

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou  
Faculté des Sciences Biologique et des Sciences Agronomiques  
Département Ecologie et Environnement



En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER 2 en Ecologie et Environnement  
Spécialité : Biodiversité et Ecologie Végétale

THÈME

**Inventaire des champignons endophytes des semences de deux variétés du blé dur (*Triticum durum* : Oued Bared et Simeto) et celle de l'orge (*Hordeum vulgare* : Rihane).**

Présentée par :

M<sup>elle</sup> LABANE Karima

M<sup>elle</sup> MEZIANE Chahina

Le 02 / 07 /2024

Devant le jury composé de :

Présidente : Mme SAADOUN N.....Professeure à l'UMMTO

Promoteur : Mr RAHMANI A.....MAA à l'UMMTO

Co-promotrice: Mlle MECHIAH F.....Docteur à l'UMMTO

Examinatrice :Mme Berrached R.....MCB à l'UMMTO

# Remerciements

Nous remercions, avant tout " ALLAH ", dont la grâce et la miséricorde nous accompagné tout au long de ce parcours académique.

On tient à exprimer notre profonde gratitude à Monsieur **Rahmani A**, enseignant et promoteur, pour la confiance qu'il nous a accordée et pour le temps consacré à la réalisation de ce mémoire de ce mémoire.

Ce travail ne serait pas effectué et accomplis sans l'aide et l'encadrement de **M<sup>elle</sup> MECHIAH F.**, nous la remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour ça patience rigueur, ses conseils avisés et son soutien constant, et sa disponibilité. Votre expertise et vos encouragements ont été essentiels dans la réalisation de ce mémoire. Nous sommes infiniment reconnaissantes pour le temps et l'effort que vous avez consacrés pour nous orienter et nous guider.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères aux membres de jury :

Madame **SAADOUN N.**, Professeur à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou et directrice du laboratoire Ressources Naturelles de l'UMMTO, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance, et pour tout son aide, son soutien et son enseignement de qualité depuis notre formation en Master.

Madame **BERRACHED R .**, d'avoir accepté de faire partie du jury afin d'examiner ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les enseignants qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de notre parcours académique.

Enfin nous adressons nos profonds remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

# *Dédicace*

Je consacre ce modeste travail à mes précieuses perles, ma mère **SAMIA** et mon papa **MOHAMED**, Vos encouragements et vos prières ont été pour moi une source inépuisable de soutien et de guidance. En ce jour spécial, j'espère pouvoir concrétiser un de vos rêves et me montrer digne de votre confiance. Je dédie se mémoire, fruit de votre dévouement et symbole de ma reconnaissance et de mon amour profond. , merci pour l'éducation et les valeurs que vous m'avez transmises, et pour tout l'amour que vous me portez.

Je dédie également ce mémoire :

A ma chère sœur **HAYET**

Pour ton amour inconditionnel, ton soutien sans faille. Tu as été une source constante de force et d'inspiration tout au long de ce voyage Merci d'avoir toujours cru en moi et de m'avoir encouragé à poursuivre mes rêves. Ce mémoire est dédié à toi, en reconnaissance de tout ce que tu représentes pour moi.

À mes chers frères, **MEZAINÉ, HACENE**

Pour votre incroyable force et votre courage silencieux. Vous m'avez appris que les mots ne sont pas nécessaires pour exprimer l'amour. Votre présence lumineuse et vos sourires ont toujours été une source de joie et d'inspiration pour moi. Merci de m'avoir montré la beauté de la communication au-delà des mots. Ce mémoire est dédié à vous, en reconnaissance de votre force, de votre amour et de la lumière que vous apportez dans ma vie

À mes grands-parents, qui ne sont plus parmi nous. **Grand-père et Grand- mère**

Cette mémoire est dédiée en votre honneur, je sais que si vous étiez ici aujourd'hui, vous seriez fiers de la personne que je suis devenue. Que dieu vous protège dans son paradis

A tout ma grande famille

*Labane Karima*

# *Dédicace*

**Je dédie mon travail :**

**A toute personne qui a contribué à la réalisation de ce travail de près comme de loin.**

*Meziane Chahina*

# Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	2

## Chapitre 1 :Les Champignons

1. Classification des champignons .....	5
1.1. Chytridiomycota.....	5
1.2. Mucoromycota .....	6
1.3. Glomeromycota .....	6
1.4. Ascomycota .....	7
1.5. Basidiomycota.....	8
2. Modes de vie des champignons .....	9
2.1. Saprophytisme .....	9
2.2. Parasitisme .....	9
2.3. Symbiose.....	9
3. Champignons endophytes.....	10
3.1. Classification des champignons endophytes .....	11
3.1.1. Endophytes clavicipitaceae.....	12
3.1.2. Endophytes non Clavicipitaceae .....	14
3.1.2.1. Endophytes de classe 2 .....	14
3.1.2.2. Endophytes de classe 3 .....	15
3.1.2.3. Endophytes de classe 4 .....	15
3.2. Mode de transmission des champignons endophytes .....	16
3.2.1. Transmission verticale .....	17
3.2.2. Transmission horizontale .....	17
4. Champignons transmis par les semences .....	18
5. Importances des champignons endophytes.....	19

5.1. Tolérance des plantes aux stress biotiques.....	19
5.2. Tolérance des plantes aux stress abiotiques.....	20
5.3. Promotion de la croissance et de la nutrition .....	21
5.4. Source de produits naturels bioactifs .....	23

## **Chapitre2 : Les Céréale**

1. Les céréales en Algérie .....	25
2. Cycle du développement des céréales .....	26
2.1.Période végétative.....	26
2.1.1. Germination et la levée (la phase semis-levée) .....	26
2.1.2. Tallage (la phase levée-début tallage) .....	27
2.2.Période reproductrice : la formation et la croissance de l'épi .....	27
2.2.1. Stade A : ébauche de l'épi, (avant la fin du tallage)(Stades de JONARD).G27	
2.2.2. Stade B marque la fin du tallage et le début de la montaison.....	28
2.2.3. Montaison et le gonflement .....	28
2.2.4. Epiaison et la fécondation .....	28
2.2.5. Grossissement du grain .....	28
2.3.Maturation du grain .....	28
3. Le blé .....	29
3.1.Classification botanique du blé .....	31
3.1.1. Blé dur .....	31
3.1.2. Le blé tendre .....	32
3.2.Description de la plante .....	32
3.3.Maladies fongiques du blé .....	36
3.3.1. Charbon nu .....	36
3.3.2. Charbon foliaire .....	36
3.3.3. Carie .....	37
3.3.4. Pourritures racinaires.....	37
3.3.5. Septorioses.....	37
3.3.6. Maladie de la tâche auréolée .....	38
3.3.7. Rouilles .....	39

3.3.8. Fusariose ( <i>Fusarium spp.</i> ).....	40
4. Orge .....	41
4.1. Orge à deux rands .....	41
4.2. Orge à six rands .....	41
4.3. Classification.....	42
4.4. Description de la plante .....	42
4.5. Maladies fongiques de l'orge.....	43
4.5.1. Rhynchosporiose ( <i>Rhynchosporium secalis</i> ) .....	43
4.5.2. Rayure réticulée ( <i>Helminthosporium teres</i> ) .....	43
4.5.3. Helminthosporioses ( <i>Helminthosporium gramineum</i> ).....	44
4.5.4. Rouille naine des feuilles ( <i>Puccinia hordei</i> ) .....	44
5. Comparaison entre le blé et l'orge .....	45

### Chapitre3 : Matériel et méthode

1. Matériel utilisé.....	47
2. Préparation du milieu de culture PDA.....	47
3. Stérilisation superficielles des semences.....	49
4. Ensemencement .....	51
5. Identification des isolats fongiques .....	52
5.1. Observation macroscopique .....	52
5.2. Observation microscopique .....	52
6. Analyses des données statistiques .....	53
6.1 Abondance des genres .....	53
6.2 Analyse de variance (ANOVA) .....	53
6.3 Analyse en composantes principales (ACP).....	53

### Chapitre 4 : Résultats et Discussion

1. Abondance et diversité des mycoendophytes recensés dans les semences du blé dur et de l'orge .....	55
2. Abondance des phyla fongiques isolés des trois variétés étudiées .....	58
3. Description macroscopique et microscopique d'isolats fongiques recensés .....	60
3.1. <i>Alternaria</i> .....	60

3.2. <i>Bipolaris</i> .....	61
3.3. <i>Cladosporium</i> .....	62
3.4. <i>Fusarium</i> .....	63
3.5. <i>Neoscytalidium</i> .....	64
3.6. <i>Nigrospora</i> .....	65
3.7. <i>Rhizoctonia</i> .....	66
3.8. <i>Ulocladium</i> .....	67
3.9. <i>Stemphylium</i> .....	67
4. Analyse de variance (ANOVA) .....	68
5. Matrice de corrélation de Pearson.....	69
6. Analyse en composantes principales (ACP) des endophytes.....	71
7. Matrice de corrélation de Pearson de l'ACP globale .....	74
8. Analyses en composantes principale globale (ACP globale) .....	76
Conclusion générale .....	81
Références bibliographiques .....	84

## Liste des figures

Figure 1.Schéma général de la classification simplifiée de la division des Ascomycota (Rapior et Fons, 2006) -----	6.
Figure 2. Schéma général de la classification simplifiée de la division des Ascomycota (Rapior et Fons, 2006) -----	7.
Figure 3.Différents modèles de localisation des endophytes fongiques dans les tissus végétaux (Kusari et Spiteller, 2012). -----	10.
Figure 4.Classes de champignons endophytes selon la localisation des tissus colonisés (Kusari et Spiteller, 2012). -----	10.
Figure 5.Modes de transmission observés chez les champignons endophytes : exemple du cycle de vie du champignon endophyte <i>Epichloë festucae</i> colonisant la plante <i>Festuca arundinaceae</i> . -----	17.
Figure 6.Continuum environnemental et interaction endophytique avec une plante lors de conditions de stress abiotique (Khan et al., 2015).-----	21.
Figure 7.Différents stades de développement des céréales (Kouadria, 2019). -----	28.
Figure 8.Origine génétique du blé dur et tendre (Debiton, 2010) -----	30.
Figure 9.Morphologie des différentes parties de la plante de blé (Fares et al., 2017)---	32.
Figure 10.Inflorescence du blé (Guckert, 2018) -----	33.
Figure 11.Structure d'un épi et épillet du blé (Benmounah, 2021). -----	34.
Figure 12.Histologie du grain de blé (Debiton, 2010). -----	36.
Figure 13.Anatomie du grain de blé (Benmounah, 2021). -----	36.
Figure 14.Carie sur les grains de blé (Frédéric et al., 2010).-----	37.
Figure 15.Symptômes typiques de la tache septorienne sur blé (Arvalis, 2018). -----	39.
Figure 16.Bigarrure jaune typique provoquée par <i>Pyrenophora tritici-repentis</i> sur les feuilles de blé (Bayer, 2021). -----	39.
Figure 17.Uredospores de <i>Puccinia recondita</i> f. sp. <i>Tritici</i> (Zillinsky, 1983).B : Rouille brune sur les feuille de blé (Arvalis, 2018). -----	40.
Figure 18.Différent symptômes de la Fusariose (Hesnaoui,2023).-----	41.
Figure 19.Types de l'orge. A : Orge à 2 rangs, B : Orge à 6 rangs (Christophe,2019).-42.	
Figure 20.Anatomie et composition du grain d'orge (Clergt, 2011). -----	43.
Figure 21.Rhynchosporiose sur les feuilles de l'orge (Arvalis, 2018). -----	44.
Figure 22.Symptômes d'uredospore présente sur les feuilles de l'orge (Adama, 2022).45.	
Figure 23.Préparation de l'extrait de la pomme de terre (Photo original, 2024). -----	49.

Figure 24.Mise en agitation du filtrat de la pomme de terre avec le glucose et l'agar-agar (Photo original, 2024). -----	49.
Figure 25.Stérilisation à l'étuve (Photo original, 2024). -----	50.
Figure 26.Coulage du milieu PDA dans des boites de Pétri (Photo original, 2024). -----	50.
Figure 27.Semences sélectionnées de chaque variété (Photo original, 2024). -----	51.
Figure 28.Stérilisation superficielle des semences (Photo original,2024). -----	52.
Figure 29.Mise en culture des semences (Photo original,2024). -----	52.
Figure 30.Quelques boites de Pétri (8 jours après l'ensemencement) (photo original, 2024) -----	53.
Figure 31.Abondances (%) des différents genres mycoendophytes identifiés dans les semences des variétés de blé dur Oued Bared (BD OB) et Simeto (BD S) et la variété d'orge Rihane (OR). -----	58.
Figure 32.Abondance des Phyla de mycoendophytes des trois variétés étudiées. -----	60.
Figure 33.Abondance des phyla des mycoendophytes des semences des deux variétés de blé dur (BD OB et BD S) et de la variété d'orge (OR). -----	61.
Figure 34.Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Alternaria</i> (Photo original,2024). -----	62.
Figure 35.Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Bipolaris</i> (Photo original,2024). -----	63.
Figure 36.Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Cladosporium</i> (Photo original,2024). -----	64.
Figure 37.Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Fusarium</i> (Photo original,2024). -----	65.
Figure 38.Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Neoscytalidium</i> (Photo original,2024) -----	66.
Figure 39.Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Nigrospora</i> (Photo original,2024). -----	67.
Figure 40.Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Rhizoctonia</i> (Photo original, 2024). -----	67.
Figure 41.Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Ulocladium</i> (Photo original, 2024). -----	68.
Figure 42.Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre <i>Stemphylium</i> (Photo original,2024). -----	69.
Figure 43.Analyse en composantes principales (ACP) des mycoendophytesdes semences du blé dur (Oued Bared et Simeto) et de l'orge (Rihane). -----	73.

**Figure 44. ACP globale représentant les genres mycoendophytes recensés dans les semences des différentes variétés étudiées (BD S, BD OB et OR, BD V, BD W et BT).78.**

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1. Critères utilisés pour caractériser les classes des mycoendophytes (Rodriguez et al. 2019)</b> .....	<b>12.</b>
<b>Tableau 2. Subdivisions des endophytes de classe 1 (Clay et Schardl, 2002).</b> .....	<b>13.</b>
<b>Tableau 3. Taxonomie des céréales (Feillet, 2000).</b> .....	<b>25.</b>
<b>Tableau 4. Classification génétique des <i>Triticum</i> (Feillet, 2000)</b> .....	<b>30.</b>
<b>Tableau 5. Les différences et les similitudes entre le blé et l'orge (Djermoun., 2009).</b> .....	<b>45.</b>
<b>Tableau 6. Classification des mycoendophytes présent dans les semences du blé dur (<i>Triticum durum</i>) et l'orge (<i>Hordeum vulgare</i>).</b> .....	<b>55.</b>
<b>Tableau 7. Test ANOVA des mycoendophytes des semences de blé dur et l'orge</b> .....	<b>67.</b>
<b>Tableau 8. Matrice de corrélation de Pearson entre les genres des endophytes.</b> .....	<b>70.</b>
<b>Tableau 9. Matrice de corrélation de Pearson entre les genres des endophytes.</b> .....	<b>75.</b>

# **Introduction générale**

---

Le blé « *Triticum* » est l'une des cultures céréalières les plus importantes au monde, il est cultivé dans un large éventail de conditions climatiques, car il a une grande adaptation par rapport aux autres espèces de céréales (Varshney et *al.*, 2006 ; Braunet *al.*, 2010 ; Păuneț, 2010). C'est un aliment de base important pour plus de 4,5 milliards de personnes dans 94 pays en développement (Braun et *al.*, 2010). En Algérie, au cours de la dernière décennie, le blé a représenté une moyenne de 67,1 % de toute la production céréalière (Derbal et *al.*, 2015). Cependant, l'orge « *Hordeum vulgare* L. » est considérée comme la quatrième culture céréalière la plus importante au monde, avec un taux de 7 % de la production céréalière mondiale (Palet *al.*, 2012). Il occupe la seconde place en Algérie après le blé dur, est la troisième céréale du point de vue superficie et production, qui varie annuellement de 300.000 à 1.600.000ha, c'est-à-dire 35 à 40 % de la superficie réservée aux grandes cultures (Rahal, 2015).

Les champignons endophytes constituent un groupe polyphylique très diversifié, principalement constitué d'espèces issues des Ascomycota. Leur mode de vie se caractérise par une phase dite endophytique consistant en la colonisation asymptomatique des structures internes d'une plante, pendant au moins une partie de leur cycle de vie (Sénéquier-Croze et Canard, 2016). Toutes les plantes des écosystèmes naturels semblent établir des relations avec ces champignons. Depuis une cinquantaine d'années leur étude s'est progressivement intensifiée suite à leur découverte d'une part et d'autre part, leur implication dans de nombreuses toxicoses (Sénéquier-Croze et Canard, 2016). Les endophytes fongiques offrent un large éventail d'effets bénéfiques pour les plantes tel que la promotion de la croissance, la réduction de la gravité des maladies, l'induction des mécanismes de défense, la production de bioactifs anti-herbivores, la fixation biologique de l'azote et l'augmentation de l'absorption hydrique et minérale (Kusari et *al.*, 2014).

Les endophytes des semences proviennent principalement de la plante-mère, qui les transmet aux embryons pendant la formation des graines. Certains endophytes peuvent également être issus des grains de pollen et sont transmis aux graines lors de la fécondation (Liu-Ji, 2016).

## Introduction générale

---

Cette recherche a été initiée dans le but principal d'inventorier les champignons endophytes présents dans les semences de deux variétés de blé dur (Simeto ; qui est connue par sa résistance aux maladies, la bonne qualité du grain, et la performance de rendement et Oued Bared : une variété locale de Sétif réputée pour son rendement élevé) ainsi que dans la variété d'orge (Rihane ; connue pour sa résistance à la sécheresse et au froid). Ces trois variétés, non traitées chimiquement, qui sont récupérées de CCLS de Bouira, sont reconnues pour leur capacité d'adaptation aux conditions climatiques difficiles.

Le choix de ces variétés s'explique par le fait qu'aucune étude précédente ne s'est intéressée à cet aspect. Cette recherche vise donc à combler cette lacune en fournissant des données sur la diversité des champignons endophytes dans ces variétés locales.

Cette étude a été faite au laboratoire « Ressources Naturelles » de l'université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. L'approche a été réalisée en 4 chapitres :

- ✚ Le chapitre 1 concerne les champignons et leur classification ;
- ✚ Le chapitre 2, dans lequel nous avons décrit les céréales plus précisément le blé dur et l'orge ;
- ✚ Le chapitre 3 présente le matériel et les méthodes utilisées ;
- ✚ Le chapitre 4 dans lequel nous avons présenté et discuté les résultats obtenus ;

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

# **Chapitre 1 :Les Champignons**

---

Les champignons appelés encore ‘‘Mycota’’ ou ‘‘Mycetae’’, ont longtemps été placés parmi les végétaux. Leur mode de vie et leur système de reproduction en font des êtres originaux, bien à part, pour lesquels a été créé le règne fongique (du latin fungus = champignon), au même titre que les bactéries, les protistes, les végétaux et les animaux (Pillo, 2017). Ils possèdent un appareil végétatif simple ou thalle, il se caractérise par la présence d’une paroi cellulaire contenant de la chitine et de la  $\beta$ -glucanes et par la faible différenciation de leurs cellules (Senequeir-Crozet et Canard, 2016).

Contrairement aux végétaux, les champignons sont hétérotrophes. Ils sont incapables de synthétiser la matière organique à partir des substances inorganiques. Ils sont obligés de recycler des composés organiques préexistant comme source d’énergie et de carbone. Cette caractéristique les a conduits à adopter plusieurs modes de vies : saprophytisme, parasitisme, symbiotisme (Senequeir-Crozet et Canard, 2016).

Les champignons se reproduisent par germination des spores. Ces dernières sont libérées des appareils sporifères et disséminées dans la nature essentiellement par le vent. Une spore germe et émet un filament (hyphe) qui croit, s’allonge par l’extrémité apicale et se ramifie pour donner un nouveau mycélium. Ils ont aussi la possibilité de se propager par bouturage. Un simple fragment du mycélium est capable de se développer et de former une colonie (Cordova Lopez, 1998).

## **1. Classification des champignons**

La Mycologie est la science de l’étude des champignons. Elle comprend des étapes fondamentales qui sont : la taxonomie, la systématique et la nomenclature pour aboutir à un canevas général de la classification des champignons. L’organisation des champignons en phyla est actuellement fondée sur des bases phylogénétiques. Cinq phyla sont aujourd’hui acceptés (James *et al.*, 2006). Les Ascomycota, Basidiomycota et les Glomeromycota qui sont monomorphyques, les Zygomycota (Mucoromycota) et les Chytridiomycota qui sont polyphylétiques (James *et al.*, 2006 ; Bar Henet *et al.*, 2008).

### **1.1. Chytridiomycota**

# Chapitre 1. Les Champignons

---

Les organismes du phylum Chytridiomycota sont des champignons inférieurs et le seul groupe à posséder des spores uniflagellées (zoospores). C'est la lignée évolutive la plus ancienne des champignons et qui constitue un clade polyphylétique (James et *al.*, 2000 ; James et *al.*, 2006 ; Bar-Hen et *al.*, 2008). Les positions basales de ce phylum n'ont jamais pu être clairement établies et supportées de façon robuste (James et *al.*, 2000 ; James et *al.*, 2006). La présence de spores flagellées semble restreindre ces organismes aux milieux aquatiques et dans les sols humides (James et *al.*, 2000). Les organismes de ce phylum sont souvent microscopiques qui peuvent aussi produire un mycélium. La plupart des Chytrides sont saprophytes, aérobies ou anaérobies ; ils sont capables de dégrader un grand nombre de substrats). On recense également de nombreux pathogènes ; l'un d'eux a récemment été responsable d'une impressionnante mortalité de batraciens (*Batrachochytrium dendrobatidis*) aux Etats-Unis (Longcore et *al.*, 1999). Des parasites d'algues (*Chytridium polysiphoniae*) ont également été reportés en milieu marin (Küpperet *al.*, 2006). Environ 1000 espèces ont été décrites au sein de ce phylum, ce qui correspond à environ 1% des espèces décrites de champignons (Taylor et *al.*, 2004).

## 1.2. Mucoromycota

Les Mucoromycota comprennent des espèces caractérisées morphologiquement par la reproduction asexuée, telle que les sporanges, des sporangioles et des mérosporangies, ainsi que par la formation d'une spore sexuée, la zygospore, dans un zygosporangium formé après la fusion de deux gamétanges (Spataphora et *al.*, 2016 ; Tedersoo et *al.*, 2018). Ces champignons ont une large distribution et ont été couramment observés dans les excréments d'animaux, les céréales stockées, les fruits, les légumes et le sol, bien que certaines espèces soient des pathogènes facultatifs des plantes, des animaux et même des autres champignons (Spataphora et *al.*, 2016 ; Tedersoo et *al.*, 2018).

## 1.3. Glomeromycota

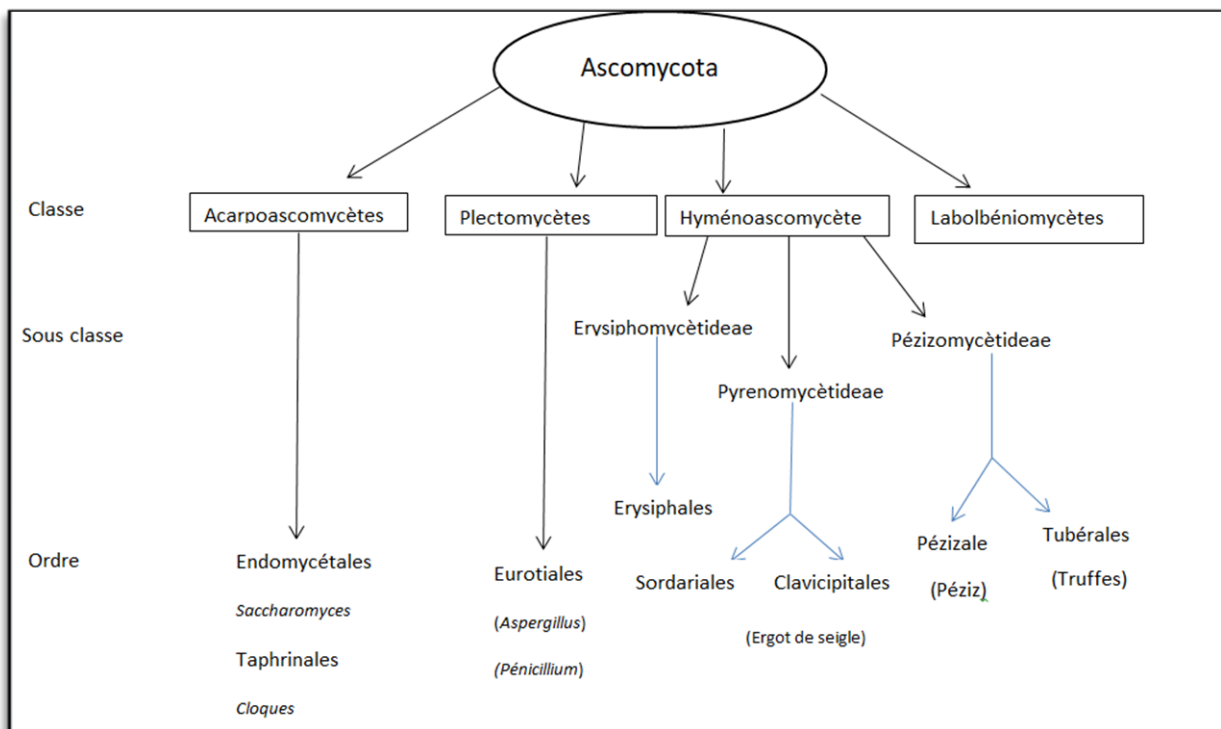
Historiquement, les organismes de ce phylum étaient placés au sein des Zygomycota, dans l'ordre des Glomerales, un groupe qui regroupait les champignons mycorrhiziens à arbuscules (Morton et Benny, 1990). Une analyse phylogénétique a démontré la monophylie de l'ensemble des champignons mycorrhiziens à arbuscules ce qui a permis d'ériger un nouveau phylum: les Glomeromycota (Schüßer et *al.*, 2001). Ils permettent entre autres à 90% des plantes de s'approvisionner en eau et en éléments minéraux grâce à cette association

# Chapitre 1. Les Champignons

mycorhizienne. Ils sont subdivisés en 3 classes : Archaeosporomycètes, Glomeromycètes et Paraglomeromycètes et 5 ordres : Archaeosporales, Diversisporales, Gigasporales, Glomerales et Paraglomerales. 15 familles, 38 genres et 343 espèces officiellement décrites. Les espèces les plus connues appartiennent à la famille des Glomeraceae, dont le genre *Glomus* est le plus utilisé dans les travaux d'expérimentation (Mechiah, 2015).

## 1.4. Ascomycota

Les Ascomycota sont caractérisés par la formation, au cours de leur reproduction sexuée, de sporocytes spécialisés ou asque (du grec askos) à l'intérieur desquelles s'individualisent à la suite d'une méiose, les ascospores. Chez les plus évolués, les asques sont à maturité contenus dans un organe appelé sporophyte (Bouchet et *al.*, 2005). Les Ascomycota colonisent tous les milieux (Rapior et Fons, 2015). Ils sont saprophytes, symbiotiques ou parasites. Ce phylum comprend de nombreuses espèces microscopiques parmi lesquels on trouve les levures, les *Penicillium* et les *Aspergillus*, l'Ergot de seigle et également quelques champignons macroscopiques; parmi ces derniers, on peut citer les truffes et les morilles; des espèces très différentes par leur forme, leur taille et leur mode de vie. Ce groupe se divise en 4 classes, 3 sous classes et 8 ordres (Rapior et Fons, 2015) (Figure 1).

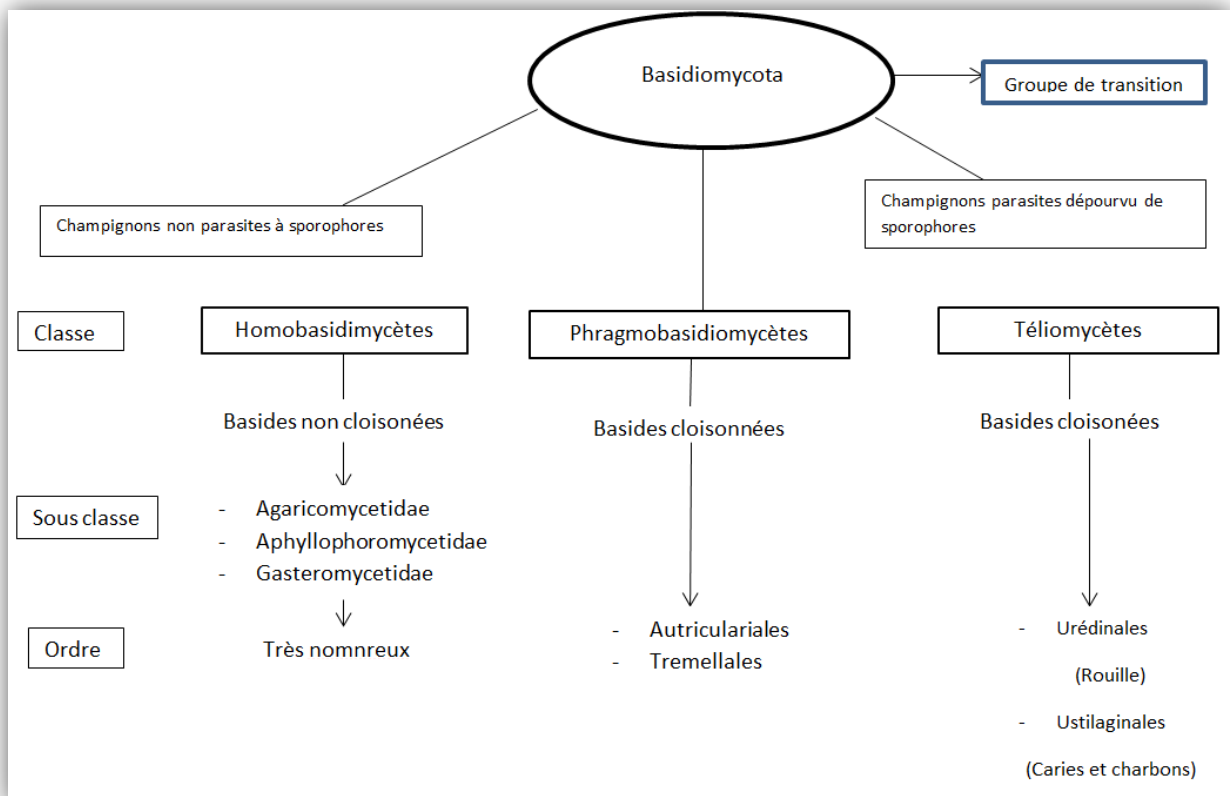


**Figure 1.** Schéma général de la classification simplifiée de la division des Ascomycota (Rapior et Fons, 2006).

## 1.4. Basidiomycota

Le phylum des Basidiomycota est caractérisé par l'existence d'un sporocyste spécialisé, la baside (du grec basis) donnant naissance à des spores exogènes les basidiospores (Bouchet *et al.*, 2005).

Les Basidiomycota, avec environ 14 000 espèces décrites, sont les champignons les plus perfectionnés. Leur mycélium est cloisonné, ils comprennent plusieurs espèces à sporophores (basidiophores) de grande taille (Bouchet *et al.*, 2005) ; espèces à thalle cloisonné et produisant des spores sexuées (= basidiospores) à l'extérieur de la cellule fertile nommée baside. Celle-ci, de forme généralement clavée, porte les spores à l'extrémité de petites pointes appelées stérigmates ; ce groupe se divise en classes, sous classe et ordre (Rapior et Fons, 2015) (Figure 2).



**Figure 2.** Schéma général de la classification simplifiée de la division des Basidiomycota (Rapior et Fons, 2006).

## 2. Modes de vie des champignons

Toutes les espèces de champignons sont absorbotrophes. L'alimentation se fait par absorption transmembranaire d'oligo-éléments, de sels ou de molécules organiques par transport actif ou par diffusion passive. Plusieurs modes de vie découlant de cette caractéristique sont ainsi observés (Senequier-Crozet et Canard, 2016) :

### 2.1. Saprophytisme

Le saprophytisme se caractérise par la capacité d'un être vivant de se nourrir à partir de matière organique morte, dont il absorbe les éléments nutritifs prédigérés grâce à l'excrétion d'enzymes extracellulaires. Les champignons saprophytes, en décomposant la matière organique d'origines animales ou végétales, produisent l'humus (Bouchet et *al.*, 2005 ; Senequier-Crozet et Canard, 2016).

### 2.2. Parasitisme

Le parasitisme se caractérise par la capacité d'un individu issu du règne Fungi, de tirer des éléments nutritifs provenant d'un autre organisme. Cette interaction se fait au détriment de l'organisme parasité, qui est alors victime de symptômes du fait de la présence du parasite (Senequier-Crozet et Canard, 2016).

Les champignons phytopathogènes, c'est à dire parasites des plantes vasculaires, sont considérés comme les microorganismes ayant le plus d'impact économique sur les cultures. On les trouve partout dans le monde, sur tous types de culture, et les dommages qu'ils causent peuvent mener à une perte totale de la production (Thomas, 2018).

### 2.3. Symbiose

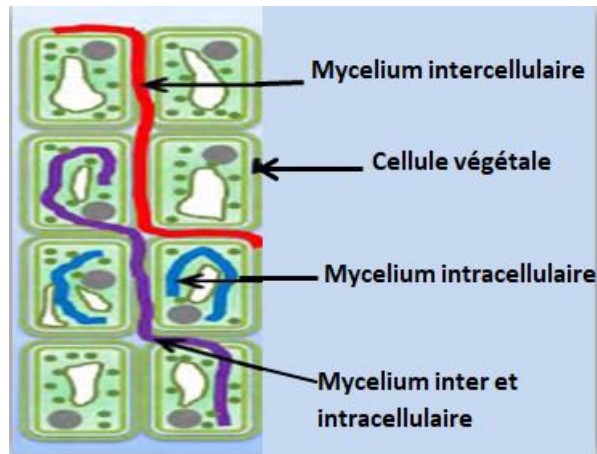
Le symbiotisme caractérise une relation durable, voire indispensable et mutuellement bénéfique entre au moins deux êtres vivants, appelés symbiotes. Un exemple de symbiotisme développé par les champignons est l'association mycorhizienne. Les champignons utilisent les éléments nutritifs carbonés provenant de la photosynthèse et en retour, participent à la nutrition hydrominérale de la plante (Senequier-Crozet et Canard, 2016). La symbiose des champignons avec d'autres êtres vivants est très ancienne ; c'est le cas des lichens et des mycorhizes avec ses différents types (Bouchet et *al.*, 2005).

### 3. Champignons endophytes

De Bary définit le terme endophyte comme toute infection asymptomatique d'une plante par un microorganisme. L'étymologie de ce mot provient du grec ancien : endo « dans », phyto « végétal », littéralement « à l'intérieur d'un végétal » (Sénéquier-Crozet et Canard, 2016). Les endophytes fongiques sont des microorganismes présents dans les tissus végétaux sains pendant au moins une étape de leur cycle de vie et ne provoquent aucune maladie ni n'exercent d'effets négatifs sur leurs hôtes (Gherbawy et Gashgari, 2013). Carroll (1986) a défini les endophytes comme des mutualistes qui colonisent les parties aériennes des tissus végétaux vivants et ne provoquent pas de symptômes de maladie, dont sont exclus les champignons pathogènes et les mycorhizes (Xiang et Liang-Dong, 2012).

Les champignons endophytes sont associés aux plantes depuis plus de 400 millions d'années, et ont été largement étudiés dans diverses zones géographiques et climatiques, par conséquent, les champignons endophytes, en tant que composant important des écosystèmes naturels, peuvent jouer un rôle clé dans le recyclage des matériaux et de l'énergie (Xiang et Liang-Dong, 2012). Ils sont omniprésents dans toutes les plantes, (Gherbawy et Gashgari, 2013). Les endophytes sont majoritairement issus du phylum Ascomycota ou de leurs champignons mitosporiques, ainsi que de certains taxons des Basidiomycota, Zygomycota et Oomycota qui peuvent produire diverses substances chimiques bioactives qui favorisent la croissance de l'hôte et la résistance au stress environnemental (Xiang et Liang-Dong, 2012)

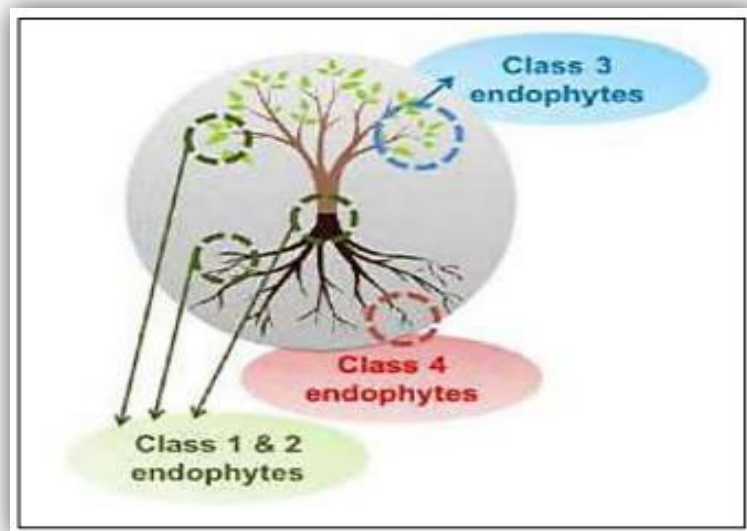
Les endophytes fongiques sont connus pour être une riche source de métabolites bioactifs, agissant comme agent de lutte biologique et procurent de nombreux effets bénéfiques à leur partenaire hôte en améliorant la survie de l'hôte contre les agents pathogènes fongiques (Gherbawy et Gashgari, 2013). Ils révèlent une large variation dans leur mode de transmission d'un hôte à l'autre et une transmission verticale stricte d'une génération à l'autre (Shahzad et Khan, 2018). Il a été rapporté que les endophytes fongiques transmis par les graines et appartenant au genre *Epichlöe*, bien étudiés, aident leurs plantes hôtes à stimuler la croissance et à atténuer le stress, directement ou indirectement (Shahzad et Khan, 2018). Ils se développent soit de façons intercellulaire ou intracellulaire (Figure 3).



**Figure 3.** Différents modèles de localisation des endophytes fongiques dans les tissus végétaux (Kusari et Spiteller, 2012).

### 3.1. Classification des champignons endophytes

La classification de ces microorganismes est basée sur la colonisation des tissus (Figure 4), leur diversité dans la plante, les bénéfices pour les plantes hôtes et le mode de transmission du champignon (transmission verticalement par les semences ou horizontalement par dissémination). Selon Rodriguez et *al.* (2009), les champignons endophytes peuvent être classés en deux groupes : les Clavicipitaceae (c-endophytes) et les Non Clavicipitaceae (NC-endophytes) (Tableau 1).



**Figure 4.** Classes de champignons endophytes selon la localisation des tissus colonisés (Kusari et Spiteller, 2012).

## Chapitre 1. Les Champignons

**Tableau 1 :** critères utilisés pour caractériser les classes des mycoendophytes (Rodriguez et al., 2009).

Critères	Clavicipitacées	Non-Clavicipitacées		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
<b>Gamme d'hôtes</b>	Restreinte	Vaste	vaste	Vaste
<b>Tissu(s) colonisé</b>	Pousses et rhizomes	Pousses et rhizomes	Pousses	Racines
<b>Colonisation au sein des plantes</b>	Extensive	Extensive	Limitée	Extensive
<b>Biodiversité au sein des plantes</b>	Faible	Faible	Elevé	Inconnue
<b>Transmission</b>	Verticale et Horizontale	Verticale et Horizontale	Horizontale	Horizontale
<b>Présentation de remise en forme</b>	HNA	HNA et HA	HNA	H NA

\*Les avantages non adaptés à l'habitat (NHA), tels que la tolérance à la sécheresse et l'amélioration de la croissance, sont courants chez les endophytes, quel que soit l'habitat d'origine.

\* Les avantages adaptés à l'habitat (HA) résultent de pressions sélectives spécifiques à l'habitat telles que le pH, la température et la salinité.

### 3.1.1. Endophytes clavicipitaceae

Les Clavicipitaceae (**classe 1**) sont des champignons apparentés phylogénétiquement appartenant aux Ascomycota colonisateurs des bourgeons et des rhizomes de Poacées, ils comprennent des espèces libres et symbiotiques associées à des insectes et des champignons (par exemple *Cordyceps spp.*) ou à des graminées, des joncs et des carex (par exemple *Balansia spp.*, *Epichloë spp.* et *Claviceps spp.*) (Rodriguez et al., 2009). endophytes sont issus d'ancêtres insectes parasites et se sont diversifiés grâce à une série de sauts d'hôtes entre les règnes (Rodriguez et al., 2009). Les endophytes fongiques systémiques (Clavicipitaceae) des graminées se reproduisent sexuellement lorsque le champignon forme des stromas et des

## Chapitre 1. Les Champignons

ascospores contagieuses, ou de manière asexuée par transmission verticale d'hyphes dans les graines et les plantules (Tintjer et al., 2008). Les endophytes de classe 1 augmentent fréquemment la biomasse végétale, confèrent une tolérance à la sécheresse et produisent des produits chimiques toxiques pour les animaux et diminuent l'herbivorie. Cependant, les bénéfices conférés par ces champignons semblent dépendre de l'espèce hôte, du génotype de l'hôte et des conditions environnementales (Rodriguez et al., 2009). Cette famille possède quatre genres qui sont capable d'endophytisme : *Balansia*, *Ephelis*, *Epichloë* et *Neotyphodium* (White et al., 2000). Les endophytes de classe 1 sont subdivisés en trois types selon leur mode de transmission et l'interaction établie avec l'hôte (Tableau 2).

Les types I et II sont constitués par le genre *Epichloë*. L'infection par le champignon, après une phase asymptomatique, peut finir par provoquer des symptômes délétères sur l'hôte, lorsque le champignon atteint sa forme de reproduction sexuée et interrompt la floraison de la plante. Cependant, le type III est constitué par le genre *Neotyphodium*. Il colonise son hôte de manière asymptomatique quel que soit le stade de développement de la plante. Souvent, le champignon est présent dans le primordia ce qui favorise sa transmission par la graine (Rodriguez et al., 2009).

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

		<b>Symptomatique (Type I)</b>	<b>Mixte (Type II)</b>	<b>Asymptomatique (Type III)</b>
<b>Champignon</b>	Reproduction Transmission Propagules	Sexuée Horizontale Ascospores	Les deux Les deux Les deux	Clonale Verticale Graines
<b>Hôte</b>	Reproduction Interaction Fréquence d'infection Taxonomie	Stérile/clonale Pathogène Faible-moderé  Toute la famille pooïdes de l'herber	Stérilité partielle Intermédiaire Intermédiaire  Graminées pooïdes C3	Sexuée Mutualiste Haut  Graminées C3

# Chapitre 1. Les Champignons

---

## 3.1.2. Endophytes non Clavicipitaceae

Ces champignons est un groupe très diversifié, représentant un assemblage polyphylétique de champignons principalement Ascomycota avec des rôles écologiques divers, ils ont été récupérés dans toutes les grandes lignées de plantes terrestres et dans tous les écosystèmes terrestres, y compris les agro-écosystèmes et les biomes allant des tropiques à la toundra (Rodriguez et *al.*, 2009), ils peuvent être différenciés en trois classes fonctionnelles basées sur les modèles de colonisation de l'hôte, le mécanisme de transmission entre les générations d'hôtes, les niveaux de biodiversité des plantes et la fonction écologique :

### 3.1.2.1. Endophytes de classe 2

Cette classe comprend une diversité d'espèces, tous membres du Dikarya (Ascomycota ou Basidiomycota). La plupart appartiennent aux Ascomycota, avec une minorité de Basidiomycota. Les membres des premiers sont limités à la Pezizomycotina, où ils représentent plusieurs classes. Les endophytes de classe 2 au sein des Basidiomycota comprennent quelques membres des Agaricomycotina et Pucciniomycotina (Rodriguez et *al.*, 2009).

Les champignons de cette classe se distinguent des autres endophytes non Clavicipitaceae car ils colonisent en générales les racines, les tiges et les feuilles ; sont capables de former des infections étendues au sein des plantes ; sont transmis via les téguments et/ou les rhizomes ; sont peu abondants dans la rhizosphère, ils peuvent par ailleurs se transmettre verticalement (Sénéquier-Crozet et Canard, 2016).

Un aspect unique des endophytes de classe 2 est leur capacité à conférer aux plantes hôtes une tolérance au stress spécifique à l'habitat (Rodriguez et *al.*, 2009). La première description détaillée d'un endophyte de classe 2 était un *Phoma sp.* dans *Calluna vulgaris* (Rodriguez et *al.*, 2009). Bien que décrit comme mycorhizien. Ils confèrent une tolérance à une variété de stress biotiques et abiotiques tels que les maladies, la sécheresse, la dessiccation, la chaleur et la salinité. Il semble que la plupart, sinon la totalité, des endophytes de classe 2 examinés à ce jour augmentent la biomasse des pousses et/ou des racines de l'hôte, probablement en raison de l'induction d'hormones végétales par l'hôte ou de la biosynthèse d'hormones végétales par les champignons (Rodriguez et *al.*, 2009).

## Chapitre 1. Les Champignons

---

Le cycle biologique des endophytes de classe 2 a été décrit pour plusieurs espèces. Ces champignons, comme tous les endophytes, colonisent les plantes via des structures d'infection telles que les appressoria ou par pénétration directe des tissus végétaux via les hyphes. La croissance à travers les tissus végétaux est principalement intercellulaire avec peu ou pas d'impact sur les cellules hôtes (Rodriguez et *al.*, 2009).

### 3.1.2.2. Endophytes de classe 3

Ils sont tous issus de Dikarya. Ils sont en majorité constitués d'Ascomycota, en particulier les Pezizomycotina (familles des Sordariomyceta, Dothideomyceta, Pezizomyceta, Leotiomyceta et Eurotiomyceta). On trouve également des Basidiomycota, plus souvent présents dans les tissus ligneux que dans les tissus foliaires (Sénéquier-Crozet et Canard, 2016), se distinguent sur la base de leur présence principalement ou exclusivement dans les tissus aériens ; transmission horizontale ; la formation d'infections hautement localisées, comprennent les champignons endophytes hyper divers associés aux feuilles des arbres tropicaux, ainsi de plantes non vasculaires, de plantes vasculaires sans pépins, de conifères et d'angiospermes ligneuses, boréales et arctiques/antarctiques (Rodriguez et *al.*, 2009).

Les endophytes de classe 3 se reproduisent par fragmentation des hyphes et/ou par production de spores sexuées ou asexuées sur des tissus morts ou sénescents. Webber (1981) a mis en évidence le rôle des endophytes de l'écorce dans la protection des arbres contre la maladie hollandaise de l'orme. Arnold et *al.* (2003) ont montré que divers assemblages d'endophytes diminuent la formation de lésions et la mort des feuilles causées par *Phytophthora sp.* dans *Theobroma cacao*. Il est possible que les endophytes de classe 3 jouent un rôle majeur dans l'interaction d'autres organismes avec les plantes. Par exemple, la récupération de champignons entomopathogènes en tant qu'endophytes (Rodriguez et *al.*, 2009).

### 3.1.2.3. Endophytes de classe 4

Les endophytes de classe 4 sont principalement des champignons Ascomycota conidiens ou stériles et qui forment des structures mélanisées telles que des hyphes inter et intracellulaires et des microsclérotés dans les racines, ils se retrouvent souvent dans les forêts boréales et tempérées associées aux fines racines des arbres et des arbustes, notamment des conifères. Ces champignons ne sont pas considérés comme pathogènes, car ils sont observés sur des racines fines et saines, ils sont présents dans le monde entier, sont répandus dans des

# Chapitre 1. Les Champignons

---

environnements très stressants et semblent omniprésents et abondants dans divers écosystèmes, la transmission est très probablement horizontale. La fragmentation mycélienne et la dispersion des conidies semblent être les moyens de transmission démontrés en laboratoire (Rodriguez et *al.*, 2009).

La colonisation commence par des hyphes superficiels qui forment un réseau lâche d'hyphes à la surface des racines. Les hyphes individuels se développent alors le long de l'axe principal de la racine et peuvent se développer entre les cellules corticales ainsi que dans les dépressions entre les cellules épidermiques. La colonisation peut également être intracellulaire sans provoquer de distorsion des racines de l'hôte, mais l'endophyte peut former des amas de cellules à parois épaisses et serrées au sein des cellules corticales, collectivement appelées « masse pseudo-parenchymatique épaisse, sclérotée, microsclérotée ou corps sclérotiaux ». Selon Mandyam et Jumpponen (2005) en plus de stimuler la croissance de leurs hôtes, les champignons de ce groupe peuvent aussi les protéger contre les microorganismes pathogènes en diminuant le taux de carbone dans la rhizosphère, et que des niveaux élevés de mélanine pourraient potentiellement être impliqués dans la production de métabolites secondaires toxiques pour les herbivores (Rodriguez et *al.*, 2009).

## 3.2. Mode de transmission des champignons endophytes

La transmission à de nouveaux hôtes est un élément majeur de la condition physique du parasite « parasite » est utilisé ici dans le sens de dépendance nutritionnelle. Outre la durée de l'infection, la transmission détermine le nombre de nouvelles infections initiées par un parasite individuel et le niveau d'infection dans les populations hôtes (Tintjer et *al.*, 2008).

Le mode de transmission est le moyen par lequel le champignon endophyte peut coloniser un autre individu végétal à partir de l'hôte initial. Les champignons endophytes peuvent se propager d'un hôte à un autre par le biais de deux mécanismes distincts. D'une part, la transmission verticale s'effectue de manière ascendante, de la plante parent à sa progéniture, assurant ainsi la continuité de l'infection de génération en génération. D'autre part, la transmission horizontale se produit grâce à des facteurs environnementaux, permettant aux champignons endophytes de se propager entre différentes plantes indépendamment des liens génétiques, enrichissant ainsi la diversité des hôtes infectés (Tintjer et *al.*, 2008 ; Shahzad et *al.*, 2018).

# Chapitre 1. Les Champignons

---

## 3.2.1. Transmission verticale

La transmission verticale des endophytes se fait de plante mère à la progéniture, via les graines (Hodgson et *al.*, 2014). Les endophytes transmis par les graines présentent un grand intérêt en raison de leur transmission verticale (Shahzad et Khan, 2018). Elle se caractérise par la colonisation d'un nouvel hôte progéniture de l'hôte primaire. Elle procède de la pénétration d'un hyphes de champignon endophyte dans une graine, un grain de pollen (Sénéquier-Crozet et Canard, 2016). Les endophytes fongiques transmis par les graines, bien étudiés et appartenant au genre *Epichlöe*, aideraient principalement leurs plantes hôtes à stimuler la croissance et à atténuer le stress, soit directement ou indirectement, donc cette transmission par les graines revêtent une importance particulière car ils sont transmis entre les générations successives de plantes par transmission verticale, assurant ainsi leur présence dans la prochaine génération de semis (Shahzad et Khan, 2018).

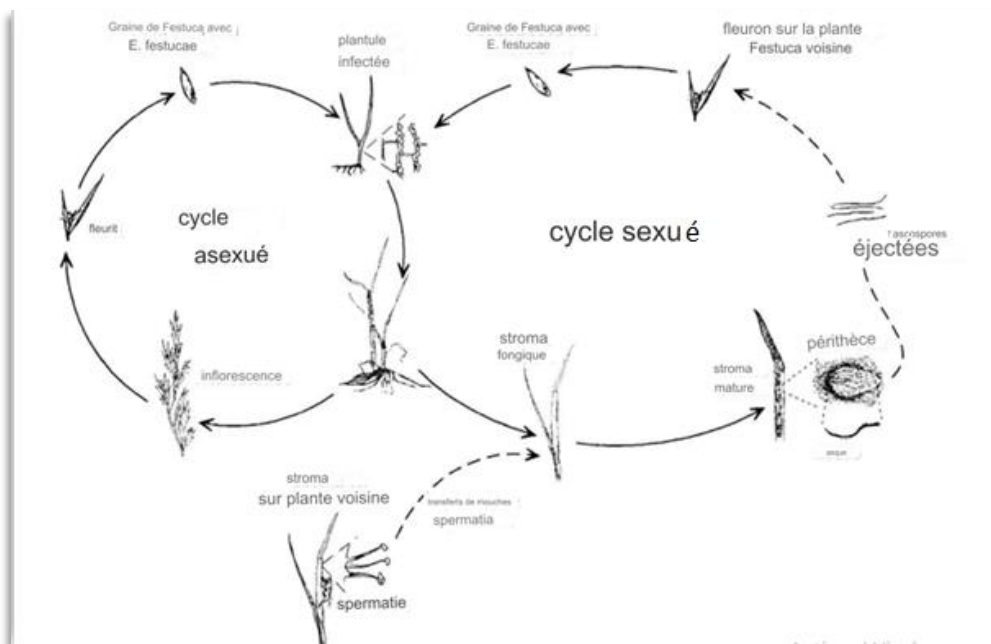
La transmission verticale par la graine a principalement été observée chez quelques espèces de champignons endophytes de la famille des Clavicipitaceae qui colonisent les Poaceae, les Cypéraceae et les Juncaceae. Nous verrons cependant qu'elle existe chez d'autres espèces d'endophytes ayant été observés comme pouvant coloniser plusieurs espèces non graminoides (Sénéquier-Crozet et Canard, 2016). En général, la transmission verticale devrait favoriser une virulence réduite par rapport à la transmission horizontale (Tintjer et *al.*, 2008). (Figure 5).

## 3.2.2. Transmission horizontale

La plupart des champignons endophytes sont transmis horizontalement et par conséquent, l'environnement local et la situation géographique influence grandement la composition de la communauté endophyte (Christian et Sullivan, 2016). Le nombre de stroma par plante fournit une estimation de la transmission horizontale potentielle par les ascospores, (Tintjer et *al.*, 2008). Elle se caractérise par l'envahissement d'un nouvel hôte qui, la plupart du temps, ne partage aucun lien significatif avec l'hôte primaire. Ce processus résulte de la dispersion de spores par un vecteur spécifique (insecte, gouttes de pluie, vent et sol). Une fois germées, les hyphes pénètrent le nouvel hôte, soit par les stomates, soit en traversant directement l'épiderme.

# Chapitre 1. Les Champignons

Ce mode de transmission prédomine chez la plupart des espèces d'endophytes, qui colonisent une variété de végétaux. Les spores peuvent émaner de la reproduction sexuée ou asexuée du champignon (Sénéquier-Crozet et Canard, 2016) (Figure 5).



**Figure 5.** Modes de transmission observés chez les champignons endophytes : exemple du cycle de vie du champignon endophyte *Epichloë festucae* colonisant la plante *Festuca arundinaceae*.

Ici, le cycle asexué correspond à une transmission verticale : le mycélium du champignon endophyte présent dans l'hôte pénètre dans la graine portée par la plante. La graine est disséminée, germe et forme un nouvel individu végétal, progéniture de l'hôte primaire qui est colonisé à son tour par le champignon. Le cycle sexué correspond à une transmission horizontale : le champignon endophyte présent dans l'hôte, après plasmogamie et caryogamie, forme un stroma sur lequel se développent les organes de reproduction sexuée. Les ascospores sont dispersées et permettent la colonisation de l'inflorescence d'une plante voisine. Le mycélium passe dans la graine nouvellement formée qui va être disséminée et germer (Clay et Schardl, 2002).

## 4. Champignons transmis par les semences

Les champignons transmis par les semences sont de nature très variées certains sont de véritables parasites d'autres ne sont que des parasites secondaires ou opportunistes, pouvant même parfois se comporter en saprophytes (Rémi, 1997). Les genres *Fusarium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus* et *Cladosporium* et des champignons dits « spécifiques » présents au niveau des semences d'une espèce adventice donnée. La majorité des

## Chapitre 1. Les Champignons

---

champignons endophytes associés au stock semencier proviennent des semences adventices avant que celles-ci n'aient été disséminées. Lors de la dissémination, les endophytes restent conservés à l'intérieur des semences et peuvent être transmis à la plantule émergente pendant la germination. La plupart des champignons endophytes sont originaires de la plante-mère qui les a transmis aux embryons des futures semences pendant que celles-ci se formaient. Certains endophytes peuvent également provenir des grains de pollen et sont transmis à la future semence durant la fécondation (Liu-Ji, 2016).

### 5. Importances des champignons endophytes

En qualité d'endophyte, le champignon peut croître à l'intérieur d'une plante, établissant ainsi une relation mutuellement bénéfique. Cette symbiose favorise le champignon en lui procurant de l'énergie, des nutriments et une protection, se traduisant par une croissance accrue et une survie améliorée des plantes hôtes spécifiques. La présence de microorganismes endophytes dans la plante hôte est dans la plupart des cas bénéfique pour la plante. Les métabolites secondaires produits par les endophytes fournissent une variété d'améliorations de la condition physique telles qu'une résistance accrue aux herbivores, au parasitisme, à la sécheresse, ainsi qu'à l'amélioration de la croissance (Firakova et al., 2007).

#### 5.1. Tolérance des plantes aux stress biotiques

Les facteurs biotiques comprennent les herbivores (animaux et insectes), les nématodes et les agents pathogènes (champignons, bactéries et virus). Les herbivores peuvent influencer l'environnement de la canopée en modifiant les conditions d'éclairage, la dynamique du cycle des nutriments et l'utilisation de l'eau (Mlinowski et Belesky, 2000). En effet, l'infection endophyte stimule la production d'un ensemble d'alcaloïdes bio-protecteurs et de métabolites secondaires non alcaloïdes dans l'herbe hôte. Ces métabolites peuvent dissuader les herbivores du bétail et des insectes. Les endophytes peuvent indirectement réduire les maladies virales transmises par les insectes dans les graminées. Les graminées infectées par des endophytes sont plus résistantes que les graminées non infectées aux nématodes du sol (Mlinowski et Belesky, 2000). Une revue critique de la littérature suggère que l'action bénéfique de ces endophytes repose sur une activité antimicrobienne et insecticide directe due à la production d'alcaloïdes (Waller et al, 2005). Le champignon *Aspergillus oryzae* produit de fortes concentrations de caféine, ce qui rend la plante

# Chapitre 1. Les Champignons

---

*Theobroma cacao* L., plus tolérante aux insectes et aux agents pathogènes (Sun et *al.*, 2018). Le mycoparasitisme, compétition pour les nutriments clés et les sites de colonisation, production d'antibiotiques ou stimulation des mécanismes de défense des plantes sont les mécanismes utilisés par les endophytes pour inhiber les microorganismes pathogènes (Cao et *al.*, 2009).

## 5.2. Tolérance des plantes aux stress abiotiques

La tolérance au stress dû à la sécheresse est l'attribut le plus soigneusement documenté de la tolérance au stress abiotique chez les graminées infectées par des endophytes. Le stress dû à la sécheresse dans les environnements tempérés résulte généralement d'un déficit hydrique dans le sol et de températures élevées, a un impact négatif sur le taux de croissance des plantes, taux de germination, la répression de la photosynthèse. Le déficit hydrique induit toute une série d'adaptations chez les plantes qui favorisent leur croissance ou leur survie. Ces adaptations comprennent des mécanismes d'évitement de la sécheresse, de tolérance et de récupération après la sécheresse. Les endophytes peuvent induire certaines adaptations et mécanismes de tolérance au stress hydrique chez les graminées de saison fraîche et assurer une meilleure survie que leurs congénères non infectés (Mlinowski et Belesky, 2000).

Malinowski et *al.* (1999) ont montré que l'infection par les endophytes augmentait la longueur des poils absorbants et diminuait le diamètre des racines chez la fétuque élevée. Ces caractéristiques pourraient augmenter la surface des racines pour l'acquisition d'eau et de minéraux. Étant donné que les racines sont les premiers organes végétaux à détecter l'épuisement de l'eau dans le sol, des recherches plus approfondies sur l'activité des racines des graminées infectées par des endophytes devraient clarifier l'hypothèse d'un système de signalisation du stress hydrique existant dans les graminées infectées par des endophytes.

Il a été démontré que la présence d'endophytes dans les pousses affecte le comportement stomatique de la fétuque. La conductance stomatique des fétuques infectées par des endophytes (*Festuca spp.*) soumises à un stress hydrique a diminué plus tôt et plus rapidement que celle des plantes non infectées, ce qui suggère une fermeture stomatique plus rapide, le mécanisme direct de ce phénomène n'est pas connu. Un signal biochimique de l'endophyte ou un statut hormonal altéré chez l'hôte peut prédisposer les limbes des feuilles à réagir rapidement aux premiers stades d'un déficit hydrique. L'endophyte, en tant que

## Chapitre 1. Les Champignons

---

composant xénobiotique d'une graminée, peut induire un stress interne permanent dans la graminée hôte. Cela peut préconditionner ou sensibiliser la plante à la sécheresse et à d'autres stress, lui permettant ainsi de présenter des réponses adaptatives (telles que la fermeture des stomates) plus tôt que ses congénères non infectés (Mlinowski et Belesky, 2000).

Les endophytes peuvent aussi améliorer la photosynthèse, c'est le cas d'*Agave victoria-reginae* qui croit en présence du champignon endophyte *Fusarium oxysporium*. En effet la chlorophylle totale et la teneur en sucres augmentent, entraînant une amélioration du rendement de la photosynthèse des plantes par rapport aux autres dépourvues de l'endophyte (Obledo et al., 2003).

Il a été démontré aussi que l'endophyte *Piriformospora indica* protège l'orge du stress salin; l'exposition des plantes infectées pendant deux semaines au sel modéré (100 mM de NaCl) a permis d'obtenir une plus grande biomasse que celle des plantes contrôlées sous les mêmes conditions, l'orge non infecté a même montré une augmentation de chlorose des feuilles et une croissance réduite des semis par rapport à l'orge infecté (Waller et al., 2005).

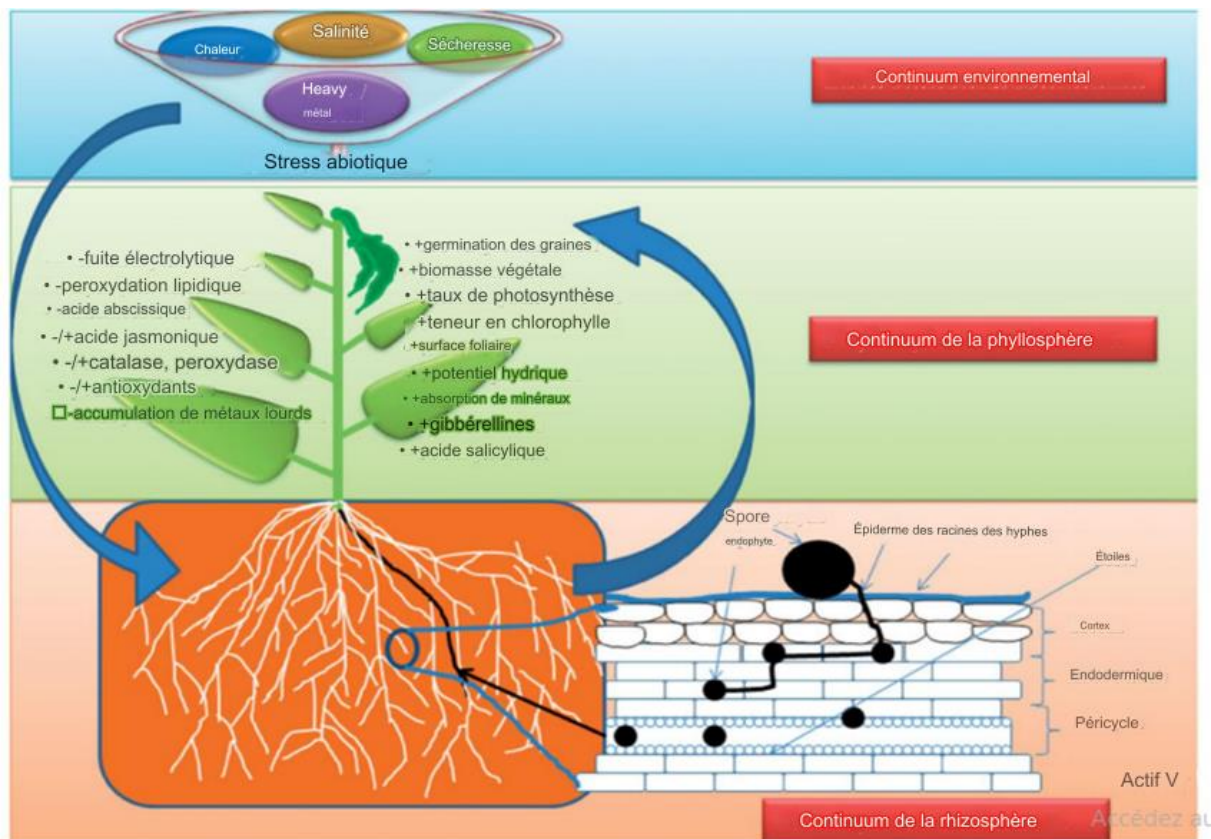
### 5.3. Promotion de la croissance et de la nutrition

Les effets bénéfiques des endophytes sur la croissance des plantes sont importants pour les écosystèmes agricoles car ils réduisent le besoin d'engrais et diminuent la pollution des sols et de l'eau tout en compensant les perturbations environnementales. Les endophytes peuvent réguler activement ou passivement la croissance des plantes par la solubilisation du phosphate, l'augmentation de l'absorption du phosphate et des phytohormones végétales telles que l'auxine, l'acide abscissique et les gibbérellines (GA) : sont des hormones végétales omniprésentes qui déclenchent diverses fonctions métaboliques nécessaires à la croissance d'une plante, comme la germination des graines, l'élongation de la tige, l'expression sexuelle, la floraison, la formation de fruits et la sénescence. *Piriformospora indica*, un champignon Basidiomycète récupéré de la rhizosphère de *Prosopis juliflora* et *Zizyphus nummularia*, est connu pour favoriser la croissance de diverses plantes/cultures) (Khan et al., 2015).

Le *Piriformospora indica* colonise les racines des plantes et augmente la biomasse des plantes Monocotylédones et Eudicotylédones, il a amélioré le rendement en graines, la germination et la maturation, tout en améliorant la tolérance au stress abiotique chez *Arabidopsis* (Khan et al., 2015). La figure 6 montre que l'endophytes mutualistes peut

# Chapitre 1. Les Champignons

augmenter considérablement la croissance et le rendement des plantes lors du changement d'environnements.



**Figure 6.** Continuum environnemental et interaction endophytique avec une plante lors de conditions de stress abiotique (Khan *et al.*, 2015).

Le continuum de la rhizosphère offre un sanctuaire au microbe pour le transport, la reproduction et l'accessibilité aux nutriments via les racines des plantes. Une fois la transition réussie et le mutualisme établi, celui-ci perdure pendant des générations tout au long de la vie de l'hôte. La plante offre un refuge à l'endophyte tout en lui facilitant l'alimentation. En retour, il étend divers avantages à la plante hôte, allant d'un afflux de nutriments à la régulation des produits biochimiques essentiels après une exposition à des stress abiotiques. Ainsi, les effets sur le continuum environnemental sont atténués en favorisant le métabolisme de la phyllosphère impliquant la rhizosphère. Les « + », « - » et « +/- » dans la phyllosphère montrent respectivement l'augmentation, la diminution et la modification des activités de divers processus au cours du développement de la plante, dans des conditions de stress et d'association endophytique (Khan *et al.*, 2015).

### 5.4. Source de produits naturels bioactifs

Les champignons endophytes sont considérés comme un important réservoir de nouveaux métabolites secondaires bioactifs. Ces microorganismes produisent le plus grand nombre de métabolites secondaires par rapport aux autres catégories de microorganismes (Zhang et *al.*, 2006), ainsi qu'une grande diversité structurale comprenant des alcaloïdes (amines, amides...), peptides, stéroïdes, terpénoïdes, phénols, quinones, composés aliphatiques, flavonoïdes (Andéol et *al.*, 2016).

Ces substances naturelles produites par les champignons endophytes possèdent un large spectre d'activité biologique (Zhang et *al.*, 2006), comprenant des composés antibiotiques, antifongiques, antiviraux, immunosuppresseurs, agents anticancéreux, antioxydants, insecticides et autres substances biologiquement actives (Strobel et *al.*, 2004).

## Chapitre2. Les Céréales

---

## Chapitre 2. Les Céréales

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement (Djermoun, 2009). Elles sont des espèces généralement cultivées pour leur grain, elles fournissent les éléments indispensables à la nourriture, soit directement par leurs grains, leurs apports caloriques, soit indirectement par les espèces fourragères apportant, par le biais de l'animal, les protéines dont nous avons besoin (Labdelli, 2015).

La plupart des céréales appartiennent à la famille des Poacées. Ce sont : le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet et le sorgho. Les unes appartiennent à la sous-famille des Festucoïdées: le blé, l'orge, l'avoine et le seigle; les autres à la sous-famille des Panicoïdées : le maïs, le riz, le sorgho et le millet (Nedjah, 2015) (Tableau 3). Les Poacées sont des plantes Monocotylédones et herbacées et très rarement ligneuses (bambou). Une des particularités de cette famille est la multiplication végétative par tallage (Crémer, 2014).

Les céréales, représentent 45% des apports énergétiques dans l'alimentation humaine, elles ont joués un rôle fondamental dans l'émergence des civilisations. Trois groupes majeurs de céréales, constituant 75% de la consommation mondiale, ont façonné les bases alimentaires de l'humanité. Le premier ensemble, comprenant le blé, l'orge, le seigle et l'avoine, le deuxième ensemble majeur se compose du maïs et le troisième ensemble le riz (Clerget, 2011).

**Tableau 3.** Taxonomie des céréales (Feillet, 2000).

Famille	Sous-famille	Tribu	Genre	Espèce
Poaceae	Festucoïdeae	Triticeae	<i>Triticum</i>	Blé tendre Blé dur
			<i>Secale</i>	Seigle
			<i>Hordeum</i>	Orge
		Aveneae	<i>Avena</i>	Avoine
	Panicoïdeae	Oryzeae	<i>Oryza</i>	Riz
		Tripsaceae	<i>Zea</i>	Maïs
		Andropogoneae	<i>Sorghum</i>	Sorgho

### 1. Les céréales en Algérie

Les céréales constituent un produit aussi vital que stratégique en Algérie où le mode alimentaire est basé essentiellement sur leur consommation (essentiellement le blé), sous toutes les formes : pain, pâtes alimentaires, couscous, galettes, etc.... D'après Padilla (2003), les céréales constituaient 54% des apports énergétiques et 62% des apports protéiniques journaliers dans le modèle de consommation alimentaire algérien. En 2005, selon les estimations du FAO (Food and Agriculture Organisation), la consommation céréalière

## Chapitre 2. Les Céréales

---

moyenne directe par habitant était de l'ordre de 229,75 kg/an par personne (Chabane et Bussard, 2012).

Les hauts niveaux de consommation céréalière sont le résultat d'une forte croissance de la demande, liée essentiellement aux changements des habitudes alimentaires, à l'élévation des niveaux de vie et à l'important exode rural qu'a connu le pays depuis les années 1970, mais surtout, c'est le fruit d'un soutien de l'état aux prix à la consommation. En effet, la demande des céréales en Algérie a été multipliée par 2 en espace d'un demi-siècle, en particulier pour le blé. La population algérienne a consommé en 2011 plus de 1,4% de la production mondiale du blé. Les statistiques tablent sur une consommation globale en blé de l'ordre de 8,85 millions de tonnes en 2012, classant ainsi l'Algérie parmi les 10 premiers pays consommateurs du blé au niveau mondial (International Maize and Wheat Improvement Center, World wheat overview and outlook)(Chabane et Bussard,2012).

### **2. Cycle du développement des céréales**

Qu'elles soient vivaces ou annuelles toutes les graminées ont un rythme de végétation et de fructification annuel. Dans ce cycle une série d'étapes séparés par des stades repères, permettent de diviser en deux périodes la vie des céréales (Djermoun,2009)(Figure 7) :

- La période végétative, durant laquelle la plante ne différencie que des feuilles et des racines.
- La période reproductrice, dominée par l'apparition de l'épi et la formation du grain.

#### **2.1. Période végétative**

##### **2.1.1. Germination et la levée (la phase semis-levée)**

Toutes les semences mises en terre ne peuvent germer que si deux sortes de conditions sont réunies :

- La graine doit être capable de germer (vivante), c'est-à-dire avoir une faculté germinative non encore altérée par un âge trop élevé (cette faculté se maintient pendant 3 à 4 ans).
- La graine doit aussi être mûre physiologiquement.

La coléorhize s'épaissit en une masse blanche qui brise le tégument de la graine au niveau du germe. Il en sort bientôt une, puis trois, puis cinq racines primaires qui se garnissent de poils absorbants. En même temps, la coléoptile, étui de la première feuille, s'allonge vers la surface, au niveau de laquelle il se laisse percer par la première feuille. A ce stade « une

## Chapitre 2. Les Céréales

---

feuille », une coupe de la plantule au niveau du grain montre déjà deux entrenœuds courts, le second portant le bourgeon végétatif d'où va partir les autres feuilles.

La durée de la germination varie avec la température ; bien que le blé puisse germer dès que la température dépasse 0°C (on dit que le zéro de végétation, du blé est à 0°C), 8 à 10 jours sont nécessaires au minimum pour les semis tardifs d'hivers (Djermoun, 2009).

### **2.1.2. Tallage (la phase levée-début tallage)**

La première feuille fonctionnelle s'allonge, puis la deuxième, jusqu'à la quatrième toutes en position alterne. Celles-ci, imbriquées les unes contre les autres, partant toutes une zone proche de la surface du sol appelée plateau de tallage, constituée par l'empilement d'un certain nombre d'entre nœuds et reliées à la semence par le rhizome. Il est relié au grain par une petite tige ou rhizome constitué de deux entre-nœuds : lamésocotyle et l'épicotyle (Kouadria, 2019).

### **2.2. Période reproductrice : la formation et la croissance de l'épi**

#### **2.2.1. Stade A : ébauche de l'épi, (avant la fin du tallage) (Stades de JONARD).**

Observé à la loupe sur un blé au stade 4 feuilles, le bourgeon terminal du maître brin ou bien d'une talle montre un apex court dont la base ne différencie que des ébauches de feuilles. Une coupe du plateau faite plus tard, le maître brin ayant alors 5 à 6 feuilles, fait apparaître un changement net :

- Une série de stries claires et sombres, nettement visible à l'œil nu, indiquent le début d'allongement des entre-nœuds. Mais cet allongement restera très faible durant les jours qui suivront.
- Le bourgeon terminal ou apex cesse de former des ébauches de feuilles : il s'est allongé et commence se segmenter en rides parallèles qui sont l'ébauche des futures épillets. Cette modification n'est visible qu'à l'aide d'une forte loupe, ou au microscope.
- On nomme le stade A, le moment où ces deux indices deviennent visibles. Rien cependant ne peut, de l'extérieur, signaler ce stade, sinon un léger ralentissement de la croissance de la céréale.

Le stade A est une transition essentielle dans la vie des céréales : il marque la transformation du bourgeon végétatif qui jusque-là ne formait que des ébauches de feuilles en bourgeon floral (c'est l'initiation florale). Au cours de cette période l'ébauche de l'épi

## Chapitre 2. Les Céréales

---

continue à se différencier : les rides se transforment en ébauches d'épillets, à la base desquels apparaissent bientôt des ébauches de glumes (Djermoun,2009).

### **2.2.2. Stade B, marque la fin du tallage et le début de la montaison**

Au moment où, sur le jeune épi, s'amorce la formation des glumes, la croissance des talles est stoppée. Une coupe du plateau de tallage à ce stade montre :

- Des entre-nœuds nettement écartés.
- Sur le jeune épi, l'ébauche des glumes (Djermoun,2009).

### **2.2.3. Montaison et le gonflement**

Sitôt le stade B, les entre-nœuds d'un certain nombre de talles herbacées s'allongent très rapidement, tandis que sur le dernier nœud s'élève l'épi continuant à se former. Les talles-épisodes entrent alors en concurrence avec celles qui n'ont pu monter faute de nourriture : ces dernières régressent et meurent (Djermoun,2009).

### **2.2.4. Epiaison et la fécondation**

C'est au cours de cette période que s'achève la formation des organes floraux et que s'effectue la fécondation, sans que rien ne vienne signaler cette pollinisation interne. Ce n'est qu'ensuite que le filet de chaque étamine s'allongera, faisant apparaître les anthères hors des glumelles : c'est la floraison, ou plutôt la « défloraison » (Djermoun,2009).

### **2.2.5. Grossissement du grain**

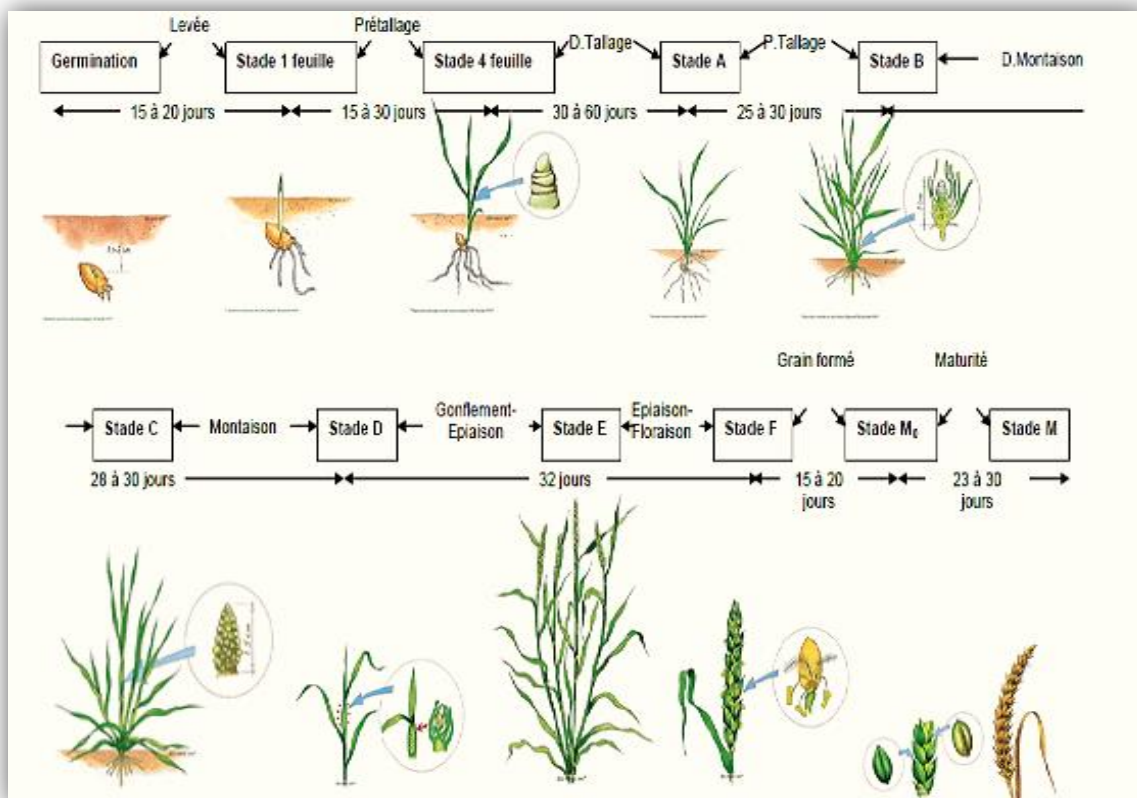
Il s'agit d'une phase d'intense activité de la photosynthèse. Comme il n'a plus de croissance des feuilles et des tiges, la matière sèche synthétisée dans les feuilles est entièrement destinée à l'accumulation des réserves. A la fin de cette courte phase 40 à 50% seulement de ses réserves se sont accumulées dans le grain. Celui-ci bien qu'ayant la taille définitive, est mou et encore vert. C'est le stade « grain laiteux ».L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles, qui commencent bientôt à jaunir (Djermoun,2009).

## **2.3. Maturation du grain**

Au cours de cette dernière période, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substances de réserves. Mazouz (2006) a mentionné que cette phase se compose de trois étapes successives :

## Chapitre 2. Les Céréales

- La première étape est définie comme une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert, elle se termine par le stade laiteux (le grain s'écrase facilement en laissant apparaître un liquide blanchâtre).
- La seconde étape concerne l'accumulation des assimilats, le poids frais des graines continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue et se termine par le stade pâteux où le grain s'écrase en formant une pâte.
- La dernière période est qualifiée de phase de dessiccation, le grain devient dur et de couleur jaunâtre. C'est le stade de la maturation physiologique. La période s'achève par la phase de dessèchement du grain qui perd son humidité pour atteindre son poids sec final (Kouadria, 2019).



**Figure 7.** Différents stades de développement des céréales (Kouadria, 2019).

### 3. Le blé

Le blé est une céréale à paille, Il s'agit d'un produit de base pour l'alimentation humaine et animale (Feillet, 2000). Historiquement c'est une des premières céréales cultivées dans le monde. Au point de vue quantitatif, c'est la troisième céréale la plus cultivée avec environ 600 millions de tonnes par année (Clerget, 2011).

## Chapitre 2. Les Céréales

Le blé est une Monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Poacées. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) (Figure 8). D'après la classification génétique de blé, il existe de nombreuses autres espèces de *Triticum* qui se différencient par leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génome AA ; blés tétraploïdes : génomes AA et BB ; blés hexaploïdes : génomes AA, BB et DD) (Tableau 4), et par leur nombre de chromosomes (14, 28 ou 42). Le blé tendre possède les trois génomes AA, BB et DD, constitués chacun de sept paires de chromosomes homéologues numérotés de 1 à 7, soit au total 42 chromosomes ; le blé dur ne contient que les deux génomes AA et BB et 28 chromosomes (Feillet, 2000) (Figure 8).

**Tableau 4.** Classification génétique des *Triticum* (Feillet, 2000).

Forme sauvage	Forme cultivée	Nom commun	Nombre de Chromosome (2n)	Nature des génomes
<i>T. boeoticum</i>	<i>T. Monococcum</i>	Engrain	14	AA
<i>T. urartu</i>			14	AA
<i>T. dicoccoides</i>	<i>T. dicoccum</i>	Blé poulard	28	AA BB
<i>T. durum</i>	Blé dur	28	AA BB	
	<i>T. polonicum</i>	Blé de pologne	28	AA BB
<i>T. turgidum</i>		28	AA BB	
<i>T. araraticum</i>		28	AA BB	
T. mon × T. spe × As <sup>2</sup>	<i>T. aestivum</i>	Blé tendre	42	AA BB DD
(hypothétique)	<i>T. spelta</i>	Epeautre	42	AA BB DD
<i>T. sphaerococcum</i>	Blé indien nain	42	AA BB DD	
<i>T. compactum</i>	Blé club	42	AA BB DD	
(1) <i>T</i> = <i>Triticum</i> ; (2) <i>T. Monococcum</i> × <i>T. Speltoïdes</i> × <i>Aegilops squarrosa</i> .				

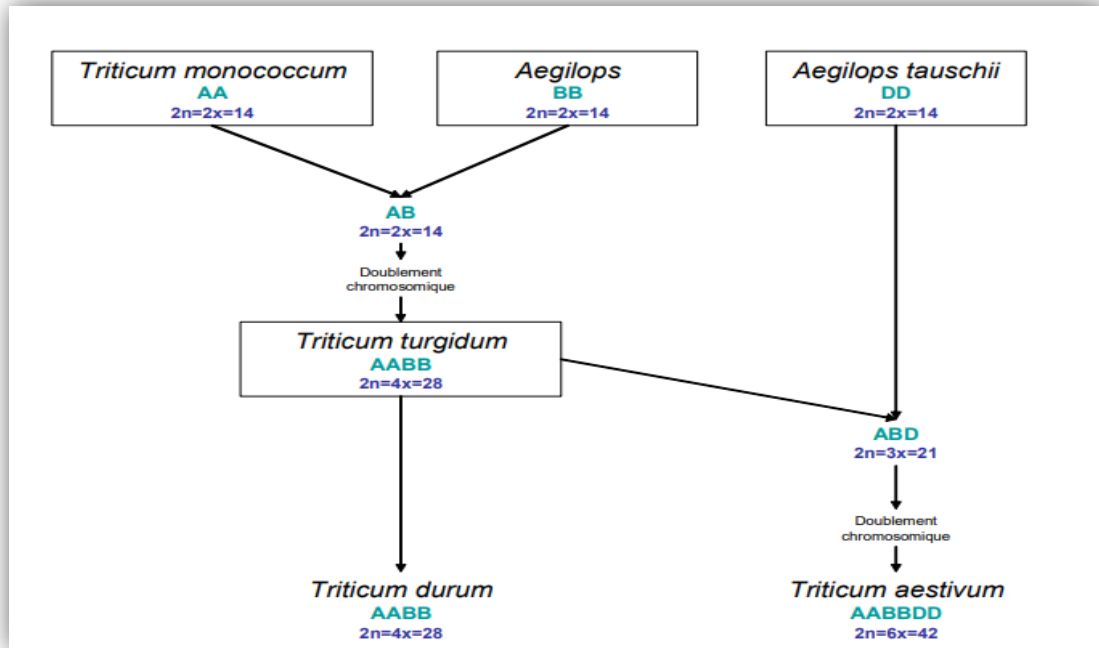


Figure 8. Origine génétique du blé dur et tendre (Debiton, 2010).

### 3.1. Classification botanique du blé

Selon la classification d'APG III (2009), le blé se classe de manière suivante :

**Embranchement :** Phanérogames

**Sous- Embranchement :** Angiospermes

**Division :** Magnoliophyta

**Classe :** Liliopsida (Monocotylédones)

**Ordre :** Poales (Glumiflorale)

**Famille :** Poaceae (Graminées)

**Genre :** *Triticum*

**Espèces :** (*T. durum* Desf.), (*T. aestivum* Desf.)

#### 3.1.1. Blé dur

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est une espèce allo tétraploïde ( $2n = 28$ , AABB) qui a pour origine l'hybridation suivie par un doublement chromosomique entre *Triticum urartu* (génome AA) et une espèce voisine de l'*Aegilops* (Feillet, 2000) (Figure 8).

## Chapitre 2. Les Céréales

---

Le Moyen Orient est le centre générateur du blé dur, où il s'est différencié dans trois régions : le bassin occidental de la méditerranée, le sud de la Russie et le Proche Orient (Syrie et nord de la Palestine)(Benmounah, 2021).

### 3.1.2. Le blé tendre

Le blé tendre d'un point de vue phylogénétique est issu de deux hybridations interspécifiques suivi d'un doublement chromosomique (Figure8), Le croisement entre *Triticum monococcum* (A) et un *Aegilops* (B) a donné un individu de structure génomique (AB) avec 14 chromosomes. Après doublement chromosomique est apparu *Triticum turgidum*ssp. *dicoccoides* (AA BB), ancêtre du blé dur. Le second croisement interspécifique a eu lieu entre *Triticum turgidum*ssp. *dicoccoides* et *Aegilops tauschii* (D) ce qui a donné un individu (ABD) possédant 21 chromosomes. Ce dernier a lui aussi subi un doublement chromosomique (AA BB DD) et est l'ancêtre de *Triticum aestivum*(Figure8) (Debiton, 2010).

### 3.2. Description de la plante

C'est une espèce autogame de jour long, le système racinaire est de type fasciculé, puissant et profond, au cours du développement de la plante il y'a formation de deux système racinaire :

- **Système primaire (racines séminales)** : seul fonctionnel de la levée au début du tallage. Ces racines sont d'origine embryonnaire. Ce système est constitué d'une racine principale et deux paires de racines latérales, soit cinq racines ; éventuellement une sixième racine qui peut se développer. Les racines de ce système sont au nombre de six, rarement sept (Kouadria, 2019). Ils sont remplacés par un système de racines adventices (naissent sur la tige) qui assureront la nutrition et le développement de la plante (Benmounah, 2021).
- **Système adventif (racines secondaires)** : c'est un système de racines coronaires ou système de racines de tallage. Il se forme dès le tallage et se substitue parallèlement au système séminal. Il est de type fasciculé bien que moins puissant. Les racines adventives se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (Kouadria, 2019). Peut être assez développé, s'enfonçant à des profondeurs atteignant jusqu'à deux mètres. Il apporte les éléments nutritifs à la plante (Benmounah, 2021).

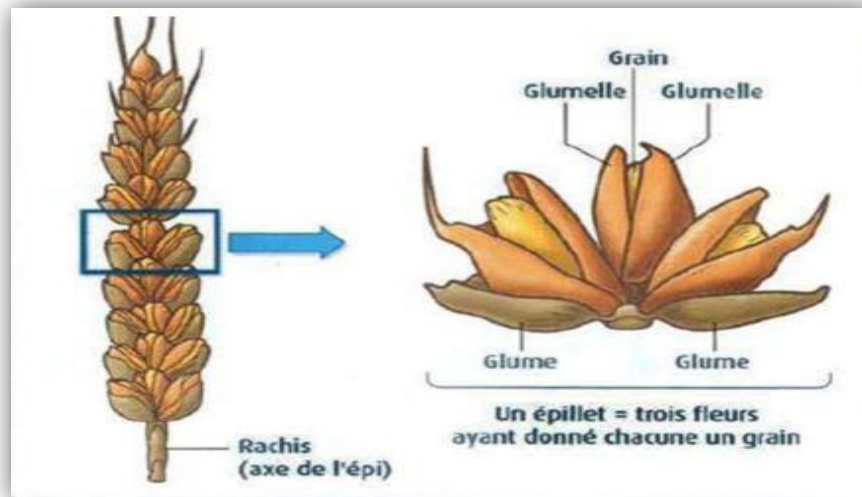
## Chapitre 2. Les Céréales

Le système aérien est formé des ramifications appelé « talles » partant du plateau de tallage, chaque talle après développement forme une tige (chaume) cylindrique formée d'entre nœuds séparés par des nœuds (Benmounah, 2021). Les feuilles ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe, et formé deux parties : La partie inférieure entourant la jeune pousse ou la tige. La partie supérieure en forme de la lame (limbe). Les gaines sont attachés au niveau nœuds et sont emboîtées les unes dans les autres au stade jeune, elles forment un tube cylindrique entourant la tige, Au cours du cycle végétatif du blé, les feuilles prennent un aspect vert jaunâtre, vert foncé ou vert franc (Layeb, 2018) (Figure 9).



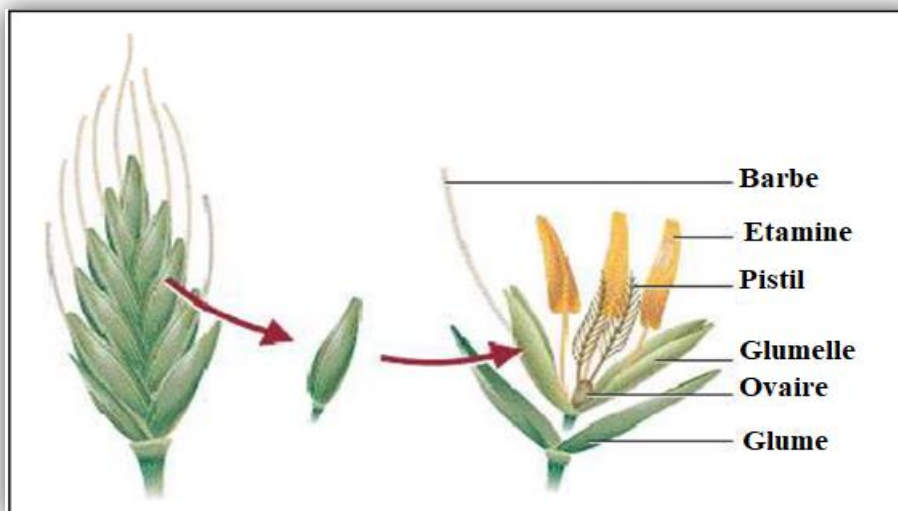
**Figure 9.** Morphologie des différentes parties de la plante de blé (Fares et *al.*, 2017).

L'inflorescence du blé est un épi (Figure 10) composé d'un rachis sur lequel sont insérés les épillets (Figure 11), chaque épillet porte 2 à 4 petites fleurs hermaphrodites (Benmounah, 2021).



**Figure 10.** Inflorescence du blé (Guckert, 2018)

L'épi il est issu du bourgeon terminal du plateau de tallage. Dès la fin du tallage commence à s'élever dans la tige, à mesure que celle-ci s'allonge, ce qui constitue la montaison. Lorsque le développement de la tige est terminé, l'épi apparaît enveloppé dans la dernière feuille (Layeb, 2018).



**Figure 11.** Structure d'un épis et épillet du blé (Benmounah, 2021).

Le grain de blé est un caryopse. C'est un fruit sec et indéhiscence. Il est de couleur blanchâtre à brunâtre selon l'espèce, blé dur ou blé tendre, et selon les variétés (Benmounah, 2021). Le caryopse de blé est constitué de 3 grandes parties : le germe, l'albumen et les enveloppes (Figure 13).

### ➤ Les enveloppes et la couche à aleurone

Les enveloppes sont constituées de quatre tissus : le péricarpe externe, le péricarpe interne, la testa et la couche nucellaire ou bande hyaline (qui correspond à l'épiderme du nucelle) (Figure 12). Ces enveloppes et la couche à aleurone sont composées principalement de polysaccharides (arabinoxylanes, xyloglucanes et cellulose) mais aussi d'acides phénoliques, lignine et de protéines (principalement albumines globulines localisées dans la couche à aleurone) (Debiton, 2010).

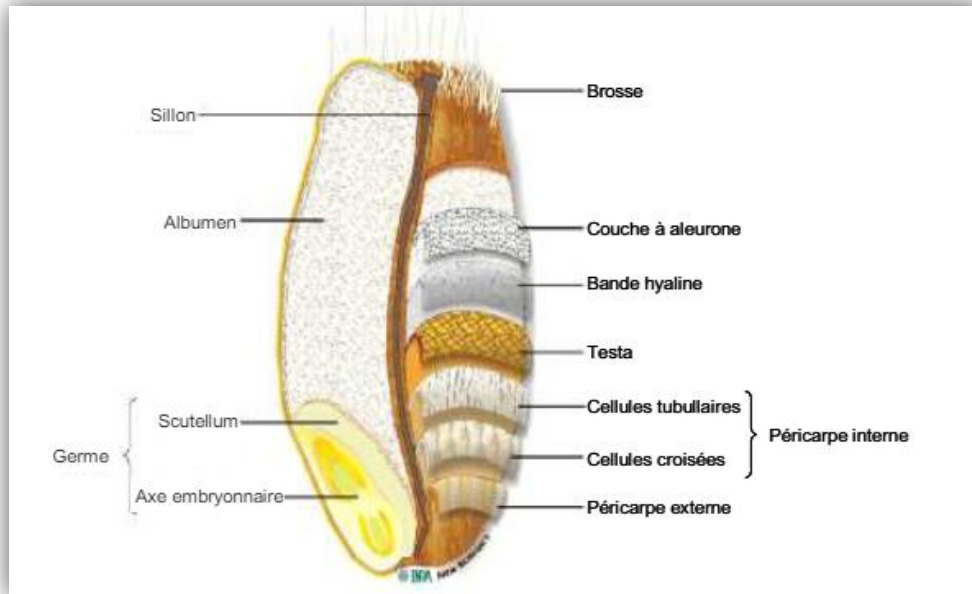
Le péricarpe externe est constitué de deux tissus composés de cellules mortes ; l'épiderme et l'hypoderme. L'épiderme est constitué de cellules allongées ; l'hypoderme possède la même structure que l'épiderme et lui est fortement adhérent. Le péricarpe interne correspond à l'endocarpe et au mésocarpe, respectivement constitués de cellules tubulaires et de cellules croisées (Figure12). Les péricarpes ont un rôle de protection mécanique et de résistance aux agents pathogènes et un rôle physiologique dans le contrôle de la maturation et de la germination du grain, en agissant comme une barrière à la circulation de l'eau, des nutriments et des gaz (Kouadria, 2019).

### ➤ Le germe

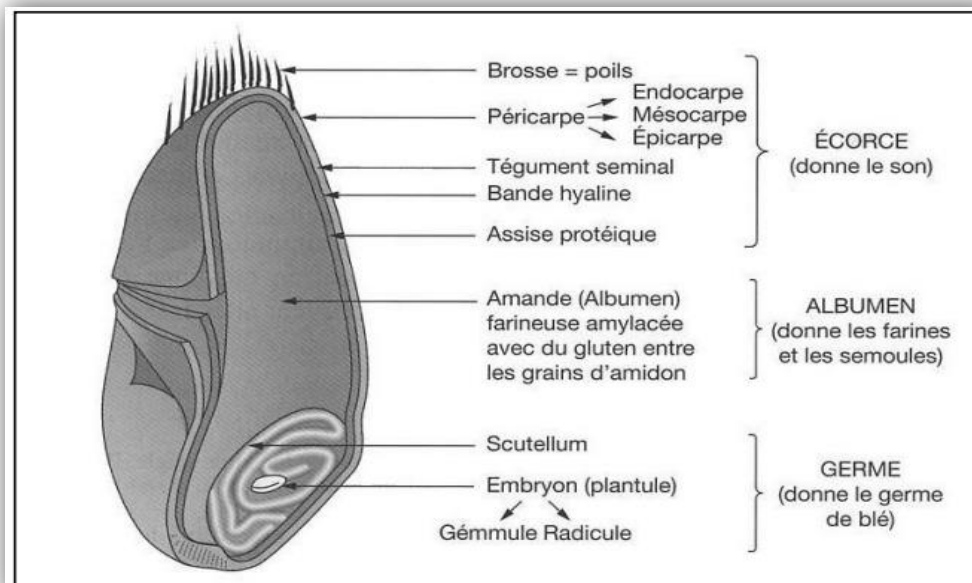
Le germe provient de la fusion des gamètes mâles et femelles. Il est constitué d'une part, de l'axe embryonnaire qui donnera la tigelle, la mésocotyle et la radicule et d'autre part du scutellum qui donnera le cotylédon. Les protéines dans le germe sont des albumines et globulines et représentent environ 35% de la matière sèche (Debiton, 2010).

### ➤ L'albumen

L'albumen constitue le plus important compartiment du grain et représente environ 80% de son poids, il correspond au tissu de réserve (Debiton, 2010). Il est composé de trois types de cellules parenchymateuses de tailles variables. Ce dernier est composé de cellules contenant des granules d'amidon enchâssées dans une matrice protéique viscoélastique: le gluten. L'ensemble est recouvert par une enveloppe de structure pluri-lamellaire composée d'une grande diversité de tissus spécialisés (Figure12et 13) (Kouadria, 2019).



**Figure 12.** Histologie du grain de blé (Debiton, 2010).



**Figure 13.** Anatomie du grain de blé (Benmounah, 2021).

### 3.3. Maladies fongiques du blé

#### 3.3.1. Charbon nu

C'est une maladie causée par le champignon *Ustilago tritici*, il se développe plus sur le blé tendre que le blé dur. Les symptômes de cette maladie sont visibles entre la floraison et la maturité (masse noirâtre, constituée de spores du champignon) l'origine de l'infection se trouve dans la semence. Le champignon de charbon nu se conserve dans l'embryon du grain

## Chapitre 2. Les Céréales

---

sous forme de mycélium dormant, au moment de la germination de la semence ce mycélium sera activé, l'agent pathogène infecte la jeune plantule et poursuit son développement au niveau de l'apex, puis les spores produites sont libérées et infectent les fleurs des plantes voisines (Ezzahiri, 2001).

### 3.3.2. Charbon foliaire

Une maladie causée par le champignon *Urocystis gropyri*, elle se développe plus particulièrement sur le blé dur, des masses sporifères noirâtres apparaissent entre les nervures de la feuille, les champignons se conservent sous forme de téléospores dans le sol et sur la semence, au moment de la germination, le mycélium du champignon issu des spores contaminées va affecter la jeune plantule (Ezzahiri, 2001).

### 3.3.3. Carie

La carie est présente dans les zones de production extensive. Les agents pathogènes responsables de cette affection sont *Tilletia caries* et *Tilletia foetida*. Les symptômes n'apparaissent qu'au moment du remplissage des grains. L'agent responsable de la carie se conserve sous forme de téléospores sur la semence et dans le sol, l'infection des jeunes plantes du blé se fait à des températures de 5°C à 15°C. Le mycélium du champignon colonise le tissu méristématique et progresse vers l'épi (Ezzahiri, 2001) (Figure 14).



**Figure 14.** Carie sur les grains de blé (Frédéric et *al.*, 2010).

### 3.3.4. Pourritures racinaires

Cette maladie causée par *Helminthosporium sativum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*, se manifeste sur blé dur, blé tendre que sur l'orge. Des pertes localisées peuvent être occasionnés par la diminution du tallage par la réduction de la taille des épis et par la perte des plantes, elle apparait dans les zones semi-arides. Les symptômes apparaissent sous forme des taches brunes qui sont observées sur le collet, le sous collet, les racines. Les principaux facteurs prédisposant à l'attaque de ces champignons sont le stress hydrique et les températures élevées (Ezzahiri, 2001).

### 3.3.5. Septorioses

La septoriose du blé est une maladie fongique causée par *Zymoseptoria tritici*. Ce champignon passe l'hiver sur les résidus de cultures à la surface du sol et les graminées adventices. Le champignon contamine ensuite les jeunes pousses de blé grâce à la pluie qui projette les spores sur les feuilles supérieures lorsque les gouttes tombent sur les feuilles. Au printemps, la germination des spores débute lorsque l'humidité est très élevée et la température comprise entre 10 et 20 °C. Le champignon crée ensuite ses fructifications : les pycnides, de petites sphères noires visibles à l'œil nu sur les feuilles malades (Arvalis,2018). Il existe deux espèces *Septoria* qui s'attaque au blé :

- *Septoria tritici*, responsable de la septoriose des feuilles, les premiers symptômes sont observés sur les feuilles basales et progressent vers les feuilles supérieures de la plante, ces symptômes présentent sous forme de taches rectangulaire de couleur grisâtre sur lesquelles apparaissent des points noire alignés (pycnides) (Bouakez et Oussaid, 2020)(Figure 15). En effet, les pycnides du champignon peuvent survivre sur les chaumes du blé jusqu'à 6 mois et induisent les premières infections sur les plantules du blé (Ezzahiri, 2001).
- *Septoria nodorum*, responsable de septoriose des épis, elle touche les feuilles, les tiges, les nœuds et les glumes. Elle se manifeste sous forme de taches grisâtres de formes irrégulières, allongées de 4 à 15 mm qui deviennent plus tard jaunâtres puis brunâtres, des pycnides de couleur brun clair difficilement visibles se développent en groupes sur les feuilles (Bouakez et Oussaid,2020). Les principes sources d'inoculum de *Septoria nodorum*, sont les semences et les chaumes du blé à la surface du sol (Ezzahiri, 2001).



**Figure 15.**Symptômes typiques de la tache septorienne sur blé (Arvalis, 2018).

### 3.3.6. Maladie de la tâche auréolée

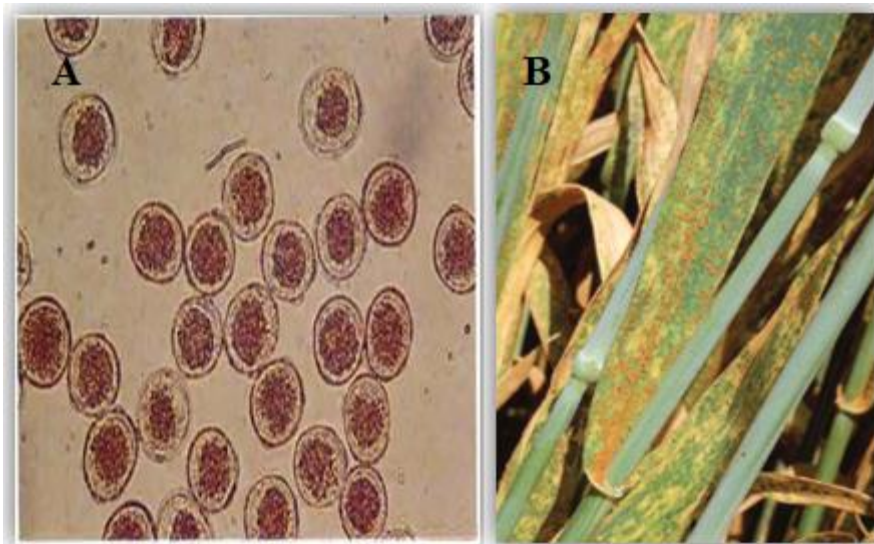
Le champignon responsable de cette maladie est *Pyrenophora tritici-repentis*, il est largement distribuée dans les régions productrices du blé, les pertes de rendement causées par cette maladie varient avec les conditions climatique, la sensibilité de la variété et le stade de la culture au moment de l'attaque. La maladie se manifeste sur les feuilles et les graines sous forme de taches losangiques ou allongées de couleur brune violacée. Ce champignon se conserve sous forme de spores et de mycélium sur les résidus du blé, en présence d'humidité les périthèces libèrent les ascospores et le mycélium produit des conidies (Ezzahiri, 2001)(Figure 16).



**Figure 16.**Bigarrure jaune typique provoquée par *Pyrenophora tritici-repentis* sur les feuilles de blé (Bayer, 2021).

### 3.3.7. Rouilles

Les agents responsables de la maladie sont *Puccinia recondita*, *Puccinia graminis* et *Puccinia striiformis*, trois espèces de rouille attaquent le blé : rouille brune, rouille noire et la rouille jaune. Elles forment des pustules caractéristiques, les pustules correspondent à une déchirure de l'épiderme et l'apparition d'une poudre (orange, brunâtre, rouge brique, marron foncé ou jaunâtre en fonction des espèces) composée uniquement de spores facilement transportées par le vent (Ezzahiri, 2001). Trois sortes de fructifications sont produites sur les céréales, de toutes ces sortes de spores, les plus importantes sont les urédospores (spores estivales) (Figure 17). Les nombreuses générations d'urédospores assurent la dispersion rapide de la maladie d'un champ à l'autre et la persistance du champignon d'une saison à l'autre (Zillinsky, 1983).



**Figure 17.** Urédospores de *Puccinia recondita* f. sp. Tritici (Zillinsky, 1983). B : Rouille brune sur les feuille de blé (Arvalis, 2018).

### 3.3.8. Fusariose (*Fusarium* spp.)

C'est un champignon qui attaque les racines et entre nœuds et les épis de blé, les premiers symptômes apparaissent comme un brunissement de la partie supérieure des racines et des entre-nœuds, blanchiment prématuré d'une partie ou de la totalité de l'épi, une coloration allant de rose à orange saumon peut apparaître sur les épillets infectés, une fonte des semis possible si les semences sont infectées (Bouakez et Oussaid, 2020) (Figure 18).



**Figure 18.** Différents symptômes de la Fusariose (Hesnaoui, 2023).

#### 4. Orge

L'orge fait partie des cinq plantes cultivées les plus importantes au monde, c'est une céréale de courte saison, à maturation précoce, avec un potentiel de rendement élevé, et peut être trouvée en marge de l'agriculture, dans des environnements très variés (Outi, 2000). C'est une plante annuelle des régions tempérées, cultivée sur les sols calcaires aux labours profonds (Clerget, 2011).

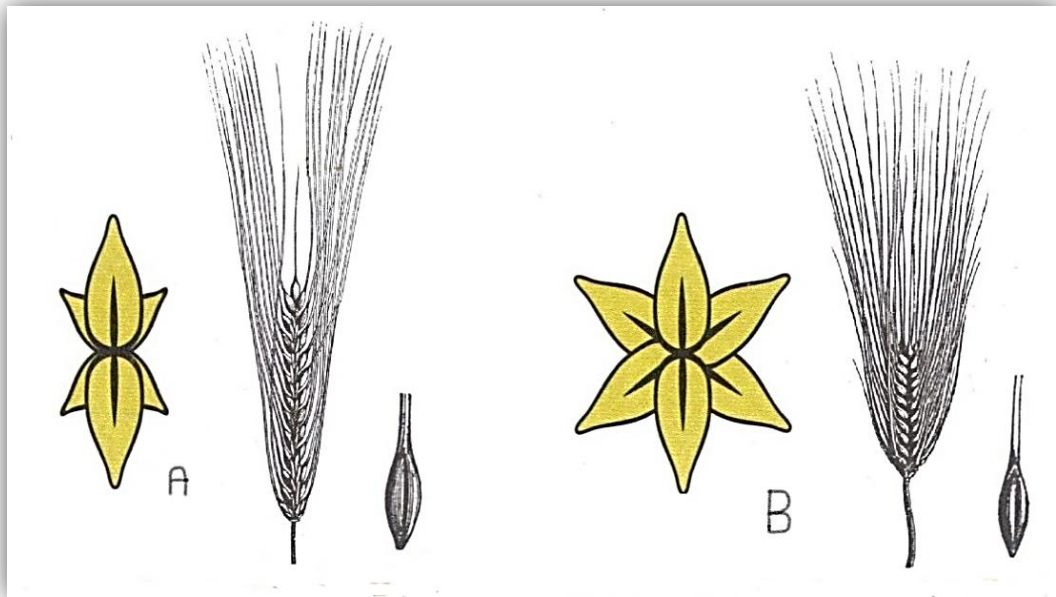
Le genre *Hordeum* de l'orge comprend des espèces sauvages et cultivées. On y distingue deux types selon la forme de leurs épis (Djermoun, 2009).

##### 4.1. Orge à deux rangs

*Hordeum vulgare ssp. Distichum* a un épi aplati composé de deux rangs d'épillets fertiles, un sur chaque axe du rachis, entouré de 4 épillets stériles. Dans ce type existe surtout des variétés de printemps mais depuis les années 80 un nombre croissant de variétés d'hiver (Djermoun, 2009) (Figure 19).

##### 4.2. Orge à six rangs

*Hordeum vulgare ssp. Hexastichum*, encore appelé esourgeon, a une section rectangulaire : sur chaque axe du rachis les 3 épillets sont fertiles. De ce fait les grains sont un peu plus petits. Dans ce type n'existent pratiquement que des variétés d'hiver (Djermoun, 2009) (Figure 19).



**Figure 19.**Types de l'orge. A : Orge à 2 rangs, B : Orge à 6 rangs (Christophe,2019).

### 4.3. Classification

Selon Agnieszka et *al.* (2016), la classification de l'orge est comme suit :

**Embranchement :** Spermaphytes

**Sous-embranchement :** Angiospermes

**Classe :** Monocotylédones

**Ordre :** Glumiflorales

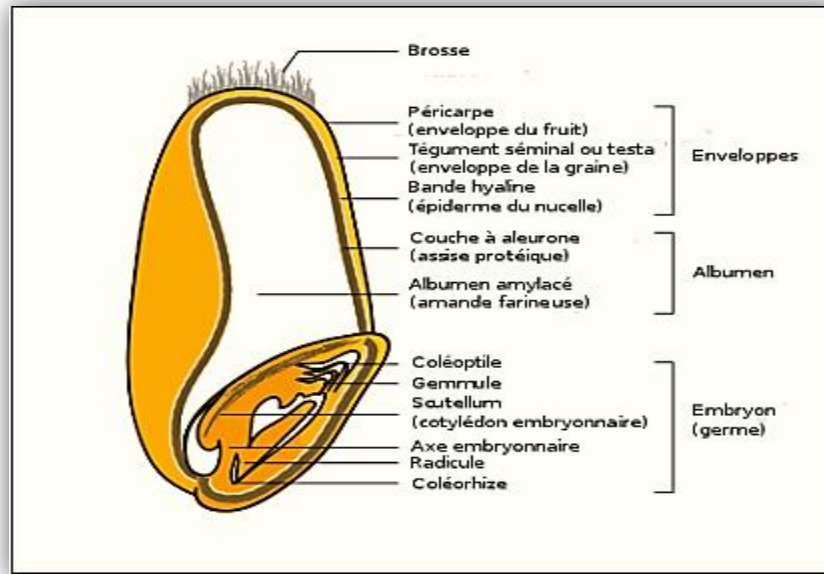
**Famille :** Poacées

**Genre :** *Hordeum*

**Espèce :** *Hordeum vulgare* L.

### 4.4. Description de la plante

L'orge (*Hordeum vulgare*) est une plante annuelle, herbacée, elle se distingue principalement des autres céréales par un feuillage vert clair, la présence d'une ligule très développée, des oreillettes glabres et un fort tallage herbacé. L'inflorescence est un épi, le plus souvent barbu. Le rachis porte sur chaque article trois épillets mono-flore, un médian et deux latéraux. Le grain est vêtu par des glumelles qui ne s'en séparent par lors du battage (Bouchetat, 2020). Le grain d'orge est composé de trois parties (Figure 20) : les enveloppes (glumelles), l'amande (albumen) et le germé (embryon) qui est la partie vitale du grain (Clergt, 2011).



**Figure 20.** Anatomie et composition du grain d'orge (Clergt, 2011).

La fleur d'orge est constituée d'un verticille de trois anthères, chacune constituée d'une anthère fixée au filet, et d'un ovaire surmonté de deux stigmates plumeux (Jacquard, 2007).

### 4.5. Maladies fongiques de l'orge

#### 4.5.1. Rhynchosporiose (*Rhynchosporium secalis*)

Rencontrée essentiellement dans les régions à climat frais et humide, c'est une maladie qui peut engendrer des pertes de rendement allant de 30 à 40%. Les symptômes de la maladie apparaissent sur les feuilles et la gaine sous forme de tâches elliptique, grisâtres avec une marge brun foncé dont la longueur varie entre 10 et 15 mm, le centre de ces tâches se dessèche et se décolore (Figure 21). Les conidies disséminées à partir des résidus infectés et la principale source d'infection, qui se transmettent selon deux modes de transmission soit aérienne soit par la semence en logeant dans les enveloppes et le péricarpe (Aouali et Douci-Khalfi., 2013).



**Figure 21.** Rhynchosporiose sur les feuilles de l'orge (Arvalis, 2018).

### **4.5.2. Rayure réticulée (*Helminthosporium teres*)**

Cette maladie peut causer des pertes de rendement atteignant jusqu'à 40%, c'est surtout une maladie foliaire, elle affecte le grain et ce en diminuant son contenu en hydrates de carbone et de ce fait son poids est réduit. Les symptômes correspondent à des lésions irrégulières qui se développent sur le feuillage, délimitées par une zone jaunâtre chlorotique, ces lésions sont constituées de stries longitudinales et transversales de couleur brun-foncé, forment un réseau à l'intérieur d'une macule brun-clair lorsque la maladie atteint un stade avancé. L'agent causal se conserve au niveau des débris de culture infectés, les spores se déposent sur les feuilles de jeunes plants et produisent l'infection primaire, les conidies produits par la suite assurent la propagation de la maladie c'est l'infection secondaire, lorsque les conditions d'humidité persistent la maladie peut alors atteindre des proportions épidémique (Aouali et Douci-Khalfi, 2013).

### **4.5.3. Helminthosporioses (*Helminthosporium gramineum*)**

C'est une maladie transmise uniquement par la semence, les plants atteints ne produisent quasiment pas de grains. Les premiers symptômes apparaissent sur les feuilles, sous forme de stries, un à deux mois après la levée, les stries parallèles entre elles et aux nervures sont de couleur vert pâle et s'étendent progressivement tout au long du limbe de la feuille, les rares épis produits à l'épiaison sont rabougris et quasiment stériles. Le champignon survit sous forme de mycélium dans les enveloppes de la graine ou dans le péricarpe, au moment de la germination la coléoptile est contaminé, le champignon continue par la suite à envahir les feuilles progressivement, les symptômes deviennent apparents une fois que les conidies sont produites et disséminées par le vent et infectent les épis des plantes saines (Aouali et Douci-Khalfi, 2013).

### **4.5.4. Rouille naine des feuilles (*Puccinia hordei*)**

## Chapitre 2. Les Céréales

---

Une maladie fongique qui attaque les feuilles, est qui cause l'apparissent des pustules orangées sur les feuilles et les tiges, ces dernier constituées de spores (urédospores) (Lacroix, 2002). Les premières contaminations de rouille naine sont dues à des urédospores ayant passé l'hiver dans des repousses de céréales. Lorsque les températures se situent entre 15 et 20°C et que l'hygrométrie est importante (>95%), la maladie se redéveloppe et les symptômes deviennent alors visible sur les feuilles : les urédospores germent, un tube germinatif entre dans la plante par les stomates. C'est au niveau de cette entrée que se développeront les pustules caractéristiques de la rouille naine. A la fin du printemps, des températures chaudes et la présence de vent favorisent la dispersion de nombreuses spores sur les plantes et les parcelles aux alentours (Adama, 2022) (Figure 22).



**Figure 22.** Symptômes d'urédospore présente sur les feuilles de l'orge (Adama, 2022).

### 5. Comparaison entre le blé et l'orge

Mise à part la différence de la structure de l'épi il y a d'autres points qui différencient la biologie du blé de celle de l'orge (Djermoun, 2009) (Tableau 5).

## Chapitre 2. Les Céréales

**Tableau 5.** Les différences et les similitudes entre le blé et l'orge (Djermoun, 2009).

<b>Similitudes</b>	<b>Différences</b>
<p><b>1.</b> Le système racinaire est fasciculé bien que moins puissant ;</p> <p><b>2.</b> Les mécanismes végétatifs et reproducteurs, de la germination à la maturation du grain, sont identiques ;</p> <p><b>3.</b> L'autofécondation est de règle ce qui permet, comme pour le blé que l'orge de conserver la pureté des variétés.</p>	<p><b>1.</b> Le cycle végétatif de l'orge est plus rapide, il est de 240 à 265 jours chez l'orge d'hiver, 120 à 150 jours chez l'orge du printemps et 250 à 280 jours chez le blé ;</p> <p><b>2.</b> Les exigences en eau chez l'orge sont légèrement plus réduites et surtout importantes au début de la végétation : l'orge est une céréale plus précoce que le blé ce qui explique sa culture se soit bien développée dans les régions à printemps secs ;</p> <p><b>3.</b> L'orge d'hiver est moins résistante au froid que le blé ;</p> <p><b>4.</b> Mieux que le blé l'orge tire parti de sols légers et/ou calcaires à condition qu'ils soient bien drainés pour se réchauffer vite au printemps.</p>

## Chapitre3. Matériel et méthodes

---

## Chapitre3. Matériel et méthodes

---

Ce chapitre met en évidence la méthodologie et le matériel utilisés pour la réalisation de ce travail dans le but d'identifier les champignons endophytes présent dans les semences de deux variétés du blé dur (Simeto et Oued Bared) et une variété de l'orge (Rihane). La partie expérimentale de ce travail a été réalisée au niveau du laboratoire des Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

### 1. Matériel utilisé

Le matériel végétal utilisé comprend deux variétés du blé dur (*Triticum durum* ; Oued Bared et Simeto) et une variété de l'orge (*Hordeum vulgare* ; Rihane). Ces variétés ont été fournies gracieusement par la Coopérative des Céréales et des Légumes Secs (CCLS) de la wilaya de Bouira (Algérie). Ces semences, issues de la campagne 2022 et 2023.

- Oued Bared : est une variété locale sélectionnée par la station ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures) de Sétif en 2016, elle se caractérise par un rendement élevé avec une bonne qualité semoulière. Elle possède une résistance aux conditions climatiques (au froid et la sécheresse), aussi une résistance contre les maladies telle que la rouille jaune, la rouille brune et la rouille noir, piétin échaudage, piétin verse et oïdium. Elle est moyennement sensible à la tache auréolée (ITGC, 2020) ;
- Simeto : est une variété caractérisée par sa résistance à plusieurs maladies courantes du blé, telles que la rouille brune et la septoriose, bien que sa sensibilité à d'autres pathogènes puisse varier selon les conditions de culture spécifiques (Moussaoui, 2020) ;
- Rihane : est une variété caractérisée par un cycle végétatif précoce, un fort tallage et une résistance au froid et la sécheresse (Bouriche et Guenez, 2020).

### 2. Préparation du milieu de culture PDA

Le milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar) à base de pomme de terre, de glucose, et d'Agar-agar, est un milieu nutritif microbiologique utilisé couramment pour cultiver les champignons. Pour la préparation de ce milieu nous avons un protocole qui est le suivant :

- Eplucher et couper en petits dés 200grammes de pomme de terre ;
- Ajouter 100 ml d'eau distillée et mettre à cuire pendant 20 minutes ;
- Après la cuisson, filtrer le mélange (Figure23) ;

### Chapitre3. Matériel et méthodes

---

- Mélanger à l'extrait de la pomme de terre 20 grammes de glucose et 20 grammes d'Agar agar et ajuster avec de l'eau distillée jusqu'à 1000 ml et mettre encore en agitation pendant 30 minutes (Figure 24) ;
- Verser le milieu de culture dans les flacons puis les mettre dans l'étuve à 120 °C durant 30 minutes (Figure 25).



**Figure 23.**Préparation de l'extrait de la pomme de terre (Photo original, 2024)



**Figure 24.**Mise en agitation du filtrat de la pomme de terre avec le glucose et l'agar-agar (Photo original, 2024).

## Chapitre3. Matériel et méthodes



**Figure 25.** Stérilisation à l'étuve (Photo original, 2024).

- Ajouter une pincée d'antibiotique (Amoxicilline) dans chaque flacon puis mettre le milieu de culture dans les boîtes de Pétri (Figure 26).



**Figure 26.** Coulage du milieu PDA dans des boîtes de Pétri (Photo original, 2024).

### 3. Stérilisation superficielles des semences

Après avoir sélectionné 40 graines de chaque variété blé dur Simeto (BD S), blé dur Oued Bared (BD B) et l'orge Rihane (OR) (Figure 27). Les semences sont stérilisées superficiellement pour éviter les contaminations épiphytes, pour cela nous avons adopté le protocole de Helander et *al.*, (1994) (Figure 28).

## Chapitre3. Matériel et méthodes

---

- Mettre les graines dans l'éthanol pendant 3 minutes ;
- Rincer avec l'eau distillée stérilisée ;
- Mettre dans l'eau de javel pendant 1 minutes) ;
- Rincer avec l'eau distillée stérilisée ;
- Mettre les graines pour la 2<sup>ème</sup> fois dans l'éthanol;
- Rincer avec l'eau distillée stérilisée.



**Figure 27.**Semences sélectionnées de chaque variété (Photo original, 2024).

## Chapitre3. Matériel et méthodes

---



**Figure 28.**Stérilisation superficielle des semences (Photo original,2024).

### 4. Ensemencement

Après le séchage des graines, ces dernières ont été mises en culture dans des boîtes de Pétri contenant le milieu de culture PDA (chaque boîtes contient 4 semences/à raison de 40 graines par chaque variété) entre deux bec bunsen (Figure29).



**Figure 29.**Mise en culture des semences (Photo original,2024).

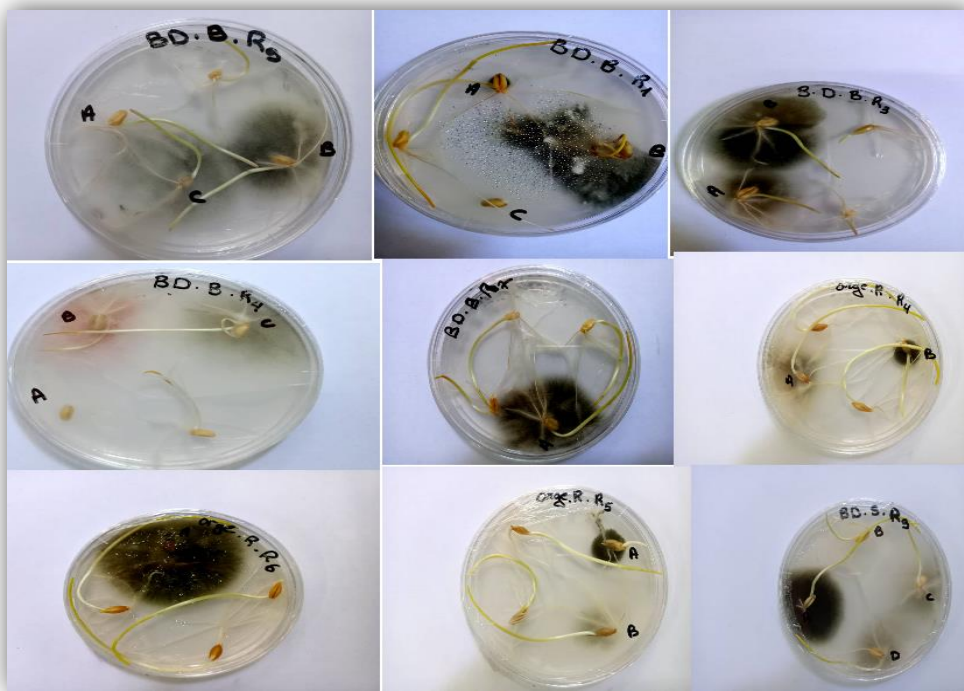
Ensuite, les boîtes ont été scellées et laissées à température ambiante le temps que les champignons sont apparus.

## Chapitre3. Matériel et méthodes

### 5. Identification des isolats fongiques

#### 5.1.Observation macroscopique

L'observation macroscopique permet l'identification des champignons en fonction de leurs caractéristiques macroscopiques tels que : aspect, relief, contour, couleur, consistance, forme, taille des colonies et les transformations macroscopiques des milieux de culture (présence de pigments, couleur) (Figure30).



**Figure 30.** Quelques boîtes de Pétri (8 jours après l'ensemencement) (photo original, 2024).

#### 5.2.Observation microscopique

Ce type d'identification se base sur l'étude morphologique du : mycélium (absence ou présence de cloisons, couleur, ramification, présence ou absence des spores,...). Les conidiophores (absents, simples, ramifiés). Cellules conidiogènes (annelides, phialides,...), conidies (uni ou pluricellulaire, solitaire, en amas ou en chaîne, forme, etc...), des structures reproductrices (périthèces, cleistothèces (sexuée), pycnide (asexuée)). La forme, la couleur et la texture des spores. La clé d'identification que nous avons utilisée est « Les Deutéromycètes de Kiffer ».

## Chapitre3. Matériel et méthodes

---

### 6. Analyses des données statistiques

#### 6.1. Abondance des genres

Pour estimer la diversité des endophytes fongiques, l'abondance des différents genres enregistrer dans les deux variétés du blé dur : BD S et BD B et la variété de l'orge : OR , elle a été calculé par la formule suivante :  $A(\%) = (Ng/Nt)*100$  où :

A : abondance des genres (%) ;

Ng : le nombre de fois que le genre est recensé chez une variété ;

Nt : ensemble des répétitions ayant fructifié.

#### 6.2. Analyse de variance (ANOVA)

Une ANOVA concernant les abondances des genres recensés est faite, pour comparer les moyennes et déterminer si des différences significatives existent entre les genres des mycoendophytes, grâce au logiciel des statistiques Stat Box 6.40.

#### 6.3. Analyse en composantes principales (ACP)

Une ACP est réalisé en vue de mettre en évidence la distribution spatiale des différents genres des endophytes fongiques, en fonction des prélèvements réalisés, pour étudier les interactions entre les genres, grâce au logiciel Stat Box 6.40.

Une ACP globale est réalisé aussi pour comparer les genres de mycoendophytes de nos variétés étudiés et celles de Abdi et Addouche (en cours).

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

---

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

---

### 1. Abondance et diversité des mycoendophytes recensés dans les semences de blé dur et de l'orge

Après 8 jours d'ensemencement des semences dans des boîtes de Pétri contenant le milieu de culture PDA, l'analyse microscopique des souches fongiques de 120 échantillons de deux variétés de blé dur (Simeto et Oued Bared) et la variété d'orge (Rihane) a révélé la présence de 9 genres de champignons : *Alternaria*, *Bipolaris*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Neoscytalidium*, *Nigrospora*, *Rhizoctonia*, *Stemphylium* et *Ulocladium* (Tableau 6).

À partir des résultats obtenus, il est évident que la variété Simeto présente la plus grande diversité de mycoendophytes, avec 7 genres fongiques identifiés *Alternaria* (6 espèces), *Fusarium* (1 espèce), *Neoscytalidium* (1 espèce), *Nigrospora* (1 espèce), *Rhizoctonia* (2 espèces), *Stemphylium* (1 espèce) et *Ulocladium* (1 espèce). Ensuite, la variété Oued Bared vient en deuxième position, avec 6 genres : *Alternaria* (4 espèces), *Bipolaris* (1 espèce), *Cladosporium* (1 espèce), *Fusarium* (1 espèce), *Rhizoctonia* (3 espèces) et *Stemphylium* (1 espèce). Enfin, la variété de l'orge (Rihane) abrite 3 genres de mycoendophytes : *Alternaria* (1 espèce), *Cladosporium* (1 espèce) et *Rhizoctonia* (3 espèces).

Les résultats de notre étude révèlent que le genre *Alternaria* domine, représentant 35,94% de l'ensemble. Ensuite, vient le genre *Rhizoctonia*, avec une abondance de 33,47%, suivi par *Cladosporium* 9,44% puis, *Stemphylium* et *Fusarium*, chacun avec 5,34%. Ensuite, *Bipolaris* avec 2,78% ,et enfin, les genres *Ulocladium*, *Neoscytalidium* et *Nigrospora* représentent ensemble 2,57% du total du cortège fongique (Tableau 6).

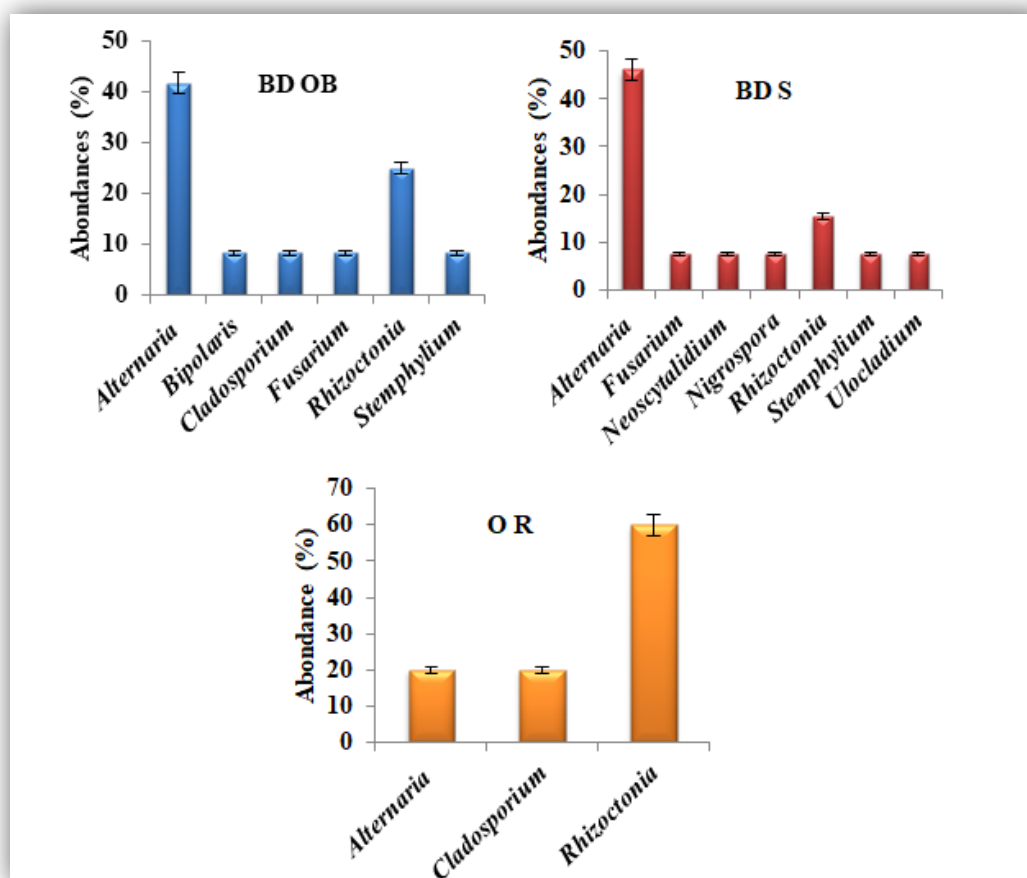
## Chapitre 4. Résultats et Discussion

**Tableau 6.** Classification des mycoendophytes présent dans les semences du blé dur (*Triticum durum*) et l'orge (*Hordeum vulgare*).

Genre	Phylum	Ordre	Famille	Abondance	Diversité
<i>Alternaria</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae	35,94%	7 espèces
<i>Bipolaris</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae	2,78%	1 espèce
<i>Cladosporium</i>	Ascomycota	Capnodiales	Davidiellaceae	9,44%	2 espèces
<i>Fusarium</i>	Ascomycota	Hypocreales	Nectriaceae	5,34%	2 espèces
<i>Neoscytalidium</i>	Ascomycota	Botryosphaerales	Botryosphaeriaceae	2,57%	1 espèce
<i>Nigrospora</i>	Ascomycota	Trichosphaerales	Trichosphaeriaceae	2,57%	1 espèce
<i>Rhizoctonia</i>	Basidiomycota	Cantharellales	Ceratobasidiacées	33,47%	3 espèces
<i>Ulocladium</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae	5,34%	1 espèce
<i>Stemphylium</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporacées	2,57%	1 espèce

Nous avons constatés que chez la variété Oued Bared, le genre *Alternaria* est le plus abondant avec 41,67%, suivi par *Rhizoctonia* 25% et enfin les genres *Bipolaris*, *Cladosporium*, *Stemphylium* et *Fusarium* avec une abondance de 8,33% pour chacun (Figure 1). Chez Simeto, *Alternaria* est également le genre le plus abondant avec 46,16% suivi par *Rhizoctonia* avec 15,4% et en dernier les genres *Fusarium*, *Neoscytalidium*, *Nigrospora*, *Stemphylium* et *Ulocladium* avec 7,7 % (Figure 1). Par contre, chez la variété de l'orge Rihane, le genre *Rhizoctonia* est plus abondant avec 60%, suivi par *Alternaria* et *Cladosporium* avec 20% pour chacun (Figure 31).

## Chapitre 4. Résultats et Discussion



**Figure 31.** Abondances (%) des différents genres mycoendophytes identifiés dans les semences des variétés de blé dur Oued Bared (BD OB) et Simeto (BD S) et la variété d'orge Rihane (OR)

Nos résultats sont en accord avec les travaux de Mallek (2017), où elle a constaté que le genre *Alternaria* est le plus dominant dans toutes les semences de blé dur et de l'orge. Cependant, nos résultats sont différents de ceux d'Orlici et al. (2018), qui ont montré une dominance du genre *Helminthosporium* dans toutes les variétés de blé dur étudiées. Les résultats du travail de Abdi et Addouche (en cours) confirment également l'abondance du genre *Alternaria* chez les semences du blé dur Vitron et Waha.

Le genre *Rhizoctonia* suit *Alternaria* chez le blé dur et il est le plus dominant chez l'orge. Grzegorz et al., (2023), montre le rôle des souches non pathogènes de *Rhizoctonia* comme agent de biocontrôle. Ces souches peuvent protéger les cultures céréalières, comme le blé, contre les pathogènes du même genre notamment *Rhizoctonia cerealis* et *Rhizoctonia solani*, en stimulant les mécanismes de défense des plantes en réduisant l'impact des souches pathogènes.

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

---

Certains isolats de champignons endophytes sont très faiblement répandus, tels que les genres *Bipolaris*, *Ulocladium*, *Neoscytalidium* et *Nigrospora*. Ces résultats confirment ceux de Toofane et Dalymamode (2002), qui suggèrent qu'il est possible que les facteurs environnementaux ne soient pas propices à leur croissance ou que les endophytes plus compétitifs ont déjà atteint une colonisation importante du tissu de l'hôte (le genre peu abondant dépend du genre dominant).

Une diversité presque similaire avec celle noté chez Abdi et Addouche (en cours), avec une présence de plus du genre *Aspergillus* chez le blé dur (Vitron) et du genre *Penicillium* chez le blé tendre (ARZ).

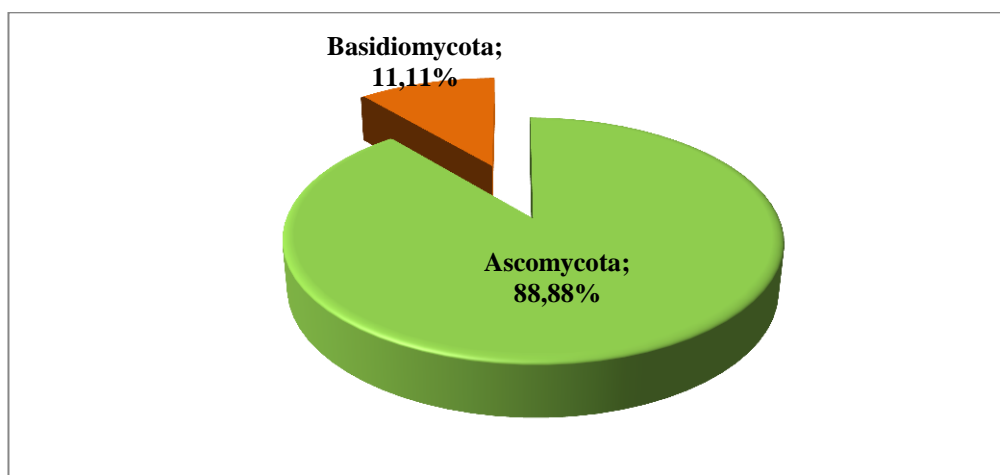
En revanche la diversité des mycoendophytes recensé, diffère des résultats de l'étude de Lakhial, (2018), sur les champignons des grains des denrées stockées (orge, blé tendre, blé dur) » dont il a recensé les souches fongiques suivantes

- à partir de l'orge : *Coccidiodes malbranchea*, *Lichtheimia (absidia)*, *Trichoderma (gliocladium)* et *Penicillium sp.*
- à partir du blé dur : *Lichtheimia (absidia)*, *Alternaria sp.* et *Penicillium sp.*
- à partir du blé tendre : *Trichoderma (gliocladium)* et *Penicillium sp.*

### **2. Abondance des phyla fongiques isolés des trois variétés étudiées**

88,88 % des mycoendophytes identifiés dans les semences des trois variétés étudiées appartiennent au phylum des Ascomycota, tandis que 11,11 % relèvent des Basidiomycota (Figure 32).

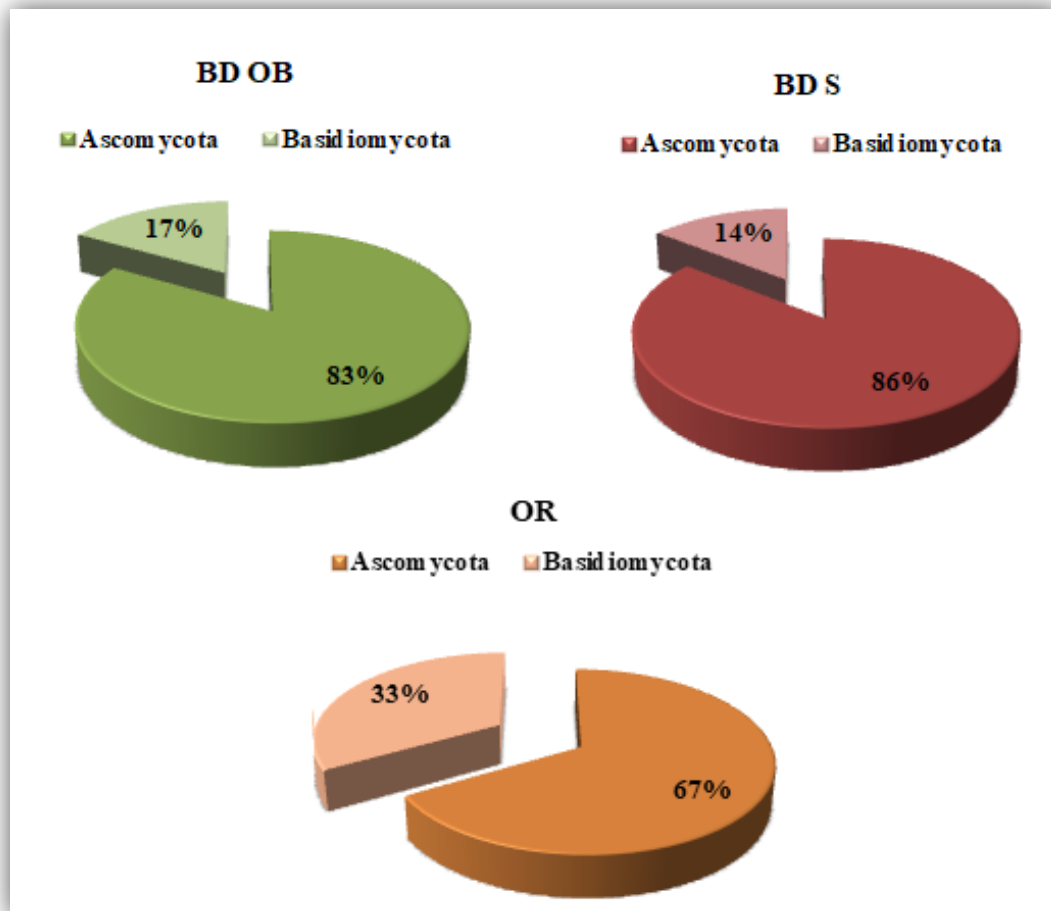
## Chapitre 4. Résultats et Discussion



**Figure 32.** Abondance des Phyla de mycoendophytes des trois variétés étudiées.

Nous avons noté que, dans la variété du blé dur (Oued Bared), les abondances des phyla sont respectivement de 83,33% pour les Ascomycota et de 16,66% pour les Basidiomycota, pour la variété de Simeto, 85,71 % des mycoendophytes sont des Ascomycota et 14,28% sont des Basidiomycota. En revanche, pour la variété d'orge, 66,66 % des mycoendophytes sont des Ascomycota et 33,33 % sont des Basidiomycota (Figure 33).

Le phylum des Ascomycota constitue le plus grand groupe et le plus diversifié des champignons existants (Schoch et *al.*, 2009). Il se retrouve dans de nombreuses niches écologiques et pratiquement dans toutes les espèces végétales et les écosystèmes (Mechiah, 2023). Sa dominance dans nos résultats, est aussi confirmée dans les résultats d'Abdi et Addouche (en cours). D'après Rossman (1996), le phylum Ascomycota contient différents genres de mycoendophytes qui peuvent exercer plusieurs types d'interactions avec l'hôte, comme la symbiose, ce qui indique la raison de cette dominance. Par contre, la faible dominance des Basidiomycota pourrait être expliquée par leur croissance lente et leur échec de compétition avec d'autres mycoendophytes (Mechiah, 2023)



**Figure 33.** Abondance des phylades mycoendophytes des semences des deux variétés de blé dur (BD OB et BD S) et de la variété d'orge (OR)

### 3. Description macroscopique et microscopique d'isolats fongiques recensés

#### 3.1. *Alternaria*

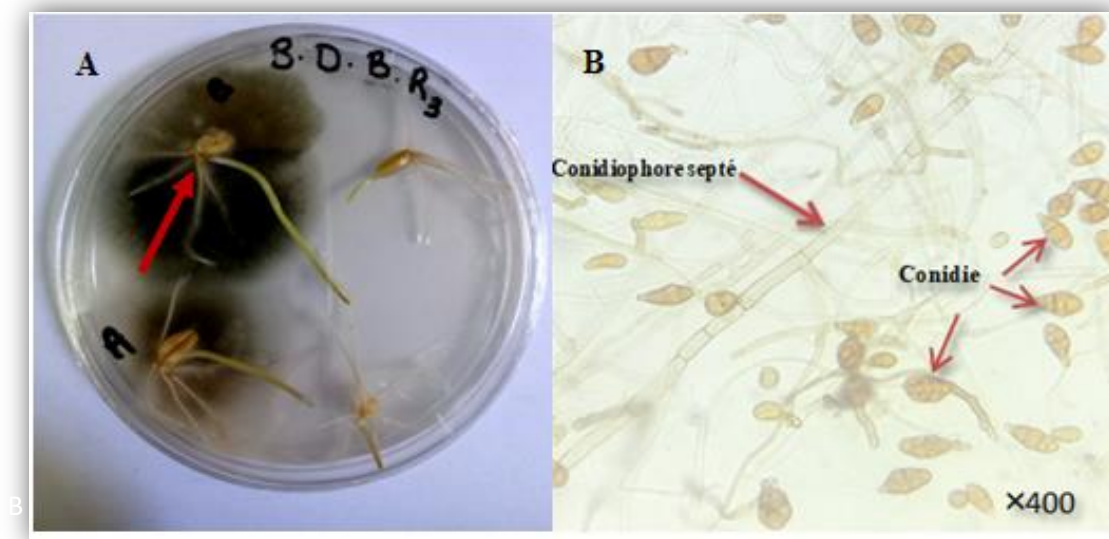
Les champignons du genre d'*Alternaria* sont cosmopolites, et sont couramment présents dans notre environnement (Murugan et al., 2014). Ils font partie des moisissures atmosphériques, étant des champignons filamenteux omniprésents (Linas et al., 1998). Certaines espèces sont pathogènes des plantes, elles causent un éventail de pathologie pour son hôte, comme le cancer de la tige, la brûlure des feuilles ou des taches foliaires sur une grande variété de cultures. Les infections latentes peuvent se produire et entraîner des maladies post-récolte ou fonte des semis, en cas de semences infectées (Thomma, 2003).

Les colonies typiques d'*Alternaria* sont de couleur vert laitue à vert olive et ont généralement une marge blanche proéminente de 2 à 5 mm lors de la croissance sur PDA.

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

Les isolats produisent généralement des colonies de plus de 70 mm de diamètre (Achetbi et *al.*, 2021) (Figure 34A).

Ce genre comprend des hyphes septés qui sont ramifiés. Tardivement, certains filaments sont pigmentés en brun. Les conidiophores sont cloisonnés, bruns, septés, simples ou ramifiés, plus au moins droits ou flexueux. Les conidies sont brunes, pluricellulaires, d'aspect piriforme ou ovoïdes, avec une partie basale arrondie et une extrémité apicale allongée (Mekdache et *al.*, 2017)(Figure 34 B).



**Figure 34.**Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Alternaria* (Photo original,2024).

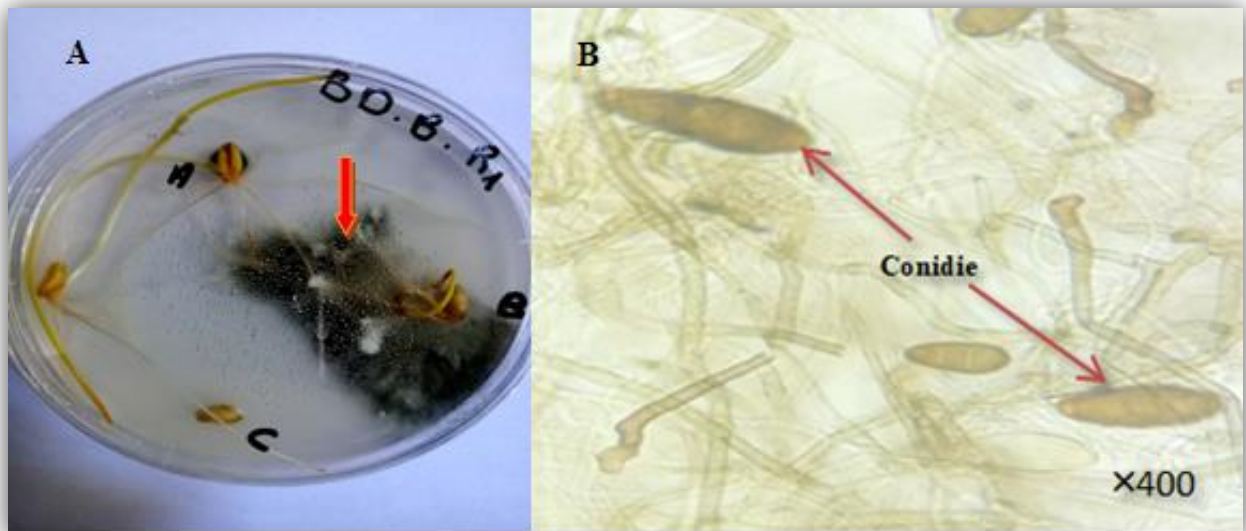
### 3.2. *Bipolaris*

Le genre *Bipolaris* appartient au phylum des Ascomycota, il a été décrit pour la première fois comme *Helminthosporium*(Kabore, 2022). Ce genre est associée à des taches et des brûlures foliaires, à la fonte des feuilles, à la pourriture des racines, et à d'autres symptômes de maladies, principalement dans les grandes cultures de grande valeur de la famille des Poaceae, notamment le riz, le maïs, le blé et le sorgho, ainsi que sur diverses autres plantes hôtes (Manamgoda et *al.*,2014).

Les colonies de *Bipolaris* sont blanches ou gris pâle lorsqu'elles sont jeunes, devenant brunes ou gris foncé avec la maturité, duveteuses, cotonneuses, surélevées ou convexes à surface papillaire, bord lobé, ondulé, entier ou parfois rhizoïde. (Figure 35A).Ce genre est

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

caractérisé par des hyphes hyalins, brun pâle à brun foncé ou gris et des conidiospores brun pâle à brun foncé, uniques, ramifiés, parfois disposés en petits groupes, droits à flexueux ou genouillés (Manamgoda et *al.*,2014)(Figure 35B).

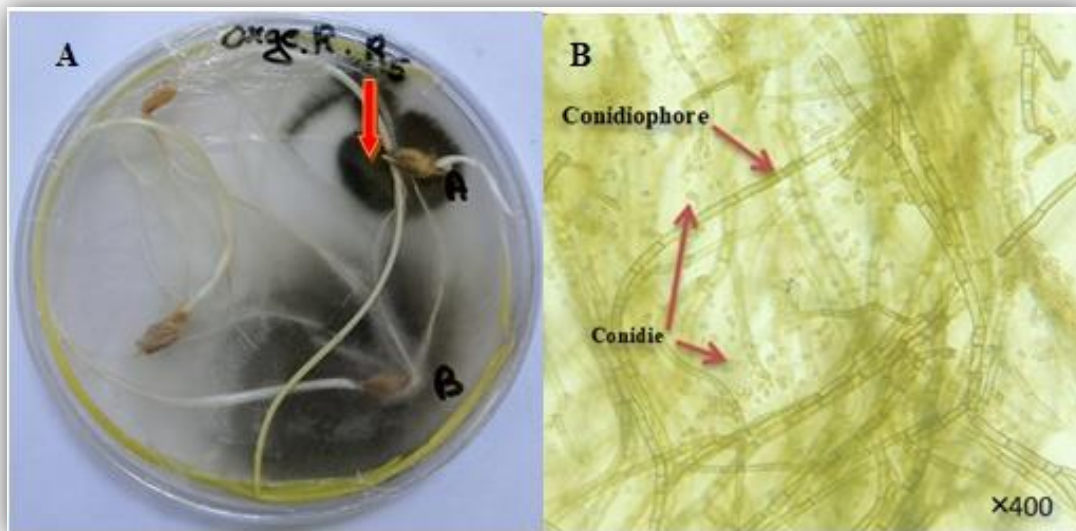


**Figure 35.**Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Bipolaris* (Photo original,2024).

### 3.3. *Cladosporium*

Les *Cladosporium* sont des moisissures pigmentées, ils font partie des champignons aéroportés les plus courants (Tasic et *al.*, 2007). Ces champignons sont communs dans de nombreuses régions du monde, ce sont des organismes cosmopolites. Leurs spores peuvent être trouvées dans l'air, le sol et l'eau. Certaines espèces sont des agents pathogènes de diverses plantes, provoquant des maladies végétales économiquement importantes, tandis que d'autres ils se présentent généralement sous forme de saprotrophes (Ogórek et *al.*, 2012).

Ces champignons sont actifs à basses températures et à de forte humidité, poussent modérément vite sur un milieu PDA à 25 °C et forment des colonies veloutées, farineuses, gris-vert à vert olivacé et noires inversées (Figure 36A). Les hyphes de ces champignons sont rampants, septés en surface ou dans le substrat. Les conidiophores presque dressés, ramifiés et floconneux, il forme souvent un gazon, il est de couleur olive (Ogórek et *al.*, 2012). Les conidies sont pigmentées de façon foncée, de forme ellipsoïde à cylindrique (Tasic et *al.*, 2007) (Figure 36B).



**Figure 36.** Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Cladosporium* (Photo original, 2024).

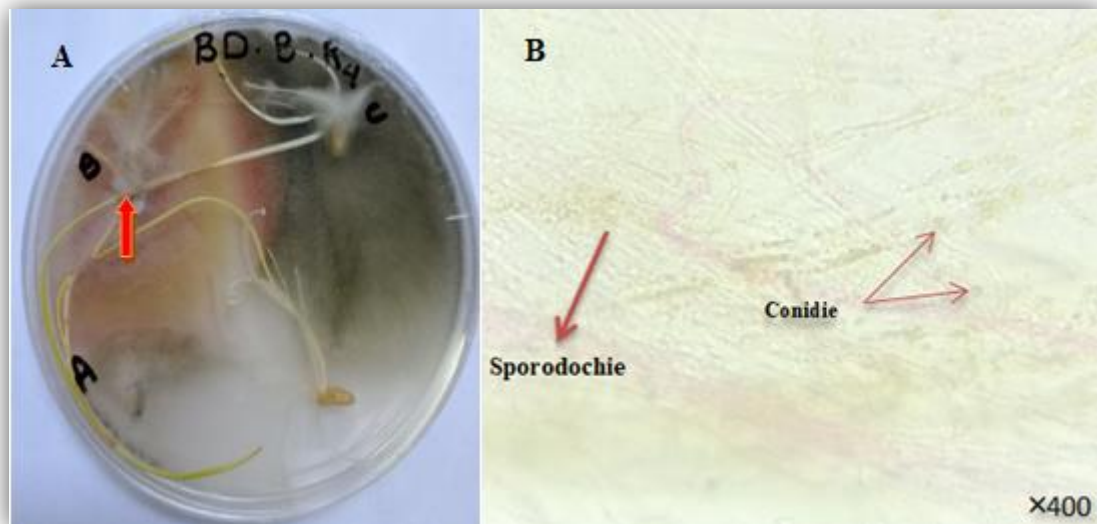
### 3.4. *Fusarium*

Le *Fusarium* est un champignon cosmopolite se nourrissant de matière en décomposition et pouvant survivre au sol dans les débris infectés entre les périodes de cultures. Ce genre comprend près de 40 espèces souvent largement répandues, beaucoup d'espèces saprophytes sont capables de se développer en tant que pathogènes secondaires sur des tissus végétaux sénescents. Les espèces du genre *Fusarium* peuvent ainsi attaquer les céréales (maïs, blé, orge et l'avoine), des légumes, les plantes ornementales et beaucoup d'arbres fruitiers. La majorité des espèces de *Fusarium* sont susceptibles de produire des mycotoxines et sont ainsi impliquées dans des intoxications chez les animaux d'élevage. Leur température optimale de croissance est comprise entre 22 et 37°C (Tabuc, 2007).

Sur des milieux de culture, les *Fusarium* forment des colonies duveteuses ou cotonneuses de couleur variable (blanche, crème, jaune, rose, rouge, violette ou lilas) selon les espèces. Le principal caractère morphologique des *Fusarium* est la présence de macroconidies fusiformes et cloisonnées, les spores de ces moisissures sont en forme de fuseau. Les conidiophores, parfois très ramifiés, forment sur le thalle des coussinets (sporodochies) et portent des masses de spores. Les chlamydospores, sont parfois présentes, en position terminale ou intercalaire. Les phialides, plus ou moins allongées, présentent, le plus souvent,

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

un site de bourgeonnement unique (monophialide) qui produit des conidies (Tabuc, 2007) (Figure 37).

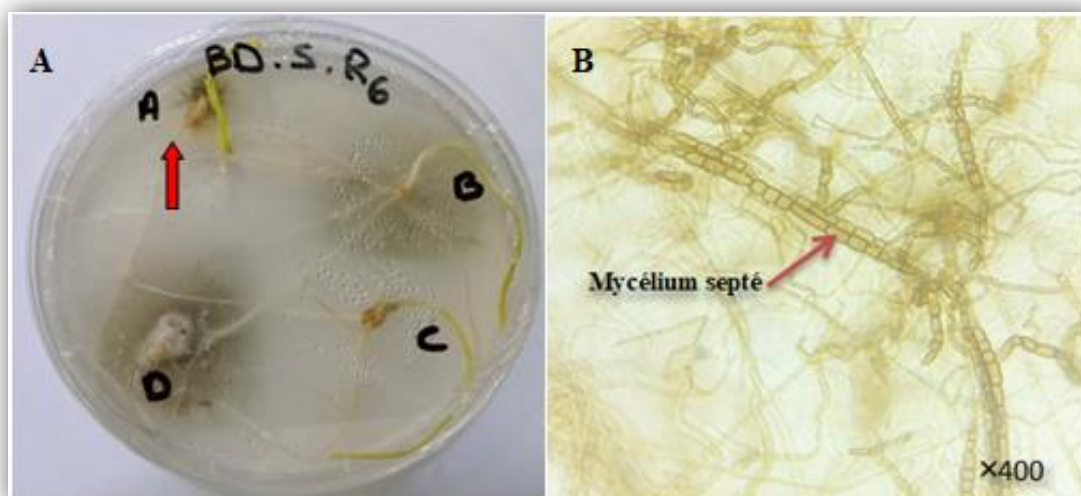


**Figure 37.** Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Fusarium* (Photo original, 2024).

### 3.5. *Neoscytalidium*

Les *Neoscytalidium* sont des agents pathogènes provoquant le chancre des branches et des tiges, le dépérissement et la gommose d'une large gamme d'arbres fruitiers, ornementaux et forestiers, ils sont largement répartis dans la plupart des zones géographiques et climatiques du monde (Ahmadpour et al., 2023).

Les colonies semblent incolores mais subissent une transformation en sept jours, passant d'une teinte olivacée brun pâle ou verdâtre à des teintes citrine au centre. Au fil du temps, les colonies deviennent noires à la fois en surface et en dessous, accompagnées d'un mycélium modérément pelucheux qui est supprimé et a des bords lisses (Figure 38A). Leur morphologie génère des conidies poudreuses à texturées au toucher dans les chaînes arthriques par fragmentation des hyphes. Ces conidies présentent diverses formes, de cylindriques tronquées à oblongues-obtuses et doliformes, elles ont des parois épaisses qui passent d'un état hyalin initial à une coloration brun foncé avec l'âge. La croissance mycélienne optimale de ce champignon se produit à des températures allant de 33 à 35 °C et la germination des conidies atteignant son apogée entre 38 et 40 °C (Dervis et al., 2023) (Figure 38B).

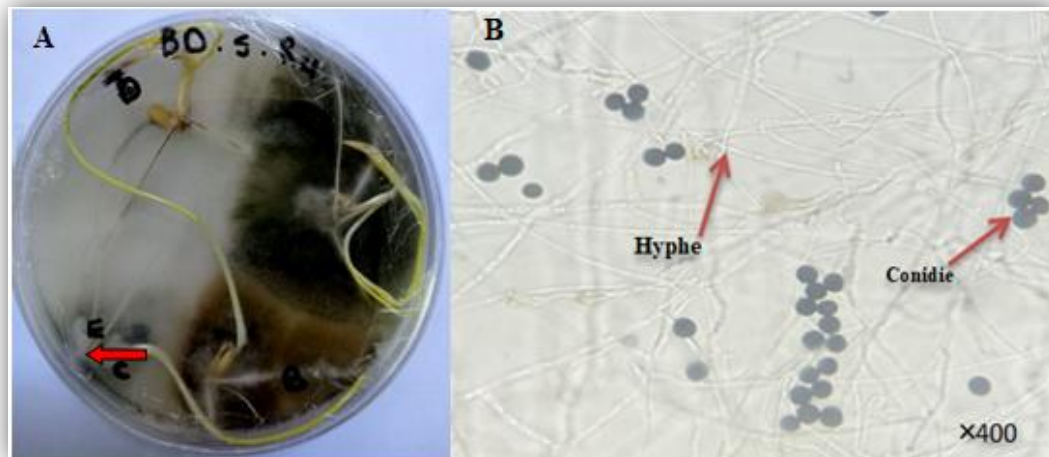


**Figure 38.** Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Neoscytalidium* (Photo original, 2024).

### 3.6. *Nigrospora*

*Nigrospora* est un genre important d'Ascomycota avec une distribution cosmopolite et une large gamme d'hôtes. Ses espèces ont été isolées en tant qu'endophytes à partir de diverses plantes, ou en tant que saprophytes à partir des feuilles mortes. (Lui et *al.*, 2024) Les espèces de *Nigrospora* ont également été fréquemment enregistrées en tant que pathogènes végétaux sur de nombreuses cultures économiquement importantes, fruits et plantes ornementales.

Les colonies sont veloutées ou duveteuses denses et couvrent rapidement les surfaces de culture (Lui et *al.*, 2024) (Figure 39A). Le mycélium est hyalin à brun pâle, avec des parois lisses et septées, mesurant 1,5 à 3  $\mu\text{m}$ . Les spores de ce genre sont grandes sphériques, souvent de couleur noire ou brune, elles sont légèrement rugueuses, le conidiophore est simple ou légèrement ramifié, courts et épais. Les conidies sont unique avec une paroi épaisse est souvent pigmentée, ce qui leur donne une couleur foncé (Lui et *al.*, 2024) (Figure 39B).

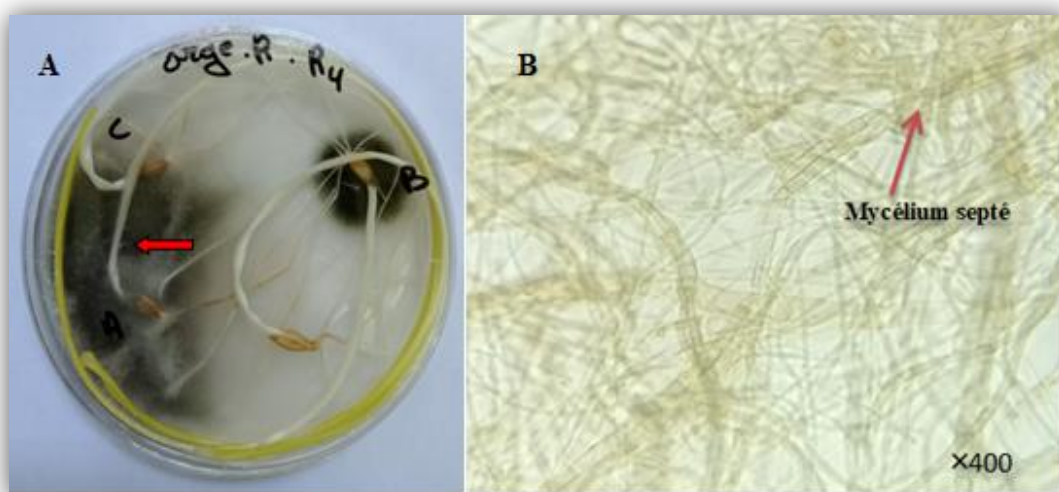


**Figure 39.**Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Nigrospora* (Photo original,2024)

### 3.7. *Rhizoctonia*

Le genre *Rhizoctonia* est un champignon qui constitue un ensemble d'espèces comprenant des groupes génétiquement distincts, appelés groupes d'anastomose. *Rhizoctonia* est un champignon Basidiomycota, qui ne produit pas de conidies et ne produira qu'occasionnellement des spores sexuées (basidiospores) (Bouladjeraf, 2017).

Le mycélium est sclérotique et moniliforme. Le thalle est de couleur blanc à marron foncé à croissance rapide. On trouve de fréquentes constriction au niveau des septa et des ramifications, elles forment des angles de 45° à 90° et sont souvent coenocytiques (Bouladjeraf, 2017)(Figure40).



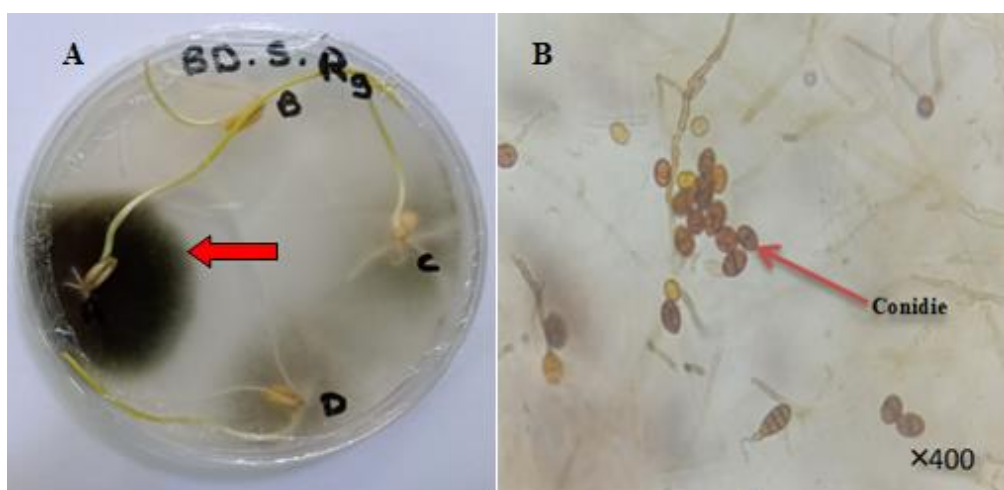
**Figure 40.**Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Rhizoctonia* (Photo original, 2024).

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

### 3.8. *Ulocladium*

*Ulocladium* appartient au phylum des Ascomycota, il est filamenteux dématié habite le sol et les plantes herbacées en décomposition. Il est largement répandu dans la nature et peut être isolé à partir de papier, de textiles et de bois également. Il est généralement considéré comme un contaminant. Caractérisé par des filaments septés, fin et régulier, des conidies rondes et globuleuses portent plusieurs striations (Elkhateeb et Daba, 2021).

Les colonies de ce genre sont duveteuses, la couleur est de brun olive à noir (Metahri, 2015). Ces caractéristiques microscopiques : des hyphes bruns septés, des conidiophores bruns et des conidies sont visualisés (Elkhateeb, 2021). Les conidies sont brun, ovoïdes, à paroi lisse ou rugueuses (Botton et *al.*, 1990) (Figure 41).



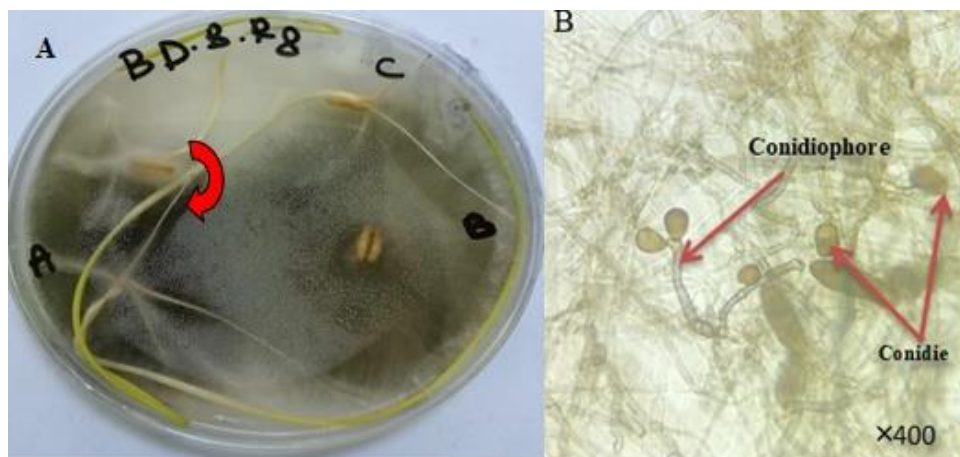
**Figure 41.** Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Ulocladium* (Photo original, 2024).

### 3.9. *Stemphylium*

*Stemphylium* est un champignon Ascomycota filamenteux, monophylétique, comprend à la fois des espèces saprophytes et pathogènes des plantes, avec une distribution mondiale (Poursafar et *al.*, 2016).

Les colonies de *Stemphylium* ont une couleur brun-noir, ont une texture cotonneuse et une croissance rapide et un aspect velouté (Benlamoudi, 2016) (Figure 42A). Les espèces de *Stemphylium* ont des conidiophores sombres qui sont gonflés à leur extrémité en raison de la prolifération percurrente (croissance à travers l'extrémité de la cellule conidiogène) et donnent naissance à des conidies uniques, rondes ou ovales, muriformes, qui peuvent être constrictées à leur septum central (Deanna et *al.*, 2009) (Figure 42B).

## Chapitre 4. Résultats et Discussion



**Figure 42.** Aspect macroscopique (A) et microscopique (B) du genre *Stemphylium* (Photo original, 2024).

### 4. Analyse de variance (ANOVA)

Pour évaluer s'il existe des différences significatives entre les divers composants du cortège fongique des grains de blé dur et de l'orge, nous avons utilisé le test d'analyse de variance (ANOVA) pour chaque genre. Nous avons comparé la valeur de  $p$  avec un seuil de signification  $\alpha = 0,05$  (Tableau 7).

- Si la valeur de  $p$  est inférieure à  $\alpha = 0,05$ , cela indique une différence significative entre les prélèvements.
- Si la valeur de  $p$  est supérieure à  $\alpha = 0,05$ , cela indique l'absence de différence significative entre les prélèvements.

**Tableau 7.** Test ANOVA des mycoendophytes des semences de blé dur et l'orge.

Genre	Probabilité	Significativité
<i>Alternaria</i>	0,19	Non significative
<i>Bipolaris</i>	0,14	Non significative
<i>Cladosporium</i>	0,09	Non significative
<i>Fusarium</i>	0,61	Non significative
<i>Neoscytalidium</i>	0,38	Non significative
<i>Nigrospora</i>	0,38	Non significative
<i>Rhizoctonia</i>	0,42	Non significative
<i>Ulocladium</i>	0,38	Non significative
<i>Stemphylium</i>	0,59	Non significative

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

---

Les résultats du tableau révèlent que, pour tous les genres recensés, les différences entre les prélèvements des différentes variétés ne sont pas significatives. Cela signifie que la répartition des genres de champignons endophytes est homogène dans les variétés de blé et d'orge étudiées.

Tous ces genres forment un seul groupe homogène sur toutes les trois variétés des céréales étudiées. Ceci pourrait être expliqué par l'ubiquité de ces champignons. Leur répartition s'étend à travers différentes variétés sans exigences spécifiques.

### **5. Matrice de corrélation de Pearson**

Afin de comprendre les différentes interactions qui existent entre les genres de mycoendophytes recensés au niveau des semences de deux variétés du blé dur (BD S et BD OB) et l'orge(OR), nous avons fait une matrice de corrélation (Tableau 8).

Cette matrice donne des coefficients de corrélation entre les genres des champignons pris deux à deux. Il existe des corrélations non significatives et des corrélations significatives qui sont pour certaines positives (ce qui signifie que les variables varient dans le même sens), et pour d'autres négatives (ce qui signifie que les variables varient dans des sens opposés).

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

**Tableau 8.** Matrice de corrélation de Pearson entre les genres des mycoendophytes recensés dans les trois variétés étudiées

	<i>Alternaria</i>	<i>Bipolaris</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Neoscytalidium</i>	<i>Nigrospora</i>	<i>Rhizoctonia</i>	<i>Stemphylium</i>	<i>Ulocladium</i>
<i>Alternaria</i>	1								
<i>Bipolaris</i>	ns	1							
<i>Cladosporium</i>	ns	ns	1						
<i>Fusarium</i>	ns	ns	ns	1					
<i>Neoscytalidium</i>	ns	ns	ns	ns	1				
<i>Nigrospora</i>	ns	ns	ns	ns	<b>1,00</b>	1			
<i>Rhizoctonia</i>	<b>-1,00</b>	ns	ns	ns	ns	ns	1		
<i>Stemphylium</i>	ns	ns	ns	<b>1,00</b>	ns	ns	ns	1	
<i>Ulocladium</i>	ns	ns	ns	ns	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	ns	ns	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha (test bilatéral).

ns : non significatif

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

---

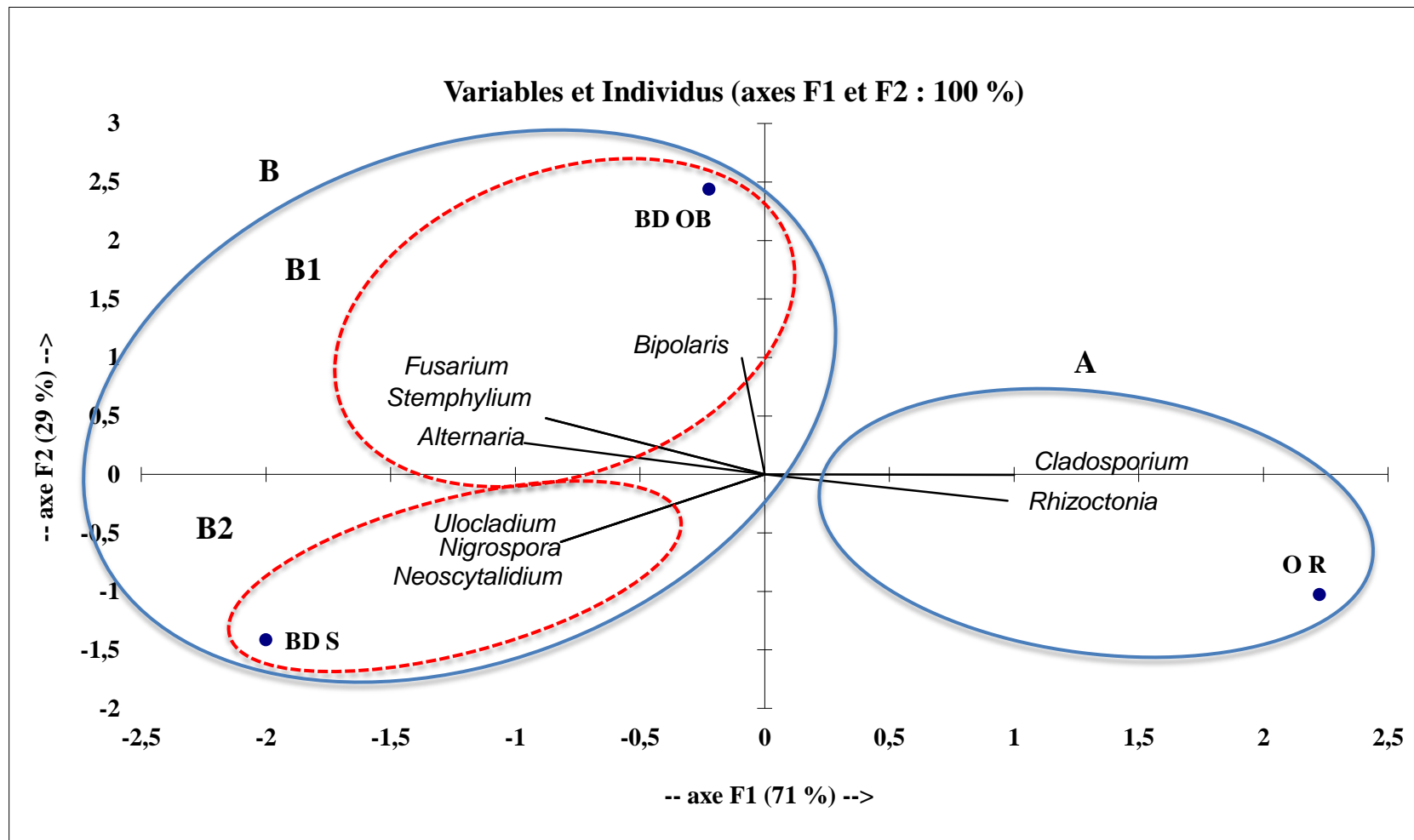
D'après le tableau 8 les genres qui ont une forte corrélation positive (**1,00**) sont : *Nigrospora* et *Neoscytalidium*, *Stemphylium* et *Fusarium*, *Ulocladium* et *Neoscytalidium*, *Ulocladium* et *Nigrospora*. Cette corrélation pourrait être expliquée par : la complémentarité nutritionnelle c'est-à-dire un genre de champignon peut produire des métabolites ou des enzymes qui peuvent être utilisés par l'autre genre stimulant ainsi sa croissance ; et aussi par la synergie métabolique : les deux genres peuvent avoir des voies métaboliques complémentaires, chacun produisant des composés utilisés par l'autre, créant une boucle de stimulation mutuelle. Il existe une forte corrélation négative entre le genre *Rhizoctonia* et *Alternaria* (**-1,00**), cela pourrait être expliqué par une forte relation antagoniste par la production des métabolites inhibiteurs : l'un des genres peut sécréter des substances inhibitrices qui affectent négativement la croissance de l'autre genre, cela prouve qu'il y a une concurrence sur la niche écologique et nutritionnelle.

### **6. Analyse en composantes principales (ACP) des endophytes**

Nous avons effectué une analyse en composantes principales (ACP) pour examiner les relations entre les différents prélèvements et les genres de mycoendophytes. Cette méthode nous permet de comprendre la nature, la force et l'importance des liens entre ces variables, ce qui facilite l'interprétation des synergies et l'identification des tendances principales dans nos données.

Le plan 1-2 de l'ACP explique 100% du phénomène, avec pour l'axe 1, 71% et pour l'axe 2, 29% de l'inertie totale (Figure 43).

## Chapitre 4. Résultats et Discussion



**Figure 43.** Analyse en composantes principales (ACP) des mycoendophytes des semences du blé dur (Oued Bared et Simeto) et de l'orge (Rihane).

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

---

D'après cette analyse, nous pouvons pu distinguer deux groupes. Le premier (A) comprend la variété de l'orge Rihane (OR) dans lequel le genre *Rhizoctonia* est dominant. Le deuxième groupe (B) est subdivisé en deux sous-groupes : (B1) comprend la variété du blé dur Oued Bared (BD OB) dont *Alternaria* est le genre le plus dominant et (B2) comprend la variété du blé dur Simeto (BD S), dans on trouve les genres *Ulocladium*, *Nigrospora* et *Neoscytalidium*(Figure 43).

Les champignons endophyte, contribuant à la santé et à la croissance des plantes de diverses manières. Ils peuvent aussi protéger les semences contre les maladies causés par des pathogènes en produisant des métabolites antifongiques et antibactériens (Waller et *al.*, 2005).Les endophytes fongiques contribuent à augmenter la résilience des cultures en renforçant leur capacité à résister aux conditions environnementales défavorables, ce qui peut entraîner une productivité accrue (Nagabhyru et *al.*, 2013).

La dominance du genre *Alternaria* est confirmée dans les travaux de Mansouri (2011) dans des grains de blé dur local. Cette abondance est due probablement à la croissance rapide de ce genre, comme il a rapporté par Sieber (1988). Ce champignon a été signaler comme un endophyte commun à d'autres espèces comme *Triticum aestivum* (Larran et *al.*, 2002 ; Zhang et *al.*, 2006). Larran et *al.*(2002), montrent que le genre *Alternaria* a des valeurs plus élevées dans les grains et les glumes que dans les feuilles et les tiges. Il possède un pigment de type mélanine qui leur sert de protection contre des conditions environnementales défavorables notamment à la résistance aux microbes, les agents pathogènes et les enzymes (González et *al.*, 2011 ; Achetbi, 2021). Par contre les travaux de Tabuc (2007) qui a étudié les graines de blé, de maïs et d'orge sur trois années consécutives (2002, 2003, 2004) montraient que le genre *Aspergillus* est le genre le plus dominant sur les trois années suivi soit du genre *Penicillium* soit du genre *Fusarium*.

Il existe des isolats fongiques qui ont été examinés comme agents de lutte biologique comme *Rhizoctonia solani* (non pathogène).Les champignons de ce genre sont principalement discutés en relation avec leur potentiel à agir comme agents de biocontrôle en compétition avec d'autres pathogènes plus virulents. Cette compétition peut réduire la présence de ces pathogènes agressifs, contribuant ainsi à une meilleure santé des plantes (Whipps, 2001). Cela peut expliquer la dominance de ce genre dans notre étude, et le fait que les variétés étudiés sont caractérisées par une résistance contre certaines maladies fongiques.

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

---

*Bipolaris* joue un rôle fascinant en agriculture. Il agit comme solubilisateur de phosphates et produisent des phytohormones, telles que l'acide indole acétique et l'acide gibbérellique, qui font accélérer la croissance des plantes pendant les stress salin, le stress hydrique, le stress thermique et le stress des métaux lourds, ainsi que comme agent de lutte biologique et potentiels mycoherbicides (Nasir et *al.*, 2023).

*Cladosporium* fait partie des champignons pathogènes transmis par les semences, qui cause des infections non systémiques. Ce champignon peut réduire la qualité et la durée du stockage des semences, il peut aussi coloniser les semences sans causer de symptômes des maladies visibles (Martin et *al.*, 2022).

### **7. Matrice de corrélation de Pearson de l'ACP globale**

Afin de comprendre les différentes interactions qui existent entre les genres de mycoendophytes recensés au niveau des semences de plusieurs variétés de céréales, que nous avons étudiée (blé dur Oued Bared et Simeto et l'orge Rihane et celles que Abdi et Addouche (en cours) ont étudiée le blé dur Waha, Vitron et le blé tendre ARZ, nous avons fait une matrice de corrélation (Tableau 9).

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

**Tableau9.** Matrice de corrélation de Pearson globale entre les genres de mycoendophytes des six variétés étudiées

	<i>Alternaria</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Bipolaris</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Neoscytalidium</i>	<i>Nigrospora</i>	<i>Rhizoctonia</i>	<i>Stemphylium</i>	<i>Ulocladium</i>
<i>Alternaria</i>	1										
<i>Aspergillus</i>	ns	1									
<i>Bipolaris</i>	ns	<b>0.88</b>	1								
<i>Cladosporium</i>	<b>-0.93</b>	ns	ns	1							
<i>Fusarium</i>	ns	ns	ns	ns	1						
<i>Penicillium</i>	ns	ns	ns	ns	ns	1					
<i>Neoscytalidium</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1				
<i>Nigrospora</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	<b>1.00</b>	1			
<i>Rhizoctonia</i>	<b>-0.96</b>	ns	ns	<b>0.95</b>	ns	ns	ns	ns	1		
<i>Stemphylium</i>	ns	ns	ns	ns	ns	<b>0.87</b>	ns	ns	ns	1	
<i>Ulocladium</i>	ns	ns	ns	ns	<b>0.91</b>	ns	ns	ns	ns	ns	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha (test bilatéral).

ns : non significatif

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

---

D'après le test de Pearson de l'analyse globale (Tableau 9), les genres qui ont une forte corrélation positive sont : *Bipolaris* et *Aspergillus* (**0,88**), *Nigrospora* et *Neoscytalidium* (**1,00**), *Rhizoctonia* et *Cladosporium* (**0,95**), *Stemphylium* et *Penicillium* (**0,87**), *Ulocladium* et *Fusarium* (**0,91**), cela pourrait être expliqué par la relation synergique entre ces genres.

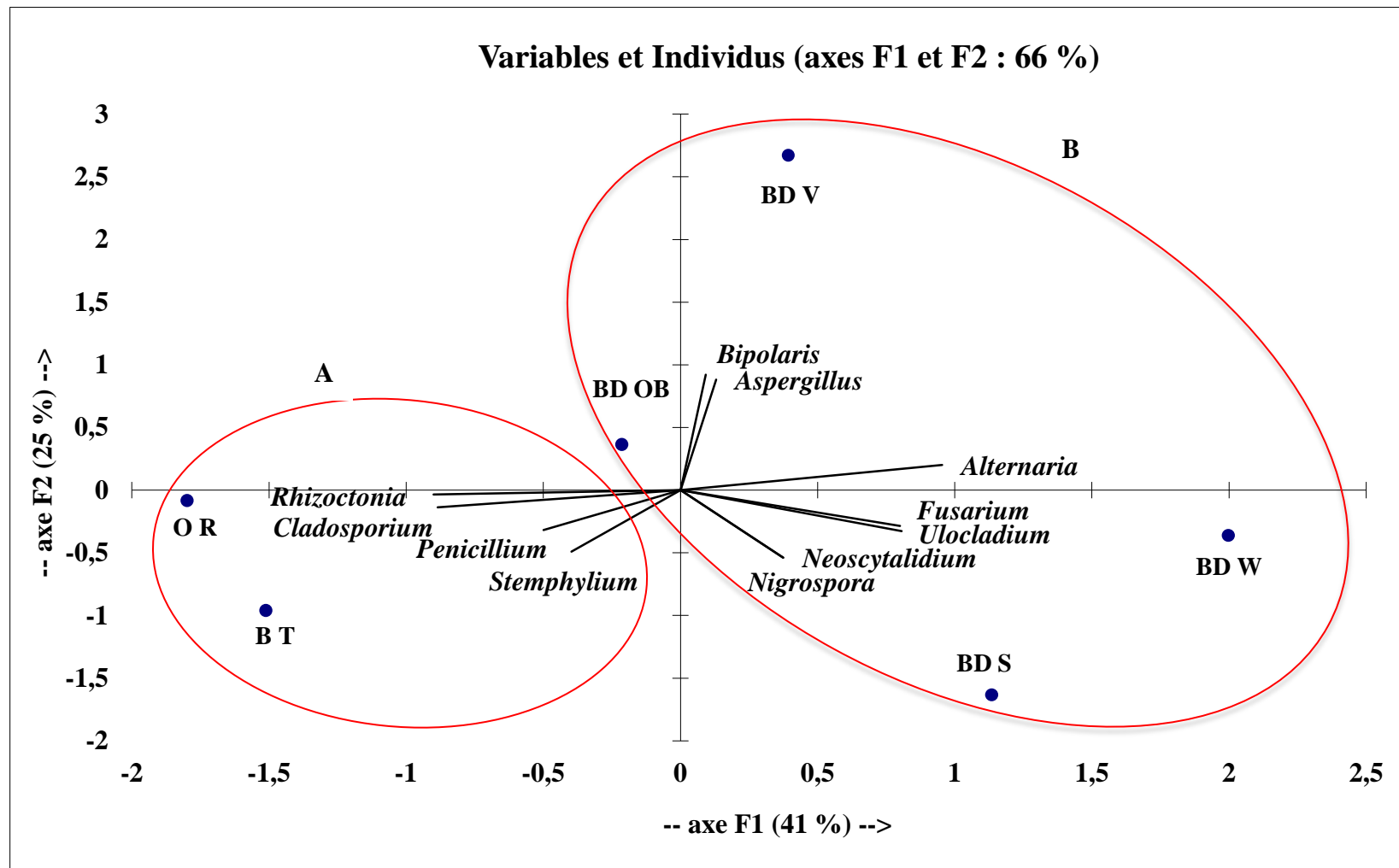
Les genres qui ont une forte corrélation négative sont : *Cladosporium* et *Alternaria* (**-0,92**), *Rhizoctonia* et *Alternaria* (**-0,96**), cette corrélation négative est expliquée par la relation antagoniste entre ces genres.

### **8. Analyses en composantes principale globale (ACP globale)**

Une ACP globale a été faite sur les deux variétés du blé dur et l'orge que nous avons étudiés (BD S, BD OB et OR) et deux autres variétés du blé dur et du blé tendre (BD V, BD W et BT) étudiés par Abdi et Addouche (en cours) (Figure 44). Le plan  $\frac{1}{2}$  de l'ACP explique 66% du phénomène, avec pour l'axe 1, 41% et pour l'axe 2, 25% de l'inertie totale (Figure 44).

On distingue la présence de deux groupes ; le premier (A) concerne les variétés du blé tendre et l'orge, dans ce groupe le genre *Rhizoctonia* et *Cladosporium* sont les plus dominants ; le deuxième groupe (B) concerne les variétés du blé dur à savoir : Vitron, Waha, Oued Bared et Simeto dont *Alternaria* est le genre le plus dominant.

## Chapitre 4. Résultats et Discussion



**Figure 44.** ACP globale représentant les genres mycoendophytes recensés dans les semences des différentes variétés étudiées (BD S, BD OB et OR, BD V, BD W et BT).

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

---

On distingue la présence de deux groupes ; le premier (A) concerne les variétés du blé tendre (ARZ) et l'orge (Rihane), dans ce groupe on trouve 4 genres : *Penicillium*, *Stemphylium*, *Rhizoctonia* et *Cladosporium*, dont le premier genre est exclusif au blé tendre et *Rhizoctonia* est le genre le plus dominant; le deuxième groupe (B) concerne les variétés du blé dur à savoir : Vitron, Waha, Oued Bared et Simeto dont on trouve 7 genres : *Aspergillus*, *Bipolaris*, *Fusarium*, *Ulocladium*, *Neoscytalidium*, *Nigrospora* et *Alternaria*, dont ce dernier est le genre le plus dominant avec une présence exclusive d'*Aspergillus* chez la variété vitron et *Nigrospora* chez la variété Siméto et le reste des genres sont communs entre ces variétés. Les deux groupes sont répartis dans deux sens différents et opposés cela signifie qu'il existe des interactions négatives entre les genres recensés du groupe (A) et ceux du groupe (B).

On remarque qu'il existe une similarité du cortège fongique entre les variétés du groupe A (le blé tendre et l'orge) et les variétés du groupe B (les quatre variétés du blé dur). Ceci pourrait être expliquée par l'effet sélectif de ces plantes dans ce stade de leur vie et la grande similitude des caractères physiques des tissus endosphériques des graines de ces espèces.

Il existe aussi une différence du cortège fongique entre les variétés du groupe A et celles du groupe B. Cette différence pourrait être due à la variation des conditions environnementales sur les communautés fongiques des régions dans lesquelles les semences ont été prises comme il a été expliqué par Saikkonen et al. (1998).

L'antagonisme entre les espèces mycoendophytes (*Alternaria* et *Rhizoctonia*, *Cladosporium* et *Alternaria*), tel que décrit par Gange et al. (2007), est courant et prend des formes significatives. Les champignons endophytes peuvent rivaliser en colonisant rapidement les tissus végétaux, occupant ainsi l'espace avant que leurs concurrents n'y accèdent. De plus, ils produisent souvent des composés bioactifs, tels que des métabolites secondaires antifongiques, qui inhibent la croissance des champignons concurrents, d'ailleurs la baisse de l'abondance d'*Alternaria* a permis l'augmentation de l'abondance de *Rhizoctonia* et *Cladosporium* chez l'orge. Cette compétition pour les ressources et l'espace, combinée à la production de substances chimiques inhibitrices, joue un rôle crucial dans la régulation des communautés fongiques au sein de l'hôte, influençant ainsi leur croissance et survie (Yan et al., 2014). Il est possible que certains champignons soient utilisés dans des programmes de protection des plantes contre des ravageurs ou des agents pathogènes, ces endophytes peuvent

## Chapitre 4. Résultats et Discussion

---

augmenter la résistance des plantes aux insectes, les associations négatives entre la présence d'espèces fongiques au sein des mêmes plantes hôtes sont courantes et peuvent avoir des effets dramatiques sur les insectes herbivores, cela peut expliquer que l'interaction antagoniste entre les champignons endophytes peut augmenter la résistance des plantes aux autres pathogènes (Yan et al., 2014). L'abondance du genre *Alternaria* reste toujours bénéfique pour son hôte, il a été noté par Kouadria (2019) qui a fait son étude sur l'effet des mycoendophytes sur la réponse du blé dur (Simeto) et de l'orge (Saida) sous stress salin, au stade germination, elle a montré que la présence de *Alternaria chlamydospora* et *Fusarium graminearum*, a contribué à la germination de ces graines dans des milieux salins chez le blé dur comme chez l'orge.

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

---

Le présent travail a pour but d'inventorier les mycoendophytes des semences non traitées de deux variétés du blé dur *Triticum durum* (Oued Bared et Simeto) et la variété de l'orge *Hordeum vulgare* (Rihane).

Notre étude est subdivisée en deux parties, la première est la partie pratique qui est faite au laboratoire « ressources naturelles » consiste à la mise en culture des semences des deux variétés du blé dur et de l'orge dans le milieu PDA et l'identification des isolats fongiques obtenus. Neufs genres ont été déterminés, *Alternaria*, *Bipolaris*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Neoscytalidium*, *Nigrospora*, *Rhizoctonia*, *Ulocladium* et *Stemphylium*. La deuxième partie repose sur l'analyse statistique. Dans les semences de la variété du blé dur Oued Bared et Simeto le genre *Alternaria* est le plus dominant. En revanche, dans les semences de la variété de l'orge Rihane, *Rhizoctonia* est le genre dominant. La présence d'*Alternaria* peut donner à la plantes une capacité de résistance aux contraintes environnementales et aux agents pathogènes en sécrétant des métabolites dont certains sont antifongiques et antibactériens. Par contre le genre *Rhizoctonia* est généralement considéré comme un agent pathogène, ces propriétés peuvent expliquer sa relation antagoniste avec *Alternaria*.

L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé une différence non significative entre tous les genres recensés. Une matrice de corrélation de Pearson et une analyse en composantes principales (ACP) ont été faites aussi pour comprendre les interactions entre ces genres. L'ACP nous a permis de déduire qu'une forte corrélation positive existe entre les genres, *Nigrospora* et *Neoscytalidium*, *Stemphylium* et *Fusarium*, *Ulocladium* et *Neoscytalidium* *Ulocladium* et *Nigrospora*, et une forte corrélation négative entre les genres *Rhizoctonia* et *Alternaria*. Ces résultats montrent que les champignons endophytes ont une large diversité qui varie selon les conditions écologiques et environnementales de chaque région, et peuvent jouer un rôle important dans la germination, des semences, la survie et la résistance de la plante hôte contre les contraintes rencontrées.

En perspectives, ce travail pourrait être poursuivi par :

- Une identification des champignons endophytes des feuilles de ces variétés étudiées, pour comparer le cortège fongique présent dans les semences et les feuilles, pour aussi étudier les champignons transmis par une transmission verticale ou horizontale ;

## Conclusion générale

---

- Faire une étude sur un inventaire des champignons endophytes des semences traitées des céréales et comparer les résultats ;
- Une identification plus approfondie et précise de ces espèces fongiques

# **Références bibliographiques**

---

## Références bibliographiques

---

- Abdi, T., Addouche, Y. 2024.** Inventaire des champignons endophytes des semences de blé dur "*Triticum durum*" et blé tendre "*Triticum aestivum*" Mémoire de Master en Ecologie et Environnement : Biodiversité et écologie végétale,
- Achetbi, H., Lahlali, R., Amiri, D. 2021.** Les Alternarioses (*Alternaria spp.*) des agrumes : Diagnostic et méthodes de lutte, 9(2):158-170p.
- Adama. 2022.** La rouille naine. Agronomie. Adama France
- Agnieszka, M., Andreas, B., Stanislaw, W. 2016.** Comparative proteomic analysis of  $\beta$ -aminobutyric acid-mediated alleviation of salt stress in barley, Plant Physiology and Biochemistry, 99: 150-161.
- Ahmadpour, S.A., Mehrabi-Koushki, M., Farokhinejad, R., Mirsoleymani, Z. 2023.** Characterization and pathogenicity of *Neoscytalidium novaehollandiae* causing dieback and sooty canker in Iran. Tropical Plant Pathology, 48:493-507.
- Andéol, S.C., Benjamin, C. 2016.** Les champignons endophytes : impact sur les écosystèmes et production de molécules d'intérêt thérapeutique. Sciences pharmaceutiques. Dumas-01266084. 102pp.
- Aouali, S., Douici-Khalfi, A. 2013.** Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : Symptômes, développement et moyens de lutte. Institut technique des grandes cultures, 48p.
- APG III. 2009.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. Botanical Journal of the Linnean Society, 141: 399-436.
- Arvalis-Institut du Végétal. 2018.** Céréales à paille 2018 : la entre productivité, rusticité. Productions et techniques. Grandes Cultures. Volonté Paysanne du Gers (1306).
- Bar Hen, A., Fortunato, S., Heymann, S., Jost, J. 2008.** Current status on diversity, ecology, evolution, and taxonomy of basal fungi. *Biologia*, 63(2), 121-128.
- Bayer. 2021.** Maladie fongique. La tache auréolée des blés. Crop Science Algérie.
- Benlamoudi, W. 2016.** Essai de lutte biologique in vitro contre quelques maladies fongiques de la tomate dans la région d'Oued Righ par l'utilisation de souches autochtones de

## Références bibliographiques

---

*Trichoderma harzianum* Persoon (1794). Mémoire de master. Phytoprotection et Environnement.

**Benmounah, H. 2021.** Evaluation des réponses adaptatives, physiologiques, biochimiques et génotypiques d'un germoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous stress hydrique. Thèse de Doctorat en Biotechnologies : Biotechnologie végétale. Université badji mokhtar (ANNABA) : département de biologie, 154p.

**Bouakez, K., Oussaid, Y. 2020. Reconnaissance et identification des principales maladies** cryptogamiques du blé et de l'orge. Institut national de la protection des végétaux, 31p.

**Bouchetat, F. 2020.** Etude de comportement et de la qualité technologique du grain de cultivars d'orge introduits et de la variété locale Saida. Hybridation diallelle et analyse génétique des descendance. Thèse de Doctorat en science biologique : Amélioration des productions végétales, 213p.

**Bourriche, Douniazed, Guenez, Rayene. 2020.** Étude de caractères racinaires et morpho-phénologiques de quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare L.*) sous stress hydrique. Mémoire de Master. Biologie et Physiologie de la Reproduction. Université des Frères Mentouri Constantine. 94 ; 32

**Braun, H.J., Rajaram, S., van Ginkel, M., Morgounov, A., McNab, A., Payne, T. 2010.** Advances in wheat breeding for adaptation to diverse environments. *Field Crops Research*, 115(3), 221-234.

**Cao, R., Liu, X., Gao, K., Mendgen, K., Kang, Z., Gao, J., Dai, Y., 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: 584–592.

**Carroll, G.C. 1986.** « La biologie de l'endophytisme chez les plantes avec une référence particulière aux plantes ligneuses ». Dans *Microbiologie de la phyllosphère*, édité par : Fokkema, N.J et van den Heuvel, J. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 205-222.

**Chabane. M., Boussard. J. 2012.** La production céréalière en Algérie des réalités d'aujourd'hui aux perspectives stratégique de demain. 20p.

**Christian, N., Sullivan, C. 2016.** Plant host and geographic location drive endophyte community composition in the face of perturbation. *Microb Ecol.* 72: 621-632p.

## Références bibliographiques

---

**Clay, K., Schardl, C. 2002.** Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *American Naturalist*: 160: S99-S127.

**Clerget, Y. 2011.** Biodiversité des céréales Origine et évolution. Montbéliard. 17p.

**Crémer, J. 2014.** Les Poacées : diversité, écologie et utilisations. *Botanica Helvetica* : 124(2), 145-160.

**Deanna, A., Smith, B., Johnson, C.(2009.** Morphological characteristics of *Stemphylium* species and their impact on plant pathology. *Journal of Mycology*, 115(2), 123-134.

**Debiton, C. 2010.** Identification des critères du grain de blé (*Triticumaestivum*L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse de Doctorat. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, France nombre de page

**Derbal, N., Bensalem, L., Touati, S., Amrani, M., Kaci, R. 2015.** Importance et production du blé en Algérie au cours de la dernière décennie. *Revue Algérienne des Sciences Agricoles*, 12(3), 150-165.

**Dervis, S., Özer, G. 2023.** Neoscytalidium dimidiatum associé aux plantes Plant-Associated Neoscytalidium dimidiatum Taxonomy, Host Range, Epidemiology, Virulence, and Management Strategies: A Comprehensive Review. *Journal of fungi*, 46p

**Djermoun, A. 2009.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques, Département d'Agronomie, Université de Hassiba Benbouali de Chlef.

**Elkhateeb, W. A., Daba, G. M, 2021.** Stemphylium and Ulocladium between Benefit and Harmful. *Chemistry of Natural and Microbial Products Department, National Research Centre, Dokki, Giza, 12622, Egypt.* 2-3p.

**Ezzahiri, B. 2001.** Les maladies du blé. Identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. *Transfert de technologie en Agriculture, (77) : 4 p.*

**FAO, 2023.** Bulletin sur l'offre et la demande de céréales. Situation alimentaire mondiale. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

**Fares, R., Bouchaib, A. 2017.** Recherche de bactéries développant une activité antagoniste vis -à- vis des agents de la pourriture racinaire de blé dur. Mémoire de Master en Sciences Biologiques : Biotechnologie des Mycètes / Fermentation et production de substances fongiques. 101p.

## Références bibliographiques

---

**Feillet, P. 2000.** Le grain de blé. Composition et utilisation. Mieux comprendre. INRA. ISSN: 1144-7605. ISBN : 2-7380-0896-8 : 308p.

**Firakova, S., Sturdikova, M., Muckova, M. 2007.** Bioactive secondary metabolites produced by microorganisms associated with plants. *Biologia* : 62, 251-257.

**Frédéric, R., Laurence, F., Nathalie, R., Julien, B., 2010.** Carie du blé. Protection des plantes, La recherche avance **4p.**

**Gange, A.C., Dey,S., Currie, A.F, Sutton, B.C. 2007.** Différences spécifiques au site et à l'espèce dans la présence d'endophytes chez deux plantes herbacées. *Journal d'écologie* : 95(4), 614-622.

**Gherbawy, Y.A., Gashgari, R.M. 2013.**Molecular characterization of fungal endophytes from *Calotropis procera* plants in Taif region (Saudi Arabia) and their antifungal activities. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology: Official Journal of the Societa Botanica Italiana*: 148(6), 37-41.

**González, V. Tello, M.L. 2011.**The endophytic mycota associated with *vitis vinifera* in central Spain. *Fungal Diversity*, 47 :29-42.

Grandes cultures en Algérie : Tendances et coûts de production (2017-2018). Institut Technique des Grandes Cultures.

**Grzegorz, S., 2023.** Role of non-pathogenic *Rhizoctonia* strains as biocontrol agents. *Journal of Plant Protection*, 58(2), 123-135.

**Guckert, A. 2018.** Origines du blé et histoire du pain. INRA

**Helander, M.L., Sieber, T.N., Petrini, O., et Neuvonen, S., 1994.** Endophytic fungi  
**Hesnaoui, N. 2023.**Les principales maladies cryptogamiques du blé transmises par la semence en Algérie: importance, évaluation des attaques et lutte.Institut National De La Protection Des Végétaux, Station régionale de Draa-Ben-Khedda.

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

in Scotothytic fungieber, T.N., Petrini, O., et Neuvonen, S., 1994 Université des Frères  
*MeJournal of Botany* 72: 1108- 1113.

**Jacquard, C. 2007.** Embryogenèse pollinique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) : importance du prétraitement. Thèse : Docteur de l'Université de Reims Champagne-Ardenne, Spécialité : Biologie et Physiologie Végétales, 210p.

## Références bibliographiques

---

**James, T. Y., Kauff, F., Schoch, C. L., Matheny, P. B., Hofstetter, V., Cox, C. J., Vilgalys, R. 2006.** Reconstructing the early evolution of Fungi using a six-gene phylogeny. *Nature*, 443(7113), 818-822.

**Kabore, K.H. 2022.** Helminthosporiose du riz en Afrique de l'Ouest : identification des espèces responsables et diversité génétique de *Bipolaris oryzae* et *Exserohilum rostratum*, Thèse de Doctorat de l'université Paris-Saclay, 289p

**Khan, A.L., Hussain, J., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A., Lee I.J. 2015.** Endophytic fungi: Resource for gibberellins and crop abiotic stress resistance. *Critical Reviews in Biotechnology*.35: 62-74p.

**Kouadria, M. 2019.** Le cycle de développement des céréales : Aspects physiologiques et agronomiques. *Agronomie & Environnement* : 15(2), 123-145.

**Küpper, F.C., Maier, I., Müller, D.G., & Loiseaux, S. 2006.** Phylogenetic affinities of two eukaryotic pathogens of marine macroalgae, *Eurychasma dicksonii* (Wright) Magnus and *Chytridium polysiphoniae* Cohn. *Cryptogamie, Algologie*, 27(2), 165-184

**Kusari, S., Spiteller, M. 2012.** Metabolomics of endophytic fungi producing associated plant secondary metabolites: progress, challenges and opportunities. *Metabolomics*. (1866): 241–66.

La culture du blé dur (*Triticum durum*).2020. Institut Technique des Grandes Cultures

**Labdelli, F. 2015.** Etude du nématode à kyste *Heterodera avenae* Wollenweber, 1924 (Tylenchida, Heteroderidae) des céréales dans la région de Tiaret. Thèse de Doctorat en Sciences de la Nature et de la Vie, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, 170p.

**Lacroix, M. 2002.** Maladies des céréales et de la luzerne. *Agronomie-phytopathologiste*. Agriculture Pêcheries et Alimentation, 26p.

**Larran, S., Perello, A., Simon, M.R., Moreno, V. 2002.**The endophytic fungi from wheat (*Triticum aestivum* L.), *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23(4):565-572p.

**Layeb, L.M. 2018.** Caractérisation morphologique de quelques génotypes de blé local conduits au niveau de la région Touggourt (Exploitation agricole de CFVA-Tggt). Mémoire de Master en Sciences Agronomiques, Spécialité : Gestion des agrosystèmes, Université KASDI MERBAH OUARGLA, 154p.

## Références bibliographiques

---

- Linás, M.D., Morassin, B., Recco, P.1998.** Actualités sur *Alternaria*: écologie données actuelles sur *Alternaria*. *Allergologie et D'immunologie Clinique*. 38(4): 213-224
- Liu-Ji, H. 2016.** Bioherbicides fongiques : recherche de champignons telluriques à action pathogène sur les semences d'adventices. *Sciences agricoles*. Dumas-01405164
- Longcore, J. E., Pessier, A. P., Nichols, D. K. 1999.** *Batrachochytrium dendrobatidis* gen. et sp. nov., a chytrid pathogenic to amphibians. *Mycologia*, 91(2), 219-227.
- Lui, Y., An, J., Safdar, A., Shien, Y., Shu, W., Tan, X., Zhu, B., Xiao, J., Schirawski, J., He, F., Zhu, G. 2024.** Identification and characterization of *Nigrospora* species and Novel species, *Nigrospora anvahiensis* causing Black Leaf spot on Rice and Wild Rice in the Anhui Province of China. *Journal of fungi*. 156 :10p.
- Malinowski, D. P., Alloush, G. A., Belesky, D. P. 1999.** Leaf endophyte *Neotyphodium coenophialum* modifies mineral uptake in tall fescue. *Plant and Soil* : 210(2), 221-230.
- Mallek, H. 2017.** Contribution à l'étude de la mycoflore associée aux grains de blé et d'orge dans la wilaya de Bouira, Mémoire de Master, université Akli mohand oulhadj bouira, 73p.
- Manamgoda, D.S., Rossman, A.Y., Castlebury, L.A., Crous, P.W., Madrid, H., Chukeatirote, E., Hyde, K.D. 2014.** Le genre *Bipolaris*. *Études en mycologie*, 79: 221–288.
- Mandyam, K., Jumpponen, A. 2005.** Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. *Studies in Mycology* : 53, 173-189.
- Mansouri, A. 2011.** Les champignons endophytes chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) : Occurrence et rôle dans la tolérance au stress hydrique, Mémoire de Magister en Agronomie, Option : Gestion des ressources naturelles et environnement, Université el- Hadj Lakhdar Batna, 146p.
- Martin. S., Galvez, L., Guasch, L., Palmero, D. 2022.** Fungal pathogens and Seed stronge in the Dry state. *Journal plants*. 10p.
- Mechiah, F.(2023.** Diversité des symbiotes fongiques racinaires de *Pistacia atlantica* Desf. dans la région de Laghouat. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 243 :32-40
- Mekdache, A., Messaoudi, A. 2017.** Inventaire des Champignons endophytes des rameaux de *Zizyphus lotus* de la région de Djebba (Tizi-Ouzou, Algérie), Mémoire de master en

## Références bibliographiques

---

Sciences Biologique, Spécialité: Diversité et Adaptation de la Flore Méditerranéenne, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 85p.

**Metahri, H., 2015.** Caractérisation des souches fongiques phytopathogènes isolées à partir des palmes du palmier dattier *Phoenix dactylifera L.* dans la région de Ouargla. Mémoire de master académique. Microbiologie Appliquée, Université Kasdi Merbah Ouargla.82.

**Mlinowski, D.P., Belesky, D.P. 2000.** Adaptations of Endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: Mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Science*. 40(4): 923-940.

**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(2), 471-491

**Moussaoui, A. 2020.** Étude de l'effet de la date et de la densité de semis sur les caractères phénologiques et agronomiques de deux variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) dans la région de Guelma. Mémoire de Master, Université Saad Dahlab – Blida.

**Murugan, L., Venkataravanappa, V., Sujoy, S., Awadhesh, B.R., Swapnila, T., Rakesh, K.R., Atul, K.P., Chowdappa, P. 2014.** Morphological, Pathogenic and Molecular Characterizations of *Alternaria* Species Causing Early Blight of Tomato in Northern India, The National Academy of Sciences, 08p.

**Nagabhyru, P., Dinkins, R.D., Wood, C.L., Bacon, C.W., Schardl, C.L. 2013.** Tall fescue endophyte effects on tolerance to water-deficit stress. *BMC Plant Biology*, 13(1): 127p.

**Nedjah, I, 2014.** Changements physiologiques chez des plantes (Blé dur *Triticum durum Desf.*) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb). Thèse de Doctorat, Spécialité : Biologie Végétale et Environnement, Université Badji Mokhtar, Annaba 66p.

**Obledo, E.N., Barragan-Barragan, L.B., Gutierrez-Gonzalez, P., Ramirez-Hernandez, B.C., Ramirez, J.J., Rodriguez-Garay, B. 2003.** Increased photosynthetic efficiency generated by fungal symbiosis in *Agave victoria-reginae*. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*.74: 237-241p.

## Références bibliographiques

---

**Ogórek, R., Lejman, A., Pusz, W., Miluch, A., Miodyńska, P. 2012.** Characteristics and taxonomy of *Cladosporium* fungi. *Mikologia Lekarska*, 19(2) : 80-85p

**Orlici, Z.C., Benkar, O. 2018.** Contribution à l'étude de la flore fongique es semences de blé dur de campagne dans la région Nord de costantine, Mémoire de Master, université des Frères Mentouri Constantine1, 83p.

**Outi, M. 2000.** Genetic mapping of traits important in barley breeding. *Plant production research. Crops and soil*, 44 p.

**Padilla, M. 2003.** Les céréales en Algérie : production, consommation et politique agricole. *Options Méditerranéennes. Série B : Etudes et Recherches* : 43, 55-73.

**Pal, R., Singh, P., Kumar, A., Sharma, J., Gupta, N. 2012.** Importance et production de l'orge (*Hordeum vulgare L.*) au niveau mondial. *Journal International des Céréales*, 8(2), 105-120.

**Păuneț, C., Popescu, I., Andrei, M., Ionescu, D. 2010.** The genetic basis of wheat adaptation to different climates. *Agricultural Research*, 67(1), 45-58.

**Pillo, M., Dubois, L., Martin, A. 2017.** Les champignons et le règne fongique : Une réévaluation de leur classification. *Revue Internationale de Mycologie*, 29(4), 215-230.

**Poursafar, A., Zafari, D., & Soltani, J. 2016.** Diversity and pathogenicity of *Stemphylium* species on various plant hosts. *Mycological Research*, 120(3), 245-254.

**Rapior S. et Fons F. 2006.** La classification des champignons. *Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault*, 146 (4), 81-86

**Rapior. S., Fons. F, 2006.** La classification des champignons. *Annales S.H.H.N.H.* 146.4p.

**Rémi, Ch. 1997.** Identifier les champignons transmis par les semences. INRA. *Technique et pratique* : 400p.

**Rodriguez, R.J., White, J.F.J., Arnold, A.E., Redman, R.S. 2009.** Fungal endophytes: Diversity and functional roles. *New Phytologist*. 182(2): 314-330p.

**Saikkonen K, Faeth S H , Helander M, Sullivan T J.1998** Fungal endophytes continuum of interactions with host plants . *Annal review of Ecology and Systematics* 29(1) :319-343p.

**Schüßler, A., Schwarzott, D., Walker, C. 2001.** A new fungal phylum, the Glomeromycota: Phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105(12), 1413-1421.

## Références bibliographiques

---

- Senequier-Crozet, A., Canard, B. 2016.** Les champignons endophytes : impact sur les écosystèmes et production de molécules d'intérêt thérapeutique. Thèse de Doctorat, Faculté de Pharmacie de Grenoble, Université Grenoble Alpes. 104 :22-32
- Shahzad, R., Khan, A.L. 2018.** What is there in seeds? Vertically transmitted endophytic resources for sustainable improvement in plant growth. *Front. Plant Sci*; 9:24p.
- Sieber, T.N., Riesen, T. K., Mueller, E., Fried, P.M. 1988.** Endophytic fungi in four winter wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) differing in resistance against *Stagonospora nodorum* (Berk.) Cast. & Germ.[*Septoria nodorum* (Berk.) Berk.] *J. Phytopathol.* 122p.
- Spatafora, J.W., Chang, Y., Benny, G.L., Lazarus, K., Smith, M.E., Berbee, M.L., Bonito, G., Corradi, N., Grigoriev, I., O'Donnell, K., et al. 2016.** A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia*, 108(5), 1028-1046.
- Strobel, G., Daisy, B., Castillo, U., Harper, J. 2004.** Natural products from endophytic microorganisms. *Journal of Natural Products*. 67: 257-268p.
- Sun, B.T., Komivi, S.A., Xiao-Feng, X., Jun-Hui, Ch., Xin, A., Yang, T., Qian, W., Bo-Wen, F., Mark, S.G., Min-Sheng, Y. 2018.** Endophytic effects of *Aspergillus oryzae* on radish (*Raphanus sativus*) and its herbivore *Plutellaxylostella*. *Planta* 3: 705-714p.
- Tabuc, C. 2007.** Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines. Thèse de Doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse, Université de Bucarest, Spécialité : Pathologie, Mycologie, Génétique et Nutrition UPSP de Mycotoxicologie. France. 190 p.
- Tasic, S., Dimkić, I., Tančić, S., Balaj, I., Stojanović, S. 2007.** Diversity and distribution of *Cladosporium* species from indoor and outdoor environments in Serbia. *Mycologia Balcanica*: 4(1-2), 75-82.
- Taylor, J.W., Spatafora, J.W., O'Donnell, K., Lutzoni, F.M., James, T.Y., Hibbett, D.S., Geiser, D.M., Bruns, T.D., Blackwell, M., Vilgalys, R. 2004.** The fungi. In McLaughlin, D.J., McLaughlin, E.G., Lemke, P.A. (Eds.), *The Mycota: A Comprehensive Treatise on Fungi as Experimental Systems for Basic and Applied Research*, pp. 3-32).
- Tedersoo, L., Sánchez-Ramírez, S., Koljalg, U., Bahram, M., Döring, M., Schigel, D., May, T.W., Ryberg, M., Abarenkov, K., Kõljalg, U., et al. 2018.** High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity*, 90(1), 135-159.

## Références bibliographiques

---

- Thomma, B.P.H.J. 2003.** *Alternaria spp* : From General Saprophyte to Specific Parasite. *Molecular Plant Pathology*, 4, 225-236p.
- Tintjer, T., Leuchtmann, A., Clay, K. 2008.** Variation in horizontal and vertical transmission of the endophyte *Epichloë elymi* infecting the grass *Elymus hystrix*. *New Phytol.* 179(1):236-246p.
- Toofanee, S.B., Dulymamode, R. 2002.** Fungal endophytes associated with *Cordemoya integrifolia*. *Fungal Diversity*, 11:169-175p.
- Varshney, R.K., Singh, R.P., Gupta, P.K., Kumar, A., Sharma, S.K., Joshi, A.K. 2006.** Adaptation and diversity of wheat (*Triticum aestivum*) in various climatic conditions. *Journal of Cereal Science*, 45(2), 123-134.
- Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M. 2005.** The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 102: 13386-13391.
- Webber, J. F. 1981.** Un contrôle biologique naturel contre la maladie hollandaise de l'orme. A natural control of Dutch elm disease. *Nature*: 292, 449-451.
- Whipps, J.M. 2001.** " Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere." *Journal of Experimental Botany*, 52(1):487-511p.
- White, J.F., Reddy, P.V., Bacon, C.W. 2000.** Biotrophic endophytes of grasses: a systematic appraisal. *Microbial endophytes*: 49–62p.
- Xiang, S., Liang, D.G. 2012.** Diversité fongique endophytique : revue des techniques traditionnelles et moléculaires. *Mycologie*. 3(1) : 65-76p.
- Yan, J.F., Broughton, S.J., Yang, S.L., Gange, A.C. 2014.** Do endophytic fungi grow through their hosts systemically? *Fungal ecology*:13, 53-59.
- Zhang, H.W., Song, Y.C., Tan, R.X. 2006.** Biology and chemistry of endophytes. *Natural Product Reports*, 23: 753-771p.
- Zillinsky, F.J. 1983.** *Maladies Communes des céréales à paille. Guide d'identification*, 156p

---

## Résumé

Les céréales sont des sources essentielles de nutriments, fournissant des glucides, des fibres, des vitamines et des minéraux. Elles constituent une base alimentaire dans de nombreuses cultures à travers le monde. En Algérie, la culture des céréales, notamment le blé dur et l'orge, est cruciale pour répondre aux besoins alimentaires de la population. Le blé dur est principalement utilisé pour la production de semoule et de pâtes, tandis que l'orge est souvent utilisée comme fourrage pour le bétail et pour la production de malt. L'objectif de ce travail consiste à établir un inventaire des mycoendophytes présents dans trois variétés de céréales : deux variétés de blé (Oued Bared et Simeto) et une variété d'orge (Rihane). Les champignons endophytes sont taxonomiquement et biologiquement divers, mais tous partagent le caractère de coloniser les tissus internes de la plante sans causer de dommages apparents à leur hôte. La mise en évidence des champignons endophytes a été réalisée sur des semences non traitées, en utilisant 120 grains de blé dur et d'orge. Cette étude a permis d'isoler et d'identifier 9 genres de champignons endophytes. En se basant sur des traits macroscopiques et microscopiques, les champignons identifiés sont : *Alternaria*, qui est le genre le plus abondant, suivi par *Rhizoctonia*, *Cladosporium*, *Stemphylium*, *Fusarium*, *Bipolaris*, *Ulocladium*, *Neoscytalidium* et *Nigrospora*, qui sont les moins abondants. Parmi ces genres, 8 appartiennent au phylum des Ascomycota, avec un seul genre (*Rhizoctonia*) appartenant au phylum des Basidiomycota. Ces mycoendophytes jouent un rôle majeur dans la protection contre les agents pathogènes et le stress nutritif, agissant comme agents de biocontrôle en compétition avec d'autres pathogènes.

**Mots clés:** Blé dur (*Triticum durum*), Orge (*Hordeumvulgare*), Mycoendophytes, Diversité, Ascomycota, *Alternaria*.

## Abstract

Cereals are essential sources of nutrients, providing carbohydrates, fibres, vitamins, and minerals. They form a dietary staple in many cultures worldwide. In Algeria, cereal cultivation, notably durum wheat and barley, is crucial to meeting the population's dietary needs. Durum wheat is primarily used for semolina and pasta production, while barley is often used as livestock fodder and for malt production. The objective of this work is to establish an inventory of mycoendophytes present in three cereal varieties: two varieties of wheat (one from the Oued Bared region and the other from Simeto) and one variety of barley from the Rihane region. Endophytic fungi are taxonomically and biologically diverse, but all share the characteristic of colonizing the internal tissues of the plant without causing apparent damage to their host. The detection of endophytic fungi was carried out on untreated seeds, using 120 samples of durum wheat and barley. This study enabled the isolation and identification of 9 genera of endophytic fungi. Based on macroscopic and microscopic traits, the identified fungi are: *Alternaria*, which is the most abundant genus, followed by *Rhizoctonia*, *Cladosporium*, *Stemphylium*, *Fusarium*, *Bipolaris*, *Ulocladium*, *Neoscytalidium*, and *Nigrospora*, which are the least abundant. Among these genera, 8 belong to the phylum Ascomycota, with only one genus (*Rhizoctonia*) belonging to the phylum Basidiomycota. These mycoendophytes play a major role in protection against pathogens and nutritional stress, acting as biocontrol agents by competing with other pathogens.

**Keywords:** Durum wheat (*Triticum durum*), Barley (*Hordeum vulgare*), Mycoendophytes, Diversity, Ascomycota, *Alternaria*.

