



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Microbiologie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم الميكروبيولوجيا

N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : *Ecologie microbienne*

Intitulé

**Isolement et identification de la microflore tellurique indigène de trois biotopes
céréaliers différents et mise en évidence de l'aptitude antagoniste de
certaines espèces vis-à-vis des maladies affectant les céréales :**

Cas de la *Fusariose* du blé

Présenté par : OUFFROUKH Mehdi – Brahim - Tarek

Le 21/06/2023

MOUELEFFE Serine - Sarab

JJury d'évaluation :

Président de jury : Dr. ABDELAZIZ Wided (MCB UFM Constantine)

Rapporteur : Dr. HARRAT Wahiba (MRB - INRAA Constantine)

Examineur : Dr. ZERMANE Ferial (MCB UFM Constantine)

Année universitaire : 2022 - 2023

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de l'Institut National de la Recherche agronomique de Constantine, URC/INRAA.

Je tiens à remercier particulièrement Madame Dr. Abdelaziz W. (Chef de Département) pour avoir accepté de présider le Jury de ce modeste travail ;

Mes remerciements s'adressent également à Madame Dr. Zermane F. d'avoir bien voulu accepter d'examiner ce travail ;

Je tiens à remercier avant tout mon encadreur Dr. Harrat W. qui a accepté de superviser ce travail et de m'avoir apporté toute l'aide et le savoir nécessaire, ses orientations éclairées, sa grande gentillesse et son soutien sans réserve, sans lequel ce mémoire n'aurait pas vu le jour.

Je n'oublierai pas de remercier également l'équipe « Ingénieurs de soutien » du laboratoire de l'URC, Mesdames Imami et Boussaha qui m'ont beaucoup aidé, pour leur soutien et leur sympathie.

Sans j oublier toute l'équipe du CBT constantine Dr. boudchiche Rima et Mr. boumegoura Ali mm balara pour tous les informations que vous nous avez donnez

DEDICACES

Je Dédie ce travail :

A mes tres cher parents

Ma mere malika et mon père Dr Ouffroukh ammar

Cette dédicace est un témoignage de mon amour et de ma reconnaissance infinie envers vous. Votre soutien inconditionnel et votre dévouement ont été les fondements de mon parcours.

Papa, tu as été une source d'inspiration pour moi, avec ta passion pour la connaissance et ta persévérance. Tes conseils avisés et ton esprit rigoureux ont façonné ma vie.

Maman, ton amour sans limites et ta bienveillance m'ont donné la force de croire en moi-même. Ta sagesse et tes valeurs morales ont été un guide précieux.

Ensemble, vous avez été mes piliers, me soutenant dans les moments difficiles. Je suis reconnaissant de tout ce que vous avez sacrifié pour mon éducation et mon bien-être.

Aujourd'hui, je vous rends hommage et vous exprime toute mon affection. Votre héritage brillera à travers moi et dans tout ce que j'entreprends.

Avec tout mon amour,

A mes chérs sœurs Souad, Amel, Maya, Silya, Zina

Et à leurs adorables enfants, vous êtes ma plus grande fierté. Votre amour et votre soutien inconditionnels sont un cadeau précieux dans ma vie. Je suis reconnaissant

Je remercie également tous mes Ami (ies) de promotion de Magister ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail

OUFFROUKH Mahdi Brahim Tarek

DEDICACES

Je souhaite dédier mon mémoire de fin d'études à ma famille, mon père Tahar, ma mère Leila, mes frères et ma sœur, sans oublier ma chère grand-mère.

À mes amis, Votre amitié sincère, vos encouragements constants et votre soutien moral ont été un soutien essentiel dans les moments de doute et de difficulté.

Chacun d'entre vous a contribué à ma croissance personnelle et à ma réussite académique de manière unique. Votre confiance en moi, vos conseils éclairés et vos encouragements chaleureux m'ont permis de surmonter les obstacles et de réaliser mes objectifs.

Sérine

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	8
LISTE DES TABLEAUX	9
LISTE DES ABREVIATIONS	10
INTRODUCTION.....	1
Chapitre 1. Propriétés générales de la rhizosphère.....	4
1. Définition	4
2. Interactions plante - sol - microorganismes	7
2.1. La symbiose	7
2.2. Le parasitisme.....	7
2.3. L'antagonisme	7
3. Facteurs déterminant l'activité microbienne.....	7
Chapitre 2. Microorganismes des sols.....	9
1. Les champignons	9
1.1. Généralités	9
1.2. Classification des mycètes	10
1.3. Caractères morphologiques et physiologiques	11
1.3.1. Système végétatif	11
1.3.2. Aspects de l'appareil végétatif ou thalle	11
1.3.3. Les spores	12
1.3.4. L'appareil reproducteur.....	13
2. LES ACTINOMYCETES.....	14
2.1. Caractères généraux.....	14
2.2. Morphologie des actinomycètes	14
2.3. Rôle des <i>actinomycètes</i> dans le sol et dans la rhizosphère	15
Chapitre 3. Les microorganismes antagonistes et phytopathogènes	16
1. Le genre <i>Fusarium</i>	16
1.1. Généralités sur le genre <i>Fusarium</i>	16
1.2. Principaux critères de reconnaissance	16
1.3. La <i>Fusariose</i> du blé	17
2. Le genre <i>Trichoderma</i>	18
2.1. Généralités	18

2.2.	Taxonomie de <i>Trichoderma</i>	19
2.3.	Caractéristiques morphologiques et biologiques de <i>Trichoderma</i>	19
3.	Interet de la lutte biologique dans le controle des maladies	20
Chapitre 4. Importances des cereales		21
MATERIEL ET METHODES		24
1.	Matériel biologiques	24
2.	Méthode de prélèvement de sol rhizosphérique.....	24
3.	Isolment des microorganises du sol	25
3.1.	Technique de dilution et ensemencement.....	25
4.	Dénombrement des colonies en fonction des caractères morphologiques.....	26
5.	Purification des colonies	26
6.	Identification des microorganismes	27
6.1.	Identification macroscopique	27
6.2.	Identification microscopique	27
6.3.	Conservation	27
7.	Caractérisation moléculaire des isolats de <i>Trichoderma</i> isolés	27
7.1.	Extractions de l'ADN génomique	27
7.2.	Amplification des amorces universelles	28
7.3.	Séquençage sanger et alignement des séquences par l'outil BLAST	28
8.	Evaluation de l'activité antagoniste des souches isolées (<i>Trichoderma</i> et <i>Actinomycètes</i>) 28	
8.1.	Technique de confrontation directe	29
8.2.	Evaluation des l'effet antifongique des isolats actinomycètes <i>in vitro</i>	29
RESULTATS		31
1.	Analyse des sols	31
2.	Nombre de colonies pour tous les échantillons.....	31
3.	Nombre de colonies par échantillon.....	32
4.	Nombre de colonies obtenues par échantillon en fonction des dilutions.....	33
5.	Genre fongiques identifiés	33
6.	Genre fongique identifiées par échantillon	35
7.	Caractérisations des Genres étudiés	36
8.	Résultats de l'identification moléculaire des <i>Trichoderma</i>	39
9.	Résultats de la lutte biologique	39
9.1.	Test de confrontation direct « <i>Trichoderma</i> – <i>Fusarium</i> »	39

10.	Tests de confrontations directes « <i>Actinomycète – Fusarium</i> »	41
10.1.	Résultats de la méthode 1 de confrontation directe « <i>Actinomycète – Fusarium</i> »	41
10.2.	Résultats de la méthode 2 de confrontation directe « <i>Actinomycète – Fusarium</i> »	41
	DISCUSSION	45
	CONCLUSION	48
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	51
	RESUME	

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schémas de la zone rhizosphérique Activité, rôle et microflore de la rhizosphère (Moorthy et Balasundaram, 2021)	5
Figure 2. Représentation schématique décrivant les interactions plantes-microorganismes dans la rhizosphère (Aouara, 2013).....	6
Figure 3. Croissance mycélienne : Schéma simplifié Représentant des cellules hyphales.....	11
Figure 4. Aspect des différents thalles mycéliens (Larcher, 2007).....	12
Figure 5. Diversité des spores asexuées ou conidies (Larcher, 2007).....	13
Figure 6. Schématisation de la reproduction asexuée et sexuée d'une moisissure (Lecellier, 2013).....	13
Figure 7. Principaux groupes d' <i>actinomycètes</i> (Kerbab, 2010).....	15
Figure 8. Croissance de thalle et caractères morphologiques de <i>Fusarium solani</i> . (a) conidiophores avec monophialides ; (b) chlamydospores ; (c) micro et macro conidies (De bourgogne, 2013).	17
Figure 9. Symptômes de la <i>fusariose</i> observés chez le blé.	17
Figure 10. Caractérisations phénotypiques de <i>Trichoderma sp.</i> ; (A) aspect de la culture, (B) verso de la boîte, (C) observation microscopique (G x 40).	18
Figure 11. Les mécanismes de mycoparasitisme exercé par <i>Trichoderma</i>	20
Figure 12. Les importations de l'Algérie en blé dur en 2015-2016 (ONFAA).....	22
Figure 13 . Zones de prélèvement. (A) Oum El bouaghi (E2) ; (B) Constantine (Béni H'miden-E1 et El Khroub-E3).....	24
Figure 14. Méthodes de prélèvement des échantillons	25
Figure 15. Méthode de suspension dilution	26
Figure 16. Méthode de confrontation directe sur milieu PDA.....	29
Figure 17. Exemple d'aspect des colonies obtenues dans les boîtes ensemencées sur milieu PDA en fonction des dilutions	32
Figure 18. Nombre de colonies par échantillon	32
Figure 19. Nombre de colonies fongiques obtenues dans les différents échantillons.....	34

Figure 20. Pourcentages des genres fongiques obtenus sur l'ensemble des échantillons.....	35
Figure 21. Nombre de colonies identifiées par genre fongique en fonction des échantillons..	35
Figure 22. Aspect des genres. (A) <i>Aspergillus</i> ; (B) <i>Fusarium</i> ; (C) <i>Penicillium</i> ; (D) <i>Trichoderma</i> . (1) recto de la boîte ; (2) revers ; (3) Observation microscopique	37
Figure 23. Aspect des genres. (A) <i>Rhizopus</i> ; (B) <i>Actinomyète</i> ; (C) <i>Verticillium</i> ; (D) <i>Cladosporium</i> ; (E) <i>Alternaria</i> . (1) recto de la boîte ; (2) revers ; (3) Observation microscopique	38
Figure 24. Aspect des <i>Trichoderma</i> . (A) Tr1 « <i>Trichoderma harzianum</i> » ; (B) Tr2 « <i>Trichoderma afroharzianum</i> ». (1) recto de la boîte ; (2) revers ; (3) Observation microscopique	39
Figure 25. Taux d'inhibition des confrontations directes « <i>Trichoderma-Fusarium</i> ».....	40
Figure 26. Test de confrontation directe des deux <i>Trichoderma sp.</i> vis-à-vis de deux <i>Fusarium sp.</i> de blé en suspension. (T : témoin ; F : <i>Fusarium sp.</i> ; A : <i>Trichoderma sp.</i>).....	40
Figure 27. Taux d'inhibition des confrontations directes – Méthode 1 « <i>Fusarium - Actinomyètes</i> ».....	42
Figure 28. Taux d'inhibition des confrontations directes – Méthode 2 « <i>Fusarium- Actinomyètes</i> ».....	42
Figure 29. Test de confrontation directe (méthode 1) des quatre <i>actinomyètes</i> vis-à-vis de deux <i>Fusarium sp.</i> de blé.	43
Figure 30. Test de confrontation directe (méthode 2) des quatre <i>actinomyètes</i> vis-à-vis de deux <i>Fusarium sp.</i> de blé en suspension.....	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Analyses physico-chimiques des sols.....	31
Tableau 2. Nombre de colonies identifiées par genre au niveau de chaque échantillon.....	36

LISTE DES ABREVIATIONS

OEB : Oum El Bouaghi

E : Echantillon

Cm: Centimètre

mm: Millimètre.

ml : millilitre

µl : Microlitre

f. sp. : Forme spécialisée.

Ha: Hectare.

OCDE :

FAO: Food Agriculture Organisation.

ONFAA :

CRCC : Centre de la Recherche sur la Conservation des Collection

INPV: Institut Technique des Grande Culture.

INRAA: Institut National de la Recherches Agronomique d'Algérie

URC : Unité de recherche de Constantine

pH: Potentiel d'hydrogène.

Qx: Quintaux.

°C: Degré Celsius.

T: Témoin.

ADN: Acide Désoxyribonucléique.

G : Guanine

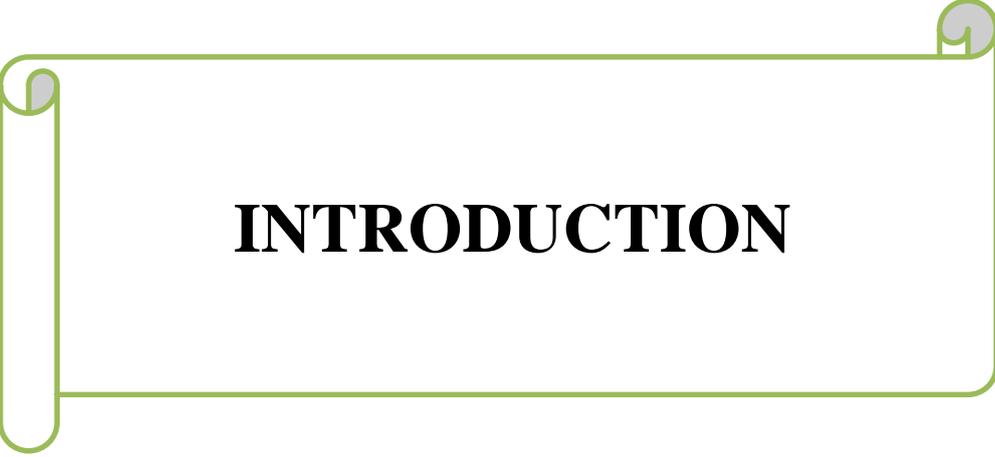
C : Cytosine

I (%) : Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne

I : Inhibition

Cn : Diamètre moyen des colonies en présence de l'antagoniste

Co : Diamètre moyen des colonies témoins.



INTRODUCTION

INTRODUCTION

À l'heure actuelle, l'agriculture est confrontée à un défi majeur, nourrir une population sans cesse croissante dont le nombre d'individus devrait atteindre 9,2 milliards en 2050 (Gouel et Guimbar, 2019), ce qui impliquera des augmentations significatives de la production de plusieurs commodités de base dont les céréales constituent l'une des principales ressources alimentaires de base pour l'Homme, car elles rentrent dans la composition de nombreux produits alimentaires (OCDE-FAO, 2020).

En Algérie, Les céréales constituent donc la composante principale des productions végétales, elles couvrent près de 80% de la surface agricole utile et intéresse la presque totalité des exploitations agricoles, cependant les productions demeurent toujours irrégulières et en deçà des besoins. Les rendements moyens relevés par hectare et par espèces au niveau national restent encore en dessous des espérances quel que soit « blés ou orges ». Parmi les principales causes de ces faibles performances, les problèmes phytosanitaires qui occupent une place particulièrement importante (Bouzerzour *et al.*, 2021).

En moyenne au niveau mondial, malgré une protection intensive des cultures, 42,54% de la production est perdue. Cette perte est due pratiquement pour une grande part aux maladies soit des pertes de 13,5% (Savary *et al.*, 2019). Par ailleurs, selon la FAO (2020) ces pertes seraient plus prononcées dans les pays en voie de développement et en Afrique.

Environ 30% des productions agricoles de l'Algérie sont perdus sous l'effet d'agents nuisibles. Les céréales peuvent être attaquées par de nombreuses maladies et à différents stades de leur cycle de développement. Ces attaques occasionnent des pertes importantes lorsque les variétés utilisées sont sensibles et les conditions de l'environnement sont favorables.

La lutte contre les maladies des céréales notamment « les *fusarioses* » est devenue une nécessité. La stratégie préconisée par la recherche est le développement d'une méthode de lutte intégrée, peu onéreuse et compatible avec les préoccupations environnementales selon Munkvold (2017).

Ainsi la lutte biologique est l'une des stratégies préconisées par la recherche ; celle-ci fait appel à l'utilisation de microorganismes antagonistes naturels. Parmi ces derniers des champignons antagonistes, tels les espèces du genre *Trichoderma* ainsi que les *Actinomycètes* qui ont sont les meilleurs candidats à appliquer sous forme de cellules vivantes. Ils sont connus pour leur production de métabolites bioactifs. Leur capacité à coloniser la rhizosphère et les racines des

plantes, à contrôler les microorganismes phytopathogènes, et à former des spores adaptées pour la formulation de produits stables, sont des caractères importants pour la réussite d'un bio contrôle (Ansari *et al.*, 2021 ; Gupta *et al.*, 2020).

Les *Fusarium sp.* sont des agents phytopathogènes responsables d'une gamme de symptômes dévastateurs tels que la fonte des semis, les pourritures racinaires, la *fusariose* de l'épi et les pourritures de la tige, affectant de nombreuses espèces de plantes dicotylédones et monocotylédones, en particulier les céréales (Leslie et Summerell, 2019 ; Kazan et Gardiner, 2018). Ces maladies ont traditionnellement été contrôlées en utilisant principalement des produits phytosanitaires d'origine chimique (Fernandez *et al.*, 2019).

Par ailleurs et dans cette optique, la biodiversité (notamment microflore) de trois biotopes céréalier, l'un tardif dans la zone de la région de Oum El Bouaghi, « Ferme Ghoul », le second dans la zone intermédiaire Bounouara « parcelle INRAA » et le dernier précoce de la région de Béni Mestina « Ferme Debbah » a été explorée. Plusieurs champignons dont des antagonistes du genre *Trichoderma* ainsi que d'autres auxiliaires *Actinomycètes* de l'environnement ont été isolés des sols des deux biotopes, et leurs actions antagonistes sur la *fusariose* du blé ont été évaluées *in vitro*.



PARTIE1.
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1. Propriétés générales de la rhizosphère

1. Définition

La rhizosphère est la région du sol directement formée et influencée par les racines et les micro-organismes associés qui font partie du microbiote des plantes (Huang *et al.*, 2021). Le terme rhizosphère a été utilisé pour la première fois par Hiltner en 1904, repris par Lynch (1990), pour désigner la partie du sol soumise à l'influence de la racine des plantes. « Rhizo » vient du grec rhiza signifiant racine, « Sphère » vient du latin sphaera (même sens), mot provenant lui-même du grec ancien sfaira (signifiant balle, ballon, ou globe).

La sphère définit le champ d'influence du système racinaire (Taïz et Zeiger, 2010). En raison du volume qu'elle occupe, par rapport au volume de la plante, la rhizosphère est aussi appelée la « moitié cachée » ou « the hiddenhalf en anglais ». Au niveau pédologique, la rhizosphère occupe 1 à 3 % du volume du sol (Dodds et Davies, 2021).

D'une manière pratique, le terme rhizosphère désigne le sol restant attaché aux racines quand on déterre une plante (Fig. 01). Ce volume de sol est variable selon le développement racinaire. En effet, il représente entre 0,1 et 1 % du sol global des écosystèmes forestiers et près de 100 % des sols des prairies (Hinsinger *et al.*, 2019 ; Ostonen *et al.*, 2017).

Cette zone est réduite à une ou deux dizaines de centimètres d'épaisseur sous des pelouses ou des prairies, mais elle est parfois beaucoup plus épaisse dans les forêts des zones tempérées. Cette région est caractérisée par sa biodiversité microbienne, et notamment sa richesse en bactéries et champignons microscopiques (Philippot *et al.*, 2013).

La rhizosphère étant le lieu privilégié d'échanges entre ces micro-organismes et les végétaux, échanges qui se traduisent par des modifications des propriétés physiques et chimiques du sol rhizosphérique (Hinsinger *et al.*, 2019). L'ensemble de ces modifications détermine l'effet rhizosphère.

La rhizosphère est un lieu d'intenses échanges entre le végétal et le substrat minéral, c'est dans la rhizosphère que par le biais des racines, le végétal s'ancre dans le sol, y puise les ressources minérales (cations, anions) et l'eau qu'il utilise pour sa croissance et sa régulation thermique, par le processus d'évapotranspiration (Jones et Oburger, 2011).

Au fil de l'histoire évolutive des végétaux, un réseau d'interactions extraordinairement complexe et diversifié s'est tissé entre les plantes et les micro-organismes. Cette évolution a conduit à la sélection de traits biologiques, notamment l'effet rhizosphère qui assure le

recrutement de populations microbiennes (microbiote tellurique) ayant des activités favorables à la croissance et à la santé de la plante hôte, contribuant ainsi à son adaptation aux stress biotiques (attaque de pathogènes, compétition intra spécifique et interspécifique) et abiotiques tels que le stress hydrique, la carence en nutriments carbonés et minéraux (Lebeis, 2015).

Ce recrutement spécifique est un processus dynamique qui évolue au cours du temps « développement végétal » et de l'espace « zones racinaires » (Philippot et Blouin, 2018).

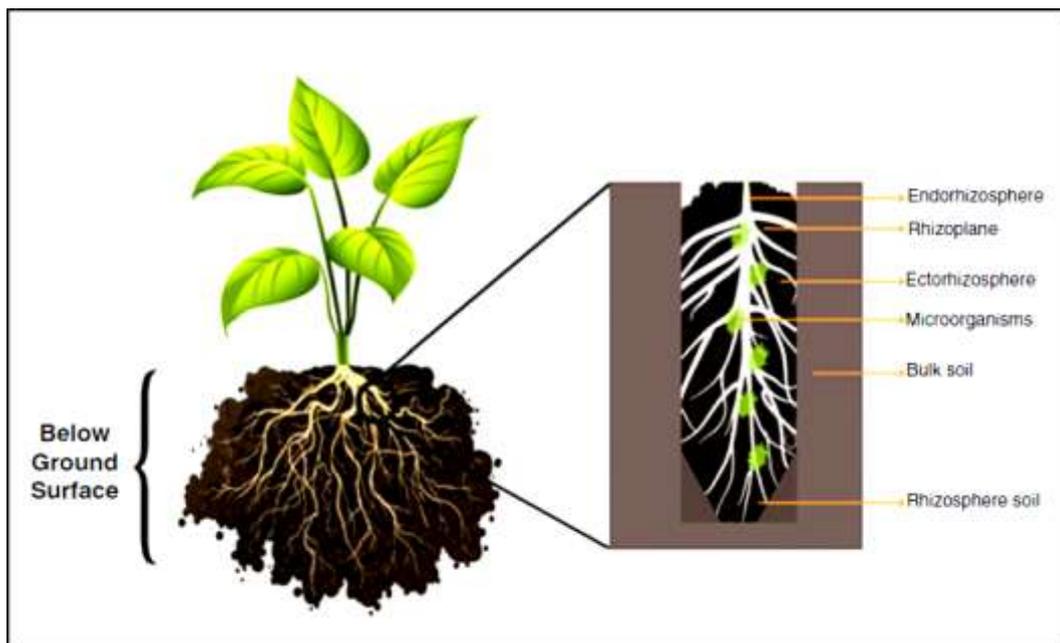


Figure 1. Schémas de la zone rhizosphérique Activité, rôle et microflore de la rhizosphère (Moorthy et Balasundaram, 2021)

L'activité de la rhizosphère est conditionnée par la dynamique de la biomasse racinaire. Environ 30, 50 et 75 % de la biomasse racinaire totale se trouvent respectivement dans les 10, 20 et 40 premiers centimètres du sol (Pierret *et al.*, 2016).

La rhizosphère est le siège d'intenses activités biologiques et de processus physicochimiques (Bravin, 2008). C'est une niche écologique qui éveille et stimule diverses activités microbiennes, en participant ainsi, au fonctionnement des cycles des nutriments majeurs et des oligoéléments comme le carbone, l'azote, le phosphore, le fer, etc. (De Carné-Carnavalet, 2010), constituée principalement d'une microflore très hétérogène.

En fait, plusieurs études ont montré une densité et une activité microbienne très intense à proximité des racines de plantes. Cette microflore se compose majoritairement d'espèces qui sont parfois difficiles à observer et surtout à isoler (Philippot *et al.*, 2013 ; Bulgarelli *et al.*, 2020). De nombreuses bactéries interviennent surtout dans la lyse des polymères végétaux tels que la cellulose et la lignine, ainsi que dans la dégradation et la fixation des éléments minéraux, notamment la fixation de l'azote (Hacquard *et al.*, 2015 ; Philippot *et al.*, 2017).

Les *actinomycètes*, quant à eux, jouent un rôle essentiel dans la protection des plantes contre les différents bioagresseurs (Hacquard *et al.*, 2015). En outre, certains champignons sont capables de décomposer les débris organiques et de construire des relations symbiotiques (Aouar^a, 2013) avec les racines des plantes, notamment les mycorhizes (Fig.02). La composition de la microflore rhizosphérique est contrôlée par le génome de la plante, car cette composition est favorisée par les exsudats racinaires (Duran *et al.*, 2020 ; Bulgarelli *et al.*, 2020).

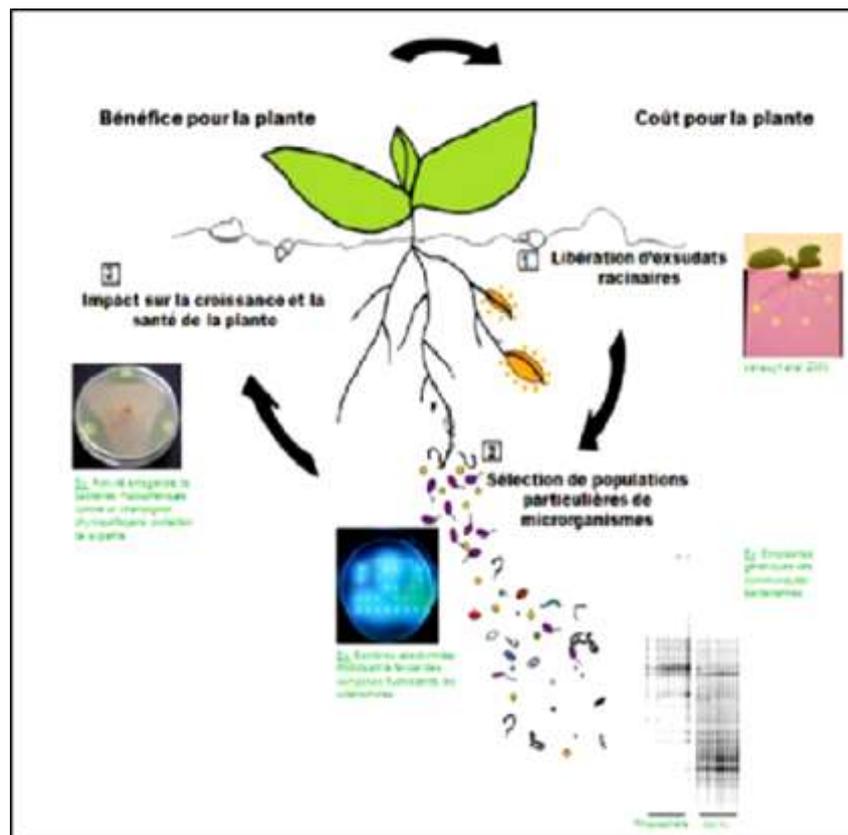


Figure 2. Représentation schématique décrivant les interactions plantes-microorganismes dans la rhizosphère (Aouar, 2013)

2. Interactions plante - sol - microorganismes

Les interactions entre les microorganismes et la plante dans la rhizosphère sont nombreuses et variées. Une étude de Philippot *et al.* (2013) met en évidence la complexité de la microbiologie de la rhizosphère, en examinant les interactions symbiotiques, parasitaires et compétitives entre les microorganismes et les plantes. Ces interactions jouent un rôle crucial dans le fonctionnement de la rhizosphère et peuvent avoir des impacts significatifs sur la santé et la croissance des plantes.

2.1. La symbiose

Du grec σύν / σύν, « avec, ensemble » et du nom βίος / βίος, « vie », est une association intime, durable entre deux organismes hétérospecifics. Elle peut être obligatoire (stricte) ou facultative. En réalité la symbiose entre les microorganismes et les plantes peut être divisée en deux groupes (Smith, et Read, 2010) :

L'ectosymbiose : le symbiote (le microorganisme) vit à la surface de l'hôte (la plante).

L'endosymbiose : le symbiote est situé dans l'espace intercellulaire, intracellulaire, intravacuolaire ou libre dans le cytoplasme des cellules de la plante.

2.2. Le parasitisme

C'est une relation biologique symbiotique dont un des protagonistes (le parasite) tire profit en se nourrissant, en s'abritant ou en se reproduisant aux dépens d'un hôte. Les organismes qui ne sont pas des parasites sont qualifiés de « libres » (Janoušková *et al.*, 2017).

2.3. L'antagonisme

En écologie, le terme d'antagonisme désigne une inhibition ou une action défavorable d'un organisme vis-à-vis d'un autre à l'intérieur d'une population microbienne mixte. L'antagonisme se manifeste généralement par une compétition pour les éléments nutritifs, l'espace ou d'autres facteurs environnementaux, ainsi que par un hyper parasitisme, une production de sidérophores ou par une antibiose (Torres Barragán *et al.*, 2019).

3. Facteurs déterminant l'activité microbienne

D'une façon générale, l'activité microbienne dans la rhizosphère est régie par des facteurs de l'environnement climatique, tels que l'humidité de l'air, la température, la radiation solaire et la teneur en CO₂. De plus les facteurs de l'environnement édaphique, tels que la teneur du sol en eau et en oxygène, la température du sol, la teneur du sol en éléments assimilables par les plantes et la présence de composés phytotoxiques, jouent également un rôle significatif (Philippot *et*

al., 2013). Ces facteurs influencent la composition et l'activité des microorganismes dans la rhizosphère, et donc leur contribution aux processus biogéochimiques du sol par des échanges de « molécules signal entre les racines des plantes et les microorganismes qui leur sont associés » (champignons, bactéries, cyanobactéries). La rhizosphère est modifiée en termes de communauté et diversité microbienne. La racine filtre activement ces communautés (Philippot *et al.*, 2013).

Chapitre 2. Microorganismes des sols

1. Les champignons

1.1. Généralités

Les mycètes sont des organismes eucaryotes, uni- ou pluricellulaires, comprenant des espèces microscopiques ou moisissures : Le mot Moisissure est un terme générique qui regroupe tous les champignons microscopiques d'aspect lévuriforme ou filamenteux (Hibbett et Taylor, 2013 ; Hawksworth *et al.*, 2018).

Des recherches récentes ont contribué à une meilleure compréhension de la systématique et de la diversité des mycètes, jetant ainsi une lumière nouvelle sur cet ensemble d'organismes (Schoch., 2009). Ces études ont permis d'approfondir nos connaissances sur la phylogénie et la classification des mycètes, offrant ainsi des ressources précieuses pour la recherche en mycologie.

Les mycètes sont connus pour être des champignons ubiquistes à croissance filamenteuse, jouant un rôle important en tant que saprophytes qui vivent aux dépens de matières organiques en décomposition (Hawksworth *et al.*, 2018). Leur mycélium émet des filaments porteurs de spores, qui sont les unités de dissémination (Hawksworth *et al.*, 2018). Ces spores sont issues d'un mécanisme de reproduction sexuée ou asexuée. Les micromycètes peuvent être bénéfiques et prendre part à la transformation de matières premières alimentaires (notamment lors de la fermentation), dans la production d'enzymes, de protéines, ou encore d'agents aromatiques (Atri *et al.*, 2019).

Ils peuvent aussi être utilisés dans la production de médicaments tels que les antibiotiques (ex : amoxicilline), les immunosuppresseurs (ex : ciclosporine) ou les anticorps monoclonaux (Keller, 2019). Elles comprennent également des espèces macroscopiques (champignons supérieurs). Les micromycètes représentent entre 20 000 et 50 000 espèces de la microflore (Hawksworth, 2001). Ils sont constitués de filaments mycéliens (hyphes) et d'organes fructifères capables de coloniser divers substrats (Rokas et Wisecaver, 2018). Ils sont ubiquitaires, non photosynthétiques et hétérotrophes, c'est-à-dire qu'ils nécessitent une source extérieure de carbone et d'azote pour leur croissance (Bennett et Klich., 2003).

1.2. Classification des mycètes

Les mycètes (Mycota ou Fungi) appelés plus communément champignons constituent un règne à part entière. Le règne est le plus haut niveau de classification des êtres vivants. Ils sont au nombre de 6 : Archées, Bactéries, Protistes, Mycètes, Plantes, Animaux.

Environ 90 000 espèces de champignons ont été décrites à ce jour, mais on estime qu'en 2007 moins de 10 % des espèces sont connues et identifiées (Kirk *et al.*, 2008).

Les champignons microscopiques se subdivisent en levures et en moisissures. On distingue les pathogènes stricts (dermatophytes) et des pathogènes opportunistes « *Cryptococcus neoformans* et *Aspergillus* » (Calderone *et al.*, 2015). Les avis diffèrent quant à la classification des mycètes, du fait de la complexité de l'appareil végétatif et de la très grande variété d'espèces. Néanmoins, la nomenclature la plus couramment admise est basée sur une classification phylogénétique qui regroupe les mycètes en différents taxons.

Une étude récente de Hibbett *et al.* (2018) a proposé une classification phylogénétique à un niveau supérieur pour les Fungi, fournissant une base solide pour la compréhension de la diversité et des relations évolutives des mycètes, la composition des parois, sur la structure des filaments et des spores produites au cours des cycles de reproduction sexuée et asexuée. Selon cette nomenclature, les mycètes sont répartis en 4 embranchements :

- **Les Zygomycètes** (*Mucorales*) sont des champignons inférieurs, à hyphes non cloisonnés et dont les zygospores flagellées sont contenues à l'extérieur d'une cellule renflée.
- **Les Ascomycètes** (*Pézizes, Morilles*) sont des champignons supérieurs septes dont les ascospores sont contenues à l'intérieur d'un sac, aussi nommé asque.
- **Les Basidiomycètes** (*Amanites*) sont également des champignons supérieurs septés dont les basidiospores sont portées par des cellules spécialisées appelées basides.
- **Les Deutéromycètes** sont des champignons microscopiques septés dont seul le mode de reproduction végétative (asexuée) est connu. Les *Deuteromycota* sont aussi nommés Fungi imperfecti, ou champignons imparfaits. Ce type de moisissures ne forme pas un groupe naturel mais un ensemble artificiel de champignons inclassables du fait de l'absence de reproduction sexuée connue. La plupart des Deutéromycètes sont des formes imparfaites d'Ascomycètes. Les Deutéromycètes sont divisés en 3 classes (Ainsworth, 1971 ; Kiffer, et Morelet 1997)
- Classe des Blastomycètes réunissent les levures dont la reproduction se fait par bourgeonnement.

- Classe des Hyphomycètes dont les appareils reproducteurs sont dispersés (ex : genre *Monilia*).
- Classe des Coelomycètes dont les appareils reproducteurs sont regroupés (ex : *Mélanconiales*).

1.3. Caractères morphologiques et physiologiques

Les mycètes sont des organismes eucaryotes qui possèdent un appareil végétatif appelé thalle constitué de cellules végétatives allongées appelées hyphes entourées d'une paroi riche en chitine et en cellulose (James *et al.*, 2019). Ils sont hétérotrophes, c'est-à-dire qu'ils ont besoin d'une source de carbone organique pour fabriquer leur énergie « saprophytisme, symbiose, commensalisme ou parasitisme » (Schoch, 2009).

1.3.1. Système végétatif

Tous les champignons sont des organismes eucaryotes, c'est-à-dire que leurs cellules possèdent un noyau typique (James *et al.*, 2019). Leur paroi cellulaire est épaisse et ne contient pas de cellulose mais un autre glucide : la chitine, polysaccharide azoté souple et résistant (Hibbett *et al.*, 2018). Tout mycète possède un appareil végétatif constitué de filaments (ou hyphes) regroupés en thalle filamenteux appelé mycélium (Schoc, 2009). C'est grâce à ce mycélium que le champignon peut se fixer sur un substrat et y proliférer (Riquelme, 2013). Sa croissance est apicale (**Fig. 3**) elle se fait par allongement du filament à son extrémité par mitose (Fischer *et al.*, 2008).



Figure 3. Croissance mycélienne : Schéma simplifié Représentant des cellules hyphales

1.3.2. Aspects de l'appareil végétatif ou thalle

Le thalle correspond à un appareil végétatif ne possédant ni feuille, ni tige, ni racine produit par certains organismes comme les champignons. Le thalle peut être lévuriforme, siphonné ou cloisonné comme le montre la figure 4 (Aurélié, 2013).

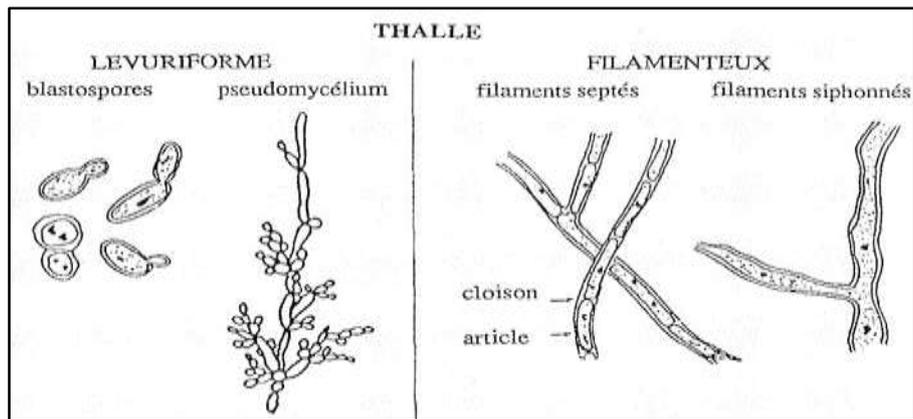


Figure 4. Aspect des différents thalles mycéliens (Larcher, 2007)

1.3.3. Les spores

Les spores peuvent être constituées d'une ou plusieurs cellules, dans ce cas on parle d'organe (Wösten et de Vries, 2018). Elles participent au cycle de vie du champignon à travers les différents modes de reproduction sexuée ou asexuée (He *et al.*, 2018). Ce sont les unités de dissémination du champignon (Riquelme *et al.*, 2018). Les spores issues de la reproduction asexuée peuvent être de deux types (**Fig.5**) : les spores asexuées endogènes et les spores asexuées exogènes, également appelées conidies (Gelder et Gwynne-Vaughan, 2017).

- Les spores asexuées endogènes sont produites à l'intérieur des sporanges, sortes de sacs fermés et portés par les sporangiophores. A maturité, les sporanges se déchirent, libérant ainsi les endospores. Ces spores sont spécifiques des champignons inférieurs, tels que les *Mucorales* (Voigt, 2014).

- Les spores asexuées exogènes, autrement nommées conidies sont produites par bourgeonnement à partir de cellules spécialisées en forme de bouteille (phialides). Ces phialides sont portées par des organes appelés conidiophores. Les conidies sont caractéristiques des formes anamorphes des mycètes. Au niveau génétique, les conidies sont haploïdes (De Hoog *et al.*, 2019).

La dissémination des spores se produit soit par expulsion des organes qui les contiennent soit par chute au sol sous l'effet de la gravité. D'autres sont dispersées grâce au vent ou aux insectes (Gelderblom et Klaassen, 2020).

Les spores peuvent subsister plusieurs mois voire plusieurs années dans l'environnement. L'air ambiant contient toujours des spores en suspension, en quantité plus ou moins importante selon

la saison. Les espèces les plus présentes dans l'air ambiant appartiennent aux genres *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium* et *Alternaria* (Deng et al., 2021).

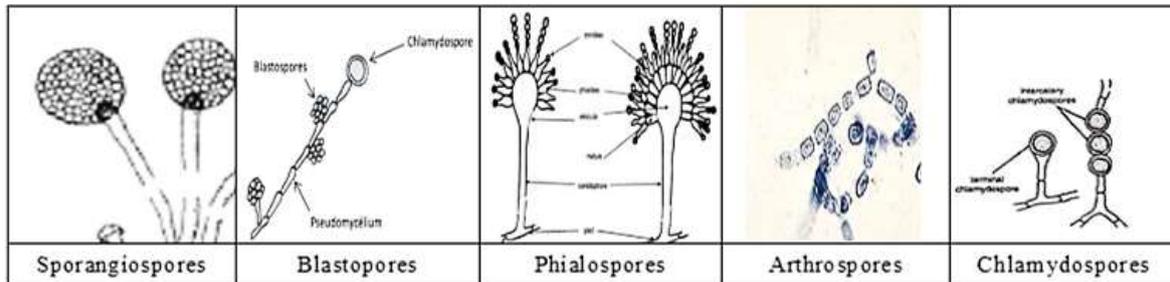


Figure 5. Diversité des spores asexuées ou conidies (Larcher, 2007)

1.3.4. L'appareil reproducteur

La phase reproductive comprend deux types de reproduction : la reproduction asexuée, qui correspond à la forme anamorphe, et la reproduction sexuée, correspondant à la forme téléomorphe. Les champignons filamenteux se reproduisent grâce à leurs spores, sous forme asexuée ou sexuée ou les deux ensembles (Fig.6), ils sont alors qualifiés d'anamorphes, de téléomorphes ou d'holomorphes respectivement. Les moisissures qui ne produisent pas de spores, sont classées parmi les « *Mycélia stérilia* » (Guezlane-Tebibel et al., 2012).

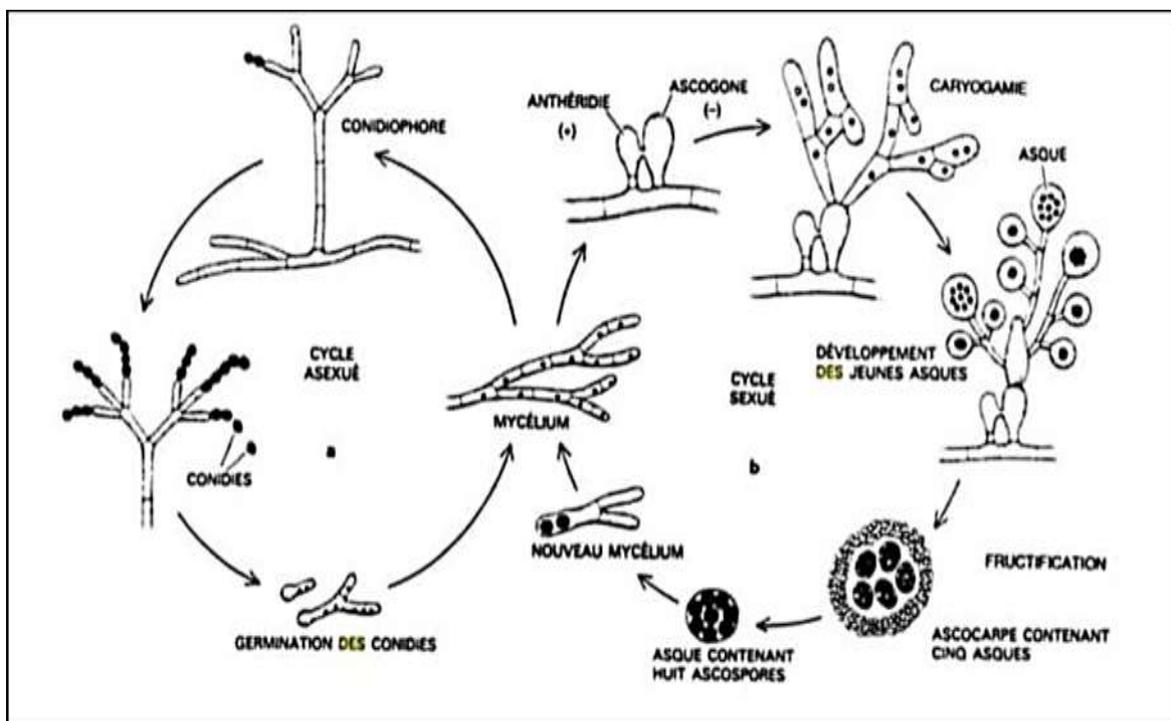


Figure 6. Schématisation de la reproduction asexuée et sexuée d'une moisissure (Lecellier, 2013)

2. LES ACTINOMYCETES

2.1. Caractères généraux

Les *actinomycètes* sont des bactéries à Gram positif avec un coefficient de Chargaff (%GC) élevé, saprophytes, largement distribuées dans le sol et dans l'eau, comme ils montrent une diversité chimique et morphologique marquée. Bien que les *actinomycètes* soient des microorganismes procaryotes, leur morphologie ressemble fortement à celle des microorganismes eucaryotes, principalement les champignons filamenteux (Kerbab, 2010).

2.2. Morphologie des actinomycètes

La morphologie des différents groupes d'*actinomycètes* est très variable. Elle va de simples bacilles à des formes mycéliennes complexes. Certains peuvent présenter un mycélium se développant sur et dans les milieux (mycélium végétatif ou mycélium de substrat) ou dans l'air au-dessus du substrat (mycélium aérien).

Les filaments peuvent produire des spores soit isolées, soit groupées en chaînes ou même enfermées dans un sporangium ou conidies qui libèrent des spores de formes variées, d'aspects lisses, ridée, etc. (Fig.7). Certains *actinomycètes* forment un mycélium non persistant rapidement transformé en une masse de formes *bactéroïdes* irrégulières. D'autres, ne présentent que des mycéliums très rudimentaires (Boudemagh, 2007).

Les colonies qui se forment sur milieux solides sont caractéristiques, elles résultent de l'accumulation des hyphes ramifiés et non pas des cellules comme c'est le cas chez les bactéries non filamenteuses. Le diamètre des colonies est de 1 à 4 mm. L'aspect des colonies est compact, sec, lisse ou rugueux en chou-fleur à contours lisse ou échancré. Elles sont très souvent pigmentées en blanc, crème, jaune, violet, rose, gris, etc. (Boudemagh, 2007).

Au niveau du sol, les *actinomycètes* représentent l'une des principales communautés microbiennes, leur présence est significativement influencée par des conditions environnantes telles que : l'humidité, la température, le pH, la salinité, le type de sol, la profondeur dans le sol, la nature et l'abondance de la matière organique et la végétation du sol (Djaballah, 2010).

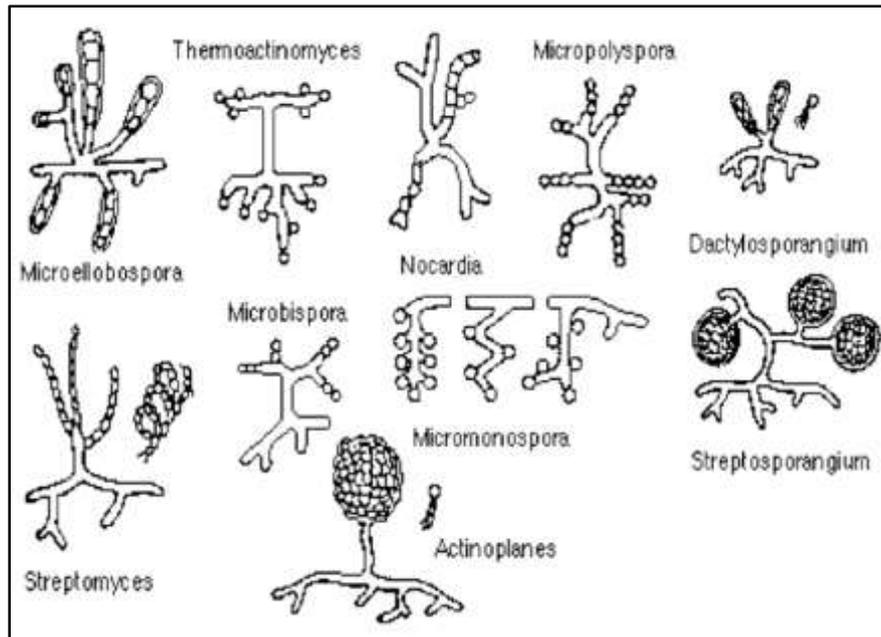


Figure 7. Principaux groupes d'actinomycètes (Kerbab, 2010).

2.3. Rôle des *actinomycètes* dans le sol et dans la rhizosphère

Dans le sol, la densité des *actinomycètes*, essentiellement représentés par les genres *Nocardia* et *Streptomyces*, est en général 3 à 15 fois plus faible que celle des bactéries non filamenteuses et varie entre 10^5 et 10^8 unités/g de sol.

Les premiers stades de la dégradation de la matière organique sont le fait par les bactéries et les champignons. *Les actinomycètes* ne se développent pas durant ces premiers stades en raison de leur inaptitude à la compétition, par contre, ils se développent relativement bien sur une matière organique partiellement dégradée et inapte à porter une microflore fongique et bactérienne (Boudemagh, 2007).

Dans la rhizosphère, les actinomycètes filamenteux jouent un rôle capital dans la croissance de plusieurs plantes (Palaniyandi *et al.*, 2013). Elles sont capables de produire plusieurs substances, telles que les phytohormones de type auxines, gibbérellines, qui ont une relation directe avec la croissance des plantes (Rajendran et Samiyappan, 2008). De plus, les *actinomycètes* sont capables de protéger les plantes grâce à leur capacité à produire différents types de métabolites (Santos-Beneit, 2015). Leurs propriétés bénéfiques contribuent à la suppression des maladies des plantes et à la promotion de leur croissance (Subramaniyam et Mathivanan, 2012). Ces interactions symbiotiques entre les *actinomycètes* et les plantes sont essentielles pour le développement durable de l'agriculture (Palaniyandi *et al.*, 2013).

Chapitre 3. Les microorganismes antagonistes et phytopathogènes

1. Le genre *Fusarium*

1.1. Généralités sur le genre *Fusarium*

Les *Fusarium* sont des champignons filamenteux rattachés à l'embranchement des *Ascomycètes* et appartiennent à la division des *Deutéromycètes*. Leur nom, *Fusarium*, fait référence à leurs spores en forme de fuseau du latin « *fusus* », en référence à la forme des conidies décrites comme ayant une forme de canoë (Leslie et Summerell, 2006).

Ce genre regroupe de nombreuses espèces anamorphes, comprenant entre 50 et 100 espèces (Watanabe, 2010). Les formes sexuées telles que « *Gibberella* et *Nectria* » sont rattachées à l'embranchement des *Ascomycètes* (O'Donnell, Ward, Geiser *et al.*, 2008). Les *Fusaria* sont cosmopolites. Chez certaines espèces, la conservation du mycélium dans le sol et sa dissémination sont facilitées grâce à l'existence de chlamydospores (Al-Hatmi *et al.*, 2016).

Sur milieu de culture, *Fusarium sp.* forme des colonies duveteuses ou cotonneuses de couleur blanche à crème avec un revers pâle (Jiang *et al.*, 2017).

Les *Fusaria* produisent des mycotoxines et sont susceptibles de causer des infections et des intoxications graves chez l'Homme et chez les animaux, surtout d'élevage. Ces infections sont réunies sous le terme de fusarioses (Gauthier, 2016 ; Heit, 2015).

1.2. Principaux critères de reconnaissance

D'un point de vue morphologique *Fusarium* est caractérisé par la présence de macroconidies fusiformes et cloisonnées. Les conidiophores, parfois très ramifiés, forment sur le thalle des coussinets (sporodochies) et portent des masses de spores (Fig.8). Les phialides, sont plus ou moins allongées, présentent, le plus souvent, un site de bourgeonnement unique (monophialide) situé à l'extrémité d'un col allongé (De bourgogne, 2013).

Les *Fusarium* plusieurs types de conidies :

Des microconidies : uni ou bicellulaires, piriformes, fusiformes, cylindriques ou ovoïdes, isolées, solitaires ou groupées, disposées en verticille (Vrandečić *et al.*, 2019).

Des macroconidies : conidies pluricellulaires à cloisons seulement transversales, souvent groupées en paquets. Les macroconidies sont fusiformes, souvent courbées, avec une cellule basale pédicellée, formant un sort de talon plus ou moins visible (Heit, 2015).

Les chlamydospores : elles sont parfois présentes, en position terminale ou intercalaire (Petrović *et al.*, 2020).

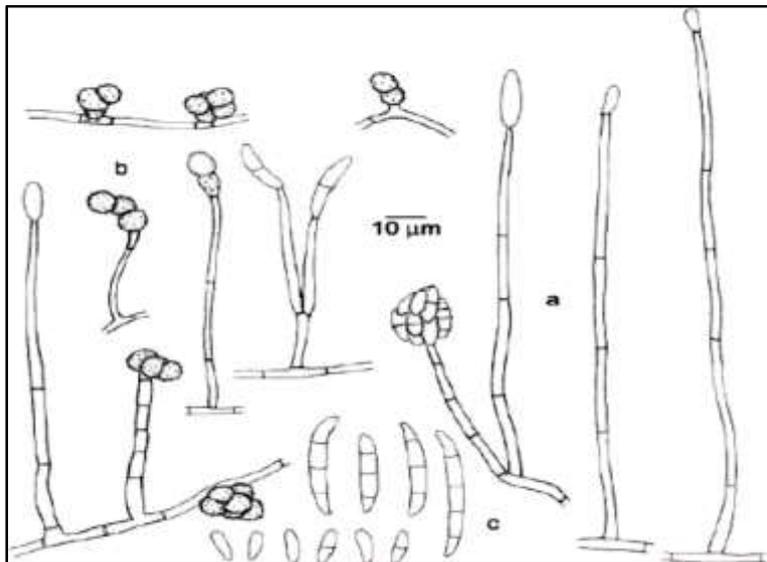


Figure 8. Croissance de thalle et caractères morphologiques de *Fusarium solani*. (a) conidiophores avec monophialides ; (b) chlamydospores ; (c) micro et macro conidies (De bourgogne, 2013).

1.3. La Fusariose du blé

Les fusarioses sont des maladies qui s'attaquent à plusieurs espèces végétales, dont on peut citer une majorité sur les céréales. Ces maladies d'origine tellurique peuvent survenir à tous les stades de développement des céréales, du semis à la récolte, des racines aux épis : fonte des semis et dépérissement des jeunes plantules, pourriture des racines et brûlure de l'épi (Smith *et al.*, 2020).

La fusariose se manifeste à différentes étapes de la croissance des plantes, dont l'infection peut se manifester à la levée, dès la montaison et sur les feuilles ou sur le col de l'épi (Fig.9) (Anderson *et al.*, 2021 ; Agrios 2005). À la levée, les pertes sont importantes surtout après utilisation de semences contaminées (Green *et al.*, 2022).

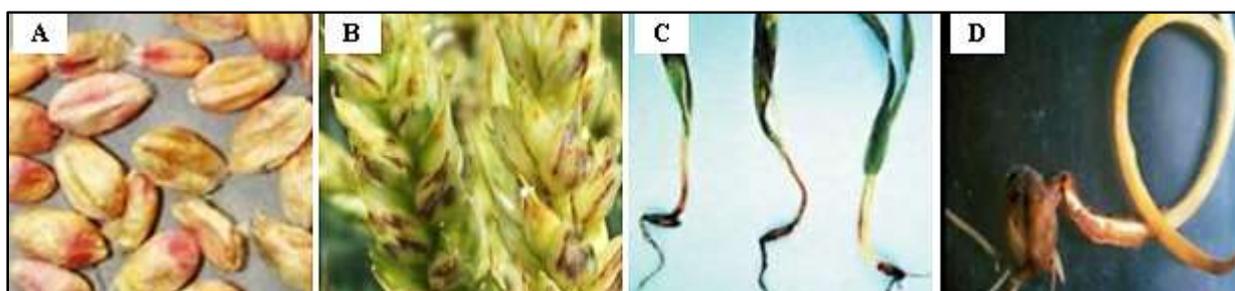


Figure 9. Symptômes de la fusariose observés chez le blé.

(A) grains de blé infecté par le *Fusarium* au stade de germination ; (B) pourriture des tiges et des racines au stade plantule ; (C) épis de blé fusarioses présentant des symptômes de nécroses ; (D) grains de blé provenant d'épis variablement infectés (Agrios, 2005).

2. Le genre *Trichoderma*

2.1. Généralités

Le nom *Trichoderma* est donné à un genre de micro-organismes classé parmi les *Ascomycètes*. Ce dernier, regroupe un ensemble de champignons ubiquistes imparfaits saprophytes qui habitent naturellement dans un nombre important de sols agricoles et se retrouvent couramment associés aux bois morts, aux débris végétaux et les organes aériens des plants (Johanne Caron, 2002).

Le genre *Trichoderma* a été identifié en 1871 et a été largement étudié (Harman *et al.*, 2021 ; Vinale *et al.*, 2020). Depuis, les recherches portant sur ces champignons se sont multipliées et ce genre a été utilisé comme agents de lutte biologique contre un large spectre de pathogènes aussi bien telluriques que foliaires (Kubicek *et al.*, 2011).

Les colonies de *Trichodermas* ont laineuses, à croissance rapide, de couleur blanche, jaun-verte ou verte et les conidiophores sont hyalins, en touffes plus ou moins compactes. Les cellules conidiogènes, qui sont solitaires ou groupées en verticille, peuvent être des chlamydospores (spores de résistance) souvent à paroi épaisse, terminales ou intercalaires (Tabuc, 2007).

Trichoderma est un champignon qui porte un mycélium cloisonné bien ramifié et des conidies à forme conique ou pyramidale (Gams et Bissett 1998). *Trichoderma* se reconnaît facilement en culture grâce à la couleur généralement verdâtre des spores et le port typique de ses phialides (Fig.10) (Gams et Bissett 1998).

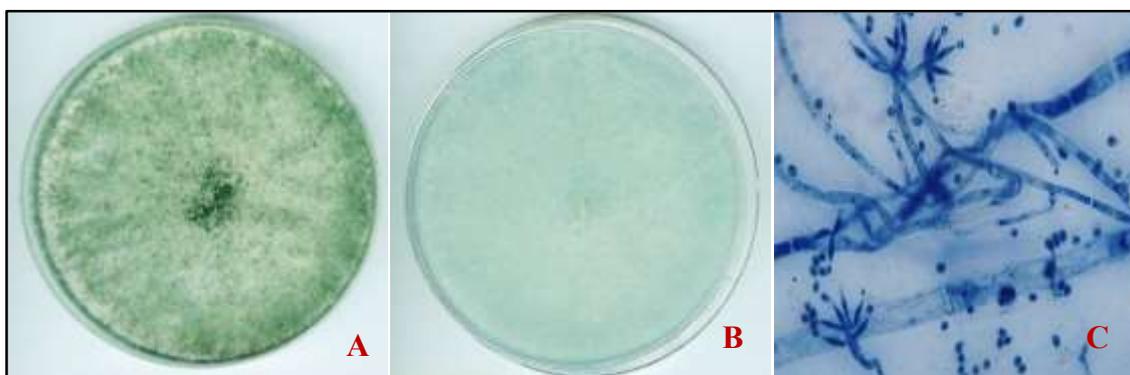


Figure 10. Caractérisations phénotypiques de *Trichoderma sp.* ; (A) aspect de la culture, (B) verso de la boîte, (C) observation microscopique (G x 40) (Harrat *et al.*, 2022).

2.2. Taxonomie de *Trichoderma*

Selon Bissett (2004), la position taxonomique des *Trichoderma sp.* est comme suit :

Embranchement : *Amastigomycètes*

Sous embranchement : *Ascomycètes*

Classe : *Sordariomycètes*

Ordre : *Hypocréales*

Famille : *Hypocraceae*

Genre : *Trichoderma*

2.3. Caractéristiques morphologiques et biologiques de *Trichoderma*

Trichoderma produit trois types de propagules : hyphes, chlamydospores et spores "conidies". Les spores sont les plus viables dans les programmes de biocontrol. Ces corps spécialisés se caractérisent par une épaisse paroi extérieure, constituée de trois couches (endospore, epispoire et perispore) qui protègent l'intérieur du conidium (protoplaste). Cette paroi épaisse diffère de la paroi cellulaire des cellules végétatives du champignon (hyphes et chlamydospores), qui sont beaucoup plus minces et ne sont pas composées de couches constitutives comme les spores (Elad *et al.*, 2014 ; Howell, 2003).

C'est l'un des agents de lutte biologique les plus connus dans le monde et de nombreux travaux de recherche sont en cours afin de fournir aux producteurs l'accès à son potentiel antagoniste.

Dans diverses études du phénomène d'antagonisme et de son application comme moyen de lutte à l'égard des parasites des plantes cultivées, il a été montré sa capacité d'attaquer les agents pathogènes via différents modes d'action.

Il peut utiliser : **La compétition** pour les ressources, **le parasitisme** direct en colonisant et détruisant les pathogènes (Harman *et al.*, 2004). **La production d'enzymes hydrolytiques** qui dégradent les parois cellulaires des agents pathogènes et l'**antibiose** (Mukerjee *et al.*, 2012). **L'induction de la résistance systémique chez la plante hôte** (Shoresh *et al.*, 2010).

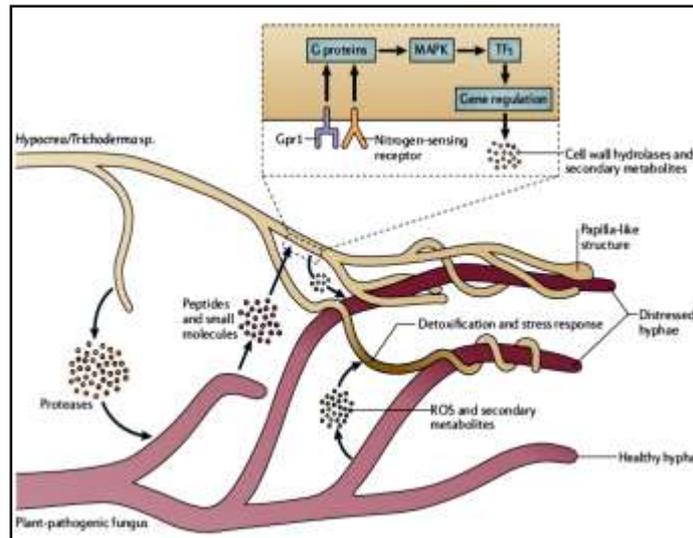


Figure 11. Les mécanismes de mycoparasitisme exercé par *Trichoderma* (Irina *et al.*, 2001).

3. Interet de la lutte biologique dans le controle des maladies

Il est admis actuellement par tous, que la lutte chimique contre les maladies et ravageurs des cultures à des conséquences néfastes sur l'environnement ; entre autres, par la toxicité dans la chaîne trophique, la pollution des eaux de surface et souterraine sur la santé humaine par les résidus de pesticides sur les aliments et les intoxications par inhalation (Ragsdale *et al.*, 2011 ; Koul *et al.*, 2016). La lutte biologique se présente donc comme une autre alternative de lutte contre les parasites, les maladies et autres ravageurs de cultures. Son but est de réduire, voire d'annuler leur impact négatif sur les cultures sans répandre de pesticides mais en utilisant des organismes auxiliaires (Van Lenteren et Woets, 2018).

En plus de son rôle dans la restauration de la biodiversité dans les écosystèmes, la lutte biologique présente un rôle important dans le contrôle des maladies phytopathogènes (Hajek et Eilenberg, 2018). Des études récentes ont affirmés que la lutte biologique peut être aussi efficace dans le contrôle des maladies phytopathogènes que l'utilisation des fongicides chimiques (Messelink *et al.*, 2011 ; Gurr *et al.*, 2012).

La lutte biologique par utilisation de micro-organismes offre une diversité d'agents de lutte microbiologique. Ces micro-organismes appartiennent à plusieurs taxons à savoir les bactéries, les virus, les champignons, les nématodes et les protozoaires. Ils sont naturellement présents dans l'environnement (sol, air, eau) et infectent généralement leurs hôtes soit par ingestion, par la cuticule ou par les orifices. Tous ces micro-organismes possèdent des formes de résistance leur permettant de persister dans l'environnement et de perpétuer leur cycle de vie (Koul *et al.*, 2016).

Chapitre 4. IMPORTANCES DES CEREALES

Les céréales jouent un rôle fondamental dans l'alimentation humaine en raison de leur importance nutritionnelle et de leur contribution à la sécurité alimentaire mondiale. Elles sont une source majeure de calories, de protéines, de fibres, de vitamines et de minéraux essentiels.

Les céréales, telles que le blé, le riz, le maïs, l'orge et le seigle, sont largement consommées dans de nombreuses contrées à travers le monde. Elles fournissent une base solide pour l'alimentation ; production de farine, pour les produits de boulangerie, les pâtes, les céréales pour le petit-déjeuner et bien d'autres produits alimentaires (FAO, 2021).

En raison de leur rendement élevé et de leur adaptabilité à différents climats et sols, les céréales sont essentielles pour répondre à la demande croissante de nourriture d'une population mondiale en expansion (Rosegran, 2019). Aussi, le blé constitue l'une des céréales les plus cultivées dans le monde il arrive juste derrière le riz et le maïs avec une production de 600 millions de tonnes par an (Clerget, 2011).

En Méditerranée, la France est le premier producteur de blé. En 1996, elle a produit 36 millions de tonnes. Elle a également enregistré les plus hauts rendements, avec 7 tonnes/ha.

Cependant des améliorations de rendements ont été obtenues un peu partout en Méditerranée et en Arabie Saoudite, cependant. Les superficies céréalières sont en légère régression ; les plus importantes emblavures céréalières sont enregistrées en Turquie avec 14 millions d'hectares, 8,8 millions d'hectares, en France, 6,7 millions d'hectares et enfin le Maroc avec 6 millions d'hectares (Fritas, 2012).

L'Algérie est un grand importateur de blé et se trouve dépendante du marché international, à titre d'exemple le total des importations de blé dur, en 2016 a atteint 1,79 millions de tonnes, soit l'équivalent en valeur de 549,2 millions USD et les principaux fournisseurs de l'Algérie ces dernières années sont le Canada avec 1 082 687 tonnes en 2016, Suivi par le Mexique avec 556 538 tonnes (Fig.15) ;

Aussi cette situation risque de se prolonger sur plusieurs années, au vu des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique et faute de rendements insuffisants (Nadjem, 2012). Ainsi, l'importance des céréales dans la sécurité alimentaire et la nutrition globale ne peut être sous-estimée.

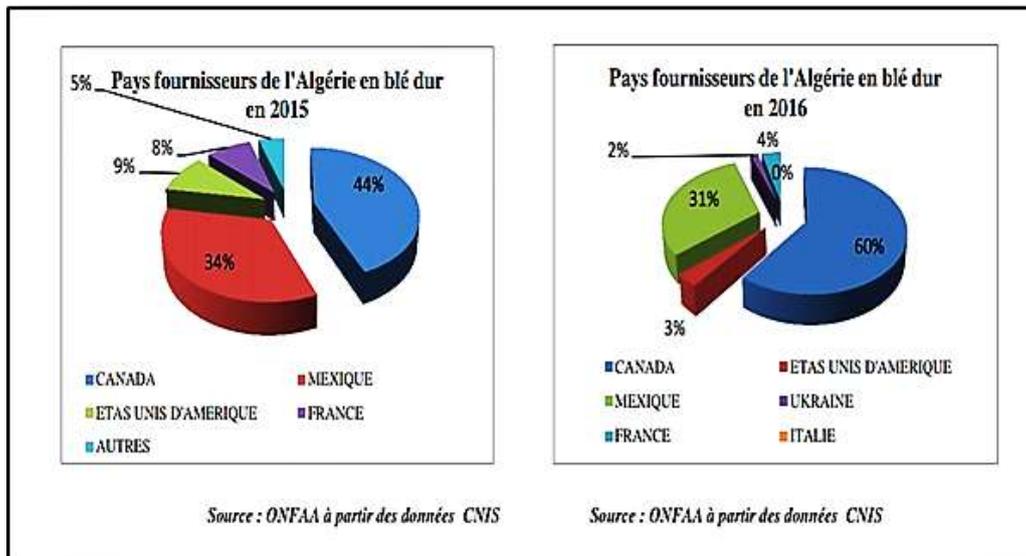


Figure 12. Les importations de l'Algérie en blé dur en 2015-2016 (ONFAA)



PARTIE PRATIQUE

MATERIEL ET METHODES

1. Matériel biologiques

Les microorganismes utilisés au cours de cette étude ont été isolés à partir de trois biotopes de sols céréaliers différents situés dans : la zone nord (E3) et sud (E2) de la wilaya de Constantine (Béni H'miden et El Khroub), le troisième (E1) au niveau de la ferme pilote Ghoul à Sigus dans la wilaya de Oum El Bouaghi, selon la figure 13. Les deux biotopes sont caractérisés respectivement, par leur climat de zone continentale Subhumide (E3 et E2) et semi-aride (E1).

2. Méthode de prélèvement de sol rhizosphérique

Les échantillons de sol ont été collectés dans la rhizosphère des trois biotopes comme suit : Après avoir écarté les premiers centimètres de particules terreux, une quantité suffisante de terre (100 g environ) de sol rhizosphérique a été prélevée jusqu'à une profondeur située à 20 cm, cinq prélèvements sont effectués dans chaque biotope (Fig.14). Par la suite un tri rigoureux des sols de chaque biotope est réalisé, en écartant les pierres et les différents débris végétaux a été effectué (Chaudhary *et al.*, 2013).

L'ensemble des prélèvements ont été par la suite mélangés pour constituer un échantillon homogène. Les échantillons ainsi obtenus ont été mis dans des sachets stériles et conservés à température ambiante jusqu'au laboratoire ou ils sont conservés pendant 05 jours maximum pour ne pas affecter la contenance initiale en microorganismes avant leur utilisation (Chroňáková *et al.*, 2010).

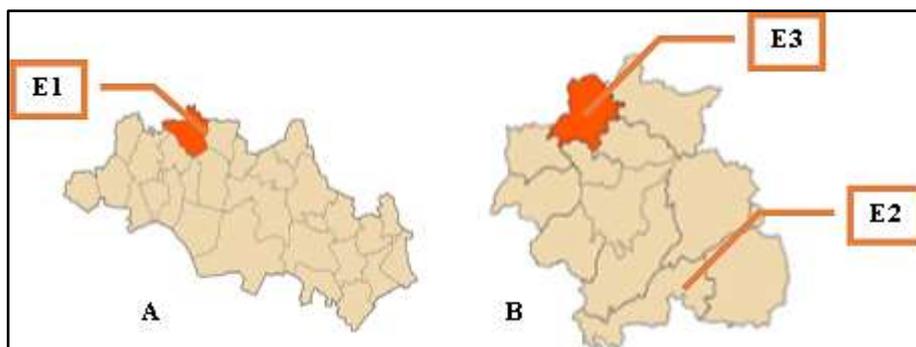


Figure 13 . Zones de prélèvement. (A) Oum El bouaghi (E2) ; (B) Constantine (Béni H'miden-E1 et El Khroub-E3)



Figure 14. Méthodes de prélèvement des échantillons

3. Isolment des microorganises du sol

Les isolements sont réalisés à partir des trois échantillons de sol selon la méthode de suspension dilution « Dilution plates », réalisée sur le milieu de culture Potato Dextrose Agar (PDA) (Shirling et Gottlieb, 1966).

3.1. Technique de dilution et ensemencement

A partir de chaque échantillon, préalablement séché à la température ambiante pendant 24 heures, 10g de sol rhizosphérique sont pesés, et mis en suspension dans 90 ml d'eau distillée stérile, puis homogénéisée sur un agitateur magnétique pendant 30 minutes. La solution obtenue correspond alors à la solution mère.

Pour obtenir une solution à 10^{-1} , 1 ml de la solution mère est transféré dans 9 ml d'eau distillée stérile. Les dilutions en cascade (**Fig. 15**) ainsi commencées sont continuées jusqu'à l'obtention de la dilution 10^{-4} (Arasu *et al.*, 2009).

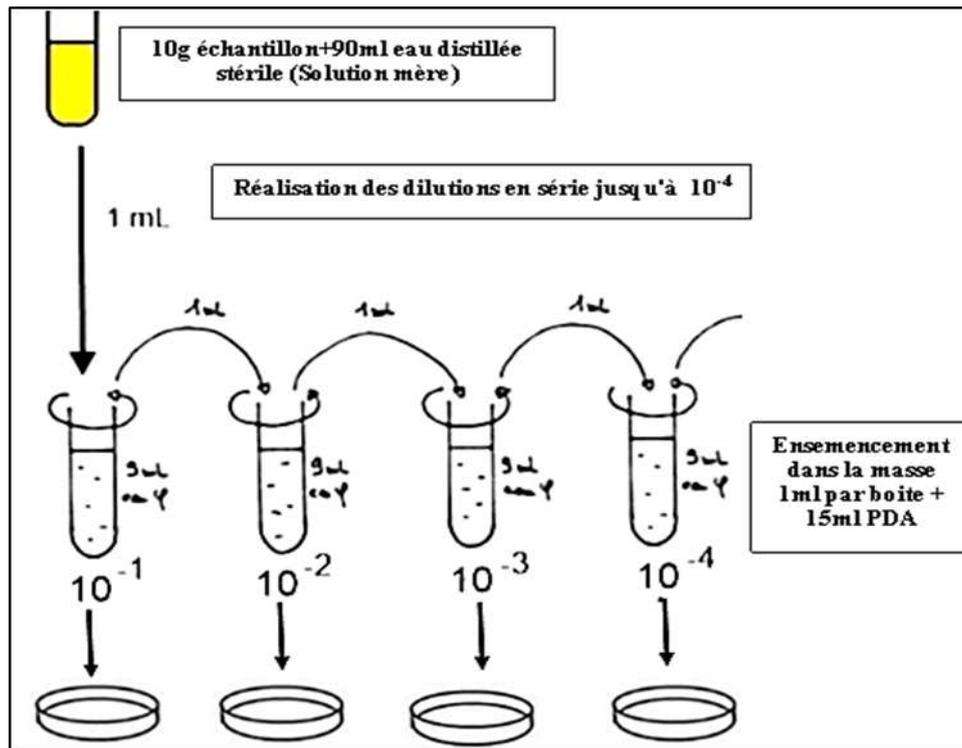


Figure 15. Méthode de suspension dilution

4. Dénombrement des colonies en fonction des caractères morphologiques

Après 15 jours d'incubation, les caractéristiques morphologiques des colonies apparues dans chaque boîte de Pétri ont été observées à l'œil nu. La présence de mycélium végétatif diffusé à la surface du milieu de culture a servi à la reconnaissance visuelle des colonies. Ensuite, chaque colonie est identifiée d'après ses caractères morphologiques et par la suite isolée sur le milieu de culture (PDA) pour purification.

5. Purification des colonies

Les boîtes issues d'isolement présentent plusieurs colonies d'aspects, de couleurs et de texture différentes. La purification des colonies a concerné celles dont les caractères cultureux correspondent à ceux des isolats recherchés et concernant notre étude.

La technique se résume au prélèvement d'une petite bouture mycélienne à la marge du thalle et de l'ensemencer de manière aseptique dans des boîtes de Pétri contenant les milieux concernés, afin d'obtenir un développement typique du champignon.

L'inoculation est réalisée en un seul point au centre de la boîte pour les champignons (Botton *et al.*, 1990). Par ailleurs nous avons utilisé la méthode des stries pour les isolats d'apparence

proches des *Actinomycètes* sur des boîtes Pétri contenant le même milieu d'isolement, (Boussaber *et al.*, 2012).

Les boîtes sont ensuite incubées pendant une semaine respectivement à 25°C. Il est recommandé cependant de réaliser le moins de repiquages possibles pour conserver la stabilité génétique isolats.

6. Identification des microorganismes

6.1. Identification macroscopique

L'examen macroscopique des souches isolées permet de déterminer les caractères culturels tels que la croissance et le développement du champignon, le diamètre de la colonie, sa texture, la couleur du thalle, la couleur du revers ainsi que son odeur (Gams *et al.*, 2021)

6.2. Identification microscopique

L'observation microscopique s'effectue selon la méthode de scotch en prélevant soigneusement à la marge du thalle. Le fragment prélevé est ensuite coloré avec du Lactophénole Bleu de Cotton, ce qui permet de détecter la présence et la nature du mycélium, la présence ou l'absence du septum, les caractéristiques des fructifications et des spores, etc. (De Hoog *et al.*, 2021).

6.3. Conservation

La méthode de conservation des souches utilisées consiste à repiquer les souches en tubes sur gélose (PDA) inclinée, les cultures sont maintenues pendant 7 jours à 25°C, puis stockées à 4°C (Pitt et Hocking, 2009). Cette méthode permet de maintenir la viabilité des souches fongiques sur le long terme, en assurant des conditions favorables de croissance et en réduisant les risques de contamination ou de détérioration des cultures.

7. Caractérisation moléculaire des isolats de *Trichoderma* isolés

La caractérisation moléculaire de trois isolats de *Trichoderma* isolés à partir des échantillons E1 et E3, est réalisée au niveau du CRBt- Constantine,

7.1. Extractions de l'ADN génomique

Les ADN sont obtenus par la méthode d'extraction développée par Doyle et Doyle (1987) et modifiée par Benbouza *et al.* (2006). 0,1 g des mycéliums frais sont broyées par de l'azote liquide. Le protocole d'extraction de l'ADN est résumé en trois principales étapes :

(1) isolation de l'ADN avec du CTAB 2% ;

(2) élimination des protéines par le CIA (24 :1) ;

(3) précipitation de l'ADN avec de l'isopropanol. L'ADN obtenu est dilué dans 200 µl de tampon TE et traité avec de la RNase (1µl/ 100µl d'ADN). La concentration et la pureté de l'ADN extrait ont été mesurées par le spectrophotomètre Nanodrop 8000 (Thermo Scientific, Waltham, MA-USA).

7.2. Amplification des amorces universelles

L'amplification des régions ITS et un fragment du gène *teflα* (translation elongation factor1-alpha). Comme décrit précédemment par Hermosa et al., 2004. Les réactions de PCR ont été réalisées dans un volume total de 20 µl contenant 1X tampon ; pH 8,8 ; 2 à 4 mM MgCl₂ ; 0,2 mM pour chaque dNTP ; 0,4 µM pour chaque amorce ; 50 ng d'ADN génomique et 1 Unités de Taq DNA polymerase. L'amplification a été effectuée dans un thermocycleur 1000C (BioRad Laboratories, CA-USA) en utilisant le profile thermique suivant : une dénaturation initiale à 95°C durant 5 min, 35 cycles de 30 s à une température d'hybridation entre 55°C-60°C (selon l'amorce) et 1 min à 72°C et une étape d'élongation finale à 72°C durant 5 min.

Les produits PCR sont ensuite été séparés sur gel agarose 2% contenant durant 20h à 100 V. Un marqueur de taille d'ADN le DNA Ladder 100 pb (Invitrogen, CA, USA) est utilisé pour la lecture des tailles des fragments séparés. Enfin, l'identification des tailles des fragments est réalisée par le logiciel ImageLab (Biorad Laboratories, CA-USA) en utilisant le GelDoc™ XR (Biorad Laboratories, CA-USA).

7.3. Séquençage sanger et alignement des séquences par l'outil BLAST

Les produits amplifiés sont d'abord été purifiés des résidus de la PCR par le kit enzymatique ExoSap (ThermoFisher), puis soumis à la réaction séquençage. Les séquences générées sont traitées par le logiciel BioEdit puis comparées avec des séquences de références dans la base de données NCBI.

8. Évaluation de l'activité antagoniste des souches isolées (*Trichoderma* et *Actinomycètes*)

Le potentiel antagoniste des isolats obtenus est évalué vis-à-vis de deux espèce de champignon phytopathogène à savoir le *Fusarium sp.*, cette évaluation se manifeste par l'inhibition de la croissance mycélienne du champignon phytopathogène lorsqu'ils sont repiqués ensemble (Vinale *et al.*, 2018). L'objectif de cette étape est donc de sélectionner, parmi les souches de *Trichoderma* et d'actinomycètes isolées à partir du sol rhizosphérique des biotopes étudiés, celles qui sont capables d'inhiber la croissance de l'agent phytopathogène mis à l'étude.

8.1. Technique de confrontation directe

La méthode de confrontation par contact direct sur milieu de culture a été utilisée pour évaluer l'interaction entre les souches d'antagonistes, notamment trois *Trichoderma sp.*, et deux pathogènes fongiques « *Fusarium sp.* » (Shoresh *et al.*, 2010). Cette technique consiste à placer, dans la même boîte de Pétri contenant un milieu PDA, deux pastilles gélosées de 5mm de diamètre, l'une portant l'antagoniste et l'autre le pathogène. Les deux pastilles sont positionnées suivant un axe diamétral à une distance équidistante de 3cm du centre de la boîte (**Fig.16**). Les repiquages sont effectués simultanément afin d'évaluer l'inhibition de la croissance mycélienne du pathogène par l'antagoniste. L'incubation est réalisée à 25°C pendant 7 jours. Le témoin est constitué par un repiquage du pathogène seul « *Fusarium sp.* » au centre de la Boîte de pétri qui contient le milieu (PDA).

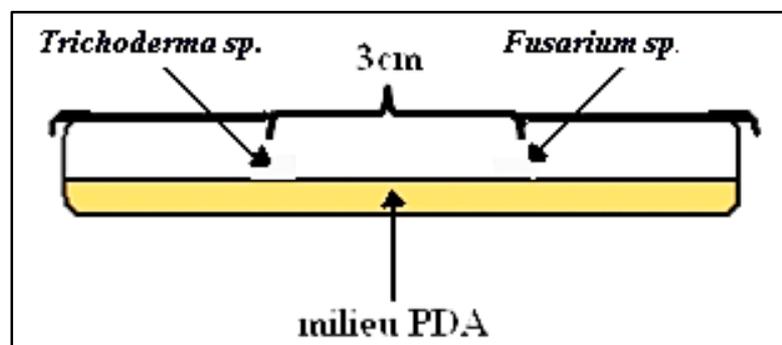


Figure 16. Méthode de confrontation directe sur milieu PDA

L'évaluation de l'inhibition exercée par l'antagoniste « *Trichoderma* » est estimée par le calcul du pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne selon la formule suivante (Hmouni *et al.*, 1996) :

$$I (\%) = (1 - C_n / C_o) \times 100$$

Où,

I (%) : Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne

C_n : Diamètre moyen des colonies en présence de l'antagoniste

C_o : Diamètre moyen des colonies témoins.

8.2. Evaluation des l'effet antifongique des isolats actinomycètes *in vitro*

L'activité antifongique de quatre actinomycètes isolés à partir des trois échantillons, choisis selon leurs variations morphologiques, est évaluée en les testant sur le développement de deux isolats de *Fusarium* du blé. Pour cela deux méthodes directes sont utilisées.

Méthode 1 : un disque de 6mm des deux microorganismes à confronter est prélevé sur une culture âgée de 7 jours. La disposition du pathogène se fait sur un coté de la boîte à une distance d'environ 1cm du bord, tandis que l'actinomycète est étalé le long du deuxième côté (de haut en bas) à équidistance du centre de la boîte. Pour le témoin le pathogène est ensemencé seul. L'évaluation se fait en mesurant l'inhibition exercée par l'actinomycète sur le *Fusarium* (Singh, *et al.*, 2019).

Méthode 2 : Une culture de *Fusarium sp.* âgée de 7 jours est utilisée pour la préparation de la suspension conidiale et justée à 10^6 spore/ml, afin de l'utiliser comme inoculum. La suspension du pathogène est ensemencée sur une boîte de Pétri contenant du milieu PDA puis un disque de 6mm d'une culture de l'actinomycète étudié, âgée de 7 jours, est placé au centre de la boîte. L'incubation se fait à 28°C pendant 5 jours. L'évaluation se fait en mesurant les diamètres des zones d'inhibition (Gao *et al.*, 2014).

RESULTATS

Pour réaliser une étude sur la diversité des genres de champignons présents dans des échantillons de sol agricoles, prélevés dans différentes régions de l'Est algérien, notamment la zone nord (Beni Hmiden) et sud (El Khroub) de la wilaya de Constantine et O.E.B (Sigus), nous avons effectué une analyse au laboratoire de l'INRAA-URC. Les résultats de cette analyse ont révélé l'existence d'une diversité significative de champignons telluriques.

1. Analyse des sols

Les échantillons de sol examinés présentent des caractéristiques distinctes qui peuvent influencer leur fertilité. Le sol de la Ferme Ghoule (E.1) possède une faible conductivité électrique et une concentration élevée de phosphore. Le sol de Bounouara (E.2) révèle une teneur plus élevée en matière organique et une concentration élevée de potassium. Le sol de Beni Mastima (E.3) a une conductivité électrique plus élevée et des concentrations contenues de phosphore et de potassium (Tab. .

En comparaison, le sol de Bounouara présente une meilleure fertilité grâce à sa teneur élevée en matière organique, tandis que le sol de la Ferme Ghoule se distingue par une concentration de phosphore plus élevée. Ces caractéristiques doivent être prises en compte lors du choix du sol pour des pratiques agricoles spécifiques et pour sa richesse en microorganismes.

Tableau 1. Analyses physico-chimiques des sols

Echantillon	CE ms/cm	CE g/l	pH	MO%	P ₂ O (PPM)	K ₂ O (PPM)
E1: Ferme Ghoule	0,24	0,1536	8,16	1,46	526,04	376,68
E2: Bounouara	0,5	0,32	8,02	2,71	256,08	672,54
E3: Beni Mastima	1,92	1,2288	8,2	1,8	416,67	450,66

2. Nombre de colonies pour tous les échantillons

Au total, nous avons obtenu 115 colonies fongiques à partir de trois échantillons de sol agricole prélevés dans différentes régions de l'Est algérien (Bni Hmiden, El Khroub et Sigus) en utilisant la méthode de dilution des échantillons. Ces colonies représentent la somme des colonies fongiques obtenues pour toutes les dilutions effectuées (**Fig.18**).

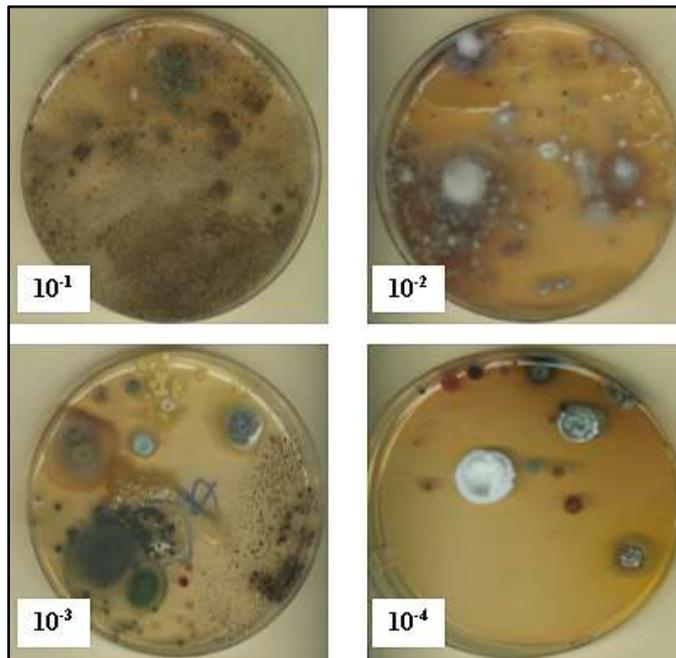


Figure 17. Exemple d'aspect des colonies obtenues dans les boîtesensemencées sur milieu PDA en fonction des dilutions

3. Nombre de colonies par échantillon

Les résultats de la (Fig.19) présentent des variations significatives dans le nombre de colonies fongiques par échantillon. L'échantillon E.03 présente le plus grand nombre de colonies, suivi de près par l'échantillon E.01 avec 35 colonies. En revanche, l'échantillon E.03 présente le nombre le plus faible de colonies. Ces résultats soulignent l'importance de considérer la diversité fongique dans les échantillons de sol agricole.

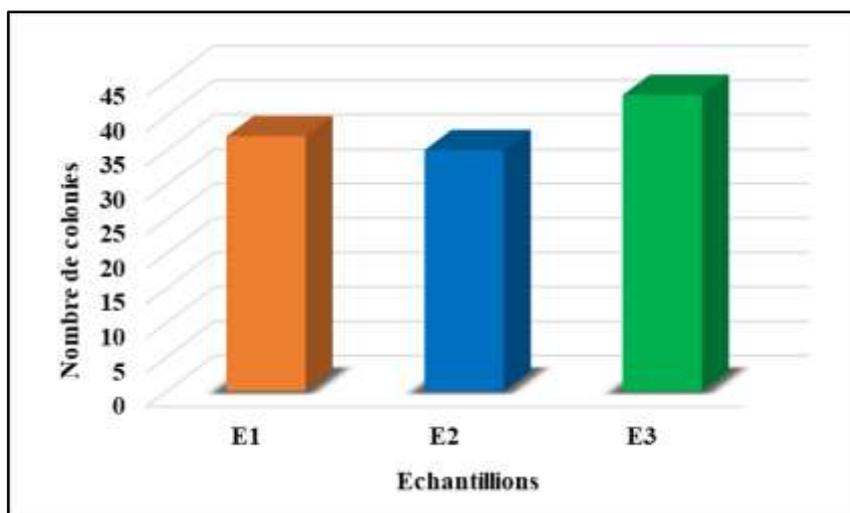


Figure 18. Nombre de colonies par échantillon

4. Nombre de colonies obtenues par échantillon en fonction des dilutions

Les résultats obtenus à partir des dilutions décimales pour les échantillons E1, E2 et E3 sont illustrés par la (Fig.20) et permettent d'enregistrer le plus grand nombre de colonies du genres *Trichoderma* au niveau de (E1), *Aspergillus* pour l'échantillon (E2), *Rhizopus* (E3) pour la dilution (10^{-1}).

Une présence importante des Actinomycètes dans l'échantillon E3 avec un nombre de colonies élevé (20 et 08) pour respectivement les dilutions (10^{-2}) et (10^{-4}). Les autres genres, tels que *Fusarium*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Alternaria* et *Verticillium*, sont présents mais avec des valeurs beaucoup plus faibles à l'exception de l'Actinomycète qui est présent uniquement dans l'échantillon E3. Aussi les résultats observés soulignent l'importance de la variabilité de la composition fongique entre les échantillons et l'intérêt de prendre en compte la diversité des genres de champignons dans les études sur les sols agricoles, car cela peut avoir un impact sur la santé des plantes et les processus écologiques associés.

5. Genre fongiques identifiés

Suite aux différentes observations macroscopiques et microscopiques effectuées sur les différents isolats obtenus à partir des différents échantillons, plusieurs genres de champignons filamenteux ainsi que des actinomycètes sont identifiés. Une biodiversité importante est ainsi détectée soit 08 genres de champignons filamenteux *Aspergillus*, *Fusarium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Penicillium*, *Trichoderma* et *Verticillium*, ainsi qu'un genre Actinomycètes observé uniquement dans l'échantillon E3, mais qui apparait comme le genre dominant parmi l'ensemble des genres observés dans nos échantillons, avec 28 colonies.

En analysant les ratios et l'histogramme des colonies obtenues nous avons observé trois genres fongiques prédominants. Les actinomycètes ont représenté 24% des colonies, suivis par les *Aspergillus* avec 23% et les *Penicillium* avec 20%. Les *Fusarium* sont détectés à un taux de 12%, tandis que les *Trichoderma* sont à 10%. La figure 21 présente en détail les caractéristiques des différents genres fongiques identifiés.

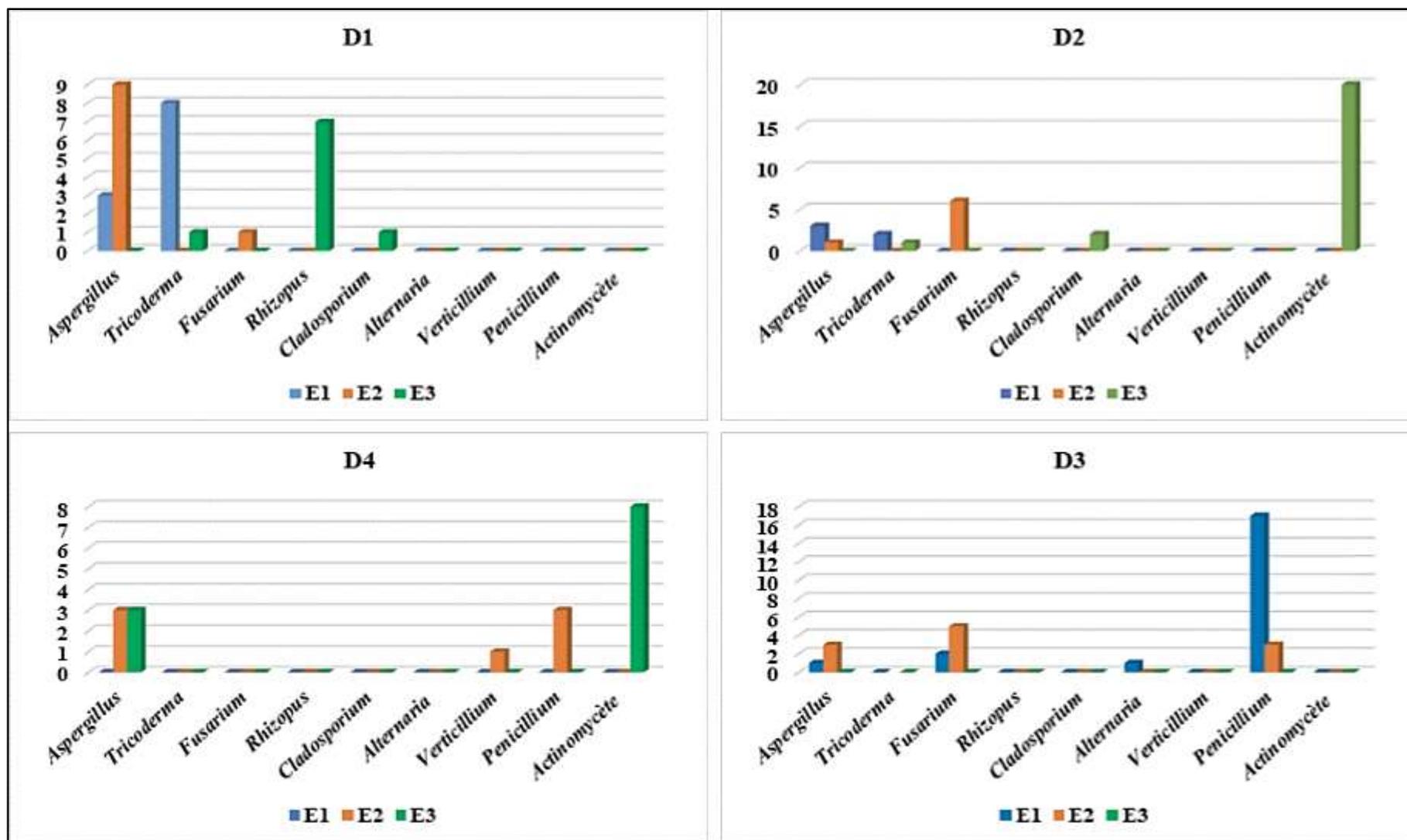


Figure 19. Nombre de colonies fongiques obtenues dans les différents échantillons

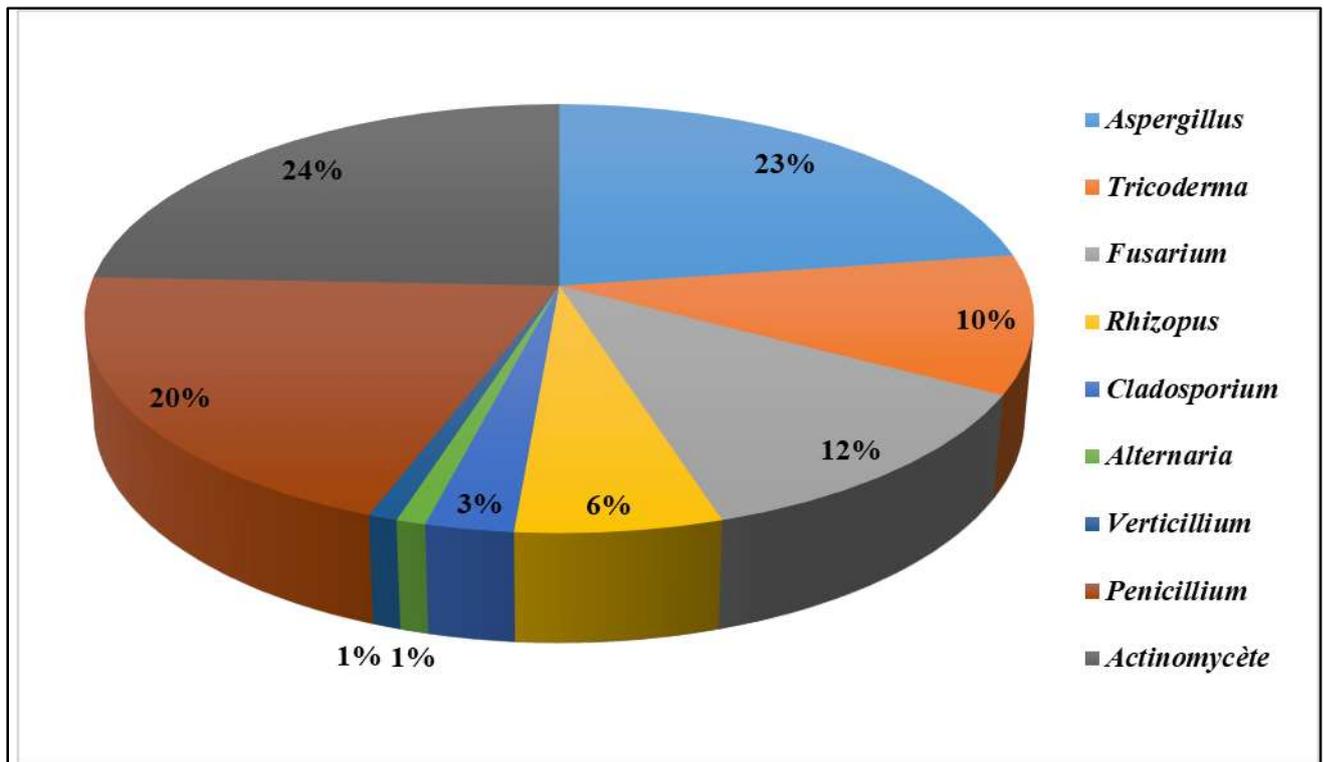


Figure 20. Pourcentages des genres fongiques obtenus sur l'ensemble des échantillons.

6. Genre fongique identifiées par échantillon

En fonction des échantillons testés, le genre prédominant diffère. En effet l'*Aspergillus* est dominant au niveau de l'échantillon E2, tandis que le *Trichoderma* et le *Penicillium* sont plus notés au niveau de E1. L'échantillon 3 est caractérisé par la prédominance des actinomycètes comme le montre la figure 21.

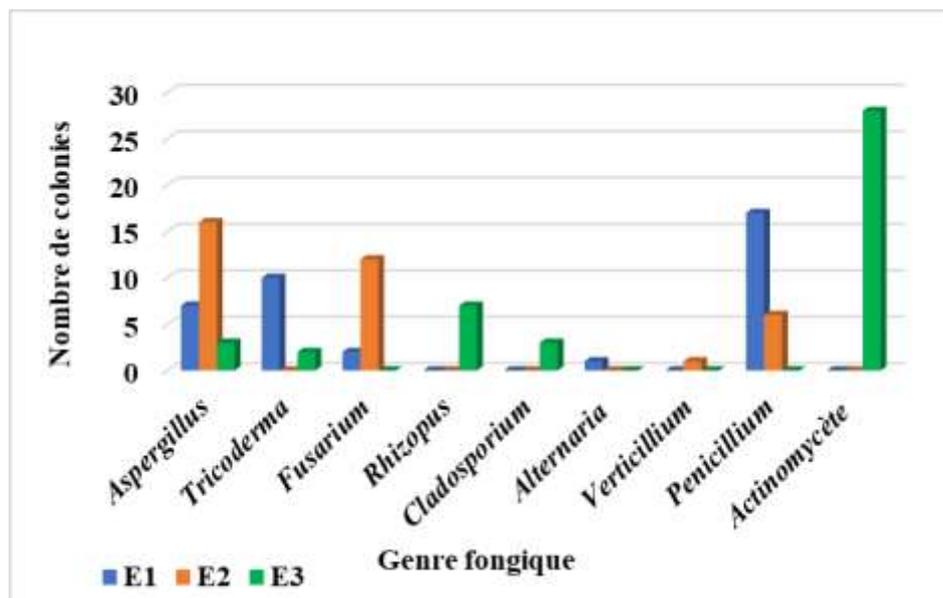


Figure 21. Nombre de colonies identifiées par genre fongique en fonction des échantillons

7. Caractérisations des Genres étudiés

La caractérisation morphologique et microscopique est décrite au niveau du tableau.

Tableau 2. Nombre de colonies identifiées par genre au niveau de chaque échantillon.

Genre	Caractéristique macroscopique	Caractéristiques microscopiques
<i>Trichoderma</i>	Des colonies blanches, vertes, jaunes de coussins de filaments sporulant.	Les hyphes sont septes avec des conidiospores ramifiés Les conidies unicellulaires sont de couleur verte.
<i>Fusarium</i>	Cotonneuse à laineuse ; blanchâtre puis rosées ; violettes ou jaune Revers incolore à jaune ; puis rouge foncé	La présence de macro conidies fusiformes et cloisonnés. Micro conidies uni ou pluricellulaires piriformes fusiformes, cylindriques, ou ovoïdes isolés solitaires ou groupées, disposées ou verticale, ou plus rarement en chainettes
<i>Rhizopus</i>	Colonie à croissance rapide et très grossière	Sporanges sombres contenant des spores de couleur pale à foncée.
<i>Penicillium</i>	Colonies poudreuses et blanc puis bleu vert généralement vertes Revers incolore	Filament mycéliens septes, porte des conidiospores. Des spores unicellulaires, globuleuses, elliptiques, cylindriques ou fusiformes, grisâtres ou verdâtres
<i>Aspergillus</i>	Thalle rose pâle à saumon, devenant blanc en vieillissant. Revers incolore	Conidiospores dressés, lisses, phialides très variables plus ou moins effilées. Conidies unicellulaires, hyalines, lisses, de forme variable (elliptiques, réniformes, ou pyriforme), elles restent agglomérées les unes aux autres et forment des masses mucilagineuses.
<i>Alternaria</i>	Colonies grises ou brune olive, plates duveteuses à laineuses avec un pourtour clair. Le revers de la colonie est en général brun.	Le mycélium est cloisonné et les spores son brunes foncées. Elles sont simples ou ramifiées l'extrémité de conidiophores
<i>Cladosporium</i>	Colonies grises ou brunes, plates, texture duveteuse à laineuse, revers souvent brun.	Mycélium cloisonné, présence de conidiophores portant des spores brunes foncées, conidies généralement elliptiques ou cylindriques
<i>Actinomycète</i>	Colonies de différentes couleurs (blanc, jaune, rouge, brun), texture poudreuse ou granuleuse.	Bactéries filamenteuses avec des hyphes ramifiés, présence de sporanges à l'extrémité des hyphes.

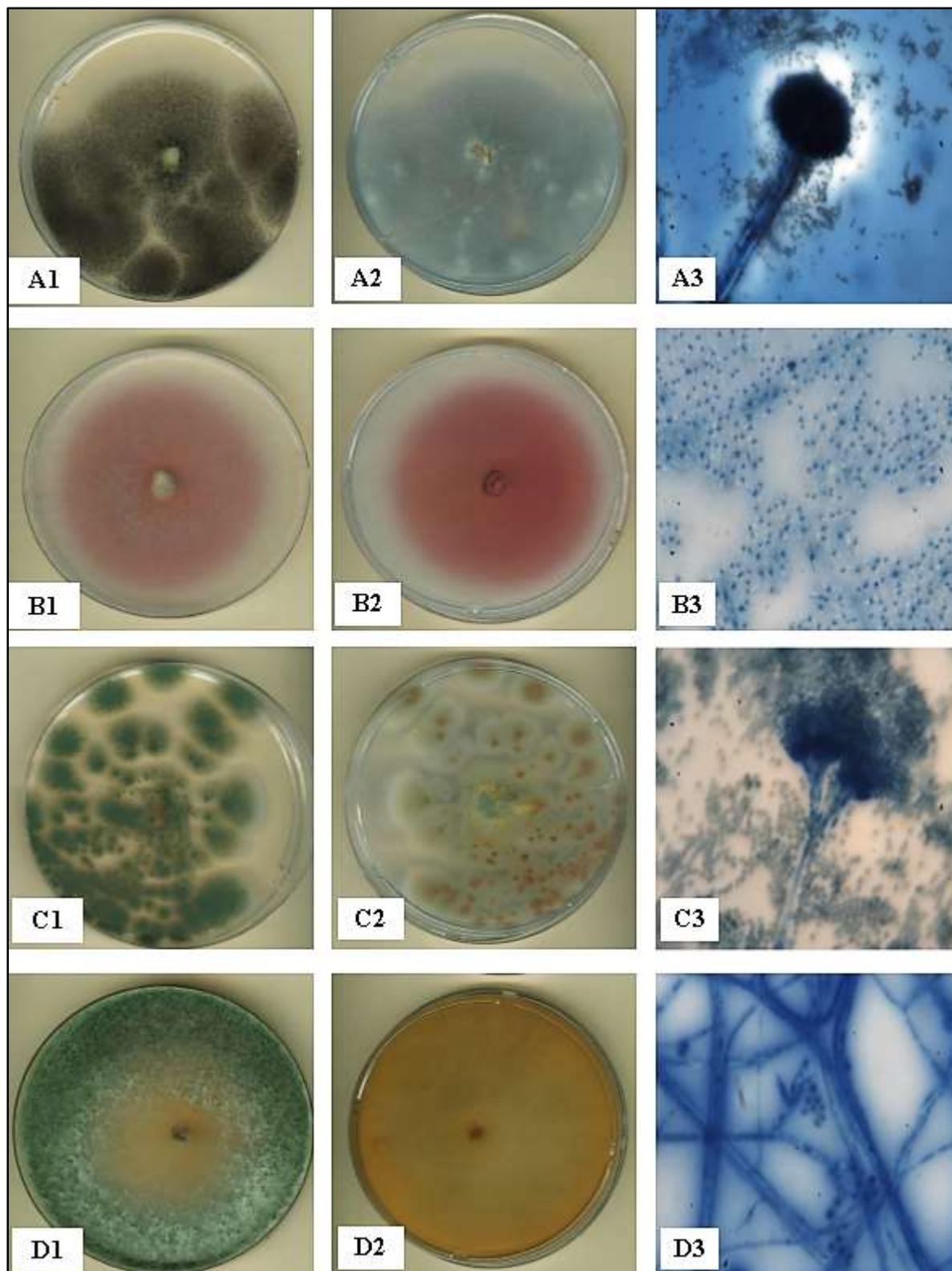


Figure 22. Aspect des genres. (A) *Aspergillus* ; (B) *Fusarium* ; (C) *Pénicillium* ; (D) *Trichoderma*. (1) recto de la boîte ; (2) revers ; (3) Observation microscopique

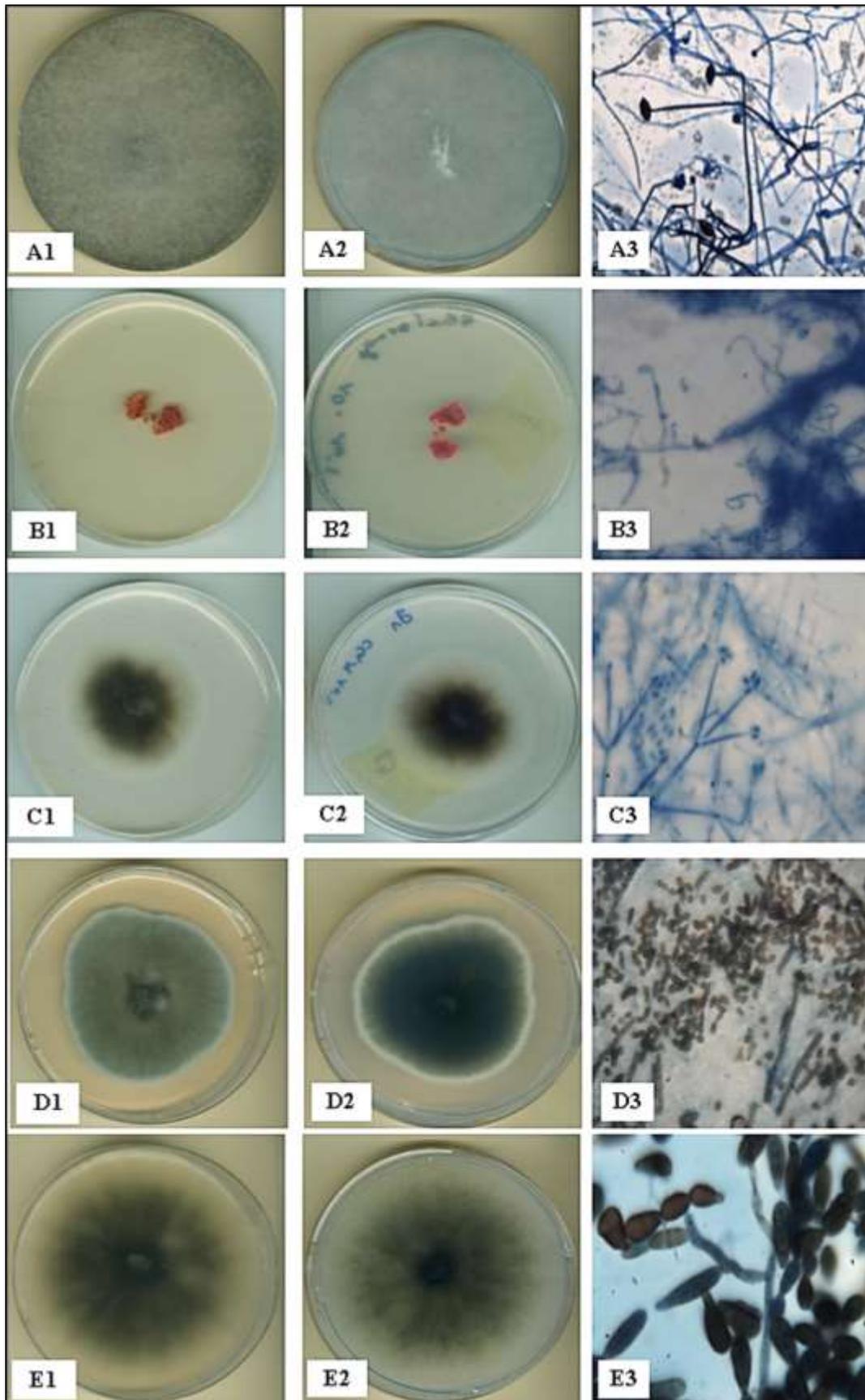


Figure 23. Aspect des genres. (A) *Rhizopus* ; (B) *Actinomycète* ; (C) *Verticillium* ; (D) *Cladosporium* ; (E) *Alternaria*. (1) recto de la boîte ; (2) revers ; (3) Observation microscopique

8. Résultats de l'identification moléculaire des *Trichoderma*

Les deux isolats de *Trichoderma* obtenus au niveau des échantillon E1 et E3 sont identifier par séquençage. Les espèces obtenues sont : E1 : T1 « *Trichoderma harzianum* » ; E3 : T2 « *Trichoderma afroharzianum* ». Ces deux espèces sont courantes dans la région du Maghreb et sont connues pour leurs potentiel biocontrôle. Les caractéristiques morphologiques et microscopiques sont notées au niveau de la figure 24.

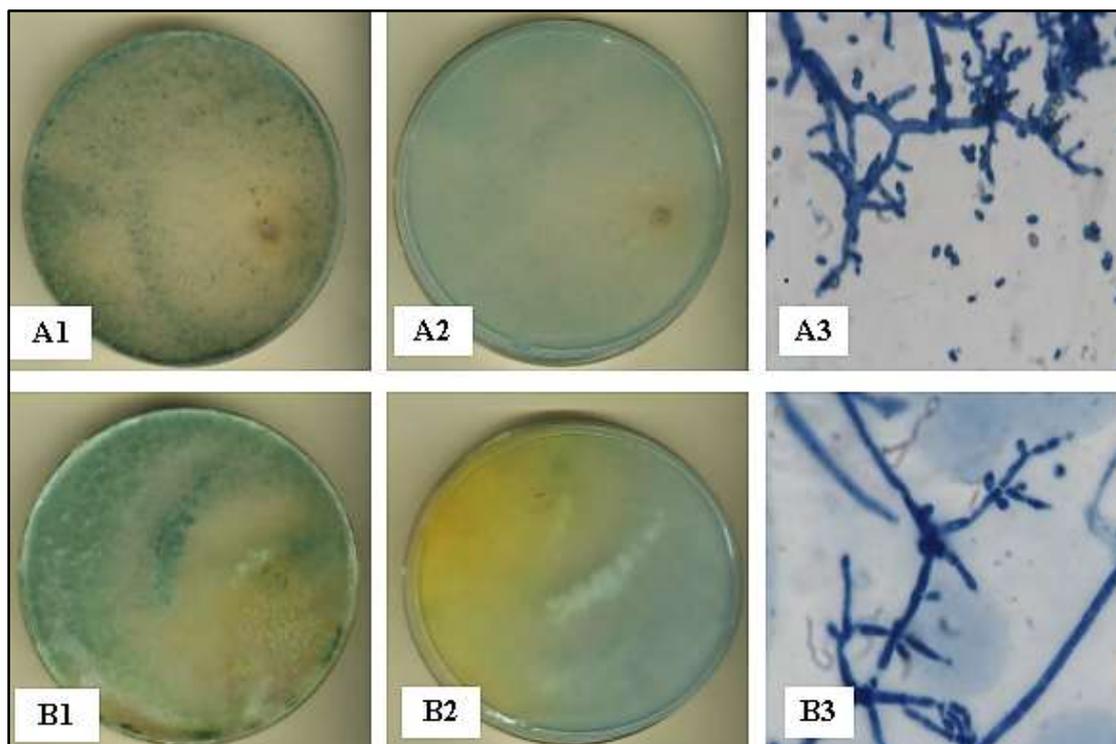


Figure 24. Aspect des *Trichoderma*. (A) Tr1 « *Trichoderma harzianum* » ; (B) Tr2 « *Trichoderma afroharzianum* ». (1) recto de la boîte ; (2) revers ; (3) Observation microscopique

9. Résultats de la lutte biologique

9.1. Test de confrontation direct « *Trichoderma* – *Fusarium* »

Les confrontations entre *Trichoderma* et *Fusarium* ont été étudiées afin d'évaluer leur compétitivité et leur potentiel en tant qu'agents de lutte biologique. Les résultats des tests de confrontation entre *Trichoderma* et *Fusarium*, sont exprimés en pourcentage d'inhibition I(%).

L'inhibition induite par les espèces de *Trichoderma* sur le *Fusarium sp.* révèle un potentiel élevé des deux espèces de *Trichoderma* testées. Néanmoins le Tr2 « *T. afroharzianum* » présente un

taux d'inhibition plus élevé sur les deux *Fusarium* testés, (F1 :38 et F2 :71%) pour le Tr1 et (F1 :50 et F2 : 81%) pour le Tr2.

Les deux espèces de *Trichoderma* semblent bien contrôler le F2, tandis que les taux d'inhibition pour le F1 sont faibles et peu satisfaisant, ce dernier est caractérisé par une croissance mycélienne limitée (25 mm en 7 jours) par rapport au F2 (65 mm en 7 jours), la différence de développement est la raison pour la qu'elle ils ont été choisi pour ce test (Fig.).

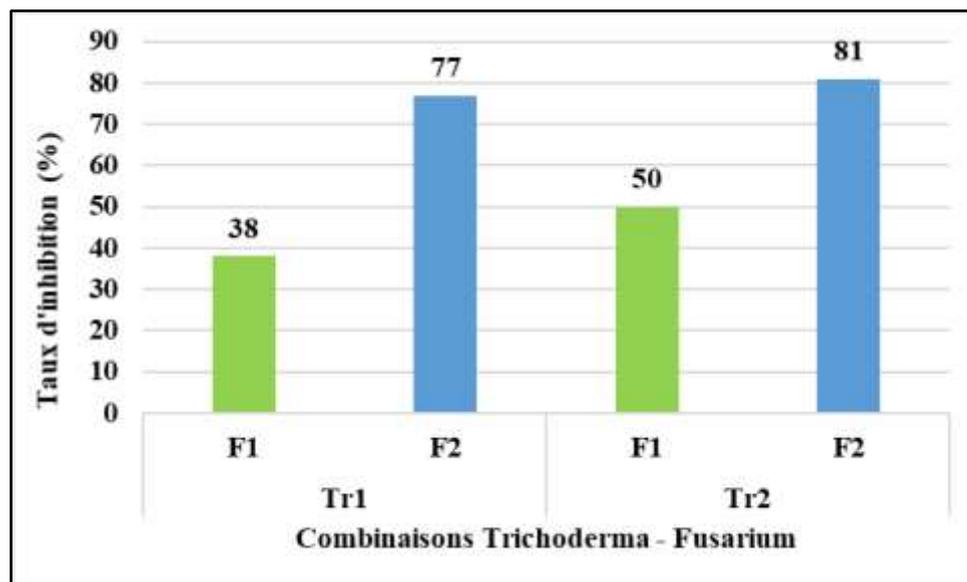


Figure 25. Taux d'inhibition des confrontations directes « *Trichoderma-Fusarium* »

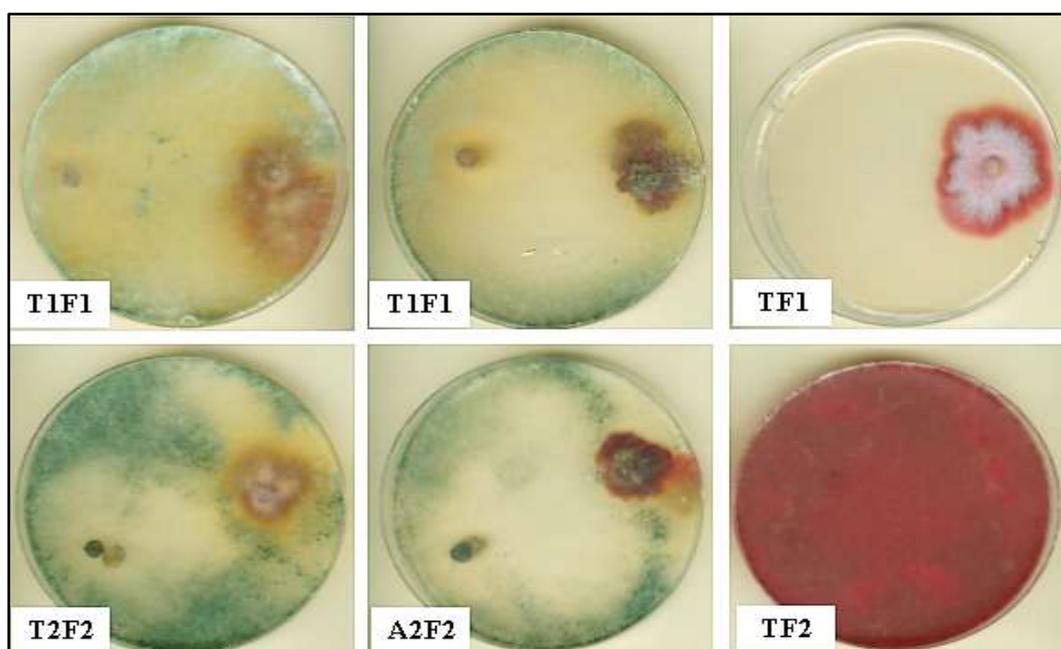


Figure 26. Test de confrontation directe des deux *Trichoderma* sp. vis-à-vis de deux *Fusarium* sp. de blé en suspension. (T : témoin ; F : *Fusarium* sp. ; A : *Trichoderma* sp.)

10. Tests de confrontations directes « *Actinomyète – Fusarium* »

Les mêmes *Fusarium* utilisés pour les confrontations avec *Trichoderma* sont testés en deux méthodes de confrontations directes par l'utilisation de quatre actinomyètes différents.

Les résultats indiquent que l'inhibition est plus prononcée au niveau de F2 plus que pour F1.

10.1. Résultats de la méthode 1 de confrontation directe « *Actinomyète – Fusarium* »

Les résultats obtenus concernant la croissance mycélienne pour différentes combinaisons de « *Actinomyète – Fusarium* », indiquent que les quatre isolats d'actinomyètes n'ont pas eu d'effet inhibiteur intéressant sur le F2, probablement à cause de sa croissance mycélienne rapide, contrairement que pour le F1 où les taux d'inhibition sont intéressants surtout pour le A2 avec une inhibition de 65% de la croissance du F1. Le plus bas taux est noté au niveau de A4 avec 54% ce qui reste potentiellement intéressant (**Fig.27**).

10.2. Résultats de la méthode 2 de confrontation directe « *Actinomyète – Fusarium* »

Les résultats de la deuxième méthode de confrontation confirment ceux de la première méthode en apportant quelques précisions. Le A2 et Le A4 sont les plus intéressants des quatre actinomyètes pour l'inhibition du F1. Le F4 et le F1 sont les plus inhibiteurs pour le F2 (**Fig.28**).

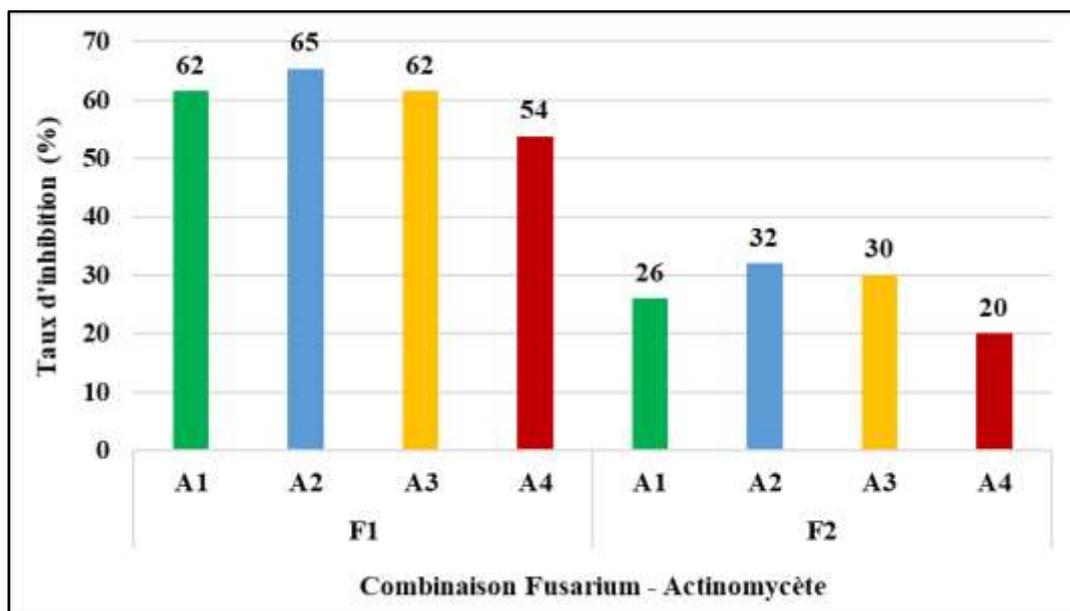


Figure 27. Taux d'inhibition des confrontations directes – Méthode 1 « *Fusarium - Actinomycètes* »

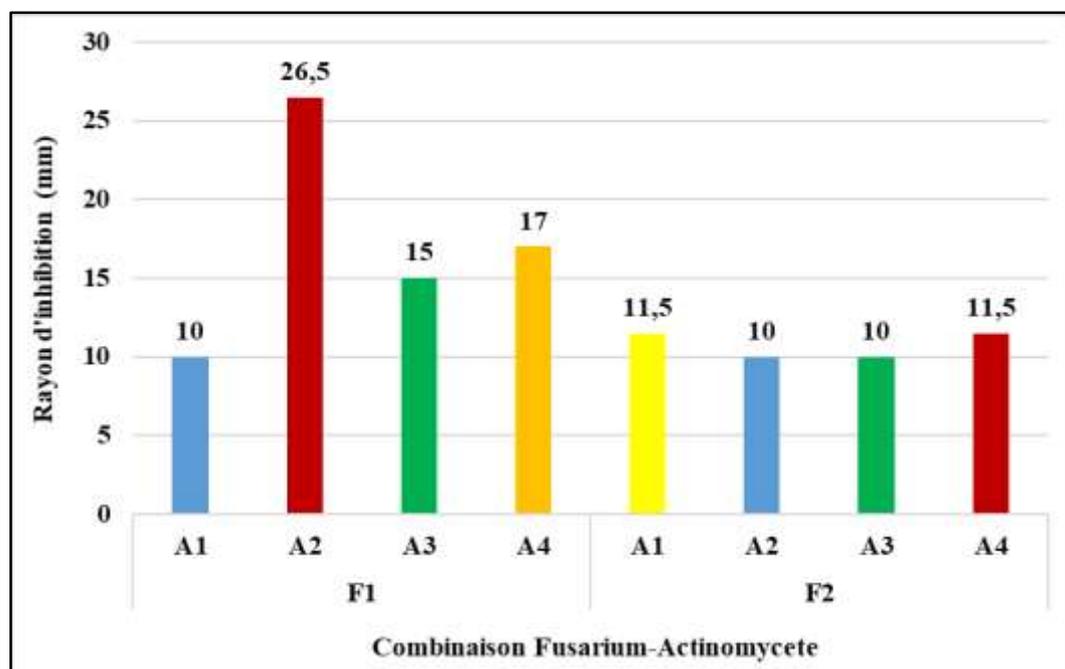


Figure 28. Taux d'inhibition des confrontations directes – Méthode 2 « *Fusarium- Actinomycètes* »

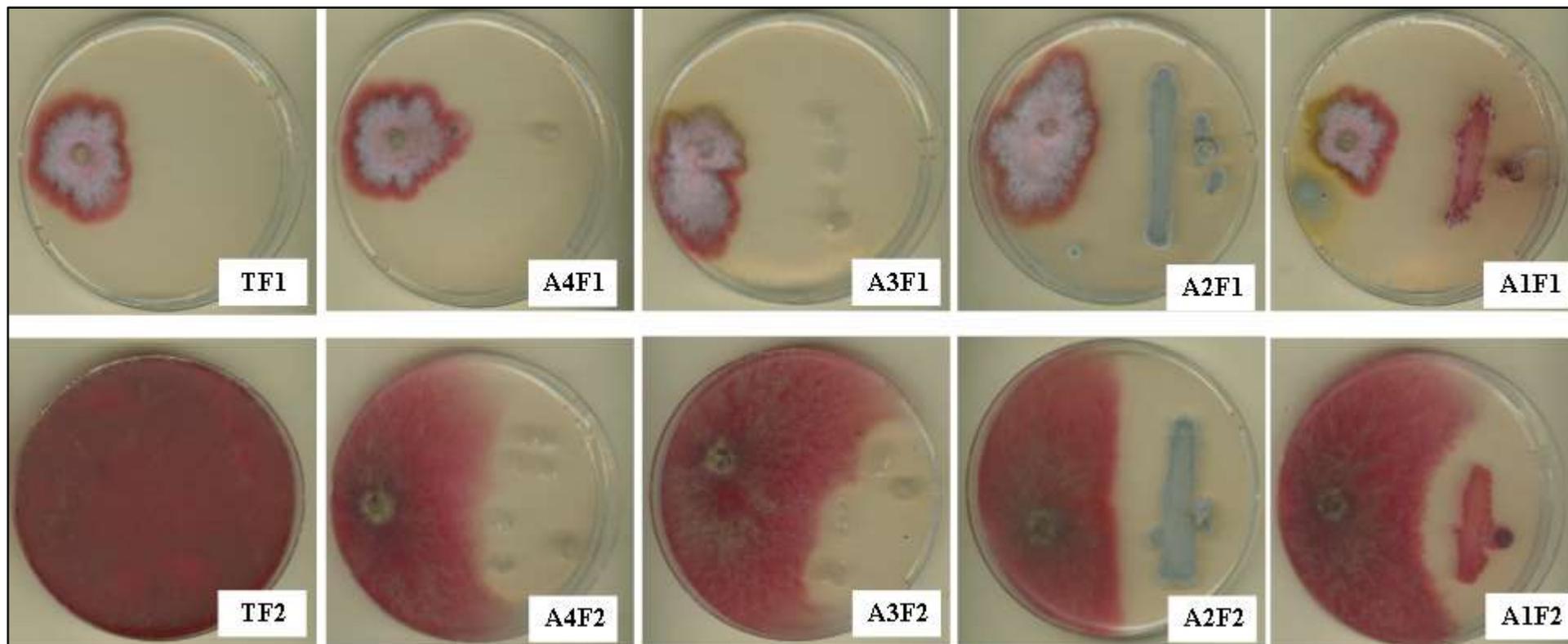


Figure 29. Test de confrontation directe (méthode 1) des quatre *actinomycètes* vis-à-vis de deux *Fusarium sp.* de blé.

T : témoin

F : *Fusarium sp.*

A : *Actinomycète*

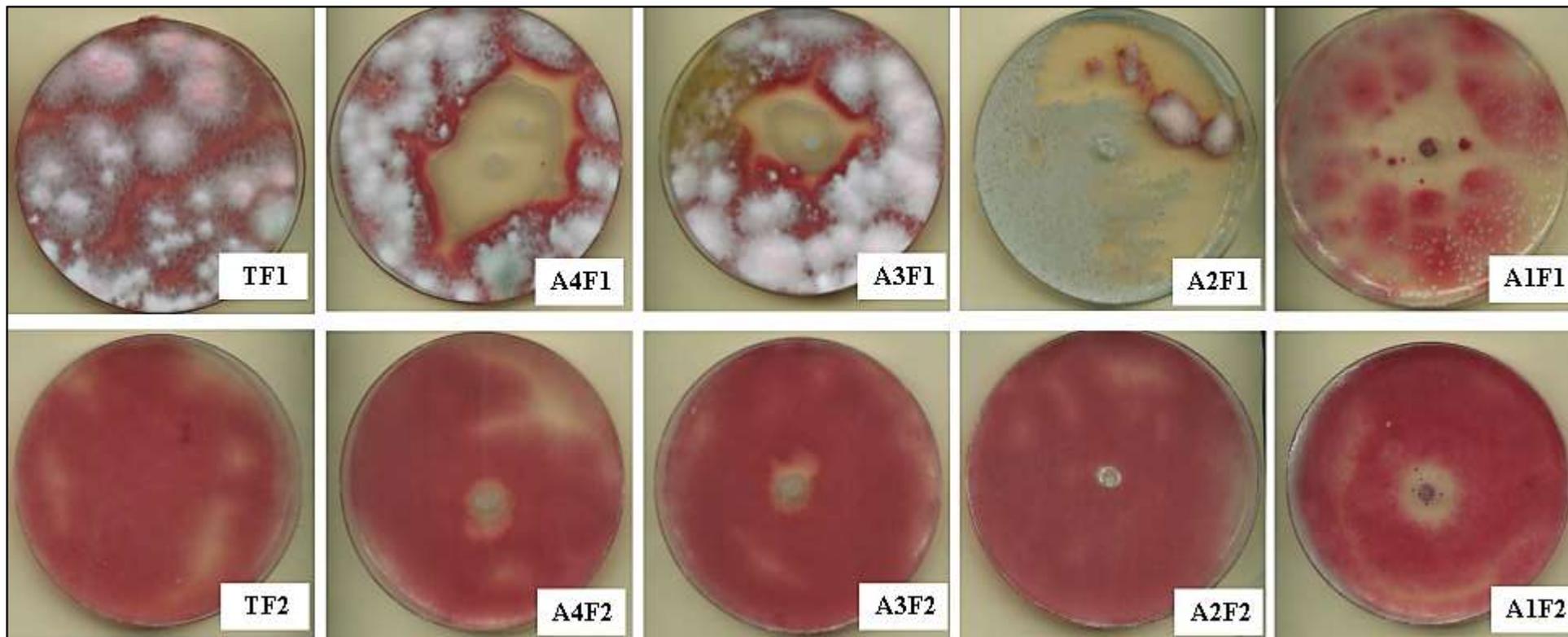


Figure 30. Test de confrontation directe (méthode 2) des quatre *actinomycètes* vis-à-vis de deux *Fusarium sp.* de blé en suspension.

T : témoin
 F : *Fusarium sp.*
 A : *Actinomycète*

DISCUSSION

Dans le but d'approfondir notre compréhension de la diversité fongique des sols en Algérie, des échantillons de sols agricoles ont été prélevés dans deux wilayas du Nord-Est du pays. Les analyses ont révélé la présence de huit genres de champignons filamenteux et des actinomycètes.

L'isolement des souches sporulantes nécessite l'utilisation de la technique de suspension-dilution pour obtenir le maximum de mycètes (Freeman *et al.*, 2017).

Les populations microbiennes variaient en fonction de la région d'échantillonnage, influencées par des facteurs tels que le taux de la matière organique, la texture du sol, le pH, l'humidité, la température et l'aération.

L'identification de plusieurs espèces fongiques repose sur l'observation des caractéristiques macroscopiques et microscopiques (Müller *et al.*, 2020). Ces caractéristiques visuelles et structurales fournissent des indices importants pour différencier les différentes espèces de champignons et faciliter leur classification taxonomique.

Les analyses des échantillons de sol ont permis d'obtenir huit genres de champignons filamenteux. Le classement de ces genres par ordre de prévalence est le suivant : *Trichoderma*, *Fusarium*, *actinomycète*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Alternaria*, et *Cladosporium*.

Les genres les plus dominants sur l'ensemble des échantillons étudiés sont *Aspergillus* 23% et *Penicillium* 20%. Les actinomycètes 24% sont importants au niveau de l'échantillon 3 (Sigus).

Avant de mettre en place une stratégie de lutte biologique contre les champignons pathogènes, il est crucial de comprendre le comportement des agents antagonistes et leur interaction avec le pathogène.

Lors du test d'antagonisme *in vitro* entre les isolats fongiques "*Trichoderma sp.* et *Fusarium sp.*" ainsi que les actinomycètes et *Fusarium sp.*, des observations intéressantes ont été faites en utilisant la méthode de confrontation directe. En effet, les isolats de *Trichoderma* et d'actinomycète ont tous deux démontré un effet inhibiteur remarquable. Ces résultats suggèrent que *Trichoderma* peut coloniser le milieu, assimiler les éléments nutritifs et inhiber la croissance du pathogène (Bouziiane *et al.*, 2019 ; Harman *et al.*, 2004).

Ces résultats sont cohérents avec les observations qui montrent une croissance plus rapide de *Trichoderma sp.* par rapport au pathogène. La compétition entre *Trichoderma* et le pathogène se manifeste par la capacité du *Trichoderma* à coloniser le milieu et à assimiler les éléments nutritifs. Ce phénomène est souvent associé à des mécanismes d'antibiose, où le *Trichoderma*

sécrète des substances antibiotiques qui inhibent la croissance du pathogène (Harman *et al.*, 2004).

Par ailleurs, les actinomycètes jouent également un rôle important dans les écosystèmes microbiens. Selon Berdy (2005), ces microorganismes sont connus pour produire une variété de métabolites bioactifs. Certains de ces métabolites produits par les actinomycètes peuvent avoir des effets bénéfiques en agriculture, notamment dans la lutte contre les pathogènes.



CONCLUSION

CONCLUSION

Cette étude vise à recenser les champignons présents dans les sols agricoles de trois localités de l'Est algérien : Constantine (Bnimestina et El Khroub) et Oum El Bouaghui (Sigus). Les sols représentent des écosystèmes d'une grande diversité biologique, où les champignons jouent un rôle essentiel. Notre objectif est donc de dresser une liste exhaustive des champignons telluriques présents dans ces régions, permettant ainsi une meilleure compréhension de la diversité fongique des sols étudiés.

L'isolement des mycètes a été effectué en utilisant la méthode de suspension-dilution, une approche qui permet d'obtenir une isolation qualitative et quantitative d'un large spectre de champignons. Cette méthode a été choisie afin d'assurer une représentation exhaustive des différentes espèces fongiques présentes dans l'échantillon.

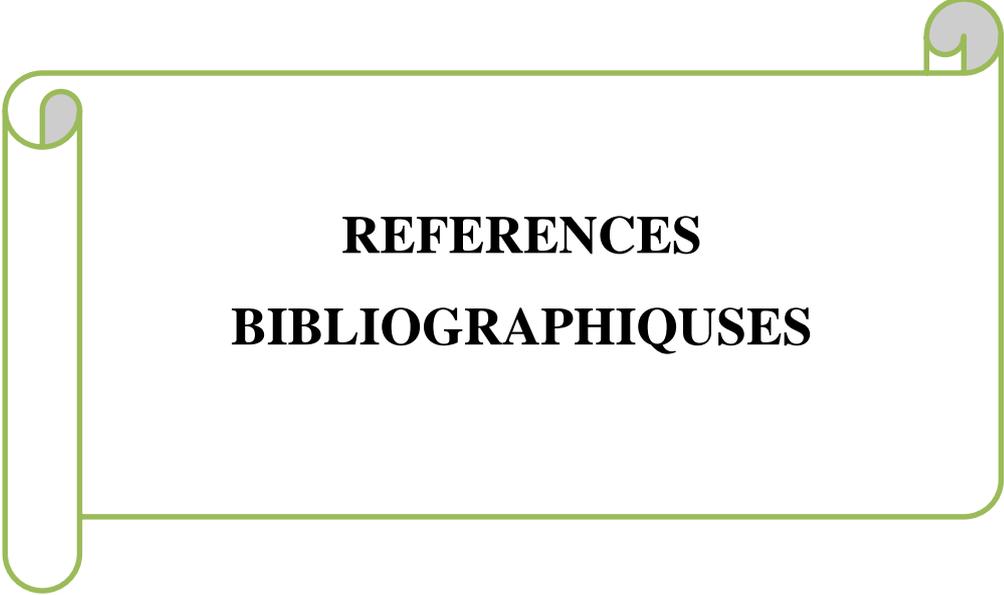
L'étude des caractères macroscopiques et microscopiques des souches isolées a permis l'identification de huit genres de champignons, à savoir *Trichoderma*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Alternaria* et *Cladosporium* et des actinomycètes. Parmi ces genres, *Aspergillus*, *Penicillium* et actinomycète se sont révélés être les plus dominants. Ces résultats soulignent la grande diversité d'espèces de champignons telluriques, notamment la présence de souches antagonistes, dans les sols des régions étudiées.

De plus, il est possible de conclure que la répartition de la microflore fongique est influencée par divers facteurs environnementaux tels que les conditions climatiques, la dispersion aérienne des spores fongiques et la disponibilité de matière organique. Ces éléments jouent un rôle déterminant dans la composition et la distribution des champignons dans l'environnement étudié.

Une étude approfondie dans les régions de l'Est serait cruciale pour déterminer la biodiversité fongique. Ces régions offrent des conditions environnementales uniques propices à l'exploration de cette diversité. Il serait également pertinent d'étudier les interactions plantes-champignons au niveau de la rhizosphère pour identifier les souches bénéfiques pour les cultures. Cette connaissance permettrait d'optimiser la santé des cultures et de favoriser des pratiques agricoles durables. Les résultats de ces recherches pourraient contribuer à améliorer la gestion des écosystèmes fongiques, à promouvoir des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement et à garantir la sécurité alimentaire à long terme.

Une telle étude offrirait une base solide pour la sélection et l'utilisation de souches fongiques bénéfiques dans des applications biotechnologiques visant à augmenter la productivité des cultures et à réduire l'utilisation de produits chimiques agricoles.

En résumé, une étude approfondie de la biodiversité fongique dans les régions de l'Est, associée à une meilleure compréhension des interactions plantes-champignons, aurait un impact significatif sur l'agriculture durable et la préservation des écosystèmes.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Singh, P. et al. (2019). Exploration of multitrait antagonistic microbes against *Fusarium*
2. *oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Journal of Applied and Natural Science*, 11(2): 503 – 510

3. Fen Gao, Yuanhua Wu and Mengliang Wang, 2014 ; Identification and antifungal activity of
4. an actinomycete strain against *Alternaria* spp. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2014
5. 12(4): 1158-1165
6. HARRAT W., BOUSSAHA S., IMAMI S. ET OUFFROUKH A., Caractérisation culturelle et
7. morphologique de *Trichoderma* sp. rhizosphériques et évaluation du potentiel biocontrôle.
8. Premier Webinaire International de Biodiversité Animale, Protection et Environnement
9. « WIBAPE 2022 » ENSA , 26 et 27 mai 2022.
10. Moorthy, A., Balasundaram, U. (2021). Rhizosphere Metagenomics: Methods and
11. Challenges. In: Pudake, R.N., Sahu, B.B., Kumari, M., Sharma, A.K. (eds) *Omics Science for*
12. *Rhizosphere Biology*. *Rhizosphere Biology*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-](https://doi.org/10.1007/978-13-981-16-0889-6_1)
13. [13-981-16-0889-6_1](https://doi.org/10.1007/978-13-981-16-0889-6_1)
14. Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*, 5^{ème} édition, department of plant pathology University of Florida ; Elsevier Academic Press. PP.948.
15. Ainsworth G.C. (1971). *Introduction to the History of Mycology*. Cambridge University Press.
16. Al-Hatmi, A.M.S., Meis, J.F., de Hoog, G.S. (2016). *Fusarium* : Molecular Diversity and Intrinsic Drug Resistance. *PL. Pathogens*, 12(4).
17. Aouar, L. (2013). The Role of Root Exudates in Rhizosphere Interactions with Plants and Soil Microorganisms. *In* : Ahmed, P., Ed., *Plant-Microbe Interaction : An Approach to Sustainable Agriculture*, Springer, Dordrecht, 19-39.
18. Atri, N.S., Atri, R., et Grover, S. (2019). Fungal enzymes in bio industrial applications : An exhaustive review. *Biotechnology Reports*, 22, e .00345.
19. Aurélie Le cellier (2013). Caractérisation et identification des champignons filamenteux par spectroscopie vibrationnelle ; Thèse docteur de l'université de Reims Champagne-Ardenne : Biologie-Biophysique.12/2013.
20. Bauer, R., Begerow, D., Oberwinkler, F., Riess, K., Garnica, S. (2020). Entorrhizomycota : A New Fungal Phylum Reveals New Perspectives on the Evolution of Fungi. DOI : 10.1371/journal.pone.0128183 License CC BY 4.
21. Benkada M.M., (2006)., - Evaluation du risque fongique en zones conchylicoles : substances toxiques de souches marines du genre *Trichoderma*. Thèse doctorat. Univ.de Nantes. 139 p.
22. Bennett J.W., et Klich M., (2003). Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(3), 497-516.
23. Berdy, J. (2005). Bioactive microbial metabolites. *The Journal of Antibiotics*, 58(1), 1-26.

24. Bissett, J. (2004). Taxonomy of *Trichoderma*. In Benkada, A. (Ed.), *Advances in Fungal Taxonomy and Applied Mycology* (pp. 123-145).
25. Botton B., Breton A., Fevre M., Gauthier S., Guy P.H., Larpen J.P., Reymond P., Sanglier J.J., Vayssier Y and Veau P., (1990). *Moisissures utiles et nuisibles importance industrielle*. 2^{ème} Ed : Masson. Collection Biotechnologies. Pp : 34-428.
26. Boudemagh, A. (2007). *Les actinomycètes dans les sols : diversité, écologie, rôle biologique et perspectives biotechnologiques*. Mémoire de magistère en Microbiologie, Université de Constantine, Algérie.
27. Boussaber Elarbi, Meftah Issam Kadmiri, Hilali Lahoucine, Hilali Abderraouf (2012), Comparaison de l'activité antimicrobienne des souches d'actinomycètes isolées de milieu variés, Science Lib Editions Mersenne : Volume 4, N ° 121203: P 01-21.
28. Bouzerzour, H., Chouih, F., Bouzerzour-Zemrani, M., Mellouk, Y., et Ouhdouch, Y. (2021). Production and productivity of barley in Algeria. In *Sustainable Agriculture Reviews* 49 (pp. 113-144).
29. Bouziane, H., Aïder, M., & Boudelaa, M. (2019). Diversity and composition of fungal communities in Algerian soils using high-throughput sequencing. *Journal of Soils and Sediments*, 19(10), 3794-3807.
30. Bravin, M. N. (2008). The rhizosphere: a dynamic and complex environment. *Geoderma*, 144(1-2), 1-2.
31. Brown, P., Zhang, J., Savard, ME, Ri. (2019). Fusarium diseases in cereals: species complex and related mycotoxin profiles, susceptibility/resistance genes in host species, and their role in Canadian agriculture. *Plant Pathology*, 68(4), 481-487.
32. Bulgarelli, D., Garrido-Oter, R., and Schulze-Lefert, P. (2020). The native microbiome of the plant root. *Annual Review of Microbiology*, 74, 641-660.
33. Larcher C., (.2007)., *Etude mycètes.pdf*. PP 6 ; (Technique et biologie Tome XVIII).
34. Calderone RA, Clancy CJ. (2015). *Candida and Candidiasis*. Washington, DC: ASM Press; 2015.
35. Chang, Y. C., & Timberlake, W. E. (2020). Genome-wide characterization of *Aspergillus nidulans* spore germination reveals that distinct developmental programs are activated by specific germinants. *mBio*, 11(1), 03022-19.
36. Chaudhary, H. S., Yadav, J., Shrivastava, A. R., Singh, S., Singh, A. K., et Gopalan, N. (2013). Antibacterial activity of actinomycetes isolated from different soil samples of Sheopur (A city of central India). *Journal of advanced pharmaceutical technology & research*, 4(2), 118–123.
37. Chen, G., Liu, Y., Wei, G., Li, H., & Wang, Y. (2020). Current status of breeding wheat for resistance to Fusarium head blight in China. *Crop Journal*, 8(2), 234-241.
38. Chroňáková A., Vaclav Kristufec., Martin Tichy, et Dana Elhottova., (2010) Biodiversity of *Streptomyces* isolated from a succession sequence at a post mining site and their evidence lacustine sediment. *Microbiological research*.

39. Clerget Y., (2011). Biodiversité des céréales Origine et évolution. « La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme » bulletin 2011 de la Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard. Pp : 1-16.
40. De Hoog, G.S., Guarro, J., Gené, J., et Figueras, M.J. (2019). Atlas of Clinical Fungi (3rd Ed.). Utrecht, The Netherlands: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre.
41. Deng, J., Noverr, M.C., & Fanning, S. (2021). Airborne Fungal Spores: Diversity, Temporal Dynamics, and Indoor/Outdoor Distribution. *Microorganisms*, 9(3), 489.
42. Djaballah, R. (2010). Actinomycètes. In *Microbiologie et biotechnologie* (pp. 121-134). Presses Universitaires de France.
43. Dodd, I. C., & Davies, W. J. (2021). The hidden half of plant growth: Root system dynamics and their contributions to plant productivity. *Plant Physiology*, 187(3), 1343-1357.
44. Fischer R., Zekert N., Takeshita N. (2008). Polarized growth in fungi - interplay between the cytoskeleton, positional markers and membrane domains. *Molecular Microbiology*, 68(4), 813-826.
45. Fisher, M. C., Henk, D. A., Briggs, C. J., Brownstein, J. S., Madoff, L. C., McCraw, S. L., et Gurr, S. J. (2012). Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature*, 484(7393), 186-194.
46. Freeman, A., Ibrahim, A., and Onyango, C. (2017). Isolation of sporulating fungi using the suspension-dilution technique for maximum mycelial growth. *Journal of Mycology*, 25(3), 145-156.
47. Fritas, (2012). In Vivo Hemozoin Kinetics after Clearance of Plasmodium berghei Infection in Mice. Hindawi Publishing Corporation Malaria Research and Treatment Volume 2012, Article ID 373086, 9 pages doi:10.1155/2012/373086
48. Gams W. et Bisset J. (1998). Morphology and identification of Trichoderma. Pp: 1-33. *Trichoderma and Gliocladium Vol. 1*. Edited by Kubicek C. P., and Harman, G.E., Taylor & Francis. London.
49. Gauthier, L. (2016). Fusarioses chez l'homme et chez l'animal : approche clinique et diagnostic. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 200(6), 1209-1221.
50. Gelderblom, H.R., et Klaassen, C.H. (2020). Fungal spore dispersal : A review. In: *Biodiversity and Health in the Face of Climate Change* (pp. 97-116). Cham, Switzerland.
51. Gouel, C., et Guimbar, H. (2019). World food demand : Understanding the past and projecting the future. *American Journal of Agricultural Economics*, 101(2), 365-379.
52. Green, M., Young, C., Canning, G., Chapman, S. et Fraaije, B.A. (2022). Seedborne *Fusarium culmorum* is a major source of inoculum for Fusarium head blight in wheat in the UK. *Plant Pathology*, 71(1), 179-189.
53. Guezlane, N-T., Kahlouche.B., Athamani, S-G.(b) (.2012)., *Microbiologie travaux pratiques 2^{ème} édition corrigée 2012*. p 32.p140
54. Guezlane-Tebibel, N., Aboura, I., et Zitouni, A. (a) (2012). Mycelia stérilia : A valuable and untapped resource for fungal diversity. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*, 2(1), 23-29.

55. Gupta, V Pandey, A., Singh, A., Chandra, P. (2020). Actinobacteria : A source of diverse bioactive compounds. *In* Microbial Biotechnology : Basic Research and Applications (pp. 151-166). Springer.
56. Gurr, G. M., Wratten, S. D., et Snyder, W. E. (2012). Biodiversity and insect pests : key issues for sustainable management.
57. Hacquard, S. (2020). Microbial interkingdom interactions in roots promote Arabidopsis survival. *Cell*, 181(3), 668-682.
58. Hacquard, S., Spaepen, S., Garrido-Oter, R., and Schulze-Lefert, P. (2015). Interplay between innate immunity and the plant microbiota. *Annual Review of Phytopathology*, 53, 379-406.
59. Hajek, A. E., et Eilenberg, J. (2018). *Natural Enemies : An Introduction to Biological Control*. Cambridge University Press.
60. Harman, G. E., Hayes, C. J., et Lorito, M. (2021). Trichoderma for biocontrol and the improvement of plant health. *In* Trichoderma. pp. 3-31.
61. Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). Trichoderma species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43-56.
62. Hawksworth, D. L., (2018). Lücking, R., Fungal Barcoding Consortium, Jeewon, R., Kurtzman, CP, Lumbsch, HT, ... & Aptroot, A... Naming and outline of Dothideomycetes—2018. *Studies in Mycology*, 92, 105-219.
63. Hawksworth, D.L. (2001). The magnitude of fungal diversity : The 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research*, 105(12), 1422-1432. [DOI : 10.1017/S0953756201004725]
64. Heit, B. A. (2015). Fusarium species and their associated mycotoxins. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 31(2), 285-302.
65. Hibbett, D.S., Bauer, R., Binder, M., Giachini, A.J., Hosaka, K., Justo, A. Thorn, R.G. (2014). *Agaricomycetes. In: Systematics and Evolution, Part A*. Springer, Berlin, Heidelberg
66. Hibbett, D.S., Smith, J.R., Jones, A.B. (2018). A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research*, 122(8), 785-791.
67. Hiltner L., (1904)., Über neuer erfahrungen und problème auf dem gebeit der boden bakteriologie unter besonderer nerücksichtigung der gründung und brache. *Arbeiten aus dem Deutschen Landwirtschafts Gesellschaft*. 98:59-78.
68. Hinsinger P., Bengough A., G.Vetterlein.D. et Young I.M., (2019). Rhizosphere : biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. *Plant and Soil*, 1-28.
69. Hmouni A., M.R Hajlaoui., Hmouni A., M.R Hajlaoui., A. Mlaiki . (1996) Résistance de Botrytis cinerea aux benzimidazoles et aux dicarboximides dans les cultures abritées de tomate en Tunisie. *EPPO Bulletin* Volume 26, Issue 3-4 First publ. Sept . 1996
70. Howell (2003) Mechanisms Employed by Trichoderma Species in the Biological Control of Plant Diseases : The History and Evolution of Current Concepts. *Plant Disease / Vol. 87 No. 1*

71. Huang, X., Mondal, P., Cook, BI et McDermid, S., (2021). Huang, N., P. Mondal, B.I. Cook, and S. McDermid, (2021). Moisture and temperature influences on nonlinear vegetation trends in Serengeti National ?
72. Huang, X., Chaparro, J. M., Reardon, K. F., Zhang, R., Shen, Q., & Vivanco, J. M. (2021).
73. Irina S. (2011). *Trichoderma* : the genomics of opportunistic success. Nature Reviews. Microbiology. Volume 9.
74. James, T.Y., Pelin, A., Bonen, L., Ahrendt, S., Sain, D., Corradi, N., ... & Stajich, JE (2019). Reconstructing the early evolution of Fungi using a six-gene phylogeny. Nature, 558(7710), 488-492.
75. Janoušková, M., Krak, K., Vosátka, M., & Püschel, D. (2017). Mycorrhizal fungi and parasitic plants : the example of broomrapes (Orobanchae spp.) and their associated fungi. Frontiers in Plant Science, 8, 2253.
76. Jiang, X., Zhang, H., Yang, J., Xiong, X., Peng, F., Zhang, Z., ... & Liu, X., (2017). Characterization and virulence assessment of *Fusarium solani* isolates from soybean roots. Plant Disease, 101(4), 590-599.
77. Caron J., (2002)., Le pouvoir antagoniste de *Trichoderma* inc. Conférence présentée lors des journées horticoles régionales à St-Rémile 5 décembre 2002.
78. Jones, D. L., & Oburger, E. (2011). Solubilization of phosphorus by soil microorganisms. In Phosphorus in action (pp. 169-198). Springer, Dordrecht.
79. Kazan, K., et Gardiner, D. M. (2018). *Fusarium* crown rot caused by *Fusarium pseudo graminearum* in cereal crops : Recent progress and future prospects. Molecular Plant Pathology, 19(7), 1547-1562.
80. Keller, N.P. (2019). Fungal secondary metabolism : Regulation, function and drug discovery. Nature Reviews Microbiology, 17(3), 167-180. [DOI : 10.1038/s41579-018-0121-1]
81. Kerbab, S. (2010). Actinomycetes : A source of diverse bioactive metabolites. In Actinobacteria Basics and Biotechnological Applications (pp. 361-391).
82. Kiffer E., et Morelet M., (1997). Mycologie générale. 2e édition. INRA Éditions.
83. Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers JA. (2008.). Dictionary of the Fungi. 10th edition. Wallingford, UK: CABI;
84. Koul, O., Dhaliwal, G. S., et Singh, R. (Eds.). (2016). Biopesticides and Pest Management: Challenges and Opportunities. Academic Press.
85. Kubicek, C. P., Herrera-Estrella, A., Seidl-Seiboth, V., Martinez, D. A., Druzhinina, I. S., Thon, M., et Zeilinger, S. (2011). Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*. Genome Biology, 12(4), R40.
86. Kurtzman, C. P., Fell, J. W., & Boekhout, T. (2011). The Yeasts : A Taxonomic Study (5th ed.). Elsevier.

87. Lebeis, S. L. (2015). Interactions between plants and beneficial *Pseudomonas* spp.: exploiting bacterial traits for crop protection and plant health. In *Annual Review of Phytopathology* (Vol. 53, pp. 537-557).
88. Leroux, (2003). Modes d'action des produits phytosanitaires sur les organismes pathogènes des plantes *Comptes Rendus Biologies*, 2003 - Elsevier
89. Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2019). *Fusarium* spp. and relatives. In *The Fungal Kingdom* (pp. 1039-1087). ASM Press.
90. Leslie, J. F., et Summerell, B. A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing.
91. Leslie, J. F., et Summerell, B. A. (2021). *Fusarium* spp. and relatives. In *The Fungal Kingdom. Laboratory Manual* (pp. 1039-1087). Blackwell Publishing. eds. 2006. ASM Press.
92. Lynch J. M. (1990)., Introduction : some consequences of microbial rhizosphere competence for plant and soil. *In : The Rhizosphère*. Ed. Lynch. pp. 1-10. John Wiley & Sons Ltd, Essex.
93. Messelink, G. J., Sabelis, M. Wet Janssen, A. (2011). *Biological control of greenhouse pests: from practice to theory*. Wageningen Academic Publishers.
94. Müller, M., Winter, P., & Oberwinkler, F. (2020). Macroscopic and microscopic characteristics in fungal identification. *Fungal Diversity*, 102(1), 25-71.
95. Munkvold, G. P. (2017). *Fusarium* species and their associated mycotoxins. In *Mycotoxigenic Fungi* (pp. 51-106). Academic Press.
96. OCDE FAO. (2020). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029*. OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
97. O'Donnell, K., Ward, T.J., Geiser, D.M., et al. (2008). DNA sequence-based identification of *Fusarium* : Current status and future directions. *Phytoparasitica*, 36(1), 51-64.
98. OECD and FAO. (2020). *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2020-2029*. FAO and OECD. <https://doi.org/10.1787/ccc6f09c-fr>.
99. Ostonen, I., Püttsepp, Ü., Biel, C., Alberton, O., Bakker, M. R., Löhmus, K., et Majdi, H. (2017). Specific root length as an indicator of environmental change. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 151(3), 468-479.
100. Palaniyandi SA, Yang SH, Zhang L, Suh JW. (2013) .Effects of actinobacteria on plant disease suppression and growth promotion. *ApplMicrobiolBiotechnol.*;97(20): 9621-9636.
101. Petrović, T., Raičević, V., Živković, S., & Ivanović, Ž. (2020). *Fusarium* species and their mycotoxins in wheat and wheat products. *Toxins*, 12(10), 654.
102. Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., & van der Putten, W. H. (2013). Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology*, 11(11), 789-799.
103. Philippot, L., Raaijmakers, J.M., Lemanceau, P., and van der Putten, W.H. (2017). Understanding and harnessing the rhizospheremicrobiome for agricultural sustainability. *Plant and Soil*, 424(1-2), 1-3.

104. Pierret, A., Moran, C. J., et Doussan, C. (2016). Conventional detection methodology is limiting our ability to fully understand the importance and functions of fine roots. *New Phytologist*, 212(2), 377-391.
105. Piskur, J., et Compagno, C. (2015). Biotechnological Aspects of Yeasts. In D. Satyanarayana et G. Kunze (Eds.), *Yeast Biotechnology : Diversity and Applications* (pp.1-28).
106. Pitt, J.I. and Hocking, A.D. (2009) *Fungi and Food Spoilage*. 3rd Edition, Springer Dordrecht Heidelberg London New York Cambridge, 519 p.
107. Ragsdale, D. W., et Landis, D. A. (2011). Designing ecological management programs : the importance of understanding species' responses to the landscape. *Crop Protection*, 30(8), 937-944.
108. Rajendran G, Samiyappan R. A. (2008). Review on microbial secondary metabolites for sustainable agriculture. *J Sustain Agric*. 2008 ;32(2): 123-151.
109. Riquelme M. (2013). Tip growth in filamentous fungi : a road trip to the apex. *Annual Review of Microbiology*, 67, 587-609.
110. Rokas, A., & Wisecaver, J.H. (2018). Fungal secondary metabolism : From biochemistry to genomics. *Nature Reviews Microbiology*, 16(1), 21-32. [DOI : 10.1038/nrmicro.2017.157]
111. Rosegrant, M. W. (2019). The role of cereals in global food security and nutrition. In *Cereal Grains : Assessing and Managing Quality* (pp. 3-18). Woodhead Publishing.
112. Santos-Beneit F. (2015). The Pho regulon : a huge regulatory network in bacteria. *Front Microbiol*. 2015; 6: 402.
113. Savary, S., Laetitia Willocquet, Sarah Jane Pethybridge, Paul Esker, Neil McRoberts & Andy Nelson (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3(3), 430-439.
114. Schoch, C.L., (2009). The Ascomycota tree of life : A phylum-wide phylogeny clarifies the origin and evolution of fundamental reproductive and ecological traits. *Systematic Biology*, 69 (2), 417-430.
115. Shoresh., Michal., Harman., Gary E., Mastouri., Fatemeh., (2010). Induced Systemic Resistance and Plant to Fungal Biocontrol Agent Annual review of phytopathology . 2010, Vol 48, pp 21-43, 23
116. Smith, J. A., Drummond, F. A., et Harmon, J. P. (2020). Crop rotations for disease management. In *Plant Health Management : Sustainable Agriculture* (pp. 73-95).
117. Smith, S. E., & Read, D. J. (2010). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
118. Smith, S. E., et al. (2021). The rhizosphere and hyphosphere in sustainable agriculture. In *Advances in Agronomy* (Vol. 165, pp. 1-44).
119. Subramaniyam S, Mathivanan N. (2012). Isolation and characterization of plant growth promoting Actinobacteria from rhizosphere soil and their effect on plant growth promotion. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*. 2012 ;1(4): 131-141.
120. Tabuc, C. 2007. Guide d'identification des champignons mycoparasites. Région Aquitaine, France, 36 p.

121. Torres-Barragán, A., Iturriaga, T., et Padilla-Chacón, D. (2019). Antagonistic Interactions in the Rhizosphere : Role and Potential Exploitation for Plant Growth-Promoting Microorganisms in Biocontrol Strategies. In *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives* (pp. 297-314).
122. Van Lenteren, J. C., et Woets, J. (2018). Biological and Integrated Pest Control in Greenhouses. *Annual Review of Entomology*, 63, 239-255.
123. Vinale, F., Ghisalberti, E. L., et Woo, S. L. (2020). Trichoderma secondary metabolites that affect plant metabolism. *Natural Product Reports*, 37(1), 1-61.
124. Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. L., et Lorito, M. (2008). A novel role for Trichoderma secondary metabolites in the interactions with plants. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 72, 80–86.
125. Voigt, K. (2014). Zygomycetes. In *The Mycota : A Comprehensive Treatise on Fungi as Experimental Systems for Basic and Applied Research* (pp. 209-239).
126. Vrandečić, K., Jurković, D., Čosić, J., & Sokolović, M. (2019). Molecular detection and characterization of *Fusarium* spp. causing dry root rot of sugar beet in Croatia. *Journal of Plant Pathology*, 101(2), 405-411.
127. Watanabe, M. (2010). *Identification Manual of Fusarium : Introduction and Keys to Fusarium Species Complexes*. CRC. Press. ISBN : 978-1420092625.

Sies web officiels

128. FAO. (2020). Crop prospects and food situation. Retrieved from <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>
129. FAO. (2021). Cereal supply and demand brief. Retrieved from <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>

RESUME

Ce mémoire présente une étude exhaustive menée dans l'Est algérien, visant à recenser la diversité des champignons telluriques présents dans les sols agricoles de trois localités spécifiques : Constantine (Bnimestina et El Khroub) et Oum El Bouaghui (Sigus).

L'objectif principal de cette étude était de dresser une liste complète et détaillée des champignons présents dans les sols étudiés, permettant ainsi une meilleure compréhension de leur diversité fongique. La méthode de suspension-dilution a été choisie. L'analyse des caractères macroscopiques et microscopiques des souches a permis d'identifier huit genres de champignons dominants dans les sols examinés : *Trichoderma*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium* et des actinomycètes.

Les résultats de cette étude fournissent des informations précieuses sur la diversité fongique des sols agricoles de l'Est algérien. Ces connaissances peuvent contribuer à améliorer la gestion des écosystèmes fongiques, promouvoir des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement et garantir la sécurité alimentaire à long terme dans la région.

ABSTRACT

This thesis presents an exhaustive study conducted in eastern Algeria, aimed at identifying the diversity of telluric fungi present in the agricultural soils of three specific localities : Constantine (Bnimestina and El Khroub) and Oum El Bouaghui (Sigus).

The main objective of this study was to compile a complete and detailed list of fungi present in the studied soils, thus allowing a better understanding of their fungal diversity. The suspension-dilution method was chosen. The analysis of the macroscopic and microscopic characteristics of the strains made it possible to identify eight genera of fungi dominant in the soils examined : *Trichoderma*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium* and actinomycota.

The results of this study provide valuable information on the fungal diversity of agricultural soils in Eastern Algeria. This knowledge can help improve the management of fungal ecosystems, promote environmentally friendly agricultural practices and guarantee long-term food security in the region.

ملخص

البحث يقدم دراسة شاملة أجريت في شرق الجزائر، بهدف توثيق تنوع الفطريات الترابية في التربة الزراعية من ثلاثة مواقع تُعد التربة في هذه المناطق بيئات ذات تنوع بيولوجي عالٍ، حيث تحضن (سيقوس) وأم البواقي (قسنطينة بنة والخروب : محددة مجموعة متعددة من الفطريات التي تلعب دورًا حيويًا في وظيفتها. الهدف الرئيسي لهذه الدراسة كان تجميع قائمة شاملة ومفصلة للفطريات الموجودة في التربة المدروسة، مما يسمح بفهم أفضل تخفيف لعزل الميكروبات، حيث تفر نهجًا كميًا ونوعيًا لعزل -ولتحقيق هذا الهدف، تم اختيار طريقة تعليق. لتنوعها الفطري وتضمن هذه الطريقة تمثيلًا شاملاً لمختلف أنواع الفطريات الموجودة في العينات. الفطريات من مجموعة واسعة من الأنواع المأخوذة.

تحليل الخصائص الماكروسكوبية والمجهريّة للسلاطات المعزولة أدى إلى تحدي دثمانية أجناس من الفطريات المهيمنة في التربة الأكثر انتشارًا. تريكوديرما، فيو ساريوم، بينسيليوم، رايزوبوس، أسبيرجيلوس، كلادوسبوريوم، وا لاكتينوميستات: المدروسة تبرز هذه النتائج غنى وتنوع أنواع الفطريات الترابية الموجودة في المناطق المدروسة، بما في ذلك و

Année universitaire : 2022/2023

Présenté par : OUFFROUKH Mehdi – Brahim - Tarek
MOUELEFFE Serine - Sarab

Isolement et identification de la microflore tellurique indigène de trois biotopes céréaliers différents et mise en évidence de l'aptitude antagoniste de certaines espèces vis-à-vis des maladies affectant les céréales : Cas de la Fusariose du blé

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en science biologique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : *Ecologie microbienne*

RESUME

Ce mémoire présente une étude exhaustive menée dans l'Est algérien, visant à recenser la diversité des champignons telluriques présents dans les sols agricoles de trois localités spécifiques : Constantine (Bnimestina et El Khroub) et Oum El Bouaghui (Sigus).

L'objectif principal de cette étude était de dresser une liste complète et détaillée des champignons présents dans les sols étudiés, permettant ainsi une meilleure compréhension de leur diversité fongique. La méthode de suspension-dilution a été choisie. L'analyse des caractères macroscopiques et microscopiques des souches a permis d'identifier huit genres de champignons dominants dans les sols examinés : *Trichoderma*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium* et des actinomycètes.

Les résultats de cette étude fournissent des informations précieuses sur la diversité fongique des sols agricoles de l'Est algérien. Ces connaissances peuvent contribuer à améliorer la gestion des écosystèmes fongiques, promouvoir des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement et garantir la sécurité alimentaire à long terme dans la région.

Mots clé : Rhizosphère ; Microorganismes ; Biodiversité microorganismes ; Trichoderma ; biocontrôle

Laboratoire microbiologie / INRAA-Constantine / Centre de Recherche en Biotechnologie – CRBt.

Date de soutenance : 20/06/2023

Jury d'évaluation :

Président du jury : Dr. ABDELAZIZ Widad (MCB UFM Constantine)

Rapporteur : Dr. HARRAT Wahiba (MCB – INRAA Constantine)

Examineur : Dr. ZERMANE Férial (MCA - UFM Constantine)

Date de soutenance 21/06/2023