 2010). En outre, l'étude l'activité antibactérienne de quatre extraits organiques (méthanol, acétate éthyle, acétone, chloroforme) de 23 plantes médicinales dont *Artemisia campestris* contre 14 bactéries gram positif et gram négatif a révélé que l'extrait

d'acétone est le seul qui montre une action inhibitrice contre trois types de bactéries : *Staphylococcus epidermidis*, *S. saprophiticus* et *S. aureus* (Ben Sassi et al., 2007).

L'espèce *A. campestris* possède des propriétés antifongiques très intéressantes. L'étude de l'effet antifongique de l'extrait aqueux des racines d'*Artemisia campestris* sur des champignons de mycorhize (CMA) a montré que cet extrait possède un potentiel antifongique. Les plantes du genre *Artemisia* contiennent un sesquiterpène lactone appelé : Artemisinine. Ce composant constitue le métabolite secondaire le plus important chez toutes les espèces (Kyeong et al., 2007).

### 4.1.3 Effet insecticide

Une étude réalisée sur l'extrait éthanolique d'*Artemisia Campestris* subsp *glutinosa* a montré une faible activité larvicide contre larves de moustique *Culex Linnaeus* (Diptera, Culicidae) (AL-Snafi, 2015). Une autre étude où l'extrait méthanolique de la partie aérienne d'*Artemisia campestris* a été testé pour son activité répulsive contre les femelles adultes d'une espèce de moustique *Culex quinquefasciatus*. Cet extrait a montré un degré de répulsion très intéressant contre ces parasites vecteurs de plusieurs maladies comme la malaria (Boudjouref, 2011).

### 4.1.4 Propriétés allélopathiques

Les plantes du genre *Artemisia* possèdent des propriétés allélopathiques par inhibition de la croissance et la germination de certaines plantes de l'entourage. Ces propriétés sont dues probablement à la présence d'acide phénolique et d'autres composants polaires (Kyeong et al., 2007).

### 4.1.5 Activité hypoglycémiante

L'extrait aqueux des feuilles d'*A. Campestris* diminue le taux de glucose dans le plasma des rats chez lesquels le diabète est induit par l'alloxane monohydrate. Ils ont trouvé également que la diminution de la concentration de glucose s'accompagne d'une part d'une diminution des taux de triglycérides et des lipoprotéines de faibles densités (LDL), et d'autre part d'une augmentation du niveau de l'insuline. Ce qui peut prévenir les complications du diabète (Sefi et al., 2010).

### 4.1.6 Effets antipoison

Les extraits d'acétate d'éthyle, éthanol, méthanol et de diclorométhane des feuilles d'*A. campestris* ont été testés pour leurs capacités de neutralisation de venin de scorpion et de vipère de la région de El-Oued située au Nord-est du Sahara septentrional Algérien, et les résultats obtenus ont montré que l'extrait éthanolique, inhibe l'activité de dégradation des globules rouges contre le venin du scorpion *Androctonus australis garzoni*. Des résultats

similaires ont été obtenus pour l'extrait de dichlorométhane pour la neutralisation de venin de la vipère (Memmi et *al.*, 2007).

### **4.1.7 Activité antifongique**

Il a été montré une efficacité antifongique prometteuse pour plusieurs extraits d'*A. campestris* contre de nombreuses espèces fongiques a été mise en évidence. Lorsqu'il a été testé sur les souches *Trichophyton tonsurans*, *Trichophyton rubrum* et *Microsporum canis*, l'extrait aqueux d'*A. campestris* a induit 100% de l'inhibition de la croissance. Le même résultat a été obtenu avec les étalons voriconazole, fluconazole, itraconazole et amphotéricine (Dib et *al.*, 2016).

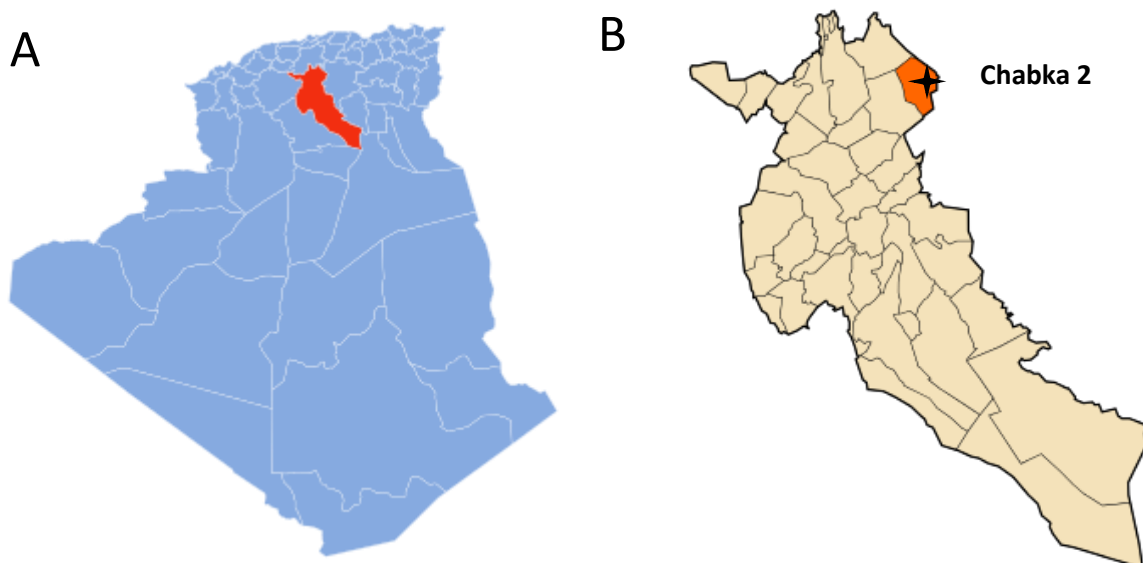
*Chapitre III*  
*Matériel et méthodes*

## 1. Description de la zone d'études

### 1.1. Situation géographique

Djelfa est une wilaya steppique située dans la partie centrale des hauts plateaux. Elle est limitée par Tissemsilt et Médéa au nord, M'Sila et Biskra à l'est, Laghouat et Tiaret à l'ouest et Ouargla et Ghardaia au sud. La ville de Djelfa est située à environ 300 km au sud de la capitale Alger. Elle est comprise entre 2° et 5° de longitude et entre 33° et 35° de latitude nord. Elle se situe à 1185 m d'altitude.

S'étalant sur une superficie de 32 256,35 km<sup>2</sup>, la région est caractérisée par une activité pastorale dominante, ainsi que par l'arboriculture, la céréaliculture et les cultures maraichères et fourragères. Cette région abrite un potentiel important forestier à base de pin d'Alep issu de campagnes de reboisement (barrage vert), pour constituer un rempart au phénomène d'ensablement et à la désertification (Figure 12).



**Figure 12.** (A) Localisation de la wilaya de Djelfa sur la carte d'Algérie. (B) Localisation de la station d'étude Chabka 2 sur la carte de la wilaya de Djelfa. Chabka 2, notre station d'étude, se trouve à la commune de Ain Fekka qui est située à 150 km au nord-est du chef-lieu de la wilaya de Djelfa sur une altitude de 863 m. Ces coordonnées géographiques sont 35° 24' de latitude nord et 3° 39' de longitude est

**1.2. Climat**

Le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période de temps donnée. Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution des êtres vivants (Faurie et *al.*, 1980).

En milieu aride, les mêmes variables de bases sont utilisées pour la synthèse bioclimatique à savoir: les précipitations (mensuelles et annuelles) et les températures (maximales, minimales et moyennes). Ce sont leurs variabilités qui nous intéressent le plus.

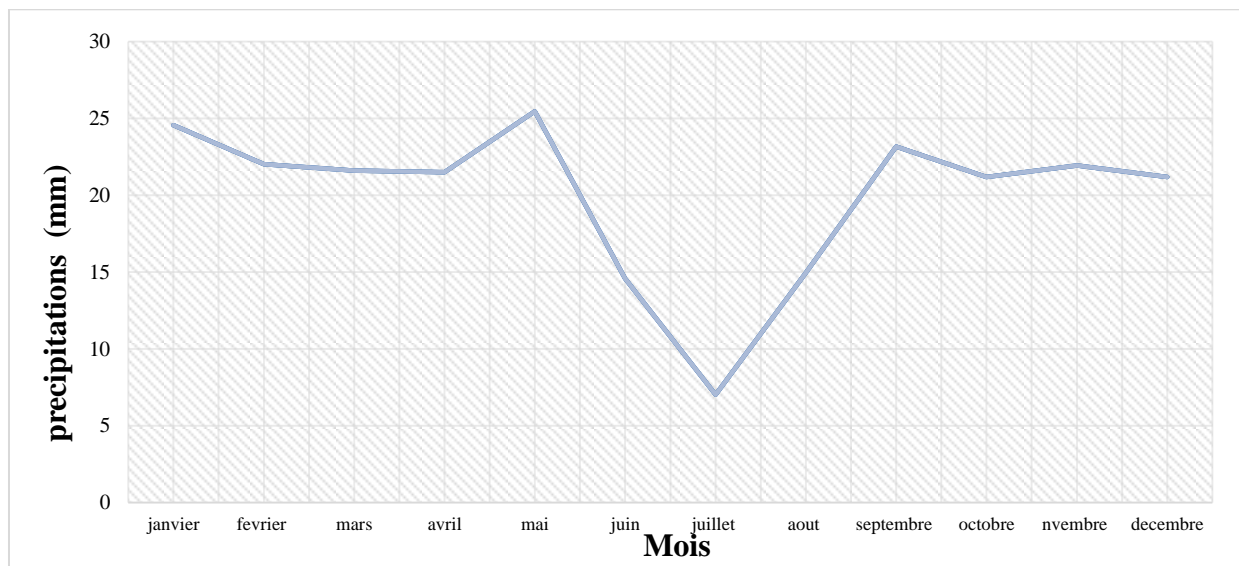
Vu l'absence de station météorologique dans la commune de Ain Fekka, nous avons utilisé les données fournies par celle de Djelfa, sur une période de 42 ans (1975-2017), car c'est la plus proche de notre zone d'étude. Pour déterminer le bioclimat de la station de Chabka 2, nous avons fait donc une extrapolation des données climatiques en se basant sur des gradients pluviométriques et thermiques déterminés par plusieurs auteurs. Pour la pluviosité, nous avons appliqué le gradient proposé pour l'Atlas Saharien central par Benali (1988) *in* Leban et Zidane (1995) ; à savoir 24 mm pour 100 m d'altitude. Quant à la température, nous avons appliqué les gradients proposés par Seltzer (1946). Le premier concerne la moyenne des températures minimales du mois le plus froid « m » avec 0,4 °C pour 100 m, et le deuxième pour la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud « M » avec 0,7 °C pour 100 m.

**1.2.1. Pluviométrie**

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale, par sa répartition annuelle et mensuelle. Selon Derridj (1990), les précipitations déterminent la répartition des végétaux ; elles sont un facteur écologique limitant et un élément indispensable pour toute forme de vie.

Au niveau des milieux steppiques, la pluviométrie est variable et irrégulière d'une année à une autre. Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles enregistrées dans la station d'étude pour la période (1975-2017) sont notées dans la figure ci-dessous (Figure 13) et l'annexe 1.

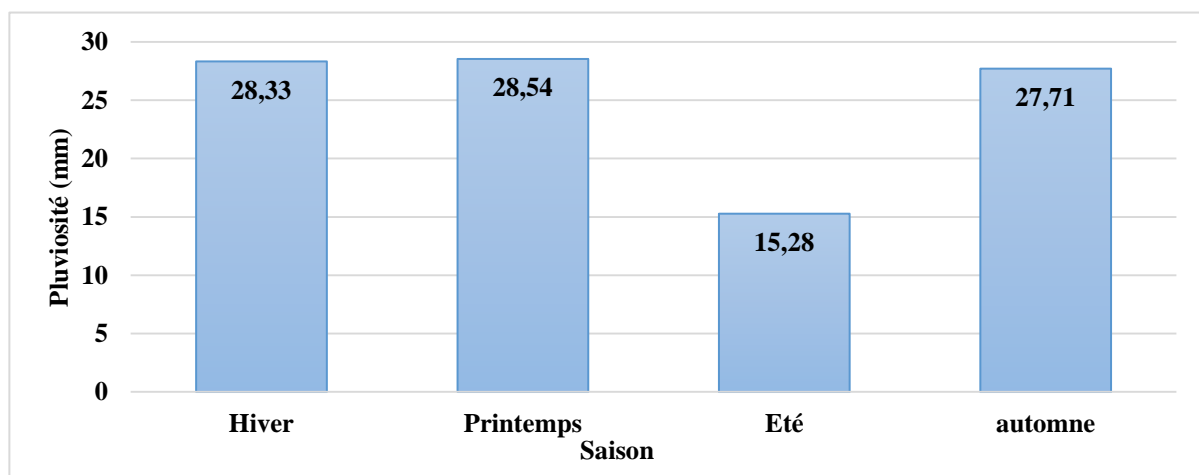
D'après la figure 13, le mois le plus pluvieux est le mois de janvier (24,56 mm), et le mois le moins pluvieux est le mois de juillet (7,02 mm), pendant la période (1975-2017). Cependant, la pluviométrie moyenne annuelle est de 239,19 mm.



**Figure 13.** Variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de Chabka 2.

### 1.2.2. Régime pluviométrique

L'étude du régime pluviométrique moyen saisonnier consiste à classer les saisons par ordre de pluviosité décroissante, c'est-à-dire donner les bilans de pluviosité reçue saison par saison (Hivers-Automne-Printemps-Eté) (Figure 14).



**Figure 11.** Régime pluviométrique de la station de Chabka 2.

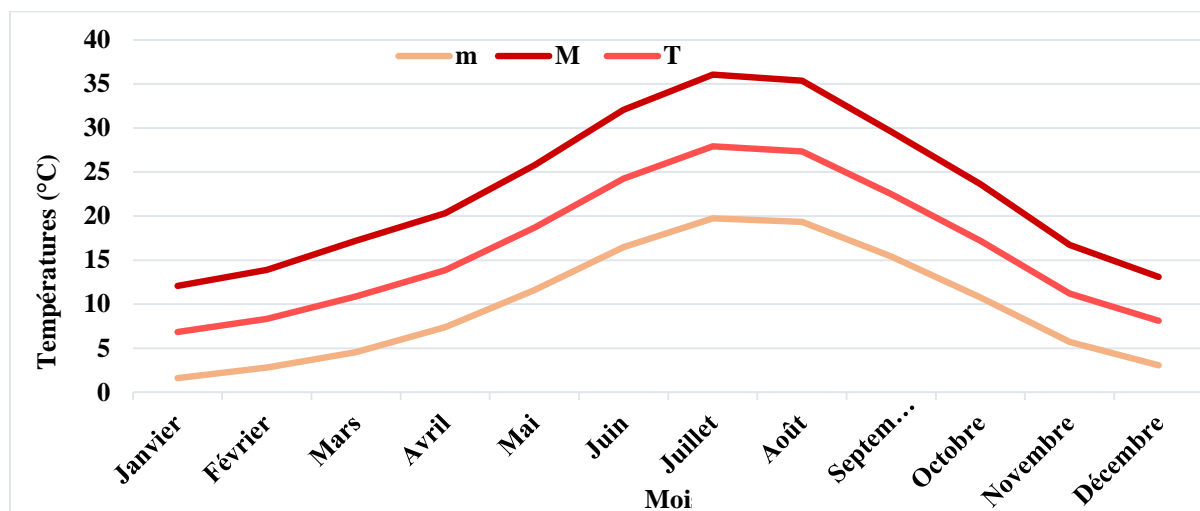
Le régime pluviométrique de notre station d'étude Chabka 2 est de type PHAE, c'est à dire que la quantité d'eau reçue en printemps (28,54%) est supérieure à reçue en hiver (28,33), en automne (27,71%) et en été (15,28%). Cependant, la saison la plus pluvieuse de notre station d'études Chabka 2 est le printemps.

### 1.2.3. Température

Parmi les facteurs climatiques, la température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère.

Les températures moyennes mensuelles enregistrées pour la région de Chabka 2 durant la période (1975-2017) sont représentées dans la figure 15 (Figure 15) et l'annexe 1.

Dans un milieu steppique, c'est la variabilité de la température qui conditionne les périodes sèches et augmente l'effet de la dégradation. Pour notre station d'étude, la figure 15 montre que le mois le plus chaud de l'année est le mois de juillet, avec une température maximale de 36,07 °C. Le mois le plus froid, par contre, est le mois de janvier, avec une température minimale de 1,6 °C. Il y a lieu de dire que les plus fortes chaleurs coïncident avec les précipitations les plus faibles des mois de mai, juin, juillet et août.



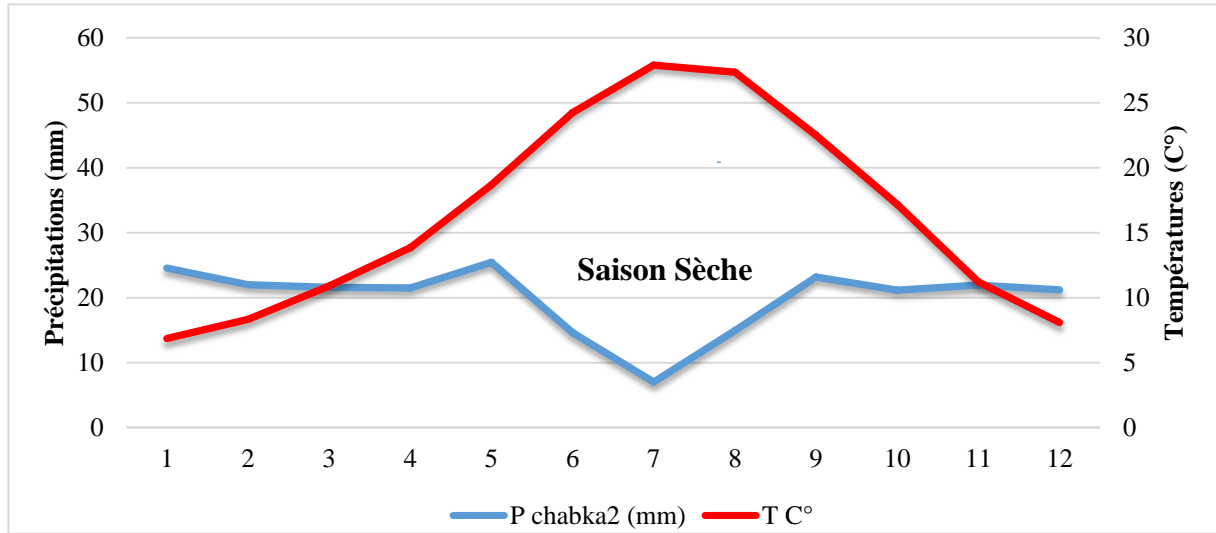
**Figure 12.** Données de températures représentatives de la station de Chabka 2.

**m** : Températures minimales en °C. **M** : Températures maximales en °C. **T** : Température moyenne  $(M+m)/2$  en °C.

### 1.2.4. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Selon Bagnouls et Gaussen (1953) un mois sec, et celui où la somme des précipitations moyennes (en mm) est inférieure ou égale au double de la température moyenne de ce mois, soit  $(P \leq 2T)$ . Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

pour la région de Chabka 2 montre que la période sèche s'étale sur 9 mois (du mois de mars jusqu'au mois de novembre) (Figure 16).



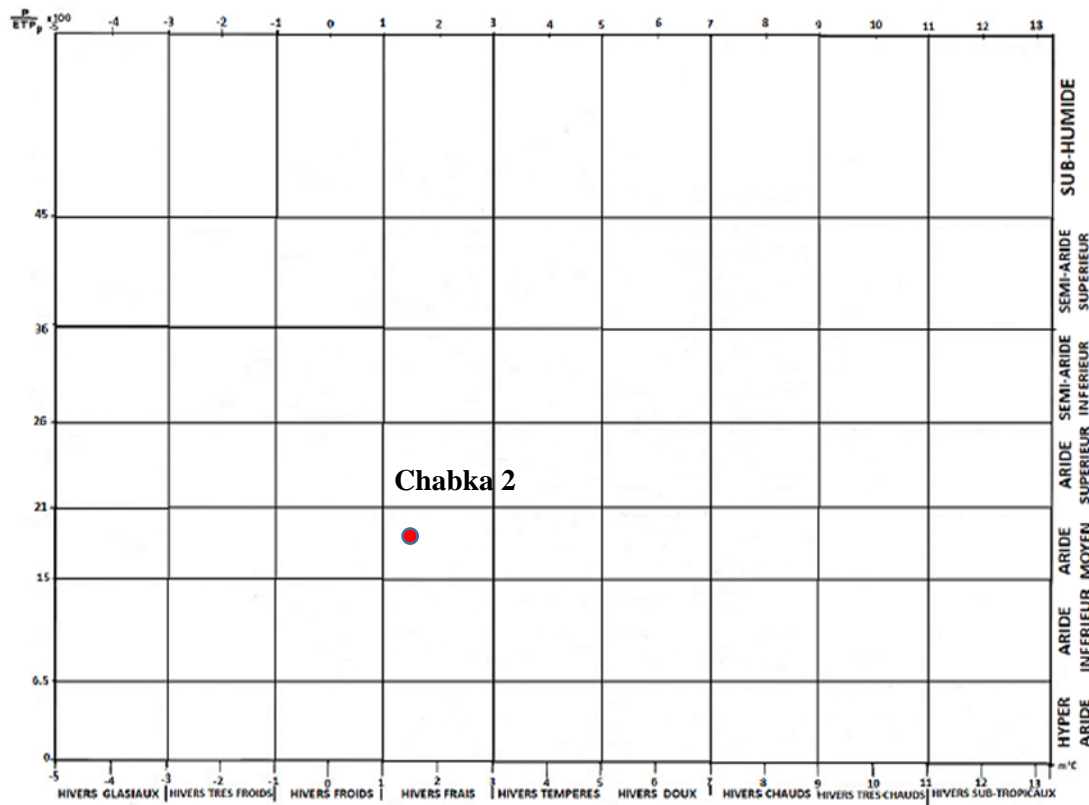
**Figure 13.** Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la station de Chabka 2 (1975-2017).

**1.2.5. Zonation écoclimatique de Le Houérou (1995)**

La zone écoclimatique concerne spécialement les régions de l’Afrique du Nord. Elle consiste à tracer un diagramme qui porte sur les ordonnées le quotient pluvio-évapotranspiratoire (P/ETPp) et sur les abscisses les moyennes des températures minimales du mois le plus froid. Le croisement de ces deux variables donne l’étagement bioclimatique de la région. Les données nécessaires pour la zonation écoclimatique selon la méthode de Le Houérou (1995) de notre station d’étude sont notées dans le tableau 2 et la figure 17 (Figure 17).

**Tableau 1.** Données et variables calculées utilisés dans la classification écoclimatique de Le Houérou (1995) de la station d’étude Chabka 2.

Station Etudiée	Altitude (m)	P (mm)	M	m	(M+m)/2	ETPp ETPp [(M+m)/2] × 68.64mm	P/E TP p	(P/ETPp) ×100	Classification
Chabka2	863	239,17	36,06	1,64	18,85	1293,86	0,184	18,5	Aride moyen à hiver frais



**Figure 14.** Situation de la station de Chabka 2 au niveau du climagramme de Le Houérou (1995).

D'après le tableau 2 et la figure 17, notre station se situe dans l'étage bioclimatique aride moyen à hiver frais

## 2. Echantillonnage sur terrain

Afin de réaliser notre travail, un échantillonnage a eu lieu en novembre 2022. L'échantillonnage a concerné six sujets de l'espèce *Artimesia campestris* et le choix des sujets a été orienté sur ceux qui présentent un bon état phytosanitaire. Au niveau de chaque sujet, nous avons prélevé des échantillons de radicelles, sur une profondeur de 0 à 20 cm, selon le système racinaire des sujets. Les échantillons sont gardés à l'état frais dans un peu de sol et ils ont été transférés dans des sacs en papier, au laboratoire des Ressources Naturelle de l'UMMTO pour la réalisation du travail expérimental.

### 2.1. Préparation du milieu de culture

Le milieu utilisé dans notre expérimentation est le milieu de culture semi-synthétique PDA (Figure 18) (Pommes de terre-Dextrose-Agar), préparé suivant le protocole suivant :

- Peser 200 g de pommes de terre coupée et la faire bouillir pendant 20 min dans l'eau distillée.
- Réaliser un extrait de la pomme de terre et ajuster avec l'eau distillée jusqu'à 1 litre dans un erlenmeyer. Peser 20 g de glucose et 20 g d'agar agar, les rajouter à la solution et mélanger avec un agitateur.
- Laisser la solution refroidir ensuite verser la préparation dans les boîtes de Pétri. Après refroidissement et lorsque le milieu de culture durci, les boîtes de Pétri sont prêtes pour l'inoculation, dans un milieu stérile.



**Figure 18.** Préparation du milieu de culture PDA (Pommes de terre-Dextrose-Agar).

### 2.2. Préparation des fragments racinaires à mettre en culture

A l'aide d'un pied à coulisse, nous avons pu sélectionner, pour chaque sujet, des fragments racinaires ne dépassant pas 0,5 mm de diamètre.

Une fois que les racines à mettre en culture sont prêtes, vient l'étape de la stérilisation superficielle. Le but de la stérilisation superficielle des radicules est d'éliminer les organismes épiphytes qui peuvent se retrouver à la surface des racines. Pour cela, nous avons adopté le protocole de Helander et *al.* (1994).

- Traitement à l'éthanol 95% pour une durée de 01 minute qui a été suivi par un traitement à l'eau distillée stérilisée ; Traitement à l'eau de javel pour une durée de 02 minutes et ensuite, un traitement à l'eau distillée stérilisée.

Une fois stérilisées, les racines sont séchées en utilisant du papier buvard stérile. Elles sont ensuite coupées à l'aide d'un bistouri stérilisé, pour avoir des fragments de 1 cm de longueur. Les fragments racinaires obtenus sont ensemencés sur les milieux de culture PDA à raison de quatre fragments par boîte de Pétri.

### **2.3. Mise en culture**

Toutes les étapes de la mise en culture des racines ont été réalisées entre deux bacs Bunsen et sont réalisées comme suit :

- Prendre les 24 fragments de 1 cm de chaque sujet échantillonné ;
- Ensemencer chaque 4 fragments dans une boîte à Pétri contenant le milieu de culture (PDA) au quel une pincée d'antibiotique a été rajouté pour éviter toute prolifération de bactérie ;
- Répéter la procédure 5 fois pour chaque sujet,
- Sceller les boîtes de pétri à l'aide du papier film ;
- Laisser pour incubation à température ambiante pendant 15 jours.

### **2.4. Identification des mycoendophytes**

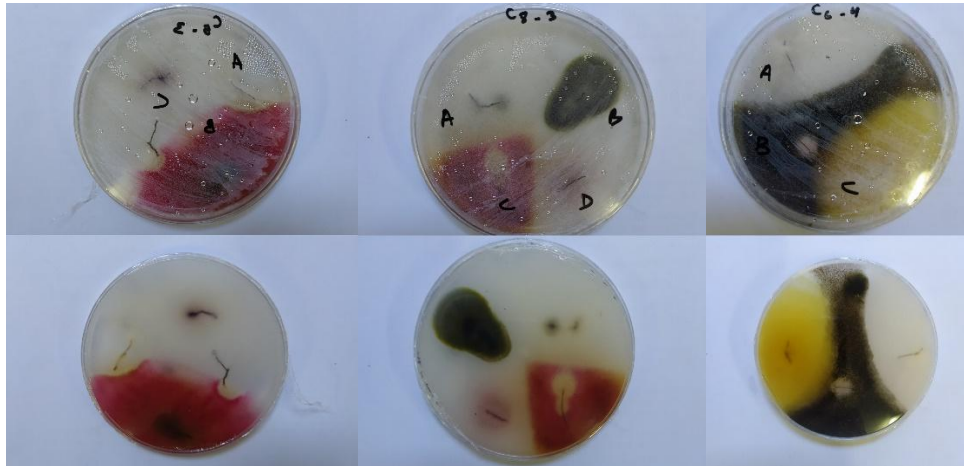
L'identification des souches fongiques repose sur des critères macroscopiques (aspect général des colonies) et microscopiques (étude des filaments végétatifs, des organes de fructification et des spores). L'identification des mycoendophytes des racines d'*Artemisia campestris*, est la phase la plus importante dans notre travail. Pour cela une étude minutieuse a été adoptée.

#### **2.4.1. Observation macroscopique**

Cette dernière s'intéresse à plusieurs critères comme :

- **Aspect des colonies :** les champignons filamenteux forment des colonies duveteuses avec une texture épaisse, laineuse, floconneuse, ou veloutée ;

- **Relief des colonies** : elle peut être plane, surélevée ou striée ;
- **Taille des colonies** : elle peut varier en fonction des genres fongiques ;
- **Couleur des colonies** : les couleurs les plus fréquentes sont vert-olive, brunes ou noires, blanches, jaunes ou rouges. Les pigments sont localisés soit au niveau du mycélium ou bien diffusés dans le milieu de culture (Figure 19).



**Figure 19.** Observation macroscopique des cultures fongiques des racines d'*Artemisia campestris*.

#### 2.4.2. Identification microscopique

Après observation macroscopique à l'œil nu et sous la loupe binoculaire, on passe aux prélèvements des fragments de toutes les colonies mycoendophytiques, grâce à des lames à bistouri stérilisées à la flamme bleue des becs Bunsen (Figure 20). Ces derniers sont déposés entre lame et lamelle, puis observés sous microscope photonique à différents grossissements.



**Figure 20.** Prélèvements des souches fongiques d'*Artemisia campestris*.

Plusieurs structures des champignons filamenteux sont observées comme l'appareil végétatif, les organes de fructification et les spores (Lecellier, 2013). Selon Dufresne (2021), les critères de l'étude microscopique sont :

- **Hyphes** : septés/non septés, larges/fins... ;
- **Conidiophores** : presence/absence, simples, ramifiés... ;
- **Cellules conidiogènes** : annélide, phialide... ;
- **Conidies** : uni- ou pluricellulaires, solitaires, en amas ou en chaînes, forme (ronde, ovale, en massue...);
- **Organes de fructification**: périthèces, cléistothèces (sexué), pycnides (asexué).

### 3. Analyse statistique

#### 3.1. Abondance des genres

Afin d'estimer cette diversité en mycoendophytes, les abondances des différents genres de mycoendophytes recensés pour les dix prélèvements ont été calculés par la formule suivante :  $A (\%) = (Ng / Nt) \times 100$  où :

**A** : abondance des genres (%);

**Ng** : nombre de fois que le genre est recensé chez un sujet ;

**Nt** : ensemble des répétitions ayant fructifiées.

**3.2. Analyse de variance (ANOVA)**

Une analyse de variance (ANOVA) concernant les abondances des genres recensés est faite, grâce au logiciel des statistiques Stat Box 6.40. Pour mettre en évidence la présence de différences significatives entre les différents sujets échantillonnés.

**3.3. Analyse en composantes principales (ACP)**

Une analyse en composantes principales (ACP) est réalisée en vue de mettre en évidence la distribution spatiale des différents genres de mycoendophytes, en fonction des sujets échantillonnés grâce au logiciel Stat Box 6.40. Pour étudier la nature, la force et la pertinence des interactions entre les différents sujets et entre les différents genres de mycoendophytes identifiés une matrice de corrélation été aussi réalisée.

*Chapitre IV*  
*Résultats et discussion*

### 1. Abondances et diversité des souches recensées des racines d'*Artemisia campestris*

Après 15 jours d'ensemencement, l'identification microscopique des souches fongiques des 120 fragments racinaires d'*Artemisia campestris* a montré la présence de 12 genres fongiques avec un totale de 22 espèces à savoir : *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cephalotrichum*, *Fusarium*, *Gibberella*, *Phoma*, *Penicillium*, *Monilinia*, *Rhizoctonia*, *Salinomyces*, *Torula* et *Ulocladium* (Tableau 03). 92,31% de ces mycoendophytes appartiennent au phylum des Ascomycota et 7,69% appartiennent au phylum des Basidiomycota.

**Tableau 2.** Classification des mycoendophytes isolés des racines d'*Artemisia campestris*

Genre	Division	Ordre	Famille	Abondances	Espèces
<i>Alternaria</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae	13,63%	3
<i>Aspergillus</i>	Ascomycota	Euroliales	Trichomaceae	4,54%	1
<i>Cephalotrichum</i>	Ascomycota	Capnodiales	Davidiellaceae	4,54%	1
<i>Fusarium</i>	Ascomycota	Hypocerales	Necteriaceae	27,27%	6
<i>Gibberella</i>	Ascomycota	Hypocreales	Nectriaceae	4,54%	1
<i>Monillinia</i>	Ascomycota	Helotiales	sclerotiniaceae	4,54%	1
<i>Penicillium</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae	9,09%	2
<i>Phoma</i>	Ascomycota	Sphaeropsidales	Sphaeroidaceae	13,63%	3
<i>Rhizoctonia</i>	Basidiomycota	Cantharellales	Ceratobasidiacées	4,54%	1
<i>Salinomyces</i>	Ascomycota	Capnodiales	/	4,54%	1
<i>Torula</i>	Ascomycota	Saccharomycetaceae	Saccharomycetales	4,54%	1
<i>Ulocladium</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae	4,54%	1

Les champignons sont fréquemment présents dans les racines des plantes, dont la plupart appartiennent au phylum des Ascomycota (Mandyam et Jumpponen, 2005; Rai *et al.*, 2012). D'après plusieurs études, ce phylum implique une population très diversifiée et joue un rôle essentiel dans la génétique (Wallen et Perlin, 2018), l'écologie (Belnap et Lange, 2005) et la phylogénie (López-Giráldez *et al.*, 2009). Selon Hawksworth (1991), les organismes de ce phylum sont les espèces les plus décrites. Jones *et al.* (2015), ont notés que les Ascomycota sont le phylum le plus représenté en termes d'espèces et aussi le plus souvent recensé, en

utilisant des techniques dépendantes de la culture. Dans le cas de Basidiomycota, moins de 10% des espèces fongiques ont été rapportées comme endophytes (Zhang et al., 2015). Il a été rapporté que ces champignons dépendent de la méthode de culture (Crozier et al., 2006), ce qui explique le petit nombre d'isolats dans notre étude. Des études comparatives ont également indiqué que seule une petite portion des microorganismes présents dans la nature pouvait être cultivée, en utilisant des techniques microbiologiques conventionnelles. Il existe de nombreux facteurs défavorables, qui pourraient affecter leur capacité à être cultivées dans des conditions de laboratoire. Parmi eux figurent le manque de connaissances sur leurs besoins nutritionnels et la nature exigeante des microorganismes, en particulier lorsqu'ils proviennent d'échantillons environnementaux (Amann et al., 1995). Ce qui confirme notre résultat où la majorité des mycoendophytes recensés (92,31%) appartiennent au phylum des Ascomycota à l'exception du genre *Rhizoctonia* qui appartient au phylum des Basidiomycota ayant donc un pourcentage de 7,69%. Ceci pourrait être expliqué par la sélection des plantes médicinales envers les Ascomycota pour leurs symbioses. Ainsi la faible occurrence des Basidiomycota peut être attribuée à leur croissance lente et à leur échec de compétition avec d'autres mycoendophytes (Lindahl et Boberg, 2007).

Notre résultat est en accord avec plusieurs travaux réalisées au niveau du laboratoire des Ressources Naturelles de l'UMMTO par ; Haddar-Chehrit (2017) qui a travaillé sur l'identification des mycoendophytes racinaires de l'Oléastre (*Olea europaea* ssp *sylvestris*) de Tizi-Rached (Tizi-Ouzou) ainsi ceux de Zerrougui (2022) qui a inventorié les mycoendophytes des racines de Rubia des teinturiers (*Rubia tinctorum*) de la forêt de Béni Ghobri (Tizi-Ouzou), avec les résultats de Zamoum (2022) qui a étudiée la diversité des mycoendophytes racinaires de l'ortie (*Urtica Dioïca*) de la région de Mâatkas (Tizi-Ouzou), ainsi les résultats obtenus par les travaux de Mechiah et al. (2021) et ceux de Mechiah (2023) qui ont travaillé sur la diversité des symbiotes fongiques racinaires de *Pistacia atlantica* dans la région de Laghouat. Ces travaux ont montré la dominance des Ascomycota comme mycoendophytes.

Nous remarquons ainsi que les fragments racinaires d'*Artemisia campestris* sont dominés par le genre *Fusarium* (27,27%) avec six espèces recensés. Les genre *Alternaria* et *Phoma* viennent en deuxième position après le *Fusarium* en matière d'abondance avec un pourcentage de 13,63% et sont représenter par trois espèces chacun. Ces deux genres sont suivis par le genre *Penicillium* (9,09%) représenté par deux espèces. Enfin par les genres *Aspergillus*, *Cephalotrichum*, *Gibberella*, *Monilinia*, *Rhizoctonia*, *Salinomyces* *Torula* et *Ulocladium*, avec une abondance de (4,54%) dont une seule espèce a été trouvée pour chacun

de ces genres. Ces résultats concordent avec les résultats obtenus par Zerrougui (2022), Mechiah *et al.* (2021) et Mechiah (2023) qui ont montré une dominance du genre *Fusarium*.

La dominance du genre *Fusarium* pourrait être liée au fait que le taux de croissance de ce genre est supérieur à plusieurs espèces fongiques (Bekker *et al.*, 2006; Raza *et al.*, 2017). De plus, ces espèces sont bien connues pour produire plusieurs composés toxiques, qui limitent la croissance des autres espèces fongiques, d'où la capacité de dominance (Mechiah *et al.*, 2021; Mechiah, 2023). Des espèces non pathogènes du même genre ont montré leur capacité d'induire la résistance de l'hôte et de réduire les maladies causées par les champignons pathogènes (Yates *et al.*, 1997 ; Sieber, 2002). Ses espèces se sont adaptées à un large éventail de sites géographiques, de conditions climatiques, d'habitats écologiques et de plantes hôtes (Backhouse *et al.*, 2001). D'ailleurs, plusieurs espèces de ce genre ont été documentées dans le monde entier (Summerell *et al.*, 2001). *Fusarium* joue un rôle important dans l'absorption des nutriments par les racines, en addition, la tolérance des plantes hôtes à des conditions environnementales est fortement sollicitées (Eshel *et al.*, 2013).

Outre *Fusarium*, d'autres genres de champignons tels que *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Rhizoctonia* et *Ulocladium* seraient également des mycoendophytes prédominants dans les zones arides. Ils ont été précédemment signalés chez *Pistacia atlantica* (Zareb, 2014; Benfoddil, 2015; Zareb *et al.*, 2021 ; Mechiah *et al.*, 2021; Mechiah, 2023) et même chez d'autres plantes herbacées poussant dans cet écosystème, telles que *Peganum harmala* (Ouzid, 2018) et *Limoniastrum feei* (Medjeber, 2019). La diversité et l'abondance de la communauté mycoendophyte au niveau des racines varient selon les conditions climatiques et édaphiques (Sieber, 2002).

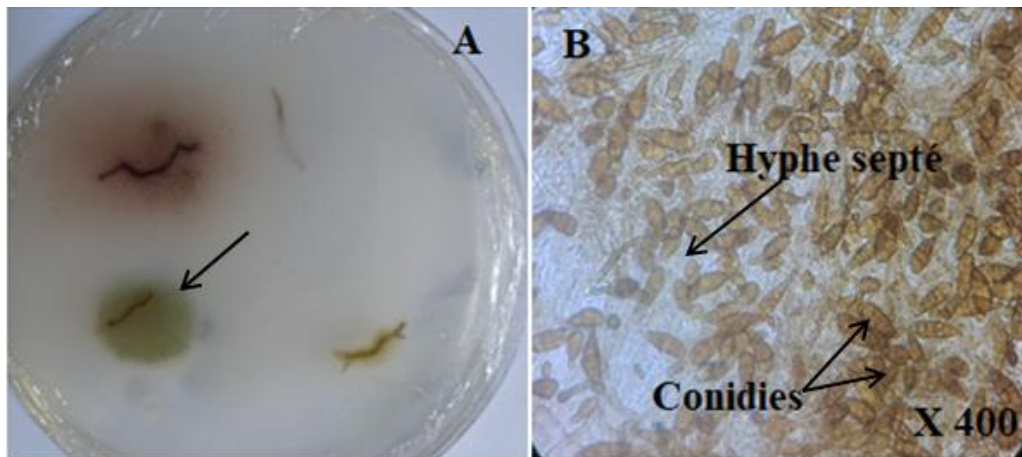
En comparant avec les résultats obtenus par Ainouz et Ait amara (en cours) qui travaillent sur les champignons du sol rhizosphériques d'*Artemisia campestris*, nous avons noté une dominance du phylum des Ascomycota (86,36%). Ce qui confirme notre résultat et les conclusions des autres études antérieures. Cependant, le genre le plus dominant est *Aspergillus* avec un totale de 17 espèces recensées et *Fusarium* vient en deuxième position avec six espèces seulement.

## 2. Description de quelques genres identifiés

### 2.1. *Alternaria*

*Alternaria* est un champignon filamenteux appartenant au phylum des Ascomycota. Ses espèces sont ubiquitaires, saprophytes ou parasites de plantes (Emlab, 2007 ; Patterson *et al.*, 2009 ; Uni Prot Consortium, 2009). Elle forme des colonies gris-vert foncé. La colonie est plate, duveteuse à laineuse et elle est recouverte d'hyphes aériens courts et grisâtres devenant

noir verdâtre (Larone, 1987). Elle est caractérisée par des filaments septés, lisses, ramifiés, de couleur brune. Les conidiophores portent des conidies pluricellulaires, ovoïdes, segmentées par des cloisons transversales et longitudinales (Patterson *et al.*, 2009) (Figure 21 ).

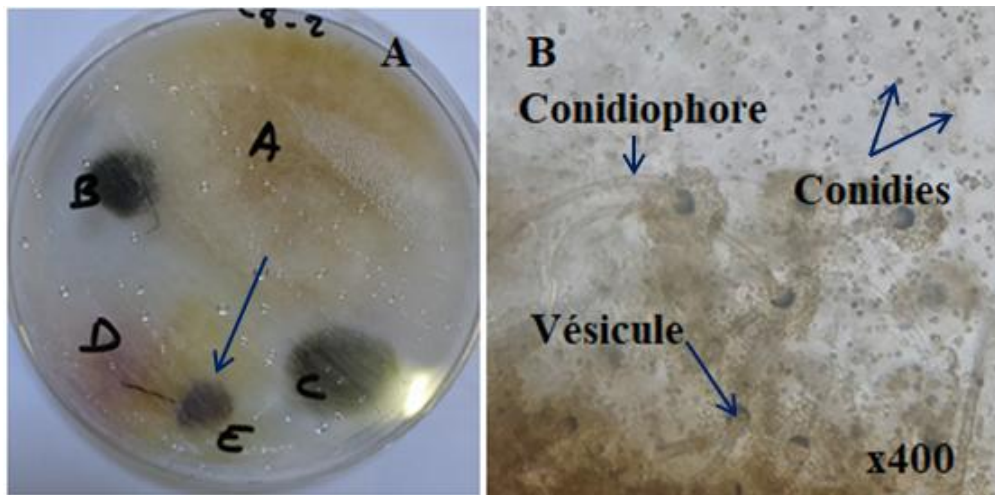


**Figure 21.** Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Alternaria*.

## 2.2. *Aspergillus*

Le genre *Aspergillus* est cosmopolites, il appartient au phylum Ascomycota (Roquebert, 1998). Ces espèces se développent sur la matière organique en décomposition, dans le sol, le compost, les denrées alimentaires (Gugnani, 2003). Ils forment des colonies souvent poudreuses ou granuleuses et plates (Samson *et al.*, 2004). Certaines espèces sont de couleur blanche aux stades précoces de leur cycle de vie, puis prennent des couleurs qui peuvent être du jaune doré, vert, marron foncé ou noir.

Les colonies sont à croissance rapide et sont de couleur jaune verdâtre et noirâtre. Les hyphes d'*Aspergillus* se caractérisent par une sporulation importante. Les têtes aspergillaires rayonnent généralement pour former des colonnes lâches : les phialides unisériées à bisériées naissent sur la vésicule, le conidiophore est à tige claire, généralement à parois épaisses et hyaline, les conidies sont piriformes, globuleuses à subglobuleuses, échinulées vert pâle, incolores. Le début de la sporulation des conidiophores est brun jaunâtre. Il se transforme rapidement en brun verdâtre (Samson *et al.*, 2004). (Figure 22).

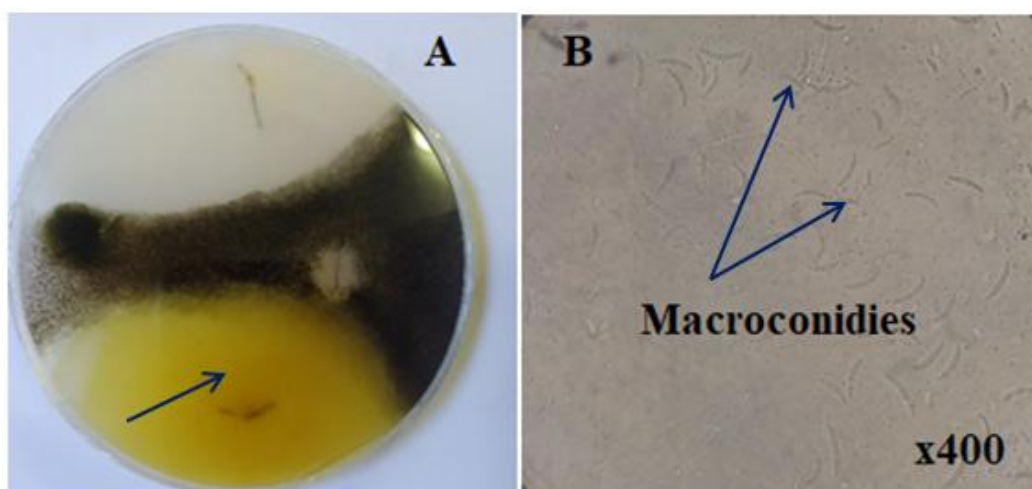


**Figure 22.** Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Aspergillus*.

### 2.3. *Fusarium*

*Fusarium* est considéré parmi les endophytes racinaires les plus fréquents et les plus répandus, après les champignons endophytes foncés et septés (Eshel et Beeckman, 2013). Ce genre est ubiquiste (Summerell et al., 2001). Sa température optimale de croissance est comprise entre 22 et 37 °C (Tabuc, 2007).

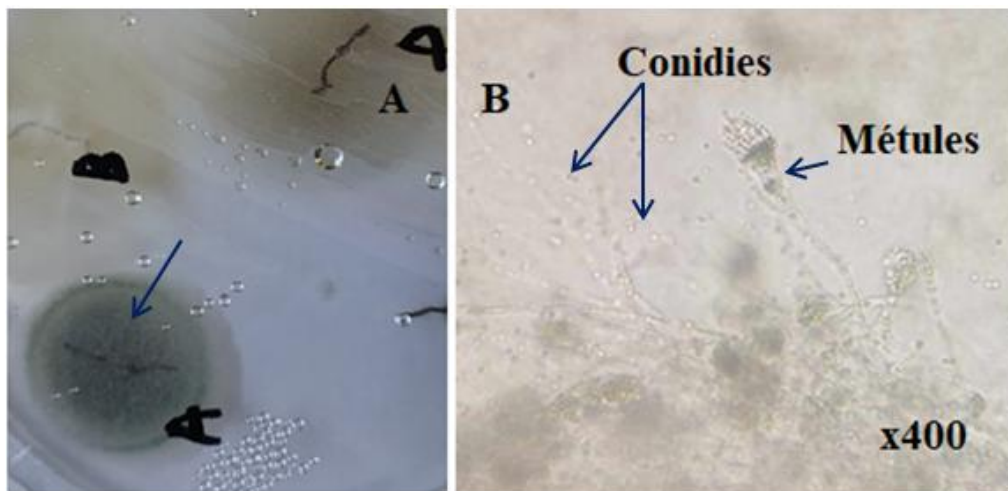
Sur les milieux de culture, les *Fusarium* forment des colonies duveteuses ou cotonneuses de couleur variable selon les espèces: blanche, crème, jaune, rose, rouge, violette ou lilas. Le revers peut être crème, rouge à rose pourpre, lilas ou violet. Les pigments diffusent souvent dans la gélose (Chermette et Bussieras, 1993). Le principal caractère morphologique des *Fusarium* est la présence de macroconidies fusiformes et cloisonnées. Les conidiophores, parfois très ramifiés, forment sur le thalle des coussinets et portent des masses de spores (Tabuc, 2007) (Figure 23).



**Figure 23.** Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Fusarium*.

#### 2.4. *Penicillium*

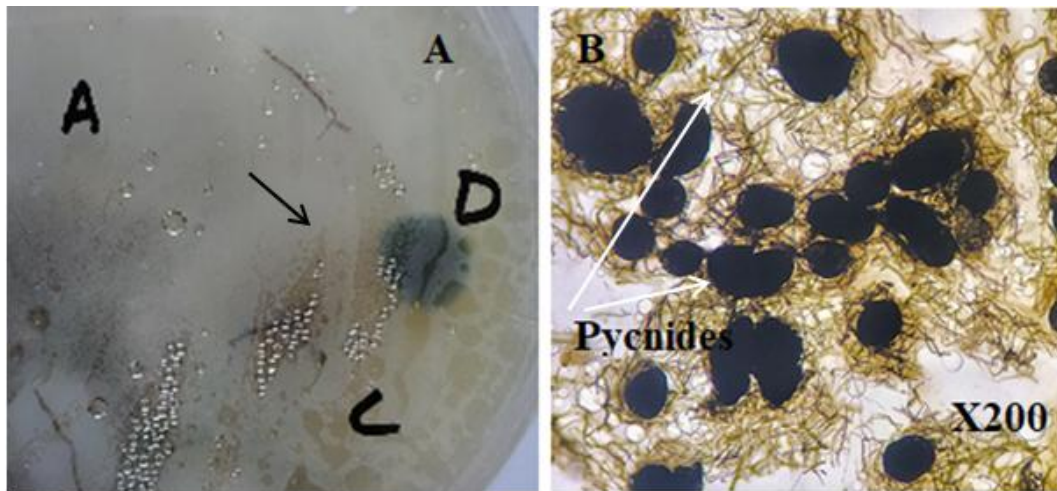
C'est un champignon Ascomycota, cosmopolite, très fréquent dans la nature ; il comporte plus de 200 espèces (Tabuc, 2007). 900 composés bioactifs ont pu être isolés de ce genre fongique (Berdy, 2005). *Penicillium* se développe rapidement et facilement sur les milieux de culture et se développe à des températures modérées de l'ordre de 20-27 °C. Après 3-4 jours d'incubation, la sporulation va conférer aux colonies leur teinte, le plus souvent dans les tons vert, vert bleu, vert-gris, vert-jaune, gris-bleu (Tabuc, 2007). Ce genre se distingue par son organisation en pinceau. Le thalle est formé de filaments mycéliens septés et hyalins, porte des conidiophores lisses ou granuleux, simples ou ramifiés qui se terminent par un pénicillé. Les conidiophores peuvent être isolés, groupés en faisceaux lâches ou agrégés en corémies bien individualisés (Tabuc, 2007) (Figure 24).



**Figure 24.** Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Penicillium*.

#### 2.5. *Phoma*

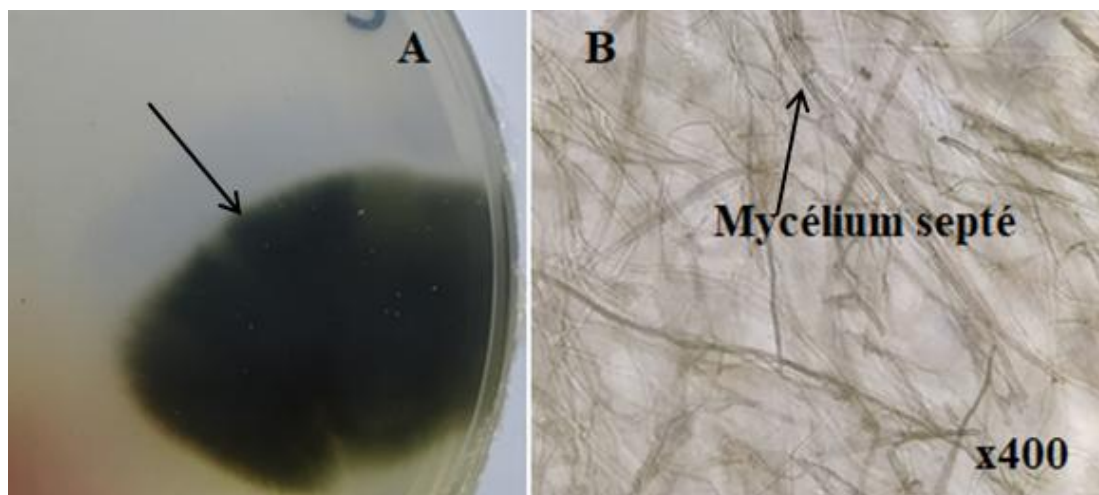
*Phoma* est un champignon très fréquent des Ascomycota. Plus de 220 espèces sont actuellement reconnues. Ce champignon occupe de nombreuses niches écologiques, il est largement distribué géographiquement (Aveskamp et al., 2008). Il infecte principalement toutes les parties de la plante (Zhang et al., 2009). Les espèces de ce genre sont des champignons Cœlomycètes des plus fascinants, grâce à leur grande diversité écologique (Aveskamp et al., 2008). Les colonies sont duveteuses et étalées. Elles sont à teinte grise au début et deviennent rapidement verdâtres à marron foncé. Le genre *Phoma* se caractérise par la présence de pycnides globuleuses plus ou moins rondes, contenant des masses de spores (conidies) unicellulaires, elles sont incolores, foncées, brunes ou noires (Samson et al., 2004). Les espèces *Phoma* recensées dans notre travail sont fortement pigmentées (Figure 24).



**Figure 25.** Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Phoma*.

## 2.6. *Rhizoctonia*

*Rhizoctonia* a été décrit pour la première fois par Julius Kühn en 1858 (Anderson, 1982). Ce genre possède une large gamme d'hôtes (Sneh, 1996). Elle affecte les organes souterrains, provoque la pourriture des racines, infecte les stolons et forme des sclérotés sur les tubercules (Aydın and Turhan, 2013 ; Demirer Durak, 2016). Ce champignon constitue un ensemble d'espèces comprenant des groupe génétiquement distincts, appelés groupe d'anastomose. *Rhizoctonia* est un champignon Basidiomycota, qui ne produit pas de spores asexuées (conidies) et ne produira qu'occasionnellement des spores sexuées (basidiospores) (Bouladjeraf, 2017). Ses colonies se développent assez rapidement. Les jeunes colonies sont blanches, mais les plus anciennes ont des nuances de brun. Le mycélium est d'abord blanc et devient ensuite noir. Le diamètre des hyphes varie considérablement selon l'âge de la colonie. Les septa dolipores sont une caractéristique importante de ce genre. Les ramifications se produisent près du septum distal d'une cellule, dans les hyphes jeunes et en progression. Dans les hyphes plus âgés, la ramification peut se produire à n'importe quel endroit le long de la cellule. La constriction des hyphes des branches au point d'origine et la formation d'un septum à angle droit au point d'origine semblent être des caractéristiques stables et fiables de ce genre. La culture ne produit pas de spores, mais elle est composée d'hyphes et de sclérotés. Les cellules monilioïdes du mycélium sont longues et peuvent être hyalines ou brunes, en forme de tonneau, piriformes, irrégulières ou lobées, groupées de manière lâche ou étroitement serrée (Sneh, 1996). (Figure 25).



**Figure 26.** Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Rhizoctonia*.

### 3. Analyse de variance (ANOVA)

Pour tester si une différence significative existe entre les différentes composantes du cortège mycoendophytiques des racines d'*Artemisia campestris* L., le test d'analyse de variance (ANOVA) a été appliqué pour chaque genre. Les probabilités sont comparées à un seuil de signification ( $\alpha = 0,05$ ). Si  $p$  est inférieur à  $\alpha = 0,05$ , il y a une différence significative de distribution des mycoendophytes racinaires d'*Artemisia campestris*. Si  $p$  est supérieur à  $\alpha = 0,05$ , ces différences ne sont pas statistiquement significatives (Tableau 4).

**Tableau 3.** Résultats de l'analyse de variance (ANOVA).

Genre	Probabilité	Comparaison	Conclusion
<i>Alternaria</i>	<b>0,04</b>	$0,04 < 0,05$	<b>Significative</b>
<i>Aspergillus</i>	<b>0,05</b>	$0,05 \leq 0,05$	<b>Significative</b>
<i>Cephalotrichum</i>	0,56	$0,56 > 0,05$	Non significative
<i>Fusarium</i>	0,12	$0,12 > 0,05$	Non significative
<i>Gibberella</i>	0,44	$0,44 > 0,05$	Non significative
<i>Monilinia</i>	0,56	$0,56 > 0,05$	Non significative
<i>Penicilium</i>	0,08	$0,08 > 0,05$	Non significative
<i>Phoma</i>	<b>0,01</b>	$0,01 < 0,05$	<b>Significative</b>
<i>Rhizoctonia</i>	0,16	$0,16 > 0,05$	Non significative
<i>Salinomyces</i>	0,44	$0,44 > 0,05$	Non significative
<i>Torula</i>	0,50	$0,50 > 0,05$	Non significative
<i>Ulocladium</i>	0,13	$0,13 > 0,05$	Non significative

Le tableau ci-dessus montre que 9 genres fongiques ont une différence de distribution non significative, ceci pourrait être expliqué par la répartition homogène de ces champignons au niveau de toutes les racines des sujets échantillonnés et qu'il n'y aurait aucun facteur particulier qui influence leur distribution dans notre station d'étude (Attrassi et *al.*, 2005).

Cependant, des différences sont significatives entre des genres *Alternaria*, *Aspergillus* et *Phoma* ont été notés. Cette différence significative pourrait être expliquée par l'effet des facteurs biotiques et abiotiques récurrents au niveau de notre station (Bhatnagar, 2005). Plusieurs études ont rapporté que les conditions du site peuvent influencer une communauté fongique et la colonisation des tissus hôtes (Martín-Pinto et *al.*, 2004 ; Jia et *al.*, 2016). Les facteurs environnementaux, tels que la température, et la niche écologique peuvent affecter la variation des mycoendophytes et avoir un rôle déterminant dans la propagation et le succès de la germination des spores de mycoendophytes (Shannon et Weaver, 1963).

#### 4. Matrice de corrélation

Pour essayer de comprendre les différentes interactions qui existent entre les différents genres de mycoendophytes recensés au niveau des racines d'*Artemisia campestris*, nous avons fait une matrice de corrélation (Tableau 5). Cette dernière donne des coefficients de corrélation entre les genres de mycoendophytes pris deux à deux. Parmi les corrélations significatives certaines sont positives (ce qui signifie que les variables varient dans le même sens), d'autre sont négatives (ce qui signifie que les variables varient dans des sens opposés).

**Tableau 4.** Matrice de corrélation de Pearson entre les genres fongiques des racines d'*Artemisia campestris* dans la station de Chabka 2

	<i>Aspergillus</i>	<i>Cephalotrichum</i>	<i>Rhizoctonia</i>	<i>Salinomyces</i>
<i>Gibberella</i>	<b>1,00</b>	ns	ns	<b>ns</b>
<i>Monillinia</i>	ns	<b>1,00</b>	ns	<b>0,84</b>
<i>Penicillium</i>	ns	ns	<b>-0,83</b>	ns
<i>Salinomyces</i>	ns	<b>0,84</b>	ns	<b>ns</b>

*En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral).*

D'après le tableau ci-dessus, les genres mycoendophytes corrélés positivement sont *Aspergillus* et *Gibberella* (**1,00**), *Cephalotrichum* et *Monillinia* (**1,00**), *Cephalotrichum* et *Salinomyces* (**0,84**), *Monilinia* et *Salinomyces* (**0,84**). Une forte corrélation positive entre deux genres mycoendophytes pourrait être s'expliquer par la nécessité de ces deux champignons d'exister ensemble pour accomplir leurs rôles convenablement, car la présence de l'un favorise la présence de l'autre, c'est à dire l'absence de l'un limite la présence de l'autre c'est

le phénomène de la synergie. Cette relation intime indissociable entre les deux genres de champignons permet de générer des propriétés avantageuses aux deux genres de champignons et à la plante (Mechiah, 2023).

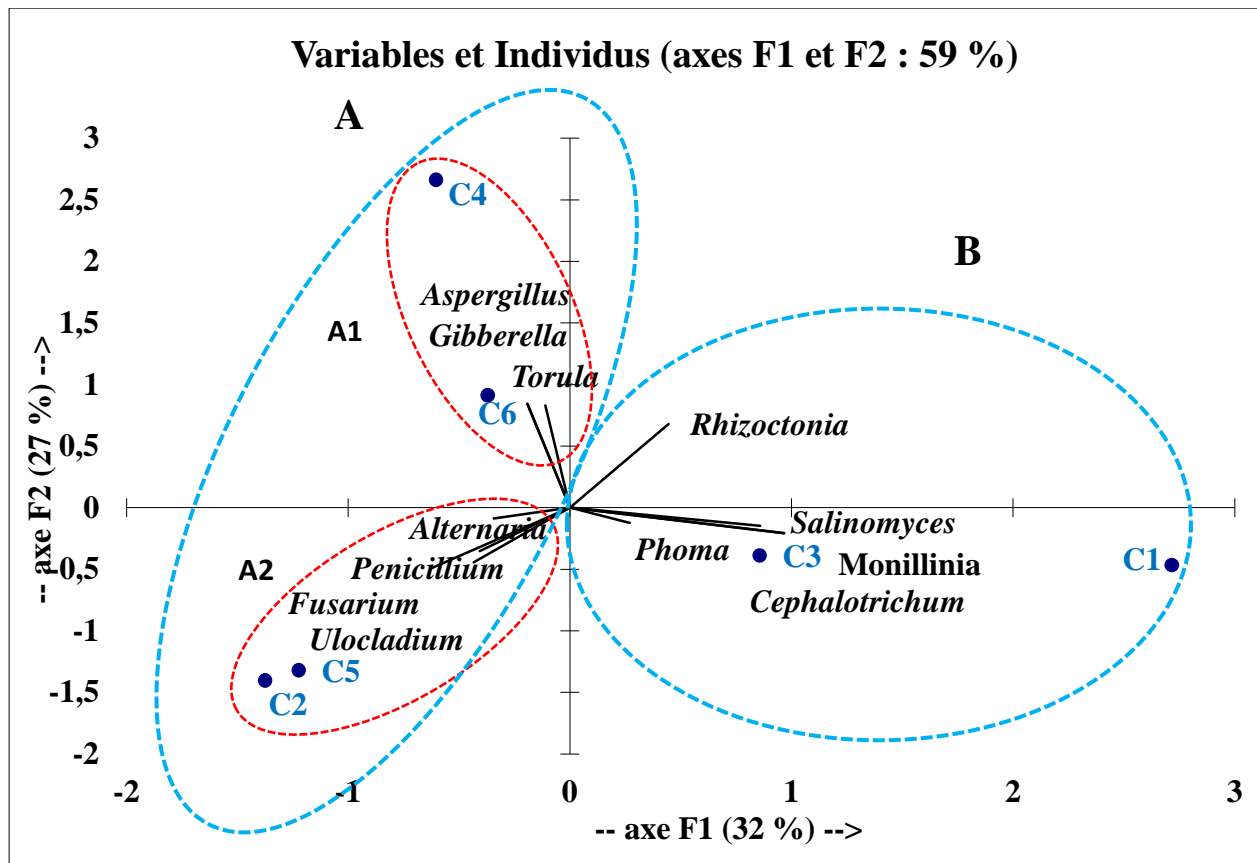
Nous avons noté dans cette étude une forte corrélation négative significative entre *Penicillium* et *Rhizoctonia* **(-0,83)**. Les corrélations négatives pourraient s'expliquer par les relations de dominance et d'envahissement. Ces relations sont notées chez certaines espèces dominantes, qui ont un grand pouvoir de contamination et d'envahissement contre d'autres espèces dites fragiles (Medjeber, 2019).

Il est à noter toutefois que d'autres corrélations négatives et positives non significatives sont présentes entre les autres différents mycoendophytes.

### **5. Analyse en composantes principales des mycoendophytes**

Nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP). Elle nous fournit des indications sur la nature, la force et la pertinence des liens entre les différents sujets et entre les genres mycoendophytes. Son objectif est donc de faciliter l'interprétation de des interactions synergique et antagonistes et d'identifier les tendances dominantes de l'ensemble des données.

Le plan 1/2 de l'analyse en composantes principales explique 59% du phénomène, avec pour l'axe 1 ; 32% et pour l'axe 2 ; 27% de l'inertie totale. Selon l'axe 1, deux groupes s'individualisent : A et B (Figure 26).



**Figure 27.** Représentation de l'analyse en composantes principales (ACP) des genres mycoendophytes recensés au niveau des racines des sujets d'*Artemisia campestris* échantillonnés dans la station de Chabka 2 de la wilaya de Djelfa.

Le premier (A) comporte les sujets C2, C4, C5 et C6 dont les sujets C4 et C6 appartiennent au sous-groupe A<sub>1</sub> et les sujets C2 et C5 appartiennent au sous-groupe A<sub>2</sub>. Ce groupe se caractérise par la présence et la dominance du genre *Fusarium* accompagné par les genres *Alternaria*, *Aspergillus*, *Gibberella*, *Penicillium*, *Torula* et *Ulocladium* qui sont les genres les plus dominants. Les sujets de ce groupe comportent aussi des mycoendophytes à forte corrélations positives entre eux tels *Aspergillus* et *Gibberella* (1,00).

La présence de plusieurs mycoendophytes dans ce groupe avec *Aspergillus* et *Penicillium* peut justifier leur rôle important dans un tel écosystème. Ces champignons sont connus comme des espèces xérophiles, à large répartition géographique, souvent associées aux régions à climat chaud (Tabuc, 2007). Ils peuvent croître sur des milieux à faible activité hydrique. Le genre *Aspergillus* a la capacité de produire de l'eau métabolique au cours de sa croissance, ce qui crée des niches écologiques, à conditions favorables pour les autres champignons moins xérophiles (Hubka et al., 2013), tels que les *Fusarium* qui poussent dans des milieux où l'activité d'eau est élevée (Liorens et al., 2004). Cependant il a été noté que les

espèces appartenant à ce genre sont adaptées à un large éventail d'habitats écologiques, de conditions climatiques et de plantes hôtes (Backhouse et *al.*, 2001).

*Aspergillus* et *Penicillium* sont connus aussi par leur capacité de biosynthèse des auxines (Hasan, 2002). Cette phytohormone favorise plusieurs processus physiologiques chez les plantes, telles que la régulation de la croissance des pousses et des racines, notamment les poils et le développement des plantes (Meena et Siddhardha, 2019). Dans une autre étude, il a été noté que les espèces de *Fusarium* des plantes médicinales sont des sources bien connus d'antibiotiques (Liang et *al.*, 2012). Le composé "Equisetin" extrait de ce genre était non seulement responsable d'activité antimicrobienne, mais il peut également aider la plante à résister avec succès à des conditions environnementales stressantes (Ratnaweera et *al.*, 2015). De plus Les espèces appartenant à ces genres sont connues par leur production de nombreuses métabolites secondaires tels que les stéroïdes, les terpénoïdes, les esters, les quinoléines, les polykétides, les alcaloïdes de l'ergot, les peptides dicétopipérazines, les quinazolines, le chamazulène et l'azétidine (Singh et *al.*, 2020). Certains de ces composés sont des agents antibactériens, antifongiques, antiviraux, antioxydants, anticancéreux, antidiabétiques, immunosuppresseurs, anti-Alzheimer, ils ont également été utilisés pour le traitement de l'épilepsie et de la toxocariose et comme agents anti-inflammatoires (Singh et *al.*, 2020). D'où l'intérêt de l'étude de cette plante ainsi que son cortège fongique.

Des résultats des tests de tolérance à la salinité ont révélé que les genres appartenant à ce groupe tel que *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* et *Ulocladium* sont de nature halotolérant et ils se développent normalement sur des milieux de culture contenant jusqu'à 75 g/L de NaCl (Hamel et Samet, 2011).

Le deuxième groupe (B) comprend les sujets C1 et C3 dans lequel les genres *Phoma* est dominant suivie des genres *Monilinia*, *Salinomyces*, *Cephalotrichum* et *Rhizoctonia*. Les sujets du groupe comportent aussi des mycoendophytes à forte corrélations positives entre eux tel *Monilinia* et *Salinomyces* (0,84). Ce dernier est considéré comme un champignon halophile, qui favorise l'adaptation des plantes au stress salin ; il pourrait, en absence d'*Aspergillus* et de *Penicillium* ainsi que de *Fusarium*, de prendre le relais dans l'adaptation de la plante à la salinité.

Plusieurs études ont démontré que les plantes associées à des mycoendophytes ont été plus tolérantes à la sécheresse, à la chaleur et à la salinité élevée (Rodriguez et *al.*, 2004 ; Waller et *al.*, 2005).

L'ensemble des souches recensées dans ce groupe correspond à des genres ayant une forte pigmentation à savoir le genre *Cephalotrichum*, *Monilinia*, *Phoma*, *Rhizoctonia* et *Salinomyces*. Il a été supposé que les plantes poussant dans des habitats extrêmes abritent des champignons profondément pigmentés, comme stratégie d'adaptation contre les environnements stressants tels que les températures élevées et la sécheresse (Butler et Day, 1998 ; Cockell et Knowland, 1999). Ces champignons contenant de la mélanine pourraient absorber plus de lumière solaire et de tous les types de rayonnement. La présence de mélanine améliore aussi la physiologie fongique, en augmentant la rigidité des parois cellulaires, ce qui facilite leur pénétration dans les tissus végétaux (Bell et Wheeler, 1986). Selon Sun et al. (2012), les mycoendophytes pigmentés étaient aussi communs chez les halophytes et ils pourraient jouer un rôle écologique important dans leur survie et résistance au stress salin. Ces champignons produisent des niveaux élevés de pigments, qui peuvent protéger les plantes poussant dans ces environnements (Wong et Hyde, 2001).

La distinction entre les deux groupes A et B est renforcé par les corrélations négatives significatives, en particulier la relation antagoniste *Penicillium* et *Rhizoctonia* (-0,83). Cela pourrait être lié à la compétence compétitive intrinsèque utilisée par ces champignons, pour exploiter efficacement les tissus racinaires et l'importance de la racine comme niche écologique pour ces deux espèces.

La présence des genres moins abondants dépend des genres dominants. Il semble que chaque genre se caractérise par son propre cortège fongique. En effet, la matrice de corrélation a montré les différentes interactions qui existent entre les différents genres de champignons recensés. Certains genres montrent des interactions synergiques, d'autres sont antagonistes. Ces interactions dépendent de l'habitat de la plante hôte (Rubini et al., 2005). Les mycoendophytes démontrent souvent une préférence d'hôte unique au niveau de l'espèce végétale (Bettucci et al., 2004). Puisque l'échantillonnage a été effectué pendant l'automne en mois de novembre, différents paramètres de l'environnement tels que les précipitations, la température et l'humidité pourraient avoir un impact sur la distribution des endophytes au sein de la plante hôte (Rather et al., 2018).

Arnold (2007) a estimé que des interactions se créent entre les mycoendophytes d'une part et entre les mycoendophytes et la plante hôte d'autre part. Cette dernière interaction est contrôlée par les gènes des deux partenaires végétale et fongique (Morica et Ragazzi, 2008).

Les mycoendophytes peuvent jouer un rôle important par rapport à la croissance de la plante hôte et leur capacité de la protéger et d'augmenter sa résistance contre les stress

biotiques et abiotiques. En effet, ces interactions révèlent un impact profond sur le fonctionnement général des écosystèmes (Eisenhauer, 2012), à travers le fonctionnement des communautés végétales. Ils servent aussi de médiateurs dans les interactions écologiques (Ganley et *al.*, 2004).

# *Conclusion générale*

La coexistence du règne fongique et du règne végétal est l'un des secrets de la nature pour le maintien de la biodiversité et la fonction des écosystèmes. Cette relation reste, en revanche, très peu connue en raison de la difficulté de l'exploitation du système racinaire qui est assez développé chez les espèces vivant dans les milieux soumis à des contraintes abiotiques, notamment les milieux steppiques.

Le travail que nous avons réalisé, repose sur l'étude mycoendophytes racinaires d'*Artemisia campestris* L. échantillonnée dans la station de Chabka 2, située au niveau de la wilaya de Djelfa, en novembre 2022. L'échantillonnage a concerné 6 sujets prélevés en bon état phytosanitaire. Afin de montrer la présence et la diversité en mycoendophytes, une culture des fragments racinaires d'*Artemisia campestris* sur un milieu PDA a été faite, suivie d'une isolation et d'une identification morphologique (macroscopique et microscopique) des genres de champignons endophytes apparus au niveau de ces cultures.

L'observation macroscopique et microscopique des prélèvements ont permis d'identifier 12 genres fongiques, à savoir *Fusarium*, *Gibberella*, *Phoma*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Monilinia*, *Torula*, *Cephalotrichum*, *Ulocladium*, *Rhizoctonia*, *Salinomyces* et *Aspergillus* avec une abondance du genre *Fusarium* (27,27%).

Ces résultats ont fait également l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) suite à laquelle 9 genres sur 12 montrent aucune différence dans la distribution entre les sujets, à savoir : *Fusarium*, *Gibberella*, *Penicillium*, *Monilinia*, *Torula*, *Cephalotrichum*, *Ulocladium*, *Rhizoctonia* et *Salinomyces*. Trois genres fongiques, par contre, ont montré une différence de distribution significative, à savoir : *Phoma*, *Alternaria* et *Aspergillus*.

L'interprétation de ces interactions nous a permis de comprendre les liens entre ces différents sujets. L'ACP a montré l'individualisation de deux groupes : le groupe A (subdivisé en deux sous-groupes A1 et A2) et le groupe B. Au niveau de chaque groupe, les mycoendophytes des racines ont été corrélés positivement, alors que la distinction entre les deux groupes A et B est renforcée par les corrélations négatives, en particulier la relation antagoniste entre *Penicillium* et *Rhizoctonia*.

La diversité importante des mycoendophytes enregistrée dans cette présente étude pourrait contribuer à la compréhension du rôle écologique des champignons dans le maintien du fonctionnement des milieux steppiques et en particulier au niveau de l'espèce qui a suscité notre intérêt « *Artemisia campestris* » et qui reste une plante d'une valeur économique et écologique très considérable.

Pour une meilleure connaissance et identification des champignons au niveau du système racinaire de l'espèce *Artemisia campestris*, ce travail pourrait être poursuivi par :

- Une extraction des métabolites secondaires de ces mycoendophytes ;
- Une étude de l'interaction existante entre la plante et ces champignons et les avantages que peuvent offrir ces derniers à leurs hôtes ;
- Une mise en évidence de la diversité fongique des épiphytes du système racinaire d'*Artemisia campestris* ;
- Des études sur les interactions des champignons endophytes-épiphytes de l'espèce *Artemisia campestris* ;
- Une étude des relations qui peuvent exister entre la diversité des champignons endophytes et les caractéristiques physico-chimiques du sol ;
- Une étude de la variabilité saisonnière de la diversité des mycoendophytes tout en prenant en considération l'état phénologique de la plante hôte.

# *Références bibliographiques*

- **Ahmad A., Robinson A., Duensing A., Drunen E., Beverloo B., Weisberg D., Hasty P., Hoeijmakers J., Niedernhofer L. 2008.** Endonuclease facilitates DNA double-strand break repair. *Molecular and Cellular Biology*, 28 (16) : 5082-5092.
- **Aidoud A. 1983.** Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud Oranais. Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, USTHB, Alger, 256 p.
- **Aidoud-Lounis F. 1984.** Contribution à la connaissance des groupements à Sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux Sud-Oranais ; étude phytoécologique et syntaxonomique. Thèse 3<sup>ème</sup> Cycle, USTHB, Algeria. 256 p.+ annexe
- **Ainouz. L. et Ait Amara T. (en cour).** Identification des mycoendophytes du sol rhizosphérique d'Armoise rouge (*Artemisia campestris*) de la station de Chabka2 (Djelfa). Mémoire de Master en Sciences Biologiques, Option : Biodiversité et Ecologie Végétal . Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département d'écologie UMMTO.
- **Ainsworth GC., Hawksworth DL., Bisby GR. 2008.** Ainsworth and Bisby's dictionary of the fungi. CAB International, (10<sup>ème</sup> édition), CAB International. 771 p.
- **Akrout A., Gonzalez L., El Jani H.,Madrid P. 2011.** Antioxidant and antitumor activities of *Artemisia campestris* and *Thymelaea hirsuta* from southern of Tunisia. *Food Chemistry Advances*. Tox. 49: 342-347
- **Ali AH., Radwan U., El-Zayat S., El-Sayed MA. 2018.** Desert Plant-Fungal Endophytic Association : The Beneficial Aspects to their Hosts. *Biological Forum. An International Journal*. 10 (1): 138-145.
- **Al-Snafi. A. 2015.** The pharmacological importance of *Artemisia campestris*- a review. *Asian journal of pharmaceutical research*. 88-92.
- **Amann R.L., Ludwig, W. and Schleifer, K.H.1995.** Phylogenetic Identification and in Situ Detection of Individual Microbial Cells without Cultivation. *Microbiological Reviews*, 59: 143-169.
- **Anderson A. 1982.** The genetics and pathologie of *Rhizoctonia solani* *The Annual Review of Phytopathology*, 20: 329-47.
- **Aniya Y., Shimabukuro M., Shimoji M., Kohatsu M., Gyamfi M., Miyagi C., Kuni. D., Takayama F., Eagashira T. 2000.** antioxidants and hepatoprotective action of the

medicinal herb *Artemisia campestris* from the Okinawa islands. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 23 (3): 309-312.

- **APG III . 2009.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the orders and families flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 161: 105-121.
- **Arnold AE. 2005.** Diversity and ecology of fungal endophytes in tropical forests. In *Current Trends in Mycological Research*, D. Deshmukh, ed. (New Delhi, India: Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.). 49-68.
- **Arnold AE., et Lutzoni F. 2007.** Diversity and host range of foliar fungal Endophytes: are tropical leaves biodiversity hotspots? *Ecology*. 88 (3): 541-549.
- **Arnold AE. 2007.** Understanding the diversity of foliar endophytic fungi: progress, challenges, and frontiers. *Fungal Biology Reviews* 21: 51-66.
- **Arora J. et Ramawat KG. 2017.** An Introduction to Endophytes. In: D.K. Maheshwari (ed.), *Endophytes: Biology and Biotechnology, Sustainable Development and Biodiversity* 15: 1-16.
- **Attrassi B., Marabet L., Douira A., Ounine K., El Haloui N. 2005.** Etude de la valorisation agronomique des composts des déchets ménagers. *Atelier biotechnologies au Maroc. Etat des lieux et domaines prioritaires*. Settat .6p.
- **Aveskamp MM., De Gruyter J., Crous PW. 2008.** Biology and recent development in the systematics of *Phoma*, a complex genus of major quarantine significance. *Fungal Diversity*. (31):1-18.
- **Aydin MH., Turhan G. 2013.** The efficacy of *Trichoderma* species against *Rhizoctonia solani* in potato and their integration with some fungicides. *Anadolu Journal of Aegean Agricultural Research Institute*. 23(1): 12-30.
- **Baba Aissa F. 2000.** Encyclopédie des plantes utiles. Flore d'Algérie et du Maghreb.p51
- **Babali B., Bouazza M., & Merzouk A. 2018.** La diversité végétale de la forêt de Moutas–Tlemcen. *Revue Ecologie-Environnement*, 14: 27-31.
- **Backhouse D., Burgess LW., Summerell BA. 2001.** Biogeography of *Fusarium*. In: Summerell, B.A., Leslie, J.F, Backhouse, D., Bryden, W.L, Burgess, L.W., (eds.). *Fusarium*. Paul, E., Nelson Memorial Symposium APS Press, St. Paul, MN. 122-137.
- **Bacon C. W., Porter J. K., Robbins J. D. et Luttrell E. S. 1977.** *Epichloe typhina* from toxic tall fescue grasses. *Applied and Environmental Microbiology*. 34: 576-581.
- **Bacon CW., White JF. 2000.** *Microbial Endophytes*. Marcel Dekker Inc. NewYork, USA. P3-29.

- **Bagnouls F. Gaussen H. 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. Documents pour les cartes des productions végétales, Tome3 : cartographie des limites écologiques. 6, art.8, Faculté des Sciences, Toulouse.
- **Bagnouls F. & Gaussen H. 1957.** Les climats biologiques et leur classification. *Ann. Geogr. Fr.*, 355: 193-220.
- **Barreda A., Luis P., Maria CT., Eduardo B.O., Ian R., Félix F., Viviana D. 2015.** Early evolution of the angiosperm clade Asteraceae in the Cretaceous of Antarctica. 112 (35): 10989–10994.
- **Bekker TF., Kaiser C., Merwe RVD., Labuschagne N. 2006.** In-vitro inhibition of mycelial growth of several phytopathogenic fungi by soluble potassium silicate. *South African Journal of Plant and Soil*. 23: 169-172.
- **Bell AA. & Wheeler MH. 1986.** Biosynthesis and functions of melanines. *Annual Review of Phytopathology*. 24: 411-451.
- **Belnap J. et Lange O. L.. 2005.** Biological soil crusts and global changes : What does the future hold? In: J. Dighton, J. F. White and P. Oudemans (Editors), *The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem Vol. 23. Mycology*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, pp. 697-712.
- **Ben Sassi A., Harzallah-Skhiri F., and Anounil M.2007.** Investigation of some medicinal plants from Tunisia for antimicrobial activities. *Fungal Biology Reviews* . 45 (5): 421- 428.
- **Benchelah AC., Bouziane H., Maka M. 2004.** Fleurs du Sahara, arbres et arbustes, voyage au coeur de leurs usages avec les Touaregs du Tassili .191–197.
- **Benfoddil O. 2015.** Inventaire des champignons endophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département des Sciences Biologiques. UMMTO, Algérie. 48-58 et 73-102p.
- **Berdy J. 2005.** Bioactive microbial metabolite. A personal view. *The Journal of Antibiotics*. 58: 1-26.
- **Berrouane N. 2014.** étude de l'effet protecteur de l'extrait d'*Artemisia campestris* sur le stress oxydant induit chez le rat par le tétrachlorure de carbone(ccl4), magister en sciences agronomiques, alimentation et nutrition, Ecole nationale supérieur Agronomique El-Harach-Alger, 148p.
- **Bettucci L., Simeto S., Alonso R., Lupo S. 2004.** Endophytic fungi of twigs and leaves of three native species of Myrtaceae in Uruguay. *Sydowia*, 56 (1): 8-23.

- **Bhatnagar A., et Bhatnagar M. 2005.** Microbial diversity in desert ecosystems. *Current Science*. 89: 1-10.
- **Bischoff KM., Wicklow DT., Jordan DB., de Rezende ST., Liu S., Hughes SR., Rich JO. 2009.** Extracellular Hemicellulolytic Enzymes from the Maize Endophyte *Acremonium zeae*. *Current Microbiology*. 58: 499-503.
- **Botton B., Bretton A., Fever M., Gautier S., Guy Ph., Larpent J.P., Reymond P., Sanglier J-J., Vayssier Y and Veau P. 1990.** Moisissures utiles et nuisibles, importance industrielle, (ed) Masson, Paris.41-220.
- **Bouchet P., Giraud J.L., and Vihard J. 1999.** Les champignons : mycologie fondamentale et appliquée. Masson, 190p.
- **Bouchet PH., Guignard JL., Villard J. 1999.** Les champignons Mycologie fondamentales et appliqué Masson Paris. 194p.
- **Bouchet Ph., Guignard J.L., Villard J. 2000.** Les champignons mycologie fondamentale et Appliquée. Editions Masson.183p.
- **Bouchet P. Guignard JL. Pouchus YF. 2005.** Les champignons : mycologie fondamentale et appliquée, .2ème édition, Masson.191p.
- **Boudjelal A. 2013.** Extraction, identification et détermination des activités biologiques de quelques extraits actifs de plantes spontanées (*Ajugaiva*, *Artemisia herba Alba* et *Marrubi umvulgare*) de la région de M'Sila, Algérie. Thèse de doctorat : Biochimie Appliquée. Université Badji Mokhtar. Annaba. 61p.
- **Boudjouref M. 2011.** Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'*Artemisia campestris* L. chez l'ovine Diplôme de Magister en Biochimie Appliquée. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département de Biochimie Appliqué Université Ferhat Abbas, Sétif. 80p.
- **Boudjouref M., Belhattab R., Bouteghrine S. 2018.** Antioxidant activity and phenolic content of *Artemisia campestris* from two regions of Algeria. *World Journal of Environmental Biosciences* .7(2): 61-66.
- **Boughani A. 1995.** Contribution à l'étude de la flore et des formations végétales au sud des monts du Zab (Ouled Djellal, wilaya de Biskra): phytomasse, application cartographique et aménagement. Magister dissertation, USTHB, Algérie.50p.
- **Boughani A. 2009.** Analyse floristique et phytogéographique d'une région de l'Atlas saharien constantinois, les gorges du Ghouffi (Algérie). USTHB, Algeria .399-414.
- **Boughani, A. 2014.** Contribution à l'étude phytogéographique des steppes algériennes (Biodiversité et endémisme). Doctoral thesis, USTHB, Algiers.163p.

- **Bouladjeraj, N. 2017.** Etude in vitro et in vivo l'efficacité de l'extrait phénolique de *Salvia officinalis* sur *Botrytis cinerea* et *Rhizoctonia solani*. Mémoire de Master en Science Agronomique. Université de Mostaganem. 66p.
- **Bradai, L., Bouallala, M., Bouziane, N.F., Zaoui, S., Neffar, S., Chenchouni, H. 2015a.** An appraisal of eremophyte diversity and plant traits in a rocky desert of the Sahara. *Folia Geobotanica*, 50: 239– 252.
- **Bremer K. 1994.** Asteraceae cladistics and classification. Portland, Oregon: Timber Press. 752 p.
- **Bruneton, J. 1999.** Pharmacognosie, Phytochimie – Plantes médicinales – 3ème Ed Techniques et documentations. Paris. pp: 227-310-312-313-314.494.
- **Butler MJ. et Day AW. 1998.** Fungal melanins: a review. *Canadian Journal of Microbiology*. 44 (12): 1115-1136.
- **Cao R., Liu X., Gao K., Mendgen K., Kang Z., Gao J., Dai Y. and Wang X. 2009.** Mycoparasitism of endophytic fungi isolated from reed on soilborne phytopathogenic fungi and production of cell wall-degrading enzymes in vitro. *Current Microbiology*. 59.
- **Carlile M.J., Watkinson S.C. 1994.** The Fungi. (Academic Press eds) Redecker,
- **Chabasse D., Bouchara J.P., DE Gentile L., Brun S., Cimon B., Penn P. 2002.** Les moisissures d'intérêt médical. Cahier de formation n°25, Bioforma. 59 p.
- **Chalchat J-C, Cabassu P, Petrovic S, Maksimovic Z, Gorunovic M. 2003.** Composition of essential oil of *Artemisia campestris* L. from Serbia. *Journal of Essential Oil Research*. 15(4):251– 53.
- **Kelvin C. 2003.** Some aspects of toxic contaminants in herbal medicines. *Chemosphere*, vol. 52 (9): 1361-1371.
- **Chehma, A. 2006.** Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien. Ed : Université KASDI MERBAH de Ouargla, Algerie. 19.20 29p.
- **Chermette R., Bussieras J. 1993.** Parasitologie vétérinaire. Mycologie, Edité par le Service de Parasitologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Maisons-Alfort. chromatographic approach to the study of ageing of madder (*Rubia tinctorum* L.) dyestuff on Chromatography A 1112: 209-217.
- **Chhipa H. et Deshmukh SK. 2019.** Fungal Endophytes: Rising Tools in Sustainable Agriculture Production. *Endophytes and Secondary Metabolites*. 1-24.
- **Chifu, T. & Meziani, S.A. 1978.** Contribution à l'étude de la flore du nord de Tébessa. *Annales de l'Institut national agronomique*. El-Harrach, 5-15.

- **Clay K., et Schardl C., 2002.** Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *American Naturalist* 160 (4): S99-S127.
- **Cockell CS. & Knowland J. 1999.** Ultraviolet radiation screening compounds. *Biology Reviews*. 74 (3): 311-345.
- **Cordier T. 2012.** Structure des assemblages fongiques de la phyllosphère des arbres forestiers et effet potentiel du changement climatique. Thèse de Doctorat. Ecole doctorale : Sciences et Environnements. Spécialité Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés. Université Bordeaux 1: 3-16
- **Crozier A., Clifford M.N. and Ashihara H. 2006.** Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet. Blackwell Pub., Oxford, Ames, Iowa, xii, 372 p.
- **D Lindahl K., Ihrmark J., Boberg S., Trumbore P. Högberg J. Stenlid R. D Finlay. 2007.** Spatial separation of litter decomposition and mycorrhizal nitrogen uptake in a boreal forest. *New Phytologist Foundation*. 173(3): 611-620.
- **Damous M., Laribi N., Rezzak L. 2008.** L'isolement des champignons entomopathogène à partir du sol .option Microbiologie. Faculté des Sciences. Département de Biologie moléculaire. Université de Jijel. 49p.
- **Davet P. 1996.** Vie microbienne du sol et production végétale, INRA, 380 p.
- **De Bary A. 1866.** Morphologie and Physiologie der Pilze Flechten and Myxoceten, Verlag von Engelmann, Leipzig.316p.
- **Demirer Durak E. 2016.** Biological control of *Rhizoctonia solani* on potato by using indigenous *Trichoderma* spp. AIP Conference Proceedings. 1726(1): 020020.
- **Derridj A. 1990.** Etude des pollinisations de *Cedrus atlantica* Manetti en Algérie.288 p.
- **Dib I., El-Alaoui F. E .2019.** *Artemisia campestris*. L: review on taxonomical aspects, cytogeography, biological activities and bioactive compounds. *Biomedicine and pharmacotherapy*. 109:1884-1906.
- **Dib I., Mihamou A., Berrabah M., Mekhfi H., Aziz M., Legssyer A., Bnouham M., et Ziyat A. 2016.** Identification of *Artemisia campestris* L. subsp. *glutinosa* (Besser) Batt. From Oriental Morocco based on its morphological traits and essential oil profile. *Journal of Materials and Environmental Science* 8:180-187.
- **Dob D., Dahmane T., Berramdane T., et Chelghoum C. 2005.** Chemical Composition of the Essential Oil of *Artemisia campestris* L. from Algeria. *Pharmaceutical Biology*. 34 (6): 512–514.
- **Dufresne PS. 2021.** Identification des champignons d'importance médicale.56P

- **Dufresne PH. 2018.** Identification des champignons d'importance médicale. Stage de laboratoire, laboratoire de santé publique du Québec. 64p.
- **Eisenhauer N. 2012.** Aboveground-belowground interactions as source of complementary effect in biodiversity experiments. *Plant Soil*. 35 (1): 1-22.
- **Emlab. 2007.** Environmental Microbiology Laboratory, Inc. (Emlab): An index of some commonly encountered fungal genera. 780-7695.
- **Ernst M., Mendgen K.W., Wiersel S.G.R. 2003.** Endophytic fungal mutualists: seedborne *Stagonospora* spp. enhances reed biomass production in axenic microcosms. *Molecular Plant Microbe Interactions*. 16: 580-587.
- **Eshel A. and Beekman T. 2013.** Plant roots: the hidden half. 4 th eds. CRC Press. 848.
- **Faurie C., Ferra C., Medori P. 1980.** Ecologie. Edition. J. B. Baillière. Paris. 168 p.
- **Ganley R.J., Brunfeld S.J et Newcombe G. 2004.** A community of unknown, endophytic fungi in western white pine. *PNAS*. 101 (27) : 10107-10112.
- **Ghissi Z., Sayari N., Kallel R., Bougatef A., Sahnoun Z . 2016.** Antioxidant, antibacterial, anti-inflammatory and wound healing effects of *Artemisia campestris* aqueous extract in rat, *Biomed. Pharmacother*. 84 : 115–122.
- **Ghorab H., Laggoune S., Kabouche A., Semra Z., Kabouche Z. 2013.** Essential oil composition and antibacterial activity of *Artemisia campestris* L. from Khenchela (Algeria). *The Pharma letter* . 5:189-192.
- **Gugnani H.C. 2003.** Ecology and taxonomy of pathogenic *Aspergillus*. Institut Saint James school of Medicine. Department Microbiology and Epidemiology. 46-57.
- **Guo LD., Hyde KD., Liew ECY. 2001.** Detection and taxonomic placement of endophytic fungi within frond tissues of *Livistona chinensis* based on DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 20 :1-13.
- **Haddar Chehrit.H. 2018.** Contribution à l'identification des mycoendophytes racinaires de l'Oléastre (*Olea europaea* ssp *sylvestris*) de Tizi-Rached (Tizi-Ouzou). Mémoire de Master en Sciences Biologiques, Option : Génétique et amélioration des plantes. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département de Biologie UMMTO. 80 p.
- **Hamel A ., Samet M. 2011.** Evaluation du pouvoir antagoniste in vitro de quelques souches endophytes vis-à-vis des champignons d'origine telluriques. *Journal Officiel De La République Algérienne*. 24 : 2-10.

- **Harkati B. .2011.** Valorisation et identification structurale des principes actifs de la plante de la famille Asteraceae : Scorzoneraundulata. Thèse Doctorat en Chimie organique. Université de Mentouri Constantine. 125p.
- **Hasan H. 2002.** Gibberellin and auxin-indole production by plant root-fungi and their biosynthesis under salinity-calcium interaction. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*. 49: 105-118.
- **Hawksworth D. L. 2001.** The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research*. 109: 1422–1432
- **Hawksworth D. L., Kirk P. M., Sutton B. C., Pegler D. N. 1995.** Ainsworth & Bisby's dictionary of the Fungi. CAB International, Wallingford, UK. 247-252.
- **Helander M. L., Sieber T. N., Petrini O., Neuvonen S. 1994.** Revue canadienne de botanique. 72(8): 1108-1113.
- **Hibbett DS., Donoghue MJ. 2001.** Analysis of character correlations among wood decay mechanisms, mating systems, and substrate ranges in homobasidiomycetes. *Systematic Biology*. 5070: 215-242.
- **Hibbett., David S., Blackwell M., Timothy Y., James., Joseph W., Spatafora., John W., Taylor., Rytas V. 2018.** Définitions des taxons phylogénétiques pour les champignons, Dikarya, Ascomycota et Basidiomycota. *Champignon IMA*. 9 (2): 291–98.
- **Hubka, V., Kolarík, M., Kubátová, A. and Peterson, S.W. (2013)** Taxonomic Revision of Eurotium and Transfer of Species to Aspergillus. *Mycologia*, 105: 912-937.
- **Inacio M. L., Silva G. H., Teles H. L., Trevisan H. C., Cavalheiro A. J., Bolzani V. S., Young M. C. M., Pfenning L. H. and Araujo A. R .2006.** Antifungal metabolites from *Colletotrichum gloeosporioides*, an endophytic fungus in *Cryptocarya mandioccana* Nees (Lauraceae). *Biochemical Systematics and Ecology*; 34: 822-824
- **James T.Y., Porter D., Leander C.A., Vilgalys R., Longcore J.E. 2000.** Molecular phylogenetics of the Chytridiomycota supports the utility of ultrastructural data in chytrid systematics. *Canadian Journal of Botany*. 78: 336-350
- **Jennings D.H., Lysek G. 1996.** Fungal biology: understanding the fungal lifestyle. Bios Scientific publishers eds. 176.
- **Jia M., Chen L., Xin HL., Zheng CJ., Rahman K., Han T., Qin LP. 2016.** A friendly relationship between endophytic fungi and medicinal plants: a systematic review. *Frontiers in Microbiology*. 7: 906-906.
- **Jumpponen A., et Trappe J. 1998.** Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *New Phytologist*.140: 295-310.

- **Juteau F., Masotti V., Bessière J-M., Viano J. (2002).** Compositional characteristics of the essential oil of *Artemisia campestris* var. *glutinosa*. *Biochemical systematics and Ecology*. 30: 1065-1070.
- **Kageyama SA., Mandyam KG., Jumpponen A. 2008.** Diversity, Function and Potential Applications of the Root-Associated Endophytes. In: A. Varma (edn.), *State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics, Mycorrhiza*. 29-57.
- **Kim H. Y., Choi G. J., Lee H. B., Lee S. W., Kim H. K., Jang K. S., Son S. W., Lee S. O., Cho K. Y., Sung N. D. et Kim J. C. 2007.** Some fungal endophytes from vegetable crops and their anti-oomycete activities against tomato late blight. *Letters in Applied Microbiology*; 44: 337.
- **Kreitschitz A., et Vallès J. 2007.** Morphology And Slime Structure In Some Taxa Of *Artemisia* L. And *Neopallasia* L. (Asteraceae). *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 202 (7): 570-580.
- **Kusari S., et Spiteller M. 2012.** Metabolomics of endophytic fungi producing associated plant secondary metabolites: progress, challenges and opportunities. In *Metabolomics*. U. Roessner, ed. (Rijeka, Croatia: InTech). 241-266
- **Kusari S., Hertweck C. and Spiteller M. 2012.** Chemical Ecology of Endophytic Fungi: Origins of Secondary Metabolites. *Chemistry & biology*, 19(7): 792-798.
- **Kyeong W.Y., Anwar M., and Jong H.K. 2007.** Effects of the Aqueous Extract from *Artemisia campestris* ssp. *caudata* on Mycorrhizal Fungi Colonization and Growth of Sand Dune Grasses. *J. Plant. Biology*. 50 (3): 358-361.
- **Lacy G., Kaufman P. 2006.** *Botany Illustrated*. New York, NY 10013, USA. 278 p.
- **Larone D.H. 1987.** *Medically important fungi. A guide to identification*. 2nd edition, New York-Amsterdam-London, Elsevier Science Publishing Co., Inc. 230p.
- **Le Calvez T. 2009.** Diversité et fonctions écologiques des champignons en écosystème hydrothermal marin profond. Université de Rennes 1/ CNRS. Ecole Doctorale Vie-Agro-Santé. UFR Science de la Vie et de l'Environnement. 27-224
- **Le Floch E. 1983.** Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne. Radès ville, Tunisie : Imprimerie officielle de la République tunisienne. 402p.
- **Le Houérou H.N. 1969.** La végétation de la Tunisie steppique (avec référence au Maroc, à l'Algérie et à la Libye). *Annales de l'INRAT (Tunisie)*, 42 - 617.

- **Le Houérou HN. 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique : Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options méditerranéennes. Série B, 10 : 396 p.
- **Liorens A., Mateo R., Hinojo MJ., Valle-Algara FM., Jimenez M. 2004.** Influence of environmental factors on the biosynthesis of type B trichothecenes by isolates of *Fusarium* spp. From Spanish crops. International Journal of Food Microbiology. 94: 43-53.
- **Liu CH., Zou WX., Lu H., et Tan RX. 2001.** Antifungal activity of *Artemisia annual* endophyte against phytopathogenic fungi. Journal of Biotechnology. 88: 277-282.
- **Lopez-Giraldez.F. Lehr.N.Farré.M. Common.R .Trail.F. 2009.** The Ascomycota tree of life: a phylum-wide phylogeny clarifies the origin and evolution of fundamental reproductive and ecological traits. 58 (2):224-39.
- **Lutzoni F., Kauff F., Cox C.J., McLaughlin D., Celio G., Dentinger B., Padamsee M. 2004.** Assembling the fungal tree of life: progress, classification, and evolution of sub cellular traits. American Journal of Botany. 91: 1446-1480.
- **Madelin TM. 1994.** Fungal aerosols: a review. Journal of aerosol science. 25: 1405-1412.
- **Malinowski DP., Belesky DP., 2000.** Adaptations of Endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: Mechanisms of drought and mineral stress tolerance. Crop Science.
- **Mandyam K, Jumpponen A. 2005.** Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi 53: P173-189.
- **Marouf A., Reynaud J.2007.** La botanique de A à Z, Edition : Paris. 352p.
- **Martín-Pinto P., Pajares JA., Nanos N., Diez JJ. 2004.** Site and seasonal influences on the fungal community on leaves and stems of *Pinus* and *Quercus* seedlings in forest nurseries. Sydowia. 56 : 243-257.
- **Masotti V., DeJong L., Moreau X., Rabier J., Laffont-Schwob I., Thiéry A2012.** Larvicidal activity of extracts from *Artemisia* species against *Culex pipiens* L. mosquito: Comparing endemic versus ubiquist species for effectiveness. Les Comptes Rendus Biologies. 335:19-25.
- **Mechiah F. 2015.** Approche des symbioses racinaires de de *Pistacia atlantica* Desf. de Dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Option : Ecologie végétale Appliquée et Gestion de l'Environnement. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département de Biologie animale et végétales UMMTO. 125p.

- **Mechiah F., Boutelba I., Smail-Saadoun N. 2021.**Variability of the rhizospheric mycodiversity of the Algerian *Pistacia atlantica* Desf. *Acta Ecologica Sinica*. 43 (5): 421-430.
- **Mechiah. F. 2023.** Diversité des symbiotes fongiques racinaires de *Pistacia atlantica* Desf. dans la région de Laghouat. Thèse de doctorat. Option : Ecologie végétale Appliquée et Gestion de l'Environnement. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département de Biologie animale et végétales UMMTO.156p.
- **Medjeber M. 2019.** Diversité et activité antimicrobienne des champignons endophytes associés aux feuilles de *Limoniastrum feei* (de Gir.) Batt. Oued Aghlal (Béchar, Algérie). Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département de Biologie et Physiologie Cellulaire. Université Saad Dahlab Blida 1. 233p.
- **Meena H., Siddhardha B. 2019.** Global Scenario of Fungal White Biotechnology: Past, Present, and Future in. A. N. Yadav et al. (eds.), Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi. *Fungal Biology*.: 535-559.
- **Memmi A., Sanag G., Rejeibi I., El ayeb M., Srairi-Abid N., Bellasfer Z., Fekhih A .2007.** use of medicinal plants against scorpionic and ophidian venoms. *Arch tuto Installation*. Pasteur. Tunis. 84: 49-55.
- **Minami M., Suzuki M., Hosokawa K., Kondo S., Oka K., Shibata T.2010.** Preliminary survey of taxonomical problems, pharmacognostical characteristics, chloroplast DNA polymorphisms of the folk medicinal herb *Artemisia campestris* from the Ryukyu Islands, Japan. *J.Nat.Med.*, 64: 239-244.
- **Moricca S., Ragazzi A. 2008.** Fungal endophytes in Mediterranean oak forests: a lesson from *Discula quercina*. *Phytopathology*. 98: 380-386.
- **Morton J.B., Benny G.L. 1990.** Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon*. 37: 471-491.
- **Moulinier C.2003.** Parasitologie et mycologie médicale: éléments de morphologie et de biologie, Paris: Lavoisier ,796p.
- **Mueller G.M., Schmit J.P. 2007.** Fungal biodiversity: what do we know? What can we predict? *Biodiversity and Conservation*. 16: 1-5.
- **Naili M.B., Alghazeer O.A., Saleh N.A., Al-Najjar A.Y. 2010.** Evaluation of antibacterial and antioxidant activities of *Artemisia campestris* (Astraceae) and *Ziziphus lotus* (Rhamnaceae). *Arabian Journal of Chemistry*. 3: 79–84.

- **Neffati A .2002.** Allelochimique comportement *d'Artemisia campestris* L. dans les Parcours de la Djefjara tunisienne. Mémoire de fin d'étude. INAT éditions, pp 100- 109, Tunis, Tunisie.
- **Neffati A. 2010.** Thèse de doctorat en Sciences de l'université de Caen, Etude de la composition chimique et évaluation d'activités biologiques de l'huile essentielle d'une Apiaceae de Tunisie : *Pituranthos chloranthus*. Thèse de Doctorat : Biotechnologie agroalimentaire. Université de Caen Normandie.158p.
- **Obledo EN., Barragan-Barragan LB., Gutierrez-Gonzalez P., Ramirez-Hernandez BC., Ramirez JJ et Rodriguez-Garay B. 2003.** Increased photosynthetic efficiency generated by fungal symbiosis in *Agave victoria-reginae*. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 74 : 237-241.
- **Ouzid Y. 2018.** Activités biologiques et diversité en mycoendophytes des feuilles de *Peganum harmala* L. de la région de Laghouat (Algérie). Thèse de Doctorat Sciences Biologiques Option : Biochimie, Microbiologie Et Sciences Alimentaires Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. 121p.
- **Ozenda P. 1964.** Biogéographie végétale. Paris Doin-Deren, 375p.
- **Park JH., Choi GJ., Lee HB., Kim KM., Jung HS., Lee SW., Jang KS., Cho KY., Kim JC. 2005.** Griseofulvin from *Xylaria* sp. strain F0010, an endophytic fungus of *Abies holophylla* and its antifungal activity against plant pathogenic fungi. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 15:112–117.
- **Patterson T.F., Mc Ginnis MR. 2009.** The fungi: description. Site Doctor Fungus. Mycoses Study Group.296p.
- **Quezel P. 1965.** La végétation du Sahara du Tchad à la Mauritanie. 333 p.
- **Quézel P., Santa S. (1962-1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris : Ed. C.N.R.S., 2 :1170p.
- **Rai R. B., Dhama K., Damodaran T., Hamid A., Sweta R., Balvir S., Bhatt P. 2012.** Evaluation of azolla (*Azolla pinnata*) as a poultry feed and its role in poverty alleviation among landless people in northern plains of India. *Veterinary Practitioner* . 13 (2): 250-254.
- **Rather R.A., Srinivasan V., Anwar M. 2018.** Seasonal deviation effects foliar endophyte assemblage and diversity in *Asparagus racemosus* and *Hemidesmus indicus*. *BMC Ecology*, 18(1); 52.
- **Ratnaweera PB., de Silva ED., Williams DE., Andersen RJ. 2015.** Antimicrobial activities of endophytic fungi obtained from the arid zone invasive plant *Opuntia dillenii*

and the isolation of equisetin, from endophytic *Fusarium* sp. BMC Complementary and Alternative Medicine. 15 : 220

- **Rauter A.P., Branco I., Tostao Z., Pais M.S., Gonzalez A.G et Bermejo J.B. 1998.** Flavonoids from *Artemisia campestris* Subsp *Maritima*. Phytochemistry. 28 (8): 2173-2175
- **Raven . 2018.** Report of a workshop IPGRI, 29-30 june 1995 palermo, Italy.69.
- **Raven P H., Evert R F., Eichhorn. 2007.** Biologie vegetale Boeck université 2 edition. 261-286.
- **Raza W., Ling N., Zhang R., Huang Q., Xu Y., Shen Q. 2017.** Success evaluation of the biological control of *Fusarium* wilts of cucumber, banana, and tomato since 2000 and future research strategies. Crit Rev Biotechnol. 37: 202-212.
- **Redecker D. 2002.** New views on fungal evolution based on DNA markers and the fossil. Research in Microbiology. 153: 125-130.
- **Redman RS., Dunigan DD., Rodriguez RJ. 2001.** Fungal symbiosis rom mutualism to parasitism: who controls the outcome, host or invader ?. New Phytologist.151: 705-716.
- **Redman RS., Sheehan KB., Stout RG., Rodriguez RJ., Henson JM. 2002.** Thermotolerance enered by plant/fungal symbiosis. Science. 298:1581-1581.
- **Riedell W. E., Kijieckhefer R. W., Haley S. D., Langham M. A. C., Evenson P. D. (1999).** Winter wheat responses to bird cherryoat aphids and barley yellow dwarf virus infection. Crop Science; 39: 158-163.
- **Robert D., et Catesson AM. 2000.** Organisation végétative.Edition .Paris. P 356
- **Rodriguez KF. 1996.** Fungal endophytes of palms. In: Redlin, S.C., Carris, L.M. (Eds.), Endophytic Fungi in Grass and Woody Plants: Systematics. Ecology and Evolution. APS Press. St. Paul. Minnesota. USA. Pp31-65
- **Rodriguez R.J., White Jr J.F., Arnold A.E., Redman R.S. 2009.** Fungal endophytes: diversity and Functional roles. New phytologist. 182 : 314-330.
- **Roquebert M.F. 1998.** Taxonomie des moisissures ; Méthodes de culture et techniques d’observation ; Identification”, in “Moisissures des aliments peu hydratés”, Ed. Tec & Doc, 39-95.
- **Rubini A., Paolocci F., Riccioni C., Vendramin GG., Arcioni S. 2005.** Genetic and phylogeographic structure in the symbiotic fungus *Tuber magnatum*. Applied and Environmental Microbiology 71: 6584– 6589.

- **Saikkonen K., Faeth S.H., Helander M., Sullivan T.J. 1998.** Fungal Endophytes: a continuum of interactions with host plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 29: 319-343.
- **Samson R.A, Hoekstra E.S et Frisvad J.C. 2004.** Introduction to food and airborne fungi. 7th, Baarn, Centralalbureau voor Schimmellcultures, Institute of the Royal Nether lands Academy of Arts and Sciences. P389.
- **Samson RA., Flannigan B., Flannigan ME., Verhoeff AP., Adan OCG., Hoekstra ES. 2004.** Eds. Air Quality monographs. Elsevier Science B.V.Amsterdam.10p.
- **Santoyo G., Hernandez-Pacheco C., Hernandez-Salmeron J., Hernandez-Leon R. 2017.** The role of abiotic factors modulating the plant-microbe-soil interactions: Toward sustainable agriculture. A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 15, e03R01.
- **Saoudi M., Allagui M.S., Abdelmouleh A., Jamoussi K., El Feki A. 2010.** Protective effects of aqueous extract of *Artemisia campestris* against puffer fish *Lagocephalus lagocephalus* extract-induced oxidative damage in rats. *Experimental and toxicologic pathology*. 62: 601–605.
- **Schulz B., Römmert A.K., Dammann U., Aust H.J. and Strack D. 1999.** The endophytehost interaction: a balanced antagonism? *Mycological Research*. 103: 1275–1283.
- **Schulz B., Boyle C., Draeger S., Römmert A.K., et Krohn K. 2002.** Endophytic fungi: a source of novel biologically active secondary metabolites. *Mycological Research*. 106: 9996- 1004.
- **Schulz B. et Boyle C. 2005.** The endophytic continuum. *Mycological Research*. 109: 661–686
- **Schluz B., Boyle C., Sieber T N. 2006.** Wath are the Endophytes?. *Microbial Soil biology*, 9 :302-312.
- **Sefi M, Fetouri H, Makni M., Zeghal N. 2010.** Mitigating effects of antioxidant properties of *Artemisia campestris* leaf extract on hyperlipidemia, advanced glycation end products and oxidative stress in alloxan-induced diabetic rats. *Food and Chemical Toxicology*, 48 (7): 1986-1993.
- **Seltzer P. 1946.** Le climat de l'Algérie. Alger. Carbonel. 1946; 219p.
- **Shannon CE., Weaver W. 1963.** The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urban.

- **Sieber TN. 2002.** Fungal root endophytes. In: *Plant Roots: The Hidden Half* 3rd ed., rev. and expanded (Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (eds). New York. Basel. Marcel Dekker. 887-917.
- **Singh A., Sharma J., Paichha M., Chakrabarti R. 2020.** *Achyranthes aspera* (prickly chaff flower) leaves- and seeds-supplemented diets regulate growth, innate immunity, and oxidative stress in *Aeromonas hydrophila*-challenged *Labeo rohita*. *The Journal of Applied Aquaculture* . 32 (3): 250-267.
- **Slimani H. 1998.** Effet de pâturage sur la végétation et le sol et désertification cas de la steppe à alfa (*Stipa tenacissima* L) de Rogassa des Hautes Plaines Occidentales Algériennes. Magister dissertation, USTHB, Algiers.145p.
- **Slimani H., Aidoud A. 2018.** Quarante ans de suivi dans la steppe du Sud-Oranais (Algérie): changements de diversité et de composition floristiques. *Revue d'écologie*. 11p.
- **Spiering M. J., Moon C. D., Wilkinson H. H., Schardl C. L. 2005.** Gene clusters for insecticidal loline alkaloids in the grass-endophytic fungus *Neotyphodium uncinatum*. *Genetics*; 169: 1403-1414.
- **Strobel G., Daisy B. 2003.** Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 67 : 491-502.
- **Summerell BA., Leslie JF., Blackhouse D., Bryden WL., Burgess LW. 2001.** *Fusarium*. Paul, E., Nelson Memorial Symposium APS Press, St. Paul, MN.408p.
- **Sun Y., Wang Q., Lu X.D., Okane I., Kakishima M. 2012.** Endophytic fungi associated with plants collected from desert areas in China. *Mycological Progress*. 11: 781-790.
- **Tabuc C. 2007.** Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de productions de mycotoxines. Thèse de Doctorat. Instituts national polytechnique de Toulouse (France). 190p.
- **Taylor JW., Spatafora J., O'Donnell K., Lutzoni F., James T., Hibbett DS., Geiser D., Bruns TD., Blackwell M. 2004.** The Fungi. In: *Assembling the Tree of Life*. Cracraft J. and Donoghue M.J. eds. Pp. 171-174.
- **UniProt Consortium. 2009.** Taxonomy: fungi metazoa group. Site d'Uni Prot. 4-6.
- **Van der Heijden MGA., Klironomos JN., Ursic M., Moutoglis P., Streitwolf-Engel R., Boller T., Wiemken A., Sanders LR. 1998.** Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*. 396 : 72-75
- **Vernin G., Merad O., Vernin G.M.F., Zamkotsian R.M., Parkanyi C. 1995.** GC-MS analysis of *Artemisia herba-alba* Asso essential oils from Algeria. *Developments in Food Science*. 37A: 147- 205.

- **Wallen RM, Perlin MH. 2018.** An overview of the function and maintenance of sexual reproduction in dikaryotic fungi. *Frontiers in Microbiology* 9: 503.
- **Waller F., Achatz B., Baltruschat H., Fodor J., Becker K., Fischer M., Heier T., et al. 2005.** The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 102: 13386-13391
- **Webber J. 1981.** A natural control of Dutch elm disease. *Nature*. 292: 449-451.
- **White, J.F., Cole, G.T. 1986.** Endophyte-host associations in forage grasses. V. Occurrence of fungal endophytes in certain species of *Bromus* and *Poa*. *Mycologia* 78, 852– 856.
- **Wicklów, D.T., Roth, S., Deyrup, S.T., Gloer, J.B., 2005.** A protective endophyte of maize: *Acremonium zeae* antibiotics inhibitory to *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides*. *Mycological Research*. 109: 610-618.
- **Wong KM. et Hyde D. 2001.** Diversity of fungi on six species of Gramineae and one species of Cyperaceae in Hong Kong. *Mycology Research*. 105: 1485-1491.
- **Yadav AN. 2019.** Endophytic Fungi for Plant Growth Promotion and Adaptation under Abiotic Stress Conditions. *Acta Scientific Agriculture*. 3 (1): 91-93.
- **Yates IE., Bacon CW., Hinton DM. 1997.** Effects of endophytic infection by *Fusarium moniliforme* on corn growth and cellular morphology. *Plant Diseases*. 81: 723-728
- **Zamoum S. 2022.** Diversité des mycoendophytes racinaires de l'ortie (*Urtica Dioïca*) de la région de Mâatkas (Tizi-Ouzou). Mémoire de Master II en Sciences Biologiques, Option : Génétique et amélioration des plantes. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département de Biologie Université Mouloud Mammeri de Tzi-Ouzou.41p
- **Zareb A. 2014 .** Contribution à l'étude des mycoendophytes foliaires du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate Ait (Timzerth, Laghouat). Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri de Tzi-Ouzou. 146 p.
- **Zareb A., Lehadi L., Rezki-Sekhi L., Boubrima A., Smaïl-Saadoun N. 2018.** Contribution à la recherche de mycoendophytes foliaires chez *Pistacia atlantica* Desf. de dayate Sâadi (Hassi Delâa, Laghouat, Algérie). *Revue Agrobiologia*. 8 (2) : 1021-1026.
- **Zareb A., Smail-Saadoun N. 2021.** Variations saisonnières de la diversité en mycoendophytes foliaires chez *Pistacia atlantica* de la daya de Aiat (Laghouat, Algérie). *Ecologia mediterranea*. 47 (1) : 69-78.
- **Zerrougui M. 2022.** Inventaire de champignons endophytes des racines de *Rubia tinctorum* (Rubia des teinturiers) de la forêt de Béni Ghobri (Tizi-Ouzou, Algérie).

Mémoire de Master II. Option Biodiversité et Ecologie Végétale. Faculté des Sciences Biologique et Agronomiques. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.50p

- **Zhang C., Yin L., Dai S. 2009.** Diversity of root-associated fungal endophyte in *Rhododendron fortune* in subtropical forest of China. *Mycorrhizza*. (19): 417-423.
- **Zhang H. W., Song Y. C., Tan R. X. 2006.** Biology and chemistry of endophytes. *Natural Product Reports*. 23: 753-771.
- **Zhang W.J., Wei W., Shi J., Chen C., Zhao G., Jiao R., Tan R. 2015.** Natural phenolic metabolites from endophytic *Aspergillus* sp. IFB-YXS with antimicrobial activity. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters* . 25: 2698-2701.

## Annexes

**Tableau 1.** Précipitations moyenne mensuelles et annuelles pour la station de Chabka 2 enregistrés durant la période allant de 1975 à 2017.

Mois	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin.	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Cumul annuel
<b>P (mm)</b>	24,56	22,02	21,6	21,5	25,46	14,58	7,02	14,95	23,17	21,18	21,93	21,19	239,16

**Tableau 2.** Températures moyennes mensuelles de la région de Chabka 2 enregistrés durant la période allant de 1975 à 2017.

Mois	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
<b>M (°C)</b>	12,08	13,88	17,22	20,34	25,78	32,05	36,07	35,36	29,59	23,63	16,73	13,1
<b>m (°C)</b>	1,6	2,81	4,56	7,4	11,59	16,46	19,76	19,33	15,43	10,76	5,71	3,08
<b>M+m/2 (°C)</b>	6,86	8,34	10,89	13,87	18,68	24,25	27,91	27,35	22,51	17,19	11,22	8,1

**Résumé :** *Artemisia campestris* L. est une plante médicinale appartenant à la famille des Asteraceae. Cette espèce connue sous le nom de «Tgouft» est très répandue en milieux steppiques Algériens. La partie aérienne de cette espèce est largement utilisée en médecine traditionnelle et en pharmacologie moderne en raison de sa forte teneur en métabolites secondaires. La partie souterraine, en revanche, reste mal connue notamment en ce qui concerne les champignons endophytes vivant en symbiose avec celle-ci. Le présent travail est une contribution à l'étude du cortège fongique racinaire de cette espèce. L'étude a été menée sur les mycoendophytes des racines de la plante échantillonnée dans la station de Chabka 2 (Djelfa), située dans la région de Ain Fekka en mois de novembre 2022 sur six sujets. Des fragments de racines ayant un diamètre de 0,5 mm, ont été ensemencés dans un milieu semi-synthétique (PDA). L'identification macroscopiques et microscopiques des souches isolées ont révélé la présence de 12 genres fongiques avec un total de 22 espèces à savoir : *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cephalotrichum*, *Fusarium*, *Gibberella*, *Phoma*, *Penicillium*, *Monilinia*, *Rhizoctonia*, *Salinomyces*, *Torula* et *Ulocladium* où la majorité des mycoendophytes recensés (92,31%) appartiennent au phylum des Ascomycota à l'exception du genre *Rhizoctonia* qui appartient au phylum des Basidiomycota ayant donc un pourcentage de 7,69%. Ces résultats ont montré une diversité importante des mycoendophytes avec une abondance du genre *Fusarium* (27,27%) dont 6 espèces ont été recensées. Les mycoendophytes présents peuvent avoir un rôle dans la protection et la survie de cette plante face aux stress environnementaux, dans la synthèse de molécules d'intérêts thérapeutiques et médicinales et dans l'amélioration des diverses activités biologiques qu'elle possède.

**Mots clés :** *Artemisia campestris* L., mycoendophytes racinaires, diversité, Ascomycota, *Fusarium*, Chabka 2 (Djelfa, Algérie).

**Abstract:** *Artemisia campestris* L. is a medicinal plant belonging to the family Asteraceae. This species known as «Tgouft» is widespread in Algerian steppes. The aerial portion of this species is widely used in traditional medicine and modern pharmacology because of its high content of secondary metabolites. The subterranean part, on the other hand, remains poorly known, especially as regards endophytic fungi living in symbiosis with it. The present work is a contribution to the study of the root fungal cortege of this species. The study was conducted on mycoendophytes of the roots of the plant sampled in the station of Chabka 2 (Djelfa), located in the region of Ain Fekka in November 2022 on six subjects. Root fragments with a diameter of 0.5 mm were seeded in a semi-synthetic medium (PDA). The macroscopic and microscopic identification of the isolated strains revealed the presence of 12 fungal genera with a total of 22 species: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cephalotrichum*, *Fusarium*, *Gibberella*, *Phoma*, *Penicillium*, *Monilinia*, *Rhizoctonia*, *Salinomyces*, *Torula* and *Ulocladium* where the majority of the mycoendophytes identified (92.31%) belong to the phylum of Ascomycota with the exception of the genus *Rhizoctonia* which belongs to the phylum of Basidiomycota having a percentage of 7.69%. These results showed a significant diversity of mycoendophytes with an abundance of the genus *Fusarium* (27.27%) of which 6 species were surveyed. The mycoendophytes present can have a role in the protection and survival of this plant against environmental stresses, in the synthesis of molecules of therapeutic and medicinal interest and in the improvement of the various biological activities it possesses.

**Keywords:** *Artemisia campestris* L., root mycoendophytes, diversity, Ascomycota, *Fusarium*, Chabka2 (Djelfa, Algeria).