



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : SERKHAD Ibtissem

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : PROTECTION DES VEGETAUX

Thème

Recherche des *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & Hallett et *Microdochium majus* (Wollenw.) Glynn & S.G. Edwards (FR) dans les grains de blé :
Identification morphologique, étude de la croissance *in vitro* et de l'agressivité.

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Membre1 M. BECHEUR Mourad	MAA	Président
Membre2 Mme ZAZA Messaouda	MAA	Examineur1
Membre3 Mme TOUATI HATABE Siham	MCB	Rapporteur

Promotion : juin - 2019

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma chère mère

A mon chère père

Qui mon jamais cessé , de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes chères frères et mes saeurs

« *zouhra,soumaia,molay,ibrahim* »

Pour vos soutiens et vos encouragements qui m'ont permis d'affronter beaucoup d'épreuves .

A mes chères copines « *sabrin* », « *wahiba* » et leur famille particulièrement

« *amina, khadidja, khadidja ,fadila* »

Soyer toujours guidés par des actions lucides.

A mon chère « *slimane* »

Qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles.

A mes neveux et mes nièces

« *abdo,amir,iyad ,adem,fatima* »

A mes chères amis : *netcha ,nono,fatoum,rania,houda ,kheira,bouchra,bkhaita*

A toutes les promo du master 2 « protection des végétaux » , a tous ceux que j'aime

Ibtissem

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens tout d'abord à remercier le bon Dieu le tout puissant, de m'avoir accordé le courage, la patience, la volonté et surtout la santé pour réaliser et mener à bien mon travail.

Mes remerciements les plus chaleureux et les plus vifs s'adressent à mon encadreur Mme Touati hattab sihem pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de m'encadrer, ainsi que pour les conseils précieux, les orientations, et le temps qu'il m'a consacré afin de réaliser ce travail, qu'il trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Mes remerciements les plus sincères et les plus profonds sont adressés aux membres du jury M. Becheur. M. d'avoir accepté de présider la soutenance. Ainsi Mlle. Zaza. M. d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Un grand merci à Mlle. Ameur. D. et Mlle. Hoyou. Z. pour leur soutien inconditionnels et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Je remercie le chef de laboratoire d'ADE et l'ensemble des membres du laboratoire d'ADE pour leur accueil, que j'ai côtoyés quotidiennement avec un réel plaisir pendant la période de mon stage. Je remercie également le personnel administratif pour son efficacité et sa bonne humeur.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AUDPC	Area under disease progress cuve.
DCPA	Dichloran-Chloramphenicol-Peptide-Agar
FAO	Food and Agriculture Organisation
FHB	Fusarium Head Blight
FFR	Fusarium Foot Root.
IS	Indice de sévérité.
JNO	Jaunisse nanissante de l'orge.
LNPV	Laboratoire National Protection Végétaux.
PDA	Potato dextrose agar
VMB	Virus de la mosaïque du blé.
VMJB	Virus de la mosaïque Jaune du blé.

Sommaire

Dédicace	
Remerciement	
Liste des abréviations	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction.....	01
Chapitre I: synthèse bibliographique	
1-1 Le blé.....	03
1-1-1 Généralités.....	03
1-1-2 Importance économique	03
1-1-3 Morphologie et biologie.....	04
1-1-4 La culture.....	05
1-1-4-1 Le cycle de blé	06
1-1-5 les maladies du blé	09
1-2 La fusariose.....	12
1-2-1 Dégâts de la fusariose de l'épi	14
1-2-2 Cycle infectieux	14
1-3 <i>Fusarium</i> et <i>Microdochium</i> Syd. & P.Syd deux Principaux genre responsable de la fusariose de l'épi.....	17
1-3-1 <i>Microdochium nivale</i> et <i>M.majus</i>	18
1-3-1 Systématique.....	18
1-3-3 Les symptômes	19
1-3-3-1 Sur racine et collet	19
1-3-3-2 Sur tige.....	19
1-3-3-3 Sur feuilles.....	21
1-3-3-4 Sur épi et graine de blé	21
1-3-4 Les caractères morphologique	21
1-4 La lutte	22
1-4-1 Les pratiques culturales	22
1-4-2 La lutte chimique	2
1-4-3 La lutte biologique	23
1-4-4 La sélection variétale	23
Chapitre II : Matériels et méthodes	
2-Matériel et méthodes	24
2-1 Matériel	24
2-1-1 Matériel fongique	24
2-1-2 Matériel végétale	24
2-2 Méthodes.....	25
2-2-1 Isolement et identification morphologique des <i>fusarium</i> spp.....	25
2-2-1-1 Isolement	25
2-2-1-2 Purification par culture monospore.....	25
2-2-1-3 Identification morphologique	26

Sommaire

2-2-2 Effet de la température sur la croissance mycélienne des isolats de <i>Microdochium</i> spp sur milieu PDA.....	26
2-2-3 Evaluation de l'agressivité des isolats de <i>Microdochium</i> spp sur la partie basale des plantes de blé.....	26
2-2-3-1 Technique d'inoculation par fragments mycéliens.....	27
2-2-3-2 Notation des symptômes.....	27
2-2-4 Evaluation de l'agressivité des isolats de <i>Microdochium</i> spp sur épis.....	29
2-2-4-1 Notation des symptômes.....	31
2-2-5 Analyse des données	32
Chapitre III : Résultat et discussion	
3-Résultats.....	33
3-1-Identification morphologique et description des isolats	33
3-2 Effet de température sur la croissance mycélienne des isolats de <i>Microdochium</i> spp	38
3-3 l'étude de la pathogénicité et de l'agressivité des isolats de <i>Microdochium</i> spp au stade trois feuilles	44
3-4 Etude de l'agressivité des isolats de <i>Microdochium</i> spp sur les épis	46
4-Discussions.....	51
Conclusion.....	54
Références bibliographique.....	55
Résumé	

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
Figure01	Les différents stades de développement du blé (Soltner, 2005).	08
Figure02	Quelques ravageurs du blé	10
Figure03	Symptômes et différents types de Fusariose.	13
Figure04	cycle de développement de fusariose(Anonyme 14 ,2001) .	16
Figure05	Cycle biologique de <i>Microdochium nivale</i> et <i>M. majus</i> (Parry et al., 1995).	16
Figure06	Symptômes typiques de <i>Microdochium</i> . spp.	20
Figure07	inoculation par fragments mycéliens.	27
Figure08	Dispositif expérimental au stade trois feuilles	28
Figure09	Dispositif expérimental au stade floraison.	30
Figure10	Inoculation au stade floraison par suspension sporale	30
Figure11	Aspects morphologiques et microscopiques (G x20)et (Gx40) des espèces fongiques isolées à partir de grains de blé.	34
Figure12	Aspects morphologiques et microscopiques (G x20) et (Gx40) des espèces de <i>Microdochium</i> spp. isolées à partir de grains de blé.	35
Figure13	Aspects morphologiques et microscopiques (G x40)et (Gx20) des espèces de <i>Fusarium</i> isolées à partir de grains de blé.	36
Figure14	Taux de contamination des grains de blé analysés par le <i>Microdochium</i> spp. et <i>Fusarium</i> sp	37
Figure15	les colonies <i>Fusarium</i> sp sur milieu DCPA.	37
Figure16	croissance mycélienne des isolats de <i>Microdochium</i> spp. respectivement après 4 jours d'incubation à15, 20, 25,30 °c	38
Figure17	croissance mycélienne de différents isolats <i>Microdochium</i> spp respectivement après 4 jours d'incubation à15, 20, 25,30 °c	39
Figure18	Effet de la température sur la croissance mycélienne des isolats de <i>Microdochium</i> .spp	40
Figure19	Cinétique de croissance du mycélium des isolats de <i>Microdochium</i> spp. cultivés sur milieu PDA à 15°C, 20°C, 25°C, 30°C.	42
Figure20	Cinétique de croissance du mycélium des isolats de <i>Microdochium</i> spp. cultivés sur milieu PDA à 15°C, 20°C, 25°C, 30°C.	43
Figure21	Symptômes d'attaque sur plantules causés par différents isolats de <i>Microdochium</i> . spp	44
Figure22	Indice de sévérité de <i>Microdochium</i> spp .sur des plantules de blé cultivar «	45

	Vitron» montrant les quatre niveaux d'attaque (1-5) comparés au témoin.	
Figure23	Interactions entre la variété de blé dur Vitron et les espèces de <i>Microdochium</i> spp. (estimée par l'indice d'attaque fongique). Chaque point correspond à la moyenne des trois répétitions biologiques.	46
Figure24	Indice d'attaque des isolats de <i>Microdochium</i> .spp sur les épis.	49
Figure25	Début des symptômes de la fusariose de l'épi.	49

Liste des tableaux

N°	Titre	Pages
Tableau 1	Origine des isolats de <i>Microdochium</i> . spp.	24
Tableau 2	Echelle de notation des symptômes sur épi (Mascher et <i>al.</i> , 2005).	32
Tableau 3	Diamètre moyen (mm) de différents isolats après 4 jours d'incubation à (15°C,20°C ,25°C,30 °C)	41
Tableau 4	Répartition des isolats en groupes homogènes selon l'analyse de comparaison de Tukey Pairwise à un interval de confiance de 95% .	46
Tableau 5	Moyennes des indices d'attaques sur les quatre variétés obtenus avec les neuf isolats de <i>Microdochium</i> spp.	48
Tableau 6	Moyennes de confiance des surfaces sous la courbe de progression de la maladie (AUDPC, Area Under Disease Progress Curve).	48
Tableau 7	Répartition des isolats en groupes homogènes selon l'analyse CMM de l'IA (test de Keuls à 5%)	50

Introduction

Le blé fait partie des trois grandes "céréales" avec le maïs et le riz. C'est, avec environ 600 millions de tonnes annuelles, la troisième par l'importance de la récolte mondiale, et avec le riz, la plus consommée par l'homme (Trombete *et al.*, 2016).

A l'échelle mondiale, le blé est une céréale primordiale, d'un point de vue économique et en tant que denrée alimentaire pour l'homme grâce à leurs teneurs en protéines et en calories qu'elles soient assimilées directement ou transformées en protéines animales.

En Algérie, la céréaliculture revêt une importance majeure dans l'économie nationale par l'importance des superficies occupées et par son poids dans la réalisation de la sécurité alimentaire. Le blé est encore la base de l'alimentation d'une large couche de la population. Il lui fournit 60% de ses besoins en énergie, 69% en protéines totales et 88% des protéines végétales. La consommation moyenne annuelle est estimée à 207 kg/habitant, derrière le Maroc (210 kg) et la Tunisie (232 kg) (Hamadache, 2013). Pour cette raison, il a été traditionnellement cultivé dans toutes les régions où les conditions climatiques permettent la croissance de cette céréale.

La production nationale reste insuffisante et ne couvre que 50 % des besoins nationaux de la population (Aït-Abdallah-Djennadi *et al.*, 2010). Le blé représente le premier produit agricole importé par l'Algérie. Cette situation place l'Algérie dans une position de dépendance de plus en plus préoccupante vis-à-vis de cette spéculation à caractère stratégique (Kheyar *et al.*, 2008; Kellou, 2008).

La culture de blé est soumise chaque année à des stress abiotiques et biotiques parmi lesquels une intense pression parasitaire par de nombreux agents de détérioration tels que les champignons pathogènes du genre *Fusarium* responsable de la fusariose.

Fusarium Foot Rot (FFR) et *Fusarium Head Blight* (FHB), ont déjà été signalées en Algérie par Boureghda *et al.*(2010) et Touati-Hattab *et al.*, 2016.

La fusariose de l'épi et la pourriture racinaire sont principalement causées par *F. graminearum* Schwabe, *F. (W.G. Smith) Saccardo* ; *F. pseudograminearum* O'Donnell et T. Aoki ; *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels et Hallett ; *M. majus* (Wollenw.). Glynn et S.G. Edwards et *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (Parry *et al.*, 1995; Talaset *al.*, 2012). Plus précisément cette dernière maladie s'est imposée comme l'une des préoccupations importante des différents acteurs de la filière blé compte tenu des pertes économiques

Introduction

considérables liées à la diminution des rendements de récolte qu'elle génère (Parry et *al.*, 1995 ; Xu et Berrie, 2005).

L'importance économique de la fusariose est attribuée aux pertes de rendements considérables (avortement des fleurs, diminution du nombre et du poids des grains) et à l'altération de la qualité des grains par les mycotoxines (Lori et *al.*, 2009).

Les espèces de *Fusarium* sont capables de produire une large gamme de mycotoxines dont les plus courantes sont les trichotécènes avec le déoxynivalénol (DON) et le nivalénol (NIV). En revanche, Les espèces du genre *Microdochium* ne sont pas toxigènes mais possèdent une forte capacité de réduire le rendement (Leonard et Bushnell, 2003).

Plusieurs travaux ont été réalisés en Algérie sur la fusariose du blé, des prospections effectuées durant plusieurs campagnes céréalières depuis 2010 par Touati –Hattab ; Laraba Imane et Abdallah Nora ont touché les principales régions céréalières en Algérie. Ces prospections ont montré que *Microdochium* spp. présentait le deuxième agent responsable de la fusariose du blé en Algérie après *F. culmorum*. Dans ce contexte nous nous sommes proposés d'étudier le pathosystème Blé/*Microdochium* spp.

Afin d'identifier, de caractériser et d'évaluer l'agressivité des isolats de *Microdochium* spp. cette présente étude consiste à :

- ✓ Réaliser des isolations à partir des échantillons de grains de blé récoltés dans différentes régions céréalières en Algérie ;
- ✓ identifier morphologiquement les isolats de *Microdochium* spp. ;
- ✓ Etudier l'effet d'une gamme de températures sur la croissance mycélienne des isolats de *Microdochium* spp. sur milieu PDA ;
- ✓ Evaluer l'agressivité des isolats sur le collet des plants de blé.
- ✓ Evaluer l'agressivité des isolats sur épi de blé par pulvérisation d'une suspension de spores.

Chapitre I
Données bibliographiques

1 .Données bibliographiques

1.1.Le blé

1.1.1. Généralités

Le blé est une céréale à paille, cultivée pour l'alimentation depuis les temps préhistoriques, par les peuples des régions tempérées. Le blé a d'abord été récolté à l'état sauvage puis cultivé depuis le néolithique dans les vallées du Tigre et de l'Euphrate (aujourd'hui l'Irak), le « croissant fertile » (actuels Liban, Syrie, Sud de la Turquie) où subsistent à ce jour des blés sauvages.

<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/blepain/1ble/12orig/origine.htm>

Le blé est une plante annuelle herbacée, monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des graminées. Aujourd'hui, seules les variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) ou de blé dur (*Triticum turgidum* (L.) Thell. spp. *durum* L.) ont une importance commerciale internationale. Le blé dur se distingue du blé tendre par son grain à albumen vitreux avec une amande dure et sa plus forte teneur en protéines (Feillet, 2000).

Le blé dur est généralement cultivé pour la production de semoule et la fabrication de pâtes alimentaires, alors que le blé tendre est une matière première, de base, pour la fabrication du pain, en raison de sa composition riche en gluten. Le blé dur est bien adapté aux régions à climat relativement sec, où il fait chaud le jour et frais la nuit durant la période végétative, ce qui est typique des climats méditerranéens et tempérés. Les semences peuvent lever à aussi peu que 2°C, même si la température optimale est de 15 °C (Bozzini, 1988).

La plus grande partie du blé dur produit dans le monde est constituée de blé de printemps; toutefois, il existe des variétés de blé dur d'hiver (qui ont besoin de vernalisation pour amorcer la transition de la phase végétative à la phase reproductrice); ces variétés ont été évaluées en vue de la production dans le Sud des États-Unis (Domnez et al., 2000)

1.1.2. Importance économique :

La majorité des terres labourables ouvertes dans le monde sont exploitées, lorsque le climat et le sol s'y prêtent, pour la culture des céréales. Le blé est la variété de céréale la plus cultivée dans le monde. Il fait partie des trois grandes "céréales" avec le maïs et le riz. C'est, avec environ 600 millions de tonnes annuelles, la troisième par l'importance de la récolte mondiale, et, avec le riz, la plus consommée par l'homme (Henry et De Buyser, 2001).

Le plus gros exportateur mondial est désormais la Russie, qui devance largement l'Union Européenne, qui est presque à égalité avec les Etats-Unis. En termes de production, la Chine est le 1er producteur mondial, suivi de l'Inde, de la Russie, des Etats-Unis et de la France (FAO, situation 2012). Au 6 octobre 2016, les prévisions de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) établissaient la production mondiale de blé en 2016-2017 à 742 millions de tonnes et sa consommation estimée à 730,5 millions de tonnes.

(source: <https://www.planetoscope.com/cereales/191-production-mondiale-de-ble.html>).

Si l'on se réfère aux études et aux projections publiées par la FAO qui prennent en compte le développement démographique mondial, les besoins devraient encore s'accroître dans les années à venir, pour atteindre sans doute 1 milliard de tonnes de blé en 2020 (source : <http://www.unctad.org/infocomm/francais/ble/plan.htm>).

Les céréales d'hivers, en partie le blé dur, demeurent l'aliment de base des régimes alimentaires algériens et revêtent une importance stratégique dans la nutrition humaine et l'alimentation animale, de ce fait, elles occupent une place privilégiée dans l'agriculture algérienne (Boulai et al. , 2007). Les disponibilités en céréales s'élevaient en 2009 à 230 kg par habitant en Algérie (87% en blé) contre 206 en Tunisie et 175 au Maroc.

L'écart important entre le niveau actuel de la consommation et celui de la production nationale conduit l'Algérie à importer de grosses quantités de céréales : 11 millions de tonnes en 2011, dont 68% de blé, 29% de maïs et 3% d'orge. Le taux de couverture en blés par les importations s'établit à 74% sur la période 2005-2009, pour des besoins nationaux de 7.6 millions de Qx. Le déficit concerne beaucoup plus le blé tendre que le blé dur. L'Algérie est donc confrontée à un problème de dépendance extérieure qui s'accompagne de lourdes factures. En conséquence, le coût des importations de céréales et dérivés a presque quadruplé depuis 2000 pour dépasser 4,2 milliards de dollars en 2011, dont 68% pour le blé (Rastoin et Benabderrazik, 2014).

1.1.3. Morphologie et biologie

Le blé est une plante annuelle de la classe des monocotylédones, famille des Graminées, genre *Triticum*. En fonction du degré de diploïdie, on différencie les blés diploïdes *Triticum monococcum* ($2n = 14$), les blés durs tétraploïdes *Triticum durum* ($2n = 28$) et enfin les blés tendres hexaploïdes *Triticum aestivum* ($2n = 48$).

L'épi de blé est constitué de deux rangées d'épillets localisés de part et d'autre de l'axe. Un épillet regroupe trois fleurs au sein de deux glumes. Chaque fleur est dépourvue de pétales, et est entourée de deux glumelles (pièces écailleuses non colorées). Elle contient trois étamines (pièces mâles), un ovaire surmonté de deux styles plumeux (les pièces femelles). Après fécondation, l'ovaire donnera le grain de blé. Les principaux caractères des espèces de blé que l'homme a cherché à sélectionner sont : la robustesse de l'axe de l'épi (qui ne doit pas se casser lors de la récolte), la séparation facile des enveloppes du grain, la grande taille des grains et la compacité des épis (plus maniable que l'épi lâche), (Feillet, 2000 ; Martinet *et al.*, 1999).

Le grain de blé est un fruit spécifique, le caryopse. L'enveloppe externe est adhérente à la matière végétale de la graine et la protège des influences extérieures. Au cours de la mouture, les enveloppes (téguments) sont quelquefois scindées du grain (embryon + albumen) et commercialisées comme son (Monsiniak, 2006). Le grain contient 65 à 70 pour cent d'amidon ainsi qu'une substance protéique (le gluten) dispersée parmi les grains d'amidon. Le gluten est responsable de l'élasticité de la pâte malaxée mais aussi de la masticabilité des produits à base de céréales. Le germe de blé, en diététique, apporte l'essentiel des vitamines B, hautement spécialisées dans la défense et l'entretien du dispositif nerveux. Il apporte aussi, en quantité, les vitamines A, C, E, du zinc et des acides aminés (Mossiniak, 2006 ; (Parker *et al.*, 2005)

1.1.4. La Culture

Les dispositifs de cultures ont favorisé des types divers de blé, il s'agit de blé d'hiver qui est semé à l'automne. Il caractérise les régions méditerranéennes et tempérées ; et le blé de printemps semé au printemps et signale les pays à hiver trop rude. La différence principale avec le blé d'hiver est que le blé de printemps supporte assez difficilement les températures basses. C'est grâce à lui que la Sibérie occidentale et le Canada sont devenus de gros producteurs.

Le blé est une plante herbacée qui se développe dans des terres argileuses. Le choix des semis à planter ainsi que la date à laquelle ils doivent être mis en terre revêtent une grande importance. Les recherches scientifiques sur le génome du blé ont permis la mise au point de

variétés adaptées au besoin du marché, en fonction de leur utilisation future et leur résistances à certains virus. La culture de divers types de blé a ainsi été favorisée:

Pour un bon développement du blé, quelques exigences sont importantes:

- La température : Elle doit être comprise entre - 6°C et +20°C. L'idéal étant un temps chaud avant la croissance et des conditions d'ensoleillement au cours des étapes ultimes.

- L'humidité : Les précipitations peuvent varier entre 300 millimètres et 1000 millimètres par an, répartis de manière à fournir beaucoup d'eau à la plante durant sa période de croissance et de fines pluies vers la fin de manière à faire gonfler les grains (Bouffenaar et *al.*, 2006).

1.1.4.1. Le cycle de blé se déroule en 2 phases

- **Phase végétative**

La semence de blé est sèche ; le grain commence par s'humidifier dans la terre. Au cours de la « germination », le germe contenu dans les semis développe une première partie s'ancrant dans le sol pour former les racines et une autre pointant vers la surface. La température minimale de germination des grains se situe entre 3 et 4°C. Contrairement à d'autres plantes, les racines des céréales ne pénètrent pas profondément dans le sol, elles sont disposées horizontalement.

- **Période reproductrice**

La levée est caractérisée par l'apparition d'une radicule (première petite racine), puis un coléoptile. Une première feuille paraît au sommet du coléoptile. L'axe portant le bourgeon terminal se développe en un rhizome (tige souterraine) dont la croissance s'arrête à 2 cm en dessous de la surface du sol. Il apparaît un renflement dans la partie supérieure du rhizome qui grossit et forme le plateau de tallage (Feillet, 2000) .

Le stade «3 feuilles» est une phase repère pour le développement du blé. Des bourgeons se forment à l'aisselle des feuilles et donnent des pousses – ou *talles*. Le tallage commence à la fin de l'hiver et se poursuit jusqu'à la reprise du printemps. Au sein de la tige, on peut trouver ce qu'on nomme la pointe de croissance. Elle commence à ressembler à un épi de blé.

La montaison se produit de mi-mars à mi-mai en Algérie. Au sommet du bourgeon terminal se produit le début du développement de l'épi. Parallèlement, on assiste à

l'allongement des entrenœuds. L'épiaison se produit en mai , lorsque la gaine éclatée laisse entrevoir l'épi qui va s'en dégager progressivement (on parle de gonflement). Pour les variétés barbues comme le blé dur, c'est le moment où apparaissent les extrémités des barbes à la base de la ligule de la dernière feuille. Avant la naissance de l'épi, on peut voir un gonflement de la gaine. À ce stade, le nombre total d'épis est défini, de même que le nombre total de fleurs par épi. Chaque fleur peut potentiellement donner un grain (Henry et De Buyser, 2000 ; (Soltner, 2005).

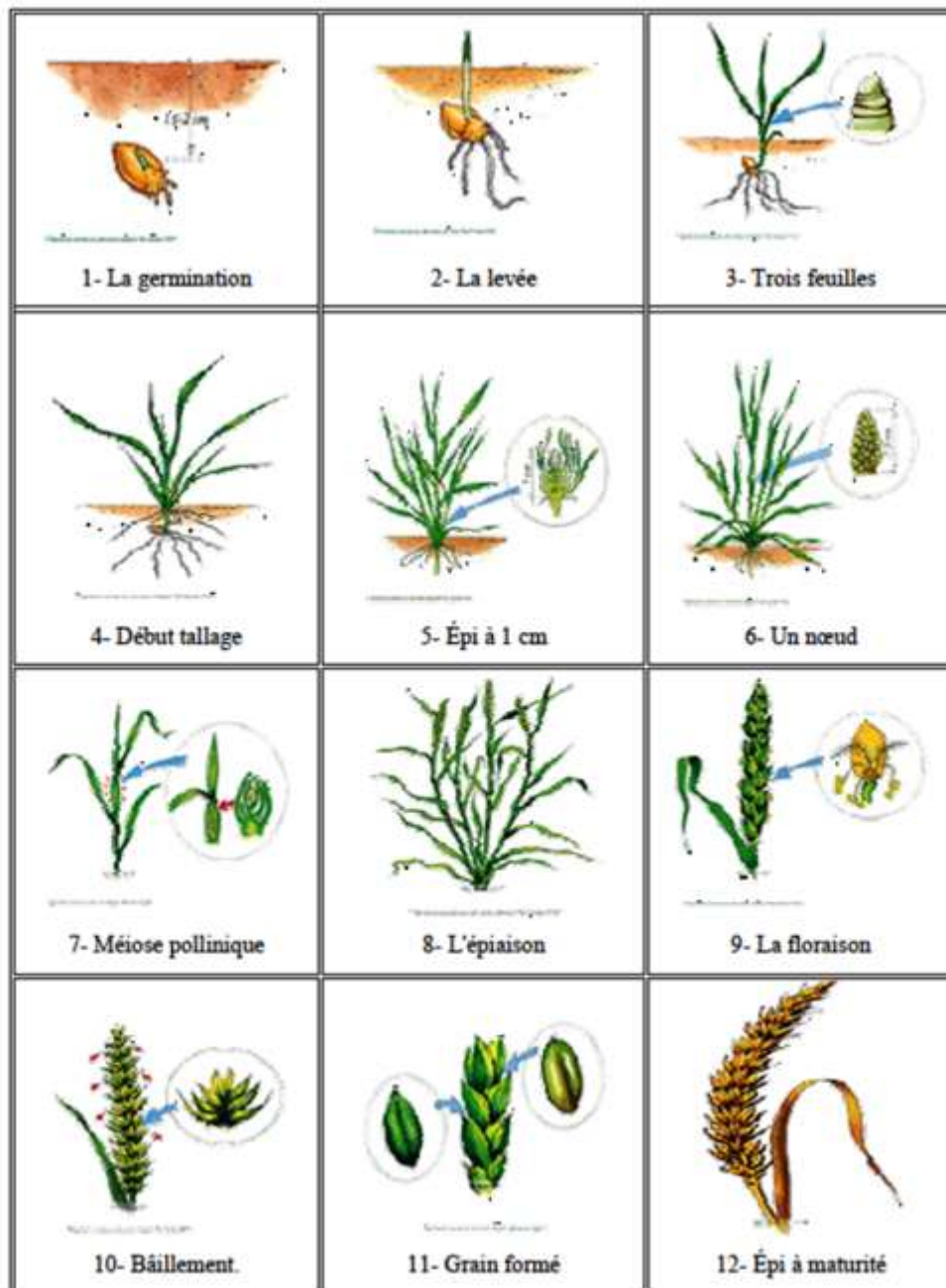


Figure1 : Les différents stades de développement du blé (Soltner, 2005).

La floraison s'observe à partir du moment où quelques étamines sont visibles dans le tiers moyen de l'épi, en dehors des glumelles. Lorsque les anthères apparaissent, elles sont jaunes ; après exposition au soleil, elles deviennent blanches.

Le cycle s'achève par la maturation qui dure en moyenne 45 jours. Les grains vont progressivement se remplir et passer par différents stades tels que les stades laiteux, puis pâteux, au cours desquels la teneur en amidon augmente et le taux d'humidité diminue. Durant cette phase, les réserves migrent depuis les parties vertes jusqu'aux grains. Lorsque le blé est mûr, le végétal est sec et les graines des épis sont chargées de réserves (Soltner, 2005).

1.1.5. les maladies du blé

Du semis au stockage du grain de blé, les ravageurs ainsi que les maladies du blé sont nombreux. En effet, dès le semis, divers oiseaux et rongeurs viennent se nourrir des grains. Quelques bactéries de type *Erwinia*, *Enterobacter* et *Pseudomonas* se développent sur le blé. Ces bactéries vivent dans la tige, exploitant des voies d'entrées naturelles, type blessure.

Certains virus comme le virus de la mosaïque du blé (VMB), le virus de la mosaïque jaune du blé (VMJB, (DECOIN et al., 1999) ainsi que le virus de la jaunisse nanisante de l'orge (JNO) sont les plus répandus. Les nématodes, parasites des plantes, sont des vers microscopiques qui pénètrent les racines au stade larvaire et y forment des galles. les plus dangereux les nématodes à Kystes.

Les prospections menées dans quelques régions d'Algérie ont montré qu'il peut exister un mélange d'espèces de nématodes à Kystes des céréales à savoir (*H. avenae*, *H latipons* et *H. mani*) *H.avenae* a été découverte pour première fois à Birtouta, Sidi bel abbes et Ain Defla (RITTER, 1982). En parasitant le système racinaire, ils affectent considérablement le développement de la plante.

Les insectes engendrent des pertes nettement supérieures et les responsables sont nombreux (Figure02). Le taupin, un coléoptère de la famille des élatéridés, inquiète aujourd'hui les professionnels de la filière qui ont remarqué une recrudescence de cet Agriote, la larve d'*Agriotes sputator*, illustrée (figure2 ;C et D) pénètre à la base de la plantule, détruit le bourgeon, ce qui entraîne le jaunissement de la feuille centrale et la mort de la plante. Les attaques de taupins sur céréales peuvent provoquer des dommages allant de la disparition de quelques pieds jusqu'au retournement de la parcelle.



Figure2 : Quelques ravageurs du blé

Mouche grise des céréales *Delia coarctata* stade larvaire (A) et adulte (B). Taupins

Agriotes sordidus au stade larvaire (C) et adulte(D). Puceron des épis des céréales *Sitobion avenae* (E) et Zabre *Zabrus tenebrioides* (F).(A, B,C ,D,E etF))

Source: (<https://www.syngenta.fr/cultures/cereales/article-insecticide/ravageurs-des-cereales>)

Les insectes engendrent des pertes nettement supérieures et les responsables sont nombreux (Figure02). Le taupin, un coléoptère de la famille des élatéridés, inquiète aujourd'hui les professionnels de la filière qui ont remarqué une recrudescence de cet Agriote. , la larve d'*Agriotes sputator*, illustrée (figure2;C et D) pénètre à la base de la plantule, détruit le bourgeon, ce qui entraîne le jaunissement de la feuille centrale et la mort de la plante. Les attaques de taupins sur céréales peuvent provoquer des dommages allant de la disparition de quelques pieds jusqu'au retournement de la parcelle.

Les larves de (*Delia coarctata*) perforent la tige souterraine et dévorent le bourgeon terminal des jeunes pieds. Les attaques tardives entraînent la perte de talles, pouvant aller jusqu'à la perte de pieds.(Figure02) (A et B). Le *Sitobion avenae* est le principal ravageur des céréales au printemps. Il peut provoquer, en forte population, une diminution du nombre de grains par épi et donc une diminution du rendement. Le rejet de miellat permet le développement de fumagine. (<https://www.cropscience.bayer.com/en/crop-compendium/pests-diseases-weeds/pests/delia-coarctata>)

Il est aussi vecteur de la jaunisse nanisante des céréales (JNO) s'il est présent à l'automne. (Figure02) (E). Les larves de *Zabrus tenebrioides* sectionnent et entraînent les jeunes feuilles dans leurs terriers. Ces dégâts peuvent être observés à partir d'octobre - novembre et se manifester durant tout l'hiver en cas de temps doux. Ces dégâts entraînent des pertes de rendement. Les attaques par ces différentes larves offrent des voies d'entrée à toute une population fongique et principalement à la fusariose. (<https://www7.inra.fr/hyppz/RAVAGEUR/3zabten.htm>)

On dénombre plusieurs champignons pathogènes du blé parmi lesquels on peut compter ceux qui induisent la rouille du blé, l'agent pathogène est un champignon du genre *Puccinia*, (*Puccinia recondita* La rouille brune du blé , tandis que *Puccinia triticina* est l'agent de la rouille noire et *Puccinia striiformis* celui de la rouille jaune), la septoriose du blé (*Septoria tritici* et *Stagonospora nodorum*).le charbon du blé (*Ustilago tritici* ou *Ustilago hordei*) , ou encore la fusariose de l'épi. En plus d'affecter les rendements de récolte, la fusariose de l'épi génère également des problèmes phytosanitaires liés à la production de toxines, appelées mycotoxines, produites par le champignon et qui s'accumulent dans les grains.

(<https://www.cropscience.bayer.com/en/crop-compendium/pests-diseases-weeds/diseases/ustilago-tritici>)

1.2. La fusariose: un complexe de maladies

La fusariose est une maladie fongique qui affecte de nombreuses espèces végétales à petits grains partout dans le monde (Sutton, 1982 ; Wang and Miller, 1988 ; Mesterhazy, 1995 ; Parry et *al.*, 1995 ; McMullen et *al.*, 1997 ; Bottalico, 1998; Bottalico and Perrone, 2002).

La fusariose du blé est causée par une vingtaine d'espèces du genre *Fusarium* et une espèce du genre *Microdochium* (Arseniuk et *al.*, 1999). Parmi ces espèces, cinq sont principalement responsables de la fusariose, il s'agit de *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. poae* et *Microdochium nivale* (Parry et *al.*, 1995). Dans l'espèce *F. graminearum*, deux groupes se distinguent, les membres de chaque groupe sont classés en deux espèces différentes *F. pseudograminearum* "groupe 1" et *F. graminearum* "groupe 2" (Aoki et O'Donnel, 1999). Notons aussi que l'espèce *M. nivale* possède deux sous-espèces *M. nivale* var. *nivale* et *M. nivale* var. *majus* (Arseniuk et *al.*, 1999; De Hoog et *al.*, 2000 ; Simpson et *al.*, 2001; Champeil et *al.*, 2004).

Il existe plusieurs formes de fusariose pouvant affecter les différentes parties de la plante depuis les racines jusqu'à l'épi, en passant par la tige. Selon Parry et *al.*, (1995), la fusariose chez le blé se manifeste sous trois formes de maladies (Figure04) :

- "Seedling Blight" : fusariose des semences, provoquent des manques à la levée et des fontes des semis
- "Fusarium Foot Rot" (FFR) : fusariose du collet, entraînant la nécrose de ces tissus
- "Fusarium Head Blight" (FHB) : fusariose de l'épi

Les deux dernières *Fusarium* Head Blight et *Fusarium* Foot Rot (également connu sous le nom *Fusarium* crown root), sont majoritairement présentes sur le blé dans le monde (Bentley et *al.*, 2006). La pourriture du collet et des racines (*Fusarium* crown rot ou *Fusarium* foot and root rot) s'attaque principalement à la base des tiges et aux tissus racinaires, elle est favorisée par les climats secs et chauds causant des pertes de rendement considérables (Pancaldi et *al.*, 2010). La fusariose de l'épi s'exprime après la floraison par des épis partiellement ou complètement échaudés. Les premiers symptômes visibles sont de petites taches brunes sur les glumes; typiquement, cette fusariose envahit progressivement l'épi. Au premier stade, seuls quelques épillets sont atteints tandis que le reste de l'épi est vert (Mascher et *al.*, 2005).

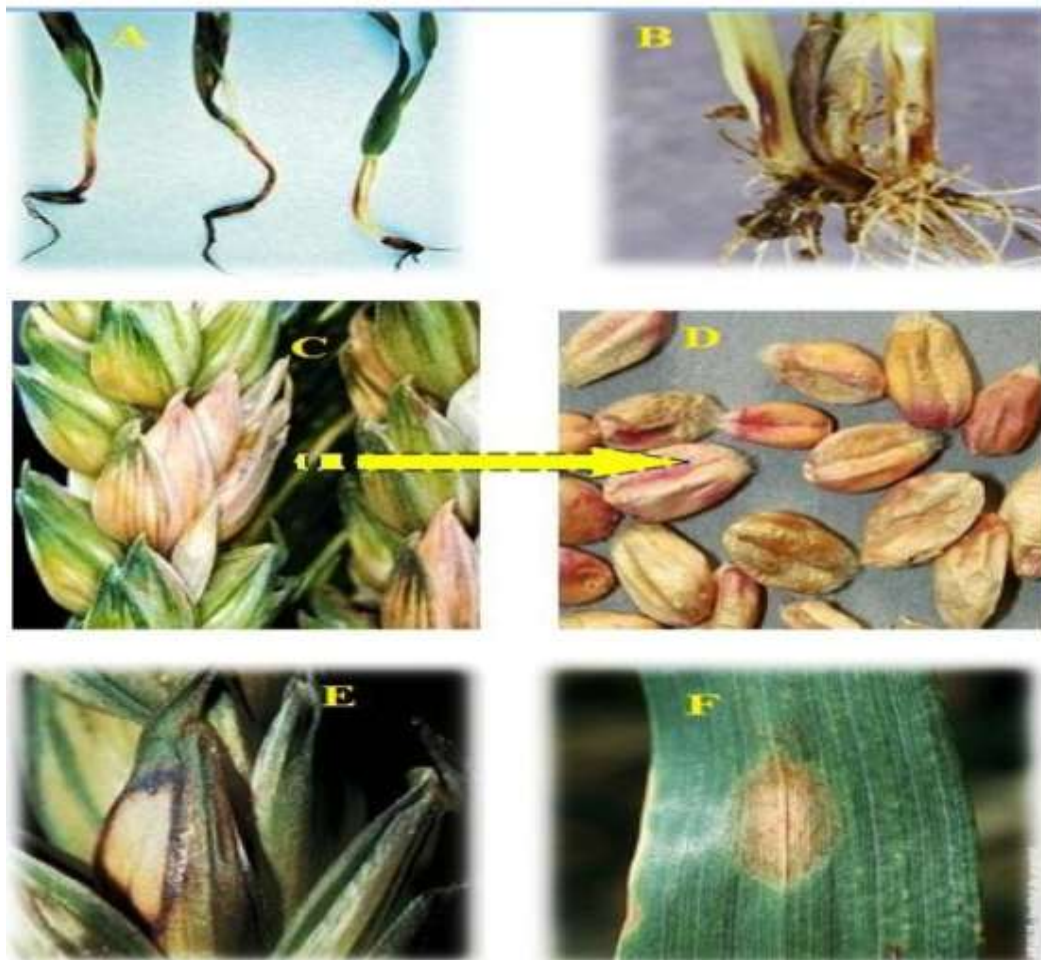


Figure3 : Symptômes et différents type de fusariose

A: Seedling Blight; B: Foot Root; C: Head Blight; D: Grains de blé fusariés; E et F: Dégâts sur épis provoqués par *Microdochium spp.* et nécrose vert bouteille sur feuille causée par *Microdochium nivale*.

a,b,c,e,f:http://www.agro.basf.fr/agroportal/fr/fr/cultures/les_cereales/la_protection_phyto_du_ble/les_ts/Les_maladies.html;

d:
<https://www.syngenta.fr/cultures/cereales/articleprotection-semences/fusariose-semences-de-ferme>

1.2.1. Dégâts de la fusariose de l'épi

Notre étude est centrée sur la fusariose de l'épi causée principalement par le genre *Microdochium* ssp. cette maladie est considérée comme un facteur majeur limitant la production dans de nombreuses parties du monde (Goswami et Kistler, 2004; Lori et al., 2009). Les répercussions économiques de cette maladie, peuvent entraîner jusqu'à 50% de perte de rendement des cultures (Parry et al., 1995 ; McMullen et al., 1997) par avortement des fleurs et une diminution du nombre et du poids des grains (Arseniuk et al. , 1993). En Chine, 7 épisodes d'épidémies sévères de la fusariose de l'épi ont été recensées et ont engendré plus de 40% de pertes de rendement (Leonard et Bushnell, 2003).

D'autres épidémies ont eu lieu en Nouvelle-Zélande, au Japon et en Europe. Ces épidémies ont engendré de 40% jusqu'à 96% de pertes (Cromey et al., 2001; Leonard et Bushnell, 2003; Parry et al., 1995). Ces pertes de rendement sont liées aussi à une altération de la qualité des grains (Pirgozliev et al., 2003). Les grains de blé fusariés sont atrophiés, ridés, décolorés et peuvent présenter un duvet blanc ou rosé. La fusariose affecte également les qualités nutritives et technologiques des grains entraînant la dégradation des grains d'amidon et des parois cellulaires (Bechtel et al., 1985).

En plus des pertes de production, les différentes espèces de *Fusarium* présentes sur blé peuvent conduire à la contamination des grains par diverses mycotoxines entraînant la dégradation de la qualité sanitaire des grains, puisque les toxines sont dangereuses pour les animaux comme pour les humains (Bottalico et Perrone, 2002 ; Waalwijk et al., 2003 ; Roháček et Hudec, 2005 ; Schollenberger et al., 2007).

1-2-2 Cycle infectieux

Pendant l'hiver et tout au long du cycle cultural, les agents pathogènes responsables de la fusariose des épis survivent dans le sol sous forme de propagules (chlamydospores, mycélium) (Sutton, 1982; Parry et al., 1995).

La sporulation se produit pendant les périodes douces (Cassini, 1967). Quatre types d'inoculum asexué peuvent être produits, selon les espèces: macroconidies, microconidies, chlamydospores, et des fragments d'hyphes. *M. nivale*, *M. majus* et les espèces de *Fusarium*

sont répandus dans le sol, l'air, sur les plantes et aussi dans les sources d'eau (Gupta *et al.*, 2000; Anaissie *et al.*, 2001; Tronsmo *et al.*, 2001; Kauffmann *et al.*, 2003). *M. nivale*, *M. majus* et la plupart des espèces de *Fusarium* sont capables de survivre sur les débris végétaux et les chaumes dans le sol, c'est la capacité qui leurs permet de se conserver pendant plusieurs années (Tronsmo *et al.*, 2001; Carver, 2009; Paulitz *et al.*, 2010).

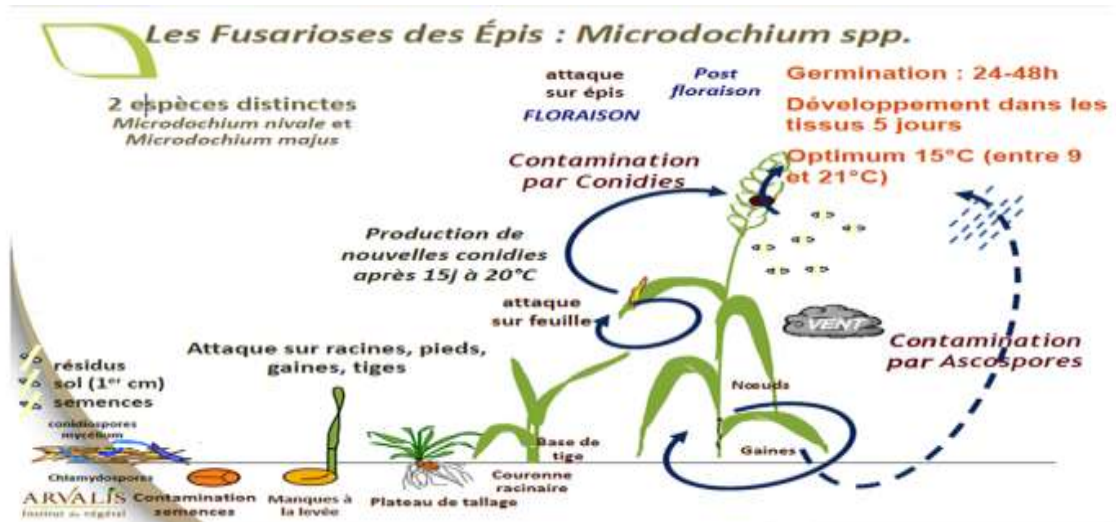


Figure4: Cycle de développement de la fusariose (Anonyme 14 ,2001)

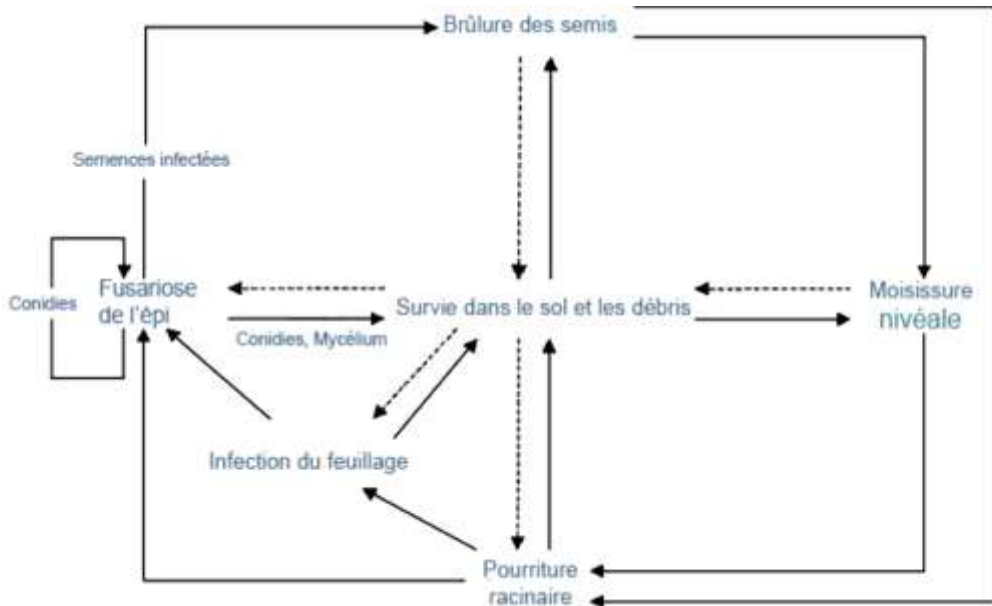


Figure5 : Cycle biologique de *Microdochium nivale* et *M. majus* (Parry et al., 1995).

La survie de ces champignons est assurée aussi par la production de périthèces et des ascospores à la surface du sol pour 2 à 3 ans après la récolte ce qui les classent comme source à long terme (Inch et Gilbert, 2003; Audenaert *et al.*, 2009). L'inoculum primaire pour l'initiation de la maladie peut également provenir de semences infectées (Xu et Nicholson, 2009) et d'adventices qui peuvent également jouer le rôle de réservoir de *Fusarium* sans présenter de symptômes visibles (Leonard et Bushnell, 2003 ; Champeil *et al.*, 2004).

Au printemps, quand les conditions de température et d'humidité sont maximales ce sont principalement les ascospores, issues de la reproduction sexuée, qui sont libérées des périthèces. La maturation des périthèces prend environ deux semaines et la décharge des ascospores a lieu principalement la nuit à des températures douces (10°C à 20°C). lorsque l'humidité ambiante n'est pas saturante après déshydratation des périthèces. Le vent et les précipitations sont les facteurs responsables de la dispersion de l'inoculum du pathogène. Les gouttes de pluie permettent la dispersion des spores du pathogène, notamment à partir du sol, et les transportent jusqu'au niveau de l'épi (Horberg, 2002 ; Paul *et al.*, 2004).

Les acariens (*Siteroptes graminum*), et les thrips (*Lemthrips denncornis*) peuvent être à l'occasion des vecteurs importants de la maladie (Sutton, 1982 ; Parry *et al.*, 1995; Schmale *et al.*, 2005). L'infection naturelle des fleurs peut avoir lieu à tout moment entre l'émergence des épis et la maturité. Mais une forte réceptivité et un développement rapide de la maladie se réalise lors de l'anthèse (Couture, 1982).

Les facteurs physiologiques de la plante hôte sont nombreux et influencent plus ou moins le développement de la fusariose. La sévérité et le développement de l'infection sont largement influencés par les caractéristiques physiologiques de la plante (taille, densité d'épillets...), son état de stress, son stade de développement, la date et la durée de la floraison et le niveau de résistance de la variété (Hecker *et al.*, 2004 ; Xu *et al.*, 2005; Champeil *et al.*, 2004; Bai et Shaner, 1994; Audenaert *et al.*, 2009).

1.3. *Fusarium* et *Microdochium* Syd.& P. Syd. deux Principaux genres responsables de la fusariose de l'épi

La fusariose de l'épi peut être causée par une vingtaine d'espèces du genre *Fusarium* et deux espèces du genre *Microdochium* (Arseniuk *et al.*, 1999).

Le genre *Fusarium* est un champignon ascomycète, qui appartient à la classe des Sordariomycetes, l'ordre des Hypocreales et la famille des Nectriaceae. La première et

véritable description du genre *Fusarium* a été réalisée par Link en 1809. Il doit son nom du latin *fuscus* (fuseau) en rapport à la forme de ses macroconidies fusiformes et cloisonnées (Leslie *et al.*, 2005). Actuellement ce genre renferme plus de 150 espèces identifiées par les outils moléculaires, les études phylogénétiques, l'écologie et les mycotoxines produites par chaque espèce (Batt, 2014). L'anamorphe *Fusarium* appartient au groupe artificiel des *deuteromycetes* et la plupart des espèces téléomorphes associées avec le genre *Fusarium* sont membres des *Hypocreales*, *Sordariomycetes*, *Ascomycota* et sont pour la plupart rattachées au genre *Gibberella* (Keith et Seifert, 2001 ; Leslie et Summerell, 2006).

1.3.1. *Microdochium nivale* et *M. majus*

M. nivale et *M. majus* sont considérés comme deux espèces différentes depuis 2005 (Glynn *et al.*, 2005). La distinction entre ces deux espèces peut être basée sur les gammes de plantes hôtes de chaque espèce (Simpson *et al.*, 2000), les caractères morphologiques (Litschko et Burpee, 1987), la reproduction sexuée (Smith, 1983) et les informations génétiques (Maurin *et al.*, 1995; Parry *et al.*, 1995; Nicholson *et al.*, 1996; Glynn *et al.*, 2005).

1.3.2. Systématiques

La biologie moléculaire a permis une nette avancée en taxonomie fongique et une meilleure compréhension des différents espèces. Ainsi, en 2005, Glynn et ses collègues ont identifié des divergences entre les isolats de *Microdochium* et ont mis en évidence deux espèces distinctes : *M. majus* et *M. nivale*. Auparavant, Wollenweber avait d'abord classé les *Microdochium* dans le genre *Fusarium* (*F. nivale* var *nivale* et *F. nivale* var *majus*) en raison de leur participation au complexe responsable de la fusariose sue épis et de la forme en croissant (fuseau) de conidies. En 1983, après avoir observé leur forme téléomorphe (*Monographella*), Samuel & Hall et les avaient reclassés en un genre différent, *Microdochium*.

Les principaux hôtes de *M. nivale* et *M. majus* sont le blé, le seigle, l'orge, l'avoine, le ray gras, les graminées fourragères et le triticale (Tronsmo *et al.*, 2001; Golebiowska et Wedzony, 2009). Aussi, l'espèce *F. nivale* a été exclue du genre *Fusarium* et placée dans le genre *Microdochium* Syd. & P. Syd. en se basant sur le critère qu'elle ne possède pas de phialides, mais plutôt des cellules conidiogènes annélidiques (Gams et Muller, 1980; Keith et Seifert, 2001).

Ce genre appartient à la famille des *Tuberculariaceae*. Le téléomorphe associé au *Microdochium* appartient au *Ascomycota*, *Pezizomycotina*, *Sordariomycetes*,

Xylariomycetidae, *Amphisphaeriales*, *Phlogicylindriaceae*. *M. nivale* initialement nommé *F. nivale* (Wollenweber et Reinking, 1935), avait été divisé par la suite en deux variétés *M. nivale* var. *majus* (Wollenw.) Samuels & I.C. Hallett et *M. nivale* var. *nivale* (Fr.) Samuels & I.C. Hallett par le biais d'analyses RAPD (Lees *et al.*, 1995). Jewell et Hsiang (2013) ont aussi confirmé cette dénomination par des analyses des séquences d'ADN de l'ARN polymérase II (RPB2), la β -tubuline et du facteur d'élongation EF-1 α . *M. nivale* et *M. majus* possèdent des conidies courbées, falciformes, se rétrécissant vers l'extrémité avec un sommet pointu et une base arrondie et dont le nombre de cloisons varie de zéro à trois cloisons (Figure.07) (Samuels et Hallett, 1983).

1.3.3. Symptômes

Les épis blancs, symptôme typique de la fusariose sont repérables de loin dans un champ comme le montre la figure 7.

1.3.3.1. Sur racine et collet

En période hivernale humide, c'est *Microdochium nivale* qui s'installe à la base du pied et sur les gaines. A début de la montaison, les attaques de *Fusarium* sur tige sont souvent superficielles (Fig. 06, A). A la fin de la montaison, le *Microdochium* ssp. s'installe sur la couronne racinaire (pourriture brune) notamment après des alternances sécheresse-humidité (Figure.6, B), ces symptômes entraînent de l'échaudage en fin de cycle. Les symptômes les plus apparents sont l'apparition des taches brunes sur les racines et le collet (Figure.6, A), un feutrage blanc rosé peut être aussi observé au niveau du collet par temps humide (Figure. 7, B) (El Yacoubi *et al.*, 2012).

1.3.3.2. Sur tige

Microdochium peut être à l'origine de nécroses des tiges et des nœuds, ainsi que de symptômes foliaires. Des symptômes de tiges noires et de nœuds desséchés sont les plus observés, pouvant aller jusqu'à un échaudage de l'épi, *Microdochium* noircit la tige et la dessèche (Figure6, I).

Ces symptômes, particulièrement visibles au niveau des nœuds, peuvent être présents parfois jusqu'au col de l'épi. La présence à la fin du printemps et au cours de l'été de ponctuations noires sur les gaines basses, très prises dans les tissus, est un indicateur sans faille de sa présence. Ces structures correspondent à des périthèces, la forme de reproduction

sexuée du champignon, qui va assurer sa survie au cours de l'automne et de l'hiver sur les débris de culture et jouer un rôle dans l'épidémie de l'année suivante.

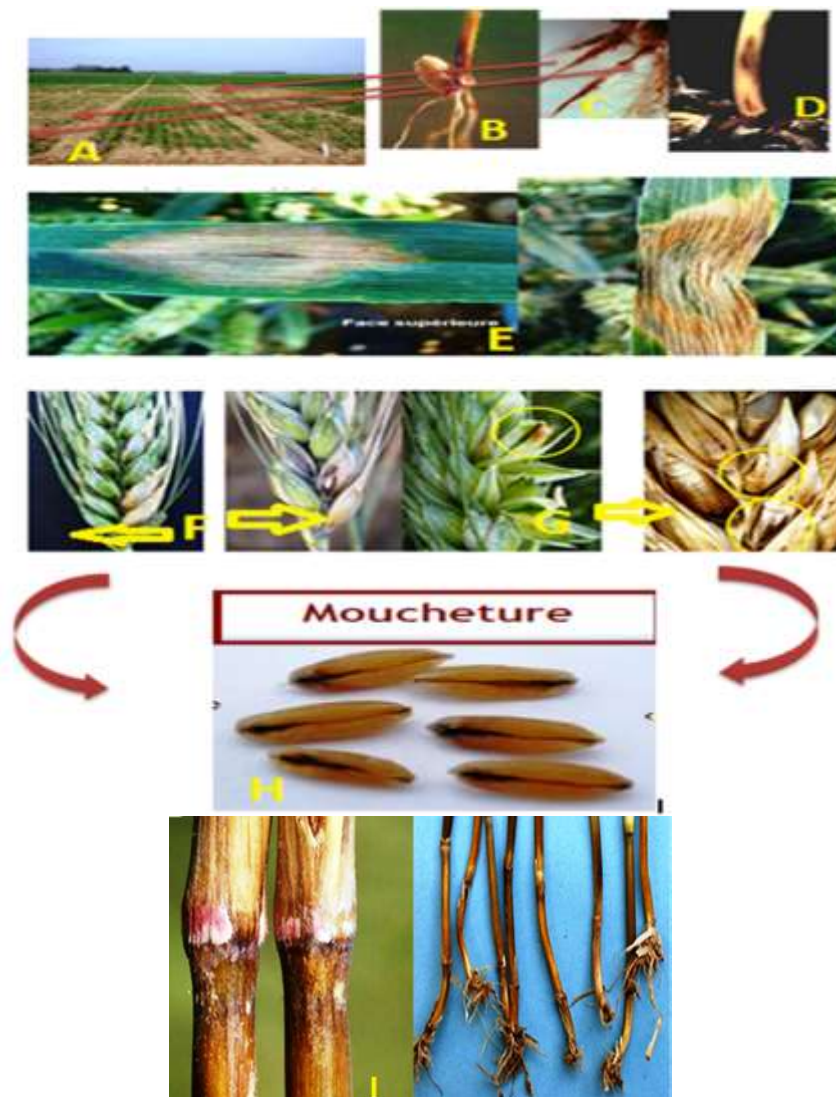


Figure6 : Symptômes typiques de *Microdochium* spp.

Symptômes sur parcelle atteinte par *Microdochium* spp. de manière plus ou moins intense (A) ; la base du coléoptile porte des taches brunes(B) ; Brunissement des racines et du collet (C) et (D) ; Nécrose typique sur feuille (E); Symptômes de *Microdochium* sur épis de blé, formation d'auréole noire sur glume sur la photo à droite et l'épillet touché prend une couleur orangée due à la couleur des sporodochies de *Microdochium* sur la photo à gauche (F) ; Symptômes de *Microdochium* sur grains , attaque faible sur la photo gauche et une attaque très forte sur la photo à droite ; Moucheture sur grains (H).(Source : Arvalis 2013).

1.3.3.3. Sur feuilles :

La présence de symptômes de *Microdochium* sur les feuilles est souvent associée à une attaque conjointe ou ultérieure sur les épis, les feuilles pouvant servir de relai à l'infection. Les deux espèces de *Microdochium*, hautement opportunistes, vont profiter de tous les points d'entrée existants pour pénétrer dans le limbe : stomates, blessures d'insectes telles que les morsures de criocères, symptômes physiologiques ou encore nécroses causées par d'autres maladies. La tache apparaît tout d'abord vert-bouteille, d'aspect huileux, puis évolue en une nécrose présentant souvent un aspect concentrique (Figure6, E). (Makouli, et al.,)

1.3.3.4. Sur épi et grains de blé :

Le stade d'infection optimal des épis par *Microdochium* est l'épiaison, l'attaque pouvant donc être plus précoce que dans le cas de la fusariose au genre *Fusarium*, mais des contaminations après floraison peuvent également avoir lieu en présence de pluies suivies d'un temps frais. (Vogelgsang et al., 2008).

Les symptômes sont visuellement difficiles à différencier de ceux causés par *F. graminearum*. L'épillet touché présente tout d'abord une trace brune sur la glume, parfois en forme d'auréole qui va rapidement s'estomper pour laisser la place à un épillet échaudé avec présence de croûtes orangées, qui correspondent aux sporodochies de *Microdochium* (Figure6,F).

Les grains infectés sont habituellement ratatinés, plissés et légers (Figure6, G ;I). Ces grains ont un aspect rugueux et galeux et peuvent être brun clair, ou blanc grisâtre. En contamination par *M. nivale*, ces grains n'ont pas de coloration rose. Par contre, une augmentation de la moucheture peut être constatée. Les pertes de rendement sont directement liées à la proportion de grains fusariés

1.3.4. Les caractères morphologiques

Sur milieu PDA, les hyphes de *M. majus* et *M. nivale* présentent une couleur qui varie du blanc au saumon, avec un taux de croissance de 0.13-0.37 mm/h à 20 °C (Litschko et Burpee, 1987). Les conidies de *M. majus* (6.0 x 12-33 µm) sont plus grandes que celle de *M. nivale* (3.8 x 8-27 µm) et possèdent un nombre de septation plus important (Gerlach, 1982). En revanche, l'existence de plusieurs chevauchements dans les caractères morphologiques rend l'identification morphologique très difficile (Lees et al., 1995; Litschko et Burpee,

1987). Malgré les différences qui peuvent exister dans les critères morphologiques, les critères moléculaires restent le seul moyen de discrimination des espèces.

Plusieurs études ont montré une grande variation génétique au sein de *M. nivale* en comparaison à *M. majus*. Une comparaison des isolats de *M. majus* et *M. nivale* initialement collectées du blé Européen a montré que par rapport à *M. majus*, les profils RAPD de *M. nivale* étaient très diversifiés (Lees *et al.*, 1995).

Des anciennes recherches ont décrit *M. majus* comme une espèce homothallique, par contre d'autres travaux récents suggèrent que *M. nivale* peut être une espèce hétérothallique (Lees *et al.*, 1995). Ces données expliquent l'important niveau de diversité génétique observé chez *M. nivale* par rapport à *M. majus* (Walker *et al.*, 2009).

1.4. La Lutte :

1.4.1. Les Pratiques Culturelles :

Plusieurs facteurs peuvent moduler l'apparition et le développement de la maladie notamment au champ. Arvalis place le précédent cultural et le travail du sol comme leviers majeurs pour lutter contre le développement de la maladie. La rotation des cultures permet de limiter la présence de céréales sensibles à l'infection et la survie du champignon (McMullen *et al.*, 1997). Cependant la rotation des cultures n'affecte pas beaucoup le taux d'inoculum parce que *Microdochium* et *Fusarium* sont des champignons qui possèdent des formes de résistance. Mais il est à noter que des taux d'inoculum élevés ont été enregistrés dans les systèmes à monoculture (Lenc, 2015).

Ainsi, la culture du soja avant une culture de blé diminue la fréquence et la sévérité de la maladie. De même, le maïs comme précédent cultural augmente la sévérité de la maladie par rapport à du blé ou de l'orge. Ceci s'expliquerait par le fait que des cultures de soja laissent moins de résidus que des cultures de blé qui elles-mêmes laissent moins de résidus que des cultures de maïs. De plus, les espèces de *Fusarium* affectant le soja ne sont pas les mêmes que celles infectant le blé et le maïs (Dill-Macky and Jones, 2000).

1.4.2. La lutte Chimique:

Les travaux de Simpson *et al.* (2001) confirment la sensibilité des champignons du genre *Fusarium* aux triazoles (Bromuconazole, Propiconazole et le Tebuconazole) (Homdork *et al.*, 2000; Scherm *et al.*, 2013). Pour *Microdochium* spp. les fongicides les plus utilisés

appartient aux difénoconazoles, le tébuconazoles, prothioconazoles, bitertanoles (Glynn *et al.*, 2005; Walker *et al.*, 2009; Jørgensen *et al.*, 2011).

1.4.3 .la Lutte biologique :

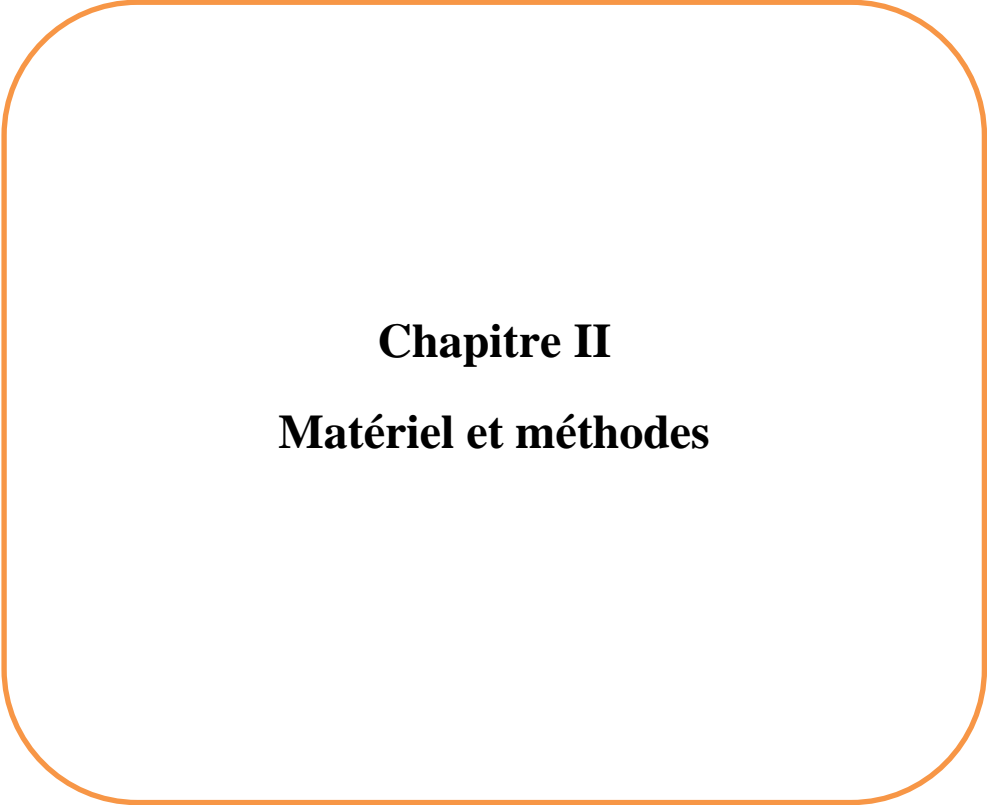
Quelques efforts ont été faits contre l'infection des grains par les espèces du genre *Fusarium* par l'identification d'antagonistes biologiques. Parry *et al.* (1995) ont mentionné que la meilleure période d'application d'antagoniste biologique est durant la floraison.

Diamond et Cooke (2003) ont rapporté que l'inoculation des épis par *Phoma betae* a pu réduire les symptômes de la fusariose de l'épi causés par *F. culmorum* de l'ordre de 60%. Les bactéries du genre *Bacillus*, *Pseudomonas*, et *Lysobacter* sont les plus utilisées pour la lutte biologique contre la fusariose de l'épi (Schisler *et al.*, 2002 ; Da Luz *et al.*, 2003 ; Khan *et al.*, 2004). Deux souches de *Pseudomonas fluorescens* ont montré aussi un niveau satisfaisant d'inhibition de la croissance *in vitro* et *in vivo* de *F. culmorum* (Kurek *et al.*, 2003).

1.4.4. La sélection variétale : une stratégie prometteuse pour lutter contre la fusariose

La mise au point de variétés résistantes à la fusariose ainsi qu'à l'accumulation de mycotoxines représente la voie la plus prometteuse pour limiter le risque déoxynivalénol, bien que, jusqu'à présent, la majorité des génotypes soit assez sensibles. Kang et Buchenauer (2000) ont rapporté que les cultivars résistants à la fusariose de l'épi sont capables de développer des réactions de défense actives pendant l'infection et la diffusion de l'espèce *Fusarium* dans les tissus hôtes. Généralement, la résistance à la fusariose de l'épi est contrôlée par plusieurs gènes dont les effets s'additionnent ; ce type de résistance est appelée résistance quantitative (Schiff *et al.*, 2001).

La meilleure approche permettant de lutter efficacement contre la fusariose du blé serait une approche intégrée combinant de bonnes pratiques culturales, l'utilisation de variétés tolérantes ainsi qu'une application de fongicide à la bonne dose et au bon stade de développement de la plante et l'induction de SAR par BCAs (Wagacha et Muthomi, 2007; Moya-Elizondo et Jacobsen, 2016).



Chapitre II
Matériel et méthodes

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel

2.1.1. Matériel fongique

Dans cette présente étude, nous avons utilisé neuf isolats de *Microdochium* spp. Les isolats ont été obtenus à partir de grains de blé récoltés au cours des années 2013, 2014 et 2015 par Touati-Hattab. Les informations concernant l'origine des isolats sont mentionnées au niveau du(tableau 1).

Tableau 1. Origine des isolats de *Microdochium* spp.

Isolats	Origines	Organe	Blés	Années
Mc-01	Oued Smar (I.T.G.C.)-	Graine	Blé dur	2015
Mc-02	Oued Smar (I.T.G.C.)-	Graine	Blé dur	2015
Mc-03	Oued Smar (I.T.G.C.)-	Graine	Blé tendre	2015
Mc-04	Bordj Bou Arreridj	Graine	Blé dur	2013
Mc-05	Aflou	Graine	Blé tendre	2013
Mc-06	Alger	Graine	Blé tendre	2014
Mc-07	Relizane	Graine	Blé tendre	2015
Mc-08	Sétif	Graine	Blé tendre	2014
Mc-09	Sétif	Graine	Blé dur	2014

2.1.2. Matériel végétale

Pour les isolements 15 échantillons de grains de blé ont été collectés dans différentes régions céréalières de l'Algérie, et de diverses variétés.

La variété de blé dur Vitron a été utilisée pour évaluer l'agressivité des isolats de *Microdochium* spp. Vitron est la variété de blé dur la plus cultivée en Algérie et présente une sensibilité à la fusariose du blé.

Aussi, quatre variétés de blé dur et tendre ont servi aux essais en plein champs pour la résistance variétale.

2.2 Méthodes

2.2.1. Isolement et identification morphologique des *Fusarium* spp.

2.2.1.1. Isolement

Pour que le prélèvement de grains de blé pour analyse soit effectué de façon représentative du lot de deux Kg reçu au laboratoire, des sous échantillons de 100 grains de blé ont été préparés à partir de 500 g de chaque échantillon de blé.

Après désinfection superficielle dans une solution d'hypochlorite de sodium à 2% pendant 3 min, puis rinçage 2 fois à l'eau distillée stérile, les grains ainsi désinfectés ont été séchés sur papier filtre stérile (LNPV, 2008.). Ils sont ensuite placés sur un milieu de culture Dichloran-Chloramphenicol-Peptone-Agar (DCPA) (Cromey *et al.*, 2002) et sur le milieu PDA . Le milieu DCPA est utilisé pour la détection spécifique des *Fusarium* spp et les boîtes de pétri sont incubées pendant 10-12 jours dans une enceinte climatisée, thermostatée à 22°C (+/- 3°C) avec une photopériode d'éclairage et d'obscurité alternant toutes les 12 heures.

sont placées directement sur le milieu de culture PDA. Elles sont, examinées une première fois après 6 jours d'incubation à l'obscurité dans une chambre froide à 6°C (+/- 2°C), des conditions qui favorisent le développement des *Microdochium* par rapport aux *Fusarium* sp. Ces boîtes de PDA sont ensuite incubées pendant 6 jours dans les mêmes conditions que les boîtes avec DCPA (22°C et alternance lumière/obscurité) pour favoriser la sporulation de *Microdochium*.

complexe fusarien, ont été repiquées sur un nouveau milieu PDA. Après 5 à 7 jours d'incubation à 25 °C, les différentes colonies ont été séparées en groupes selon l'aspect des colonies. Ensuite, des cultures monosporales ont été réalisées à partir de colonies représentatives de chaque groupe puis repiquées sur le milieux PDA, pour une éventuelle identification morphologique. Les isolats, une fois purifiés, sont conservés en tubes à essai sur le milieu PDA, ou milieu à l'extrait de malt.

2.2.1.2. Purification par culture monospore

Pour la réalisation de la monospore, une suspension de spores a été préparée à parti d'une culture âgée de 7-8 jours. Une goutte contenant 1-10 conidies/ml est étalée à l'aide d'une pipette pasteur uniformément sur une boîte de Petri contenant de l'eau gélosée. Les boîtes sont ensuite incubées à 23 à 25°C. Après 24 à 48 h des spores

individualisées en germination apparaissent, ces dernières sont repiquées dans des boîtes de Petri contenant du PDA et mise à incubation.

2.2.1.3. Identification morphologique

La détermination morphologique d'une espèce de *Fusarium* repose sur l'observation de nombreuses caractéristiques anamorphiques sur le milieu PDA, telles que la vitesse de croissance, l'aspect du mycélium aérien, la couleur de l'envers de la colonie, l'odeur et la couleur des *sporodochia*.

Avec toutes les informations l'identification pourra être réalisée en utilisant les différentes clés de références de Aoki et O'Donnell (1999), Nelson *et al.* (1983), Nirenberg *et al.* (1982) et Leslie et Summerell (2006). Les isolats de *Microdochium nivale* sont directement identifiés sur le milieu de culture PDA. Les macroconidies de *F. culmorum* et *F. graminearum* sont directement identifiées sur le milieu DCPA (Hocking and Andrews, 1987). Ensuite, le taux d'infestation des grains de blé analysés a été évalué par le pourcentage de grains à partir desquels le complexe fongique associé à la fusariose s'est développé.

2.2.2. Effet de la température sur la croissance mycélienne des isolats de *Microdochium spp* sur milieu PDA

Afin d'établir l'effet d'une gamme de températures sur la croissance mycélienne des 09 isolats de *Microdochium spp.* et de déterminer la température optimale de leur croissance.

Des explants mycéliens (6 mm de diamètre) provenant de cultures âgées de 7 jour de chaque isolat ont été déposés dans des boîtes contenant le milieu PDA et incubés aux températures 15, 20, 25 et 30°C à l'obscurité. Deux répétitions ont été réalisées pour chaque isolat et chaque température. Des mesures quotidiennes de la croissance mycélienne ont été prises après 24 h, 48 h, 72 h et 96 h d'incubation.

2.2.3. Évaluation de l'agressivité des isolats de *Microdochium spp* sur la partie basale des plants de blé

La variété de blé dur Vitron, la plus cultivée en Algérie a été utilisée pour ce test.

les semences ont été placées à une profondeur de 2 cm, dans des pots en plastiques (6 cm de diamètre), remplis avec un mélange stérile de terre agricole et de terreau (1 :1 v/v), à

raison de 3 semences par pot. L'essai a été réalisé dans un phytotron sous une photopériode de 16 h et une température de 24 °C.

a été réalisée sur des plantules au stade de 2 à 3 feuilles correspondant respectivement à ZGS 12 et ZGS 13 selon l'échelle de Zadoks *et al.* (1974).

2.2.3.1. Technique d'inoculation par fragments mycéliens

L'inoculum a été préparé à partir de cultures pures développées sur milieu PDA

à 25 °C, après 8 jours d'incubation, un fragment de 1 cm² a été découpé à partir des colonies de champignons développés, et déposé adjacent à la plantule au niveau du collet.

Des plantules inoculées par des fragments de PDA, ne contenant pas de champignon, ont été utilisées comme témoin négatif.



Figure7 : Inoculation par fragments mycéliens.

2.2.3.2. Notation des symptômes

Trois semaines après l'inoculation, les plantes inoculées ainsi que les plantes témoins ont été soigneusement arrachées et les racines ont été lavées sous le robinet. Ensuite, les symptômes caractérisés par un brunissement au niveau du collet ont été évalués selon une échelle d'agressivité (indice de sévérité :IS) qui se base sur la longueur de la lésion par rapport à la longueur de la plantule (Fernandez et chen, 2005). Cette échelle comprend les niveaux suivants :

- ❖ 0 : plante saine.
- ❖ 1 : moins que 25% du collet est attaqué.
- ❖ 2 : De 26% à 50% du collet est attaqué.
- ❖ 3 : De 51% à 75% du collet est attaqué.
- ❖ 4 : plus que 76% du collet est attaqué.
- ❖ 5 : plante mort.

Enfin pour comparer l'agressivité des différents isolats testés, ces derniers ont été classés selon trois groupe :

- Isolats faiblement agressifs : $IS \leq 2$
- Isolats moyennement agressifs : $2 < IS < 4$
- Et isolats fortement agressifs : ≥ 4

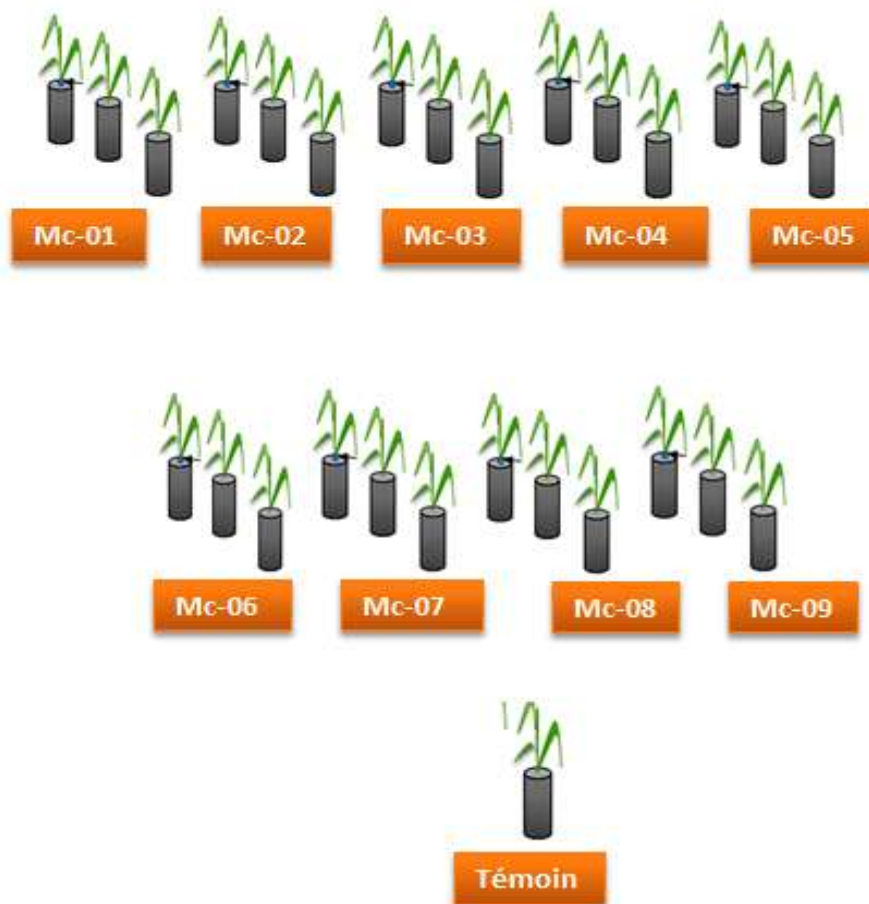


Figure8 . Dispositif expérimental au stade trois feuilles ..

2.2.4. Évaluation de l'agressivité des isolats de *Microdochium* spp sur épis

Cet essai a été réalisé en bloc aléatoire complet. Après le travail du sol et la préparation du lit de semence, Nous avons réalisé neuf essais espacés de 25cm et plus loin à 4 mètres le 10^{ème} essai constitué des variétés témoins.

Dans chaque essai il y a trois blocs avec un écartement de 15cm entre les blocs, soit 12 micro-parcelles par bloc d'une seule ligne. Le semis avait été réalisé le 26 Novembre 2019. L'essai a été suivi quotidiennement, deux désherbages manuels avaient été effectués. L'irrigation a été faite régulièrement suivant les besoins des plantes.

Pour l'inoculation, nous avons utilisé seulement neuf isolats de *Microdochium* spp (Tableau 1) une suspension de spores de chaque isolat a été préparée et ajustée à 10⁵ conidie/ml. Au stade floraison, les épis ont été inoculés en introduisant une seringue entre épillets jusqu'au ruissellement de l'inoculum sur les épis. ainsi le mycélium de *Microdochium* spp. dans la fleur selon le protocole adapté de Hart et *al.*, 1982 et modifié sur blé.

Compte tenu de la précocité échelonnée des variétés, les inoculations n'ont pas été réalisées le même jour mais à un intervalle de 15 jours entre les variétés (Kleijer et Michel, 2001); 5 épis par micro-parcelle ont été marqués avant l'inoculation.

Le témoin est pulvérisé par 200 ml de l'eau distillée stérile. Une irrigation a été assurée 15 mn avant l'inoculation et pendant les 72 h qui suivent l'inoculation afin de maintenir une



Figure9 . Dispositif expérimental au stade floraison.



Figure10 . Inoculation au stade floraison par suspension sporale

humidité relative maximale qu'est indispensable aux premières étapes de développement du champignon.

2.2.4.1. Notation des symptômes :

Deux systèmes de notation ont été utilisés pour analyser les données. Pour le premier système de notation utilisé, le nombre d'épillets déverdis a été noté avant le déverdissement physiologique (20 jours après l'inoculation, sur les 10 épis pré-identifiés est basé sur une échelle de 1 à 9 (1 = sans symptômes et 9 = épi mort) (Tabl. 9) (Mascher *et al.*, 2005).

L'incidence de la fusariose sur les différentes variétés testées, est estimée en calculant l'indice d'attaque en % des épis fusariés selon la formule suivante:

$$IA\% = \%épi1 + \%épi2 + \%épi3 \dots \dots \%épin / NTépi$$

IA%: l'indice d'attaque en pourcentage; NT épi: nombre total d'épi pré-identifiés

Concernant Le deuxième système de notation l'incidence de la fusariose sur les différentes variétés testées, a été estimée chaque période de 7 jours (7, 14, 21, et 28) jours après l'inoculation des épis) par le nombre des épillets infestés par épi (quatre épis par pot, trois pots par variété). Puis, ces mesures ont été transformées en surface sous la courbe de progression de la maladie (AUDPC, Area Under Disease Progress Curve). Des valeurs faibles de l'AUDPC suggèrent une tolérance/résistance élevée. L'AUDPC a été définie par Shaner et Finney (1977), et il est utilisé pour résumer la progression de la maladie.

L'AUDPC standardisée est calculée suivant la formule suivante :

$$AUDPC = \sum_{i=1}^n [(y_{i-1} + y_i) / 2] [(x_{i-1} - x_i)]$$

Avec, n = nombre total d'observations = 4 ; Y i = nombre d'épillets infestés à chaque

observation; (x i+1 - x i) = durée séparant deux observations consécutives = 7 jours.

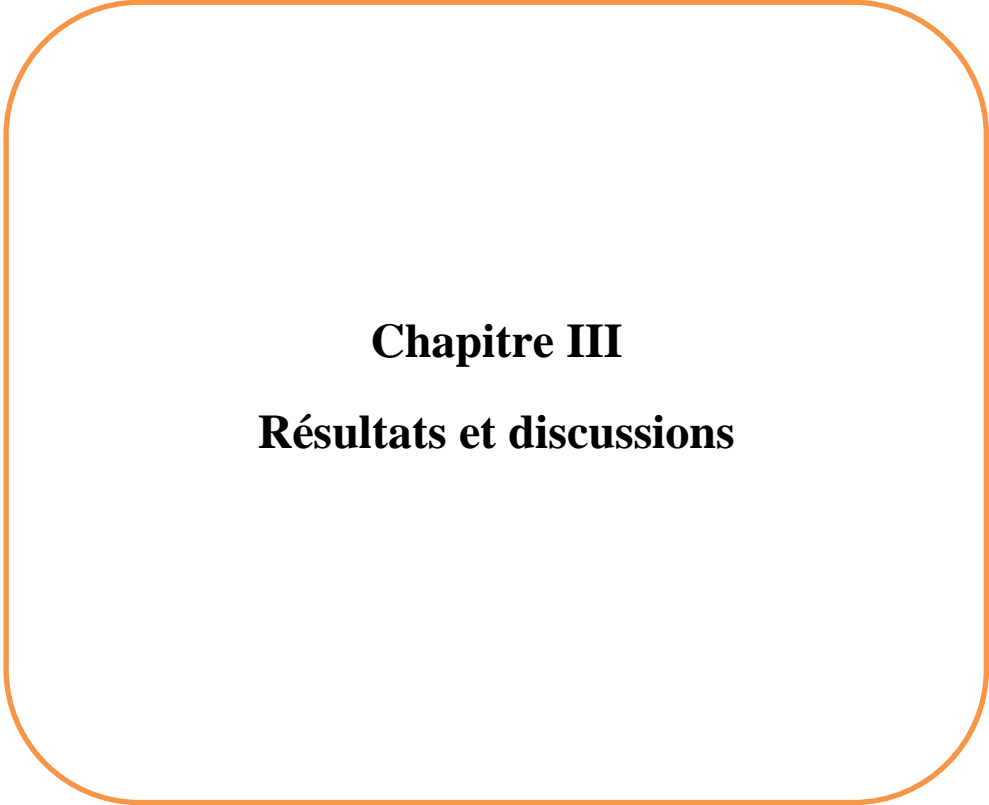
Tableau 2. Echelle de notation des symptômes sur épi (Mascher et *al.*, 2005)

Note	Part de l'épi infectée	Description des symptômes
1	0%	Sans symptômes
2	2,5%	Traces de symptômes, un épillet sur 10 épis montre des symptômes.
3	10%	10% des épillets de chaque épi sont infectés
4	25%	Un quart des épillets infectés
5	50%	La moitié des épillets d'un épi sont infectés
6	75%	Trois quarts des épillets d'un épi sont infectés
7	90	10% des épillets d'un épi ne sont infectés
8	97,5	peu des épillets d'un épi ne sont infectés
9	100	Tous les épis sont morts

2.2.5. Analyse des données

Les résultats relatifs à l'étude de l'agressivité des isolats sur collets, sont interprétés par une analyse de la variance (ANOVA) pour deux facteurs et les interactions variétés x isolats ont été analysées par le test de Tukey Pairwise à un interval de confiance de 95%, réalisée avec le logiciel XLSTAT-PLS software 2008.7.03 (Addinsoft, Paris, France).

Les différences entre les isolats pour le paramètre étudié, concernant leur agressivité sur épis sont comparées par le biais du test de la comparaison des moyennes réalisée par les tests de Duncan avec un seuil de 5% en utilisant le logiciel STAT BOX.



Chapitre III
Résultats et discussions

3. Résultats

3.1. Identification morphologique et description des isolats

Un total de 30 cultures monosporiques des isolats de *Fusarium* et *Microdochium* ont été spécifiquement identifiés en utilisant l'identification morphologique.

Les isolats obtenus ont été repiqués sur PDA et incubés encore une fois à 25°C pendant 8 jours. Une observation macroscopique à l'oeil nu suivie d'une observation sous microscope optique, à différents objectifs, ont été effectuées afin de déterminer les caractères morphologiques (macro et microscopiques) de ces isolats. Le guide établis par Leslie et *al.*, (2006) ; Ismail et *al.*, (2015) ont permis de confirmer l'appartenance de nos isolats au genre *Fusarium* et *Microdochium*.

Les colonies obtenues de *Fusarium* présentent le plus souvent un mycelium peu abondant blanc rosé ou rose jaune le verso est rouge carmin ou blanc jaune, la texture du thalle est duveteuse. Les conidies de *Microdochium* présentent souvent un mycélium ras et parfois légèrement aérien dense et feutré. Les cultures sont de couleur blanche à rose saumon, des nappes de sporodochies de couleur orange vif sont présentes très souvent à la périphérie de la culture, mais parfois dispersées sur la culture ou en nappes concentriques.

L'identification morphologique a permis de montrer l'implication de 6 espèces à savoir: *F. culmorum*, , *F. pseudograminearum*, *F. graminearum* , *F. tricinctum*, *F. avenaceum* et *Microdochium* spp. (Figures 11 ;12 et13).

Les résultats des isolements réalisés sur les différents échantillons de grains de blé ont montré que les deux genres *Fusarium* et *Microdochium* responsables de la Fusariose sont présents sur les grains de blé avec des pourcentages respectivement de 62% et 10% (Figure14). Aussi nos résultats ont montré que *F. culmorum* et *F. pseudograminearum* sont les espèces prédominantes observée sur le blé, suivi par le *Microdochium* spp. qui a été observé également assez fréquemment. Des espèces plus minoritaires comme *F. graminearum*, *F. tricinctum* et *F. avenaceum* sont également recensées.

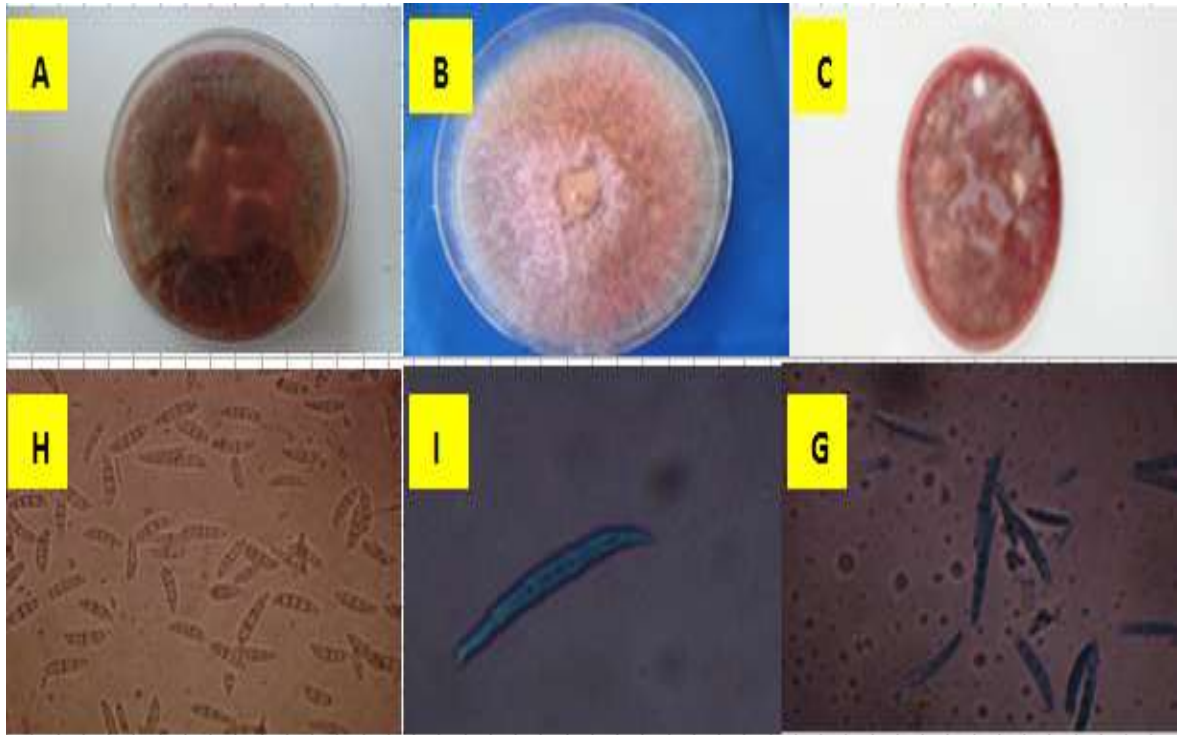


Figure 11 : Aspects morphologiques et microscopiques (G x20)et (Gx40) des espèces fongiques isolées à partir de grains de blé.

Colonie duveteuse de *F. culmorum*, rose à rouge brunâtre (A) ; Mycélium assez abondant rose de *F. graminearum* Schwabe (B) ; Colonie floconneuse de *F.pseudograminearum* rouge à brun vineu (C) ; les Macroconidies fusiformes, courbées et septées de *F. culmorum*, dont la cellule apicale est courte et pointue (H) ; Macroconidies de *F. graminearum* Schwabe en forme de faucille, la forme de la cellule basale distinctement pédiforme et la cellule apicale est en forme de bec, la taille relative moyenne grande (I) ; Macroconidies fusiformes, courbées et septées de *F.pseudograminearum*, dont la cellule terminale est longue et pointue.

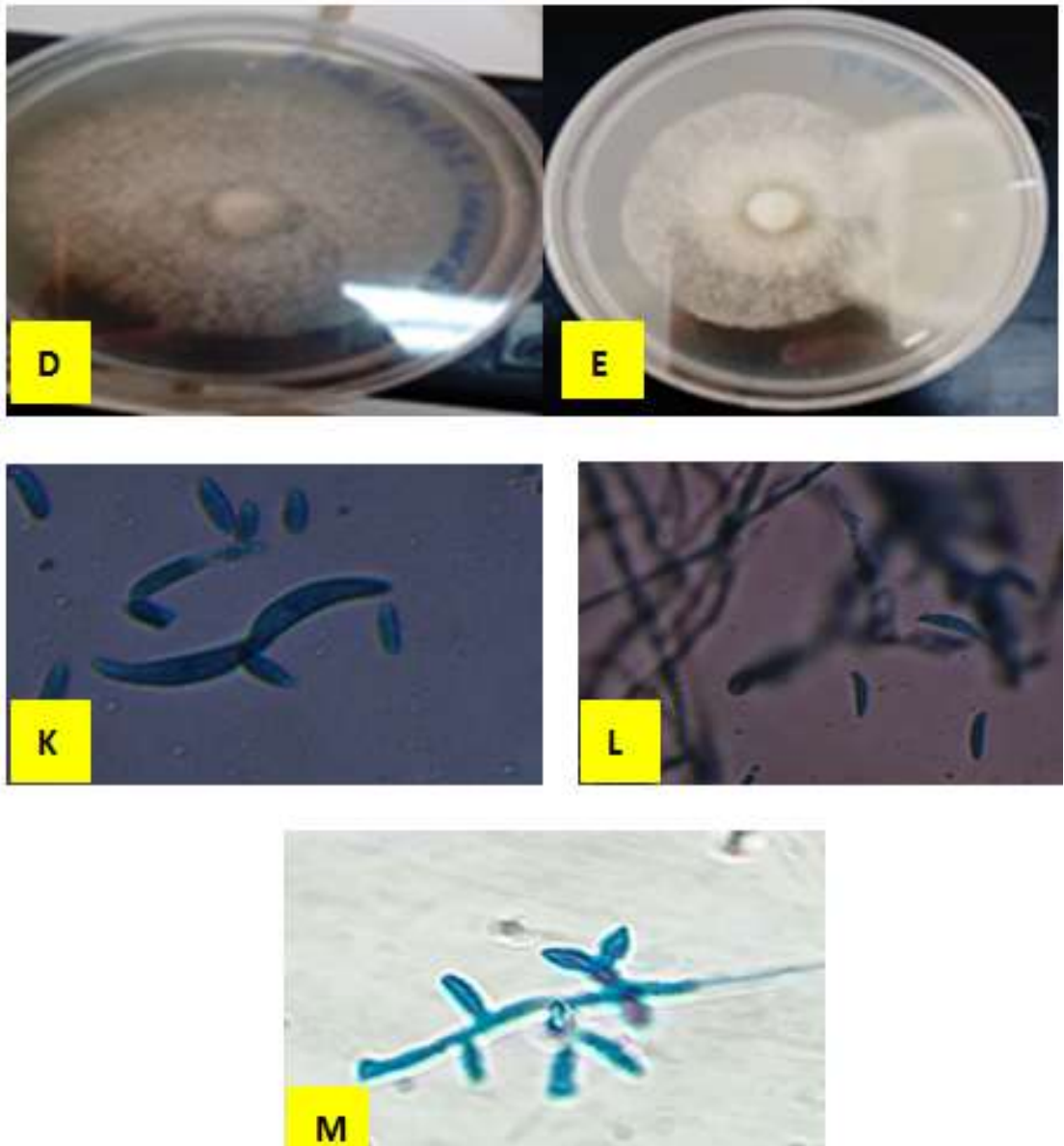


Figure 12 : Aspects morphologiques et microscopiques (G x20) et (Gx40) des espèces de *Microdochium* spp. isolées à partir de grains de blé.

Aspect cultural des colonies de *Microdochium*. spp. (D) ; Macroconidies de petites tailles et curvées de *Microdochium* spp (K), (L); Cellules conidiogènes annélidiques (M).

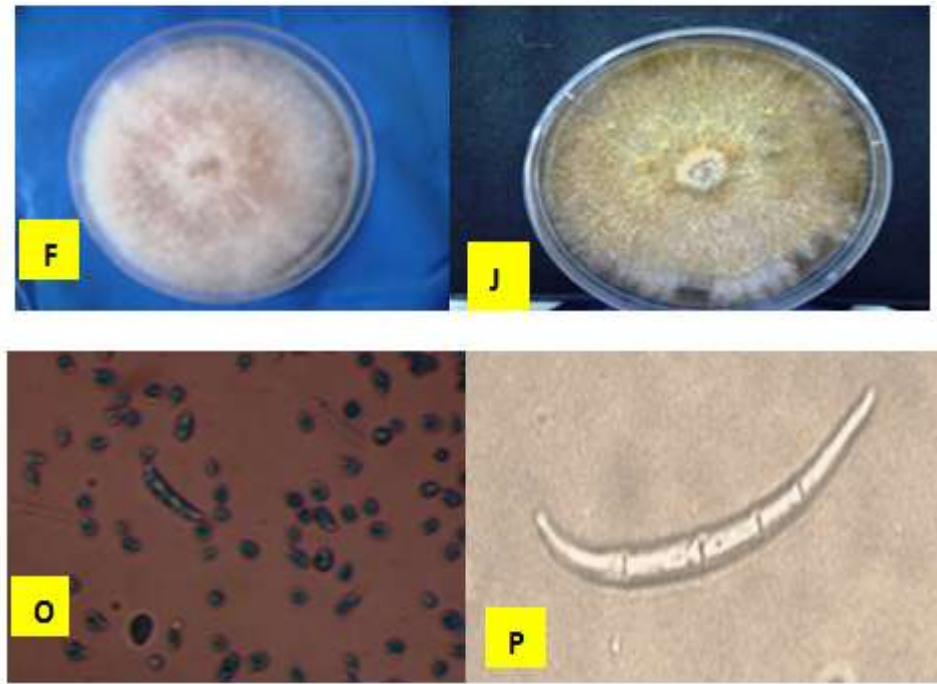


Figure 13 : Aspects morphologiques et microscopiques (G x40)et (Gx20) des espèces de *Fusarium* isolées à partir de grains de blé.

Fusarium tricinctum (Corda) Saccardo, Mycelium Peu abondant blanc rosé (F) ; Macroconidies distinctement en forme de faucille et les microconidies extrêmement abondantes, mélange de napiforme, citriforme et en forme de virgule (O) ; Colonies marron avec une marge blanche de *F. avenaceum* (J) ; Macroconidies distinctement en forme de faucille.

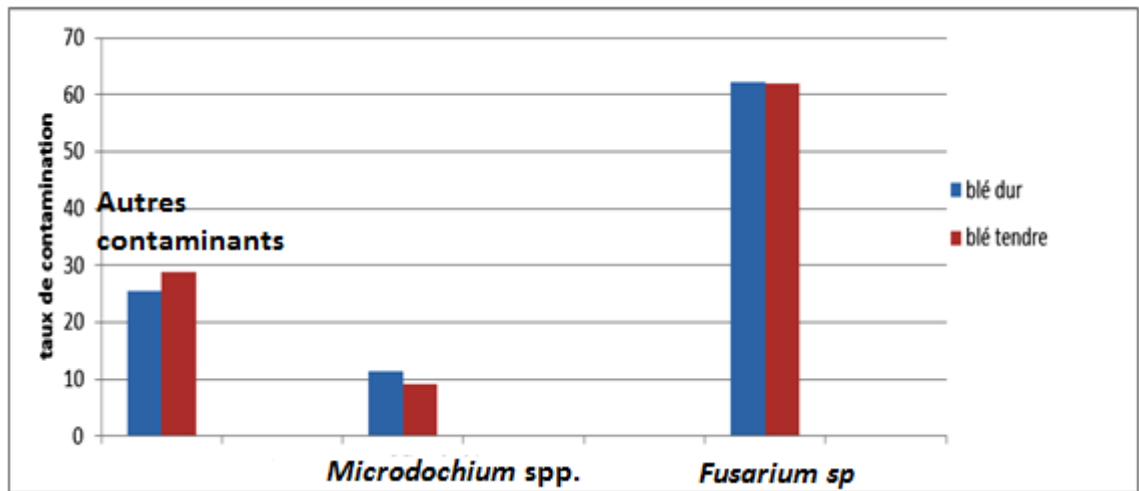


Figure 14 : Taux de contamination des grains de blé analysés par le *Microdochium spp.* et *Fusarium sp*



Figure15 : les colonies *Fusarium sp* sur milieu DCPA.

3.2. Effet de température sur la croissance mycélienne des isolats de *Microdochium* spp

Les neuf isolats appartenant à l'espèce de *Microdochium* spp. sont incubés à différentes températures (15, 20, 25,30°C) à fin de définir la température optimale pour chaque isolat.

À 30°C l'isolat (Mc-03,Mc-04,Mc-05 ,Mc-06,Mc-7,Mc-9) ont exhibé les taux de croissance les plus élevés avec une croissance moyenne comprise entre 34,55 et 44,53, l'isolat Mc-01 a montré une faible croissance mycélienne de 20,98 et 22,43 respectivement à 20°C et 30°C isolat 20,98. Les isolats (Mc-06,Mc-09,Mc-05) ont le taux de croissance mycélien le plus important à 25°C et en fin à 15°C le taux de croissance le plus élevé a été enregistré chez l'isolat Mn-07. Les diamètres moyens de la croissance des isolats de *Microdochium*.spp. obtenus après 5 jour d'incubation à différentes températures sont illustrés au niveau du tableau (03) et la figure(16)

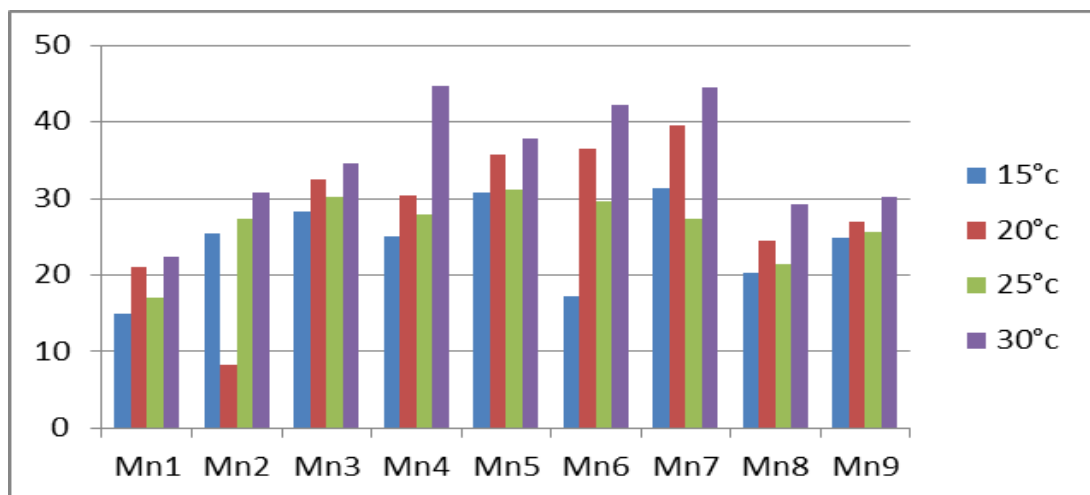


Figure16 : Effet de la température sur la croissance mycélienne des isolats de *Microdochium*.spp.

Les résultats du test de l'effet de la température sur la croissance mycélienne des isolats de *Microdochium* spp. ont révélé une variabilité entre les isolats. L'optimum de la croissance mycélienne pour l'espèce *Microdochium*.spp a été enregistré à 30°C pour tous les isolats (Figure17 ;18).

Tous les isolats ont montré une augmentation potentielle de la croissance mycélienne entre 20°C et 30°C (Figure17 ;18). Par contre une faible croissance a été observée à 15°C à

l'exception d'isolats Mc-02 qui était à 25,33 à 15°C, par contre une faible croissance a été notée à 20°C de l'ordre de 8,33.

Nous avons constaté que La croissance mycélienne des isolats augmente entre 20°C et 30°C et diminue entre 25°C et 15°C, donc la température à un effet significative sur la croissance mycélienne.

Tous les isolats se sont marqués par une augmentation de la croissance mycélienne entre 15°C et 30°C dès 24h d'incubation, avec une grande diversité dans la vitesse de la croissance radiale et la potentialité du développement mycélien entre espèces et même entre isolats de la même espèce (Figure19 ;20)

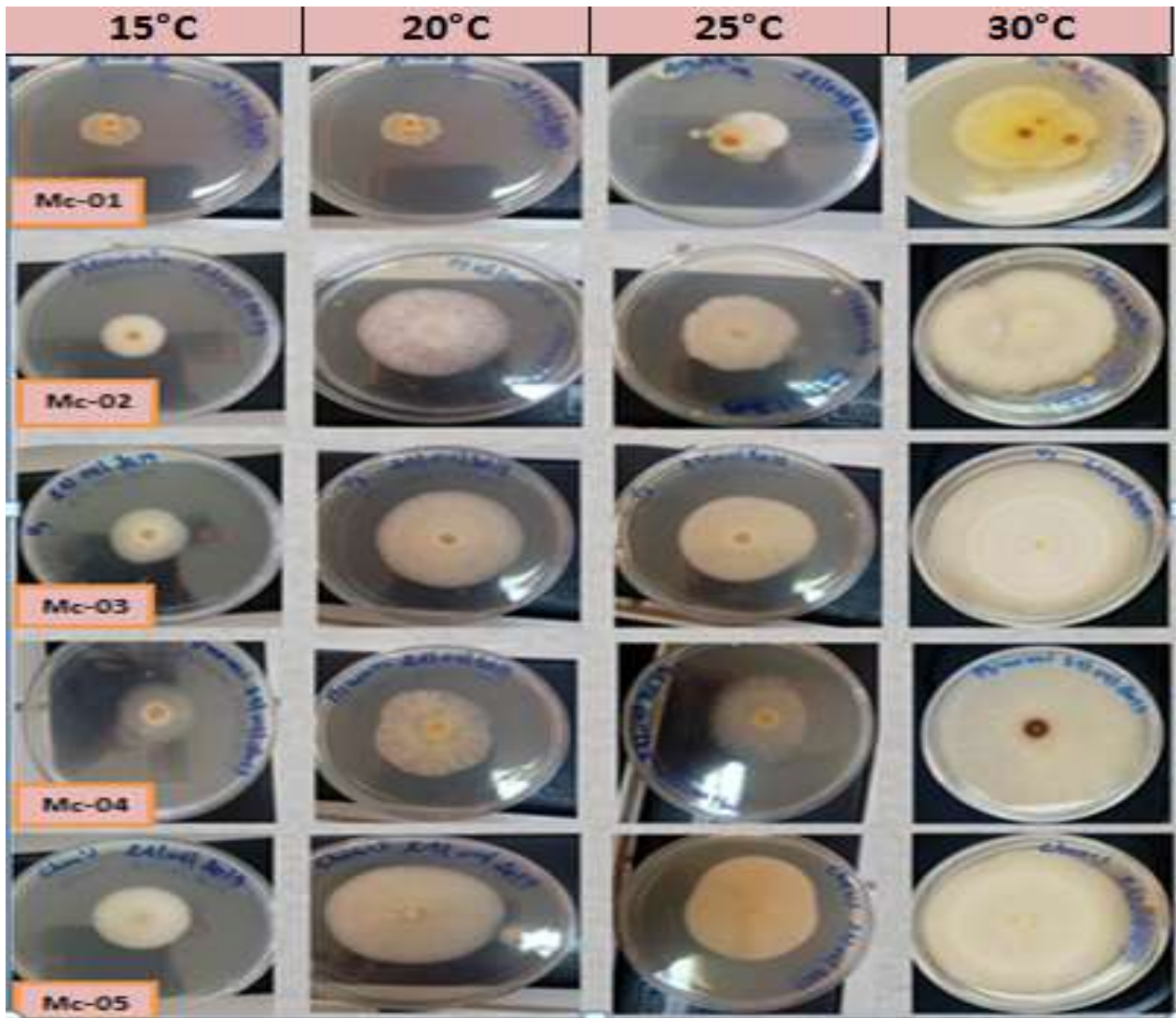


Figure 17 : croissance mycélienne des isolats de *Microdochium* spp. respectivement après 4 jours d'incubation à 15°C, 20°C, 25°C ,30°C.

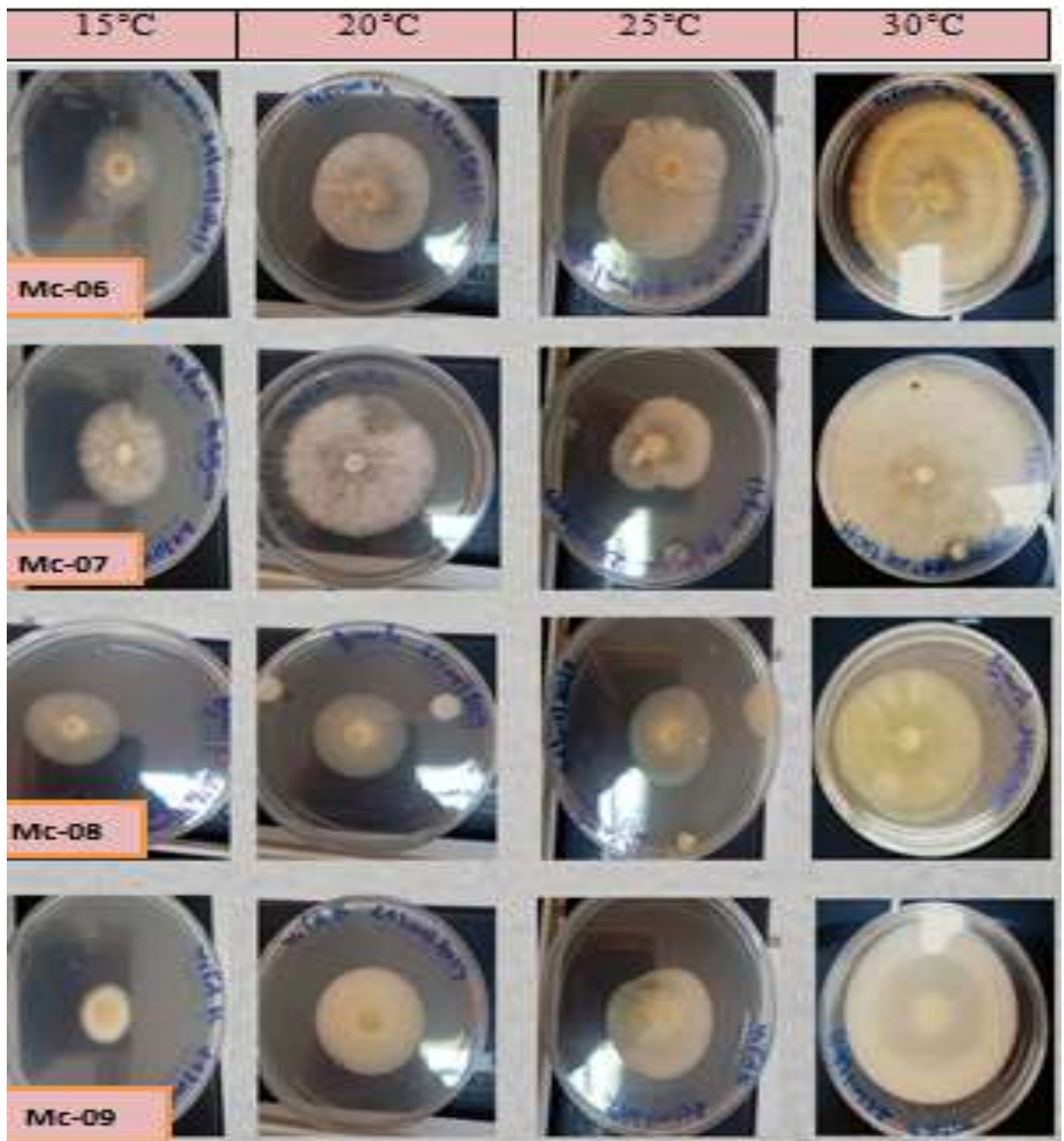


Figure 18 : croissance mycélienne de différents isolats *Microdochium* spp respectivement après 4 jours d'incubation à 15°C, 20°C, 25°C, 30 °C

Tableau 3 : Diamètre moyen (mm) de différents isolats après 4 jours d'incubation à,15°C , 20°C ,25°C ,30 °C

Isolats	15°c	20°c	25°c	30°c
Mc1	15	20,98	17	22,43
Mc2	25,33	8,33	27,30	30,69
Mc3	28,30	32,55	30,20	34,55
Mc4	25,01	30,3	27,97	44,70
Mc5	30,77	35,77	31,15	37,81
Mc6	17,30	36,39	29,55	42,15
Mc7	31,40	39,53	27,40	44,53
Mc8	20,23	24,50	21,33	29,30
Mc9	24,84	26,86	25,65	30,20

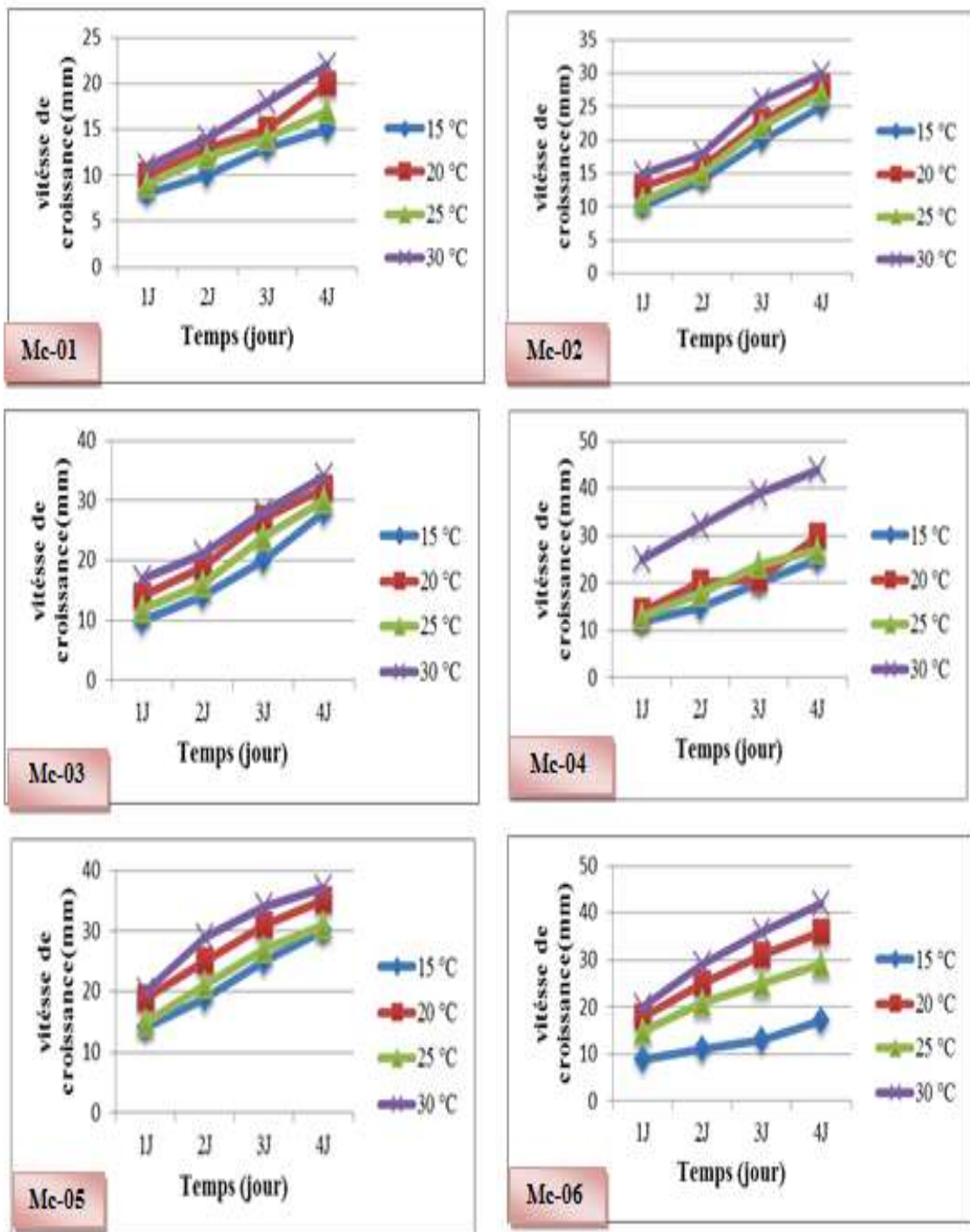


Figure 19 : Cinétique de croissance du mycélium des isolats de *Microdochium* spp. cultivés sur milieu PDA à 15°C, 20°C, 25°C, 30°C.

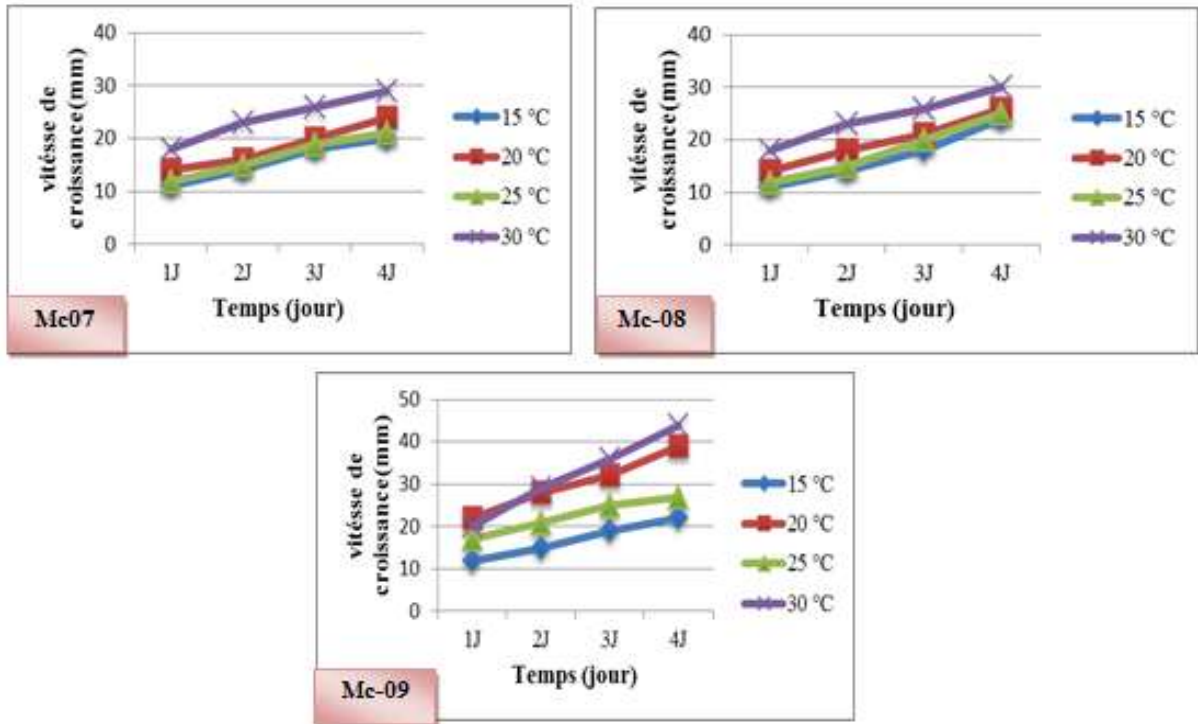


Figure 20: Cinétique de croissance du mycélium des isolats de *Microdochium* spp. cultivés sur milieu PDA à 15°C, 20°C, 25°C, 30°C.

3.3. L'étude de la pathogénicité et de l'agressivité des isolats de *Microdochium* spp . au stade trois feuilles

Afin d'évaluer l'agressivité des isolats de *Microdochium* spp sur le collet de blé dur (Vitron), un essai a été réalisé pendant 21 jours selon la technique d'inoculation par les explants mycéliens.

tous les isolats ont induit des symptômes typiques de la maladie après 10 jour d'inoculation . Pour le témoin non inoculé, durant la période de l'essai, aucun symptôme n'a été observé (Figure.21).

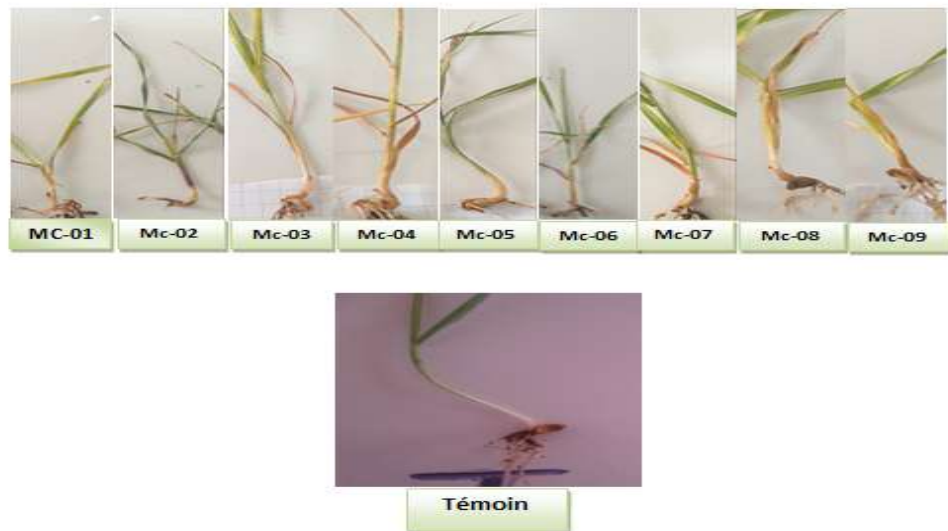


Figure21 : Symptômes d'attaque sur plantules causés par différents isolats de *Microdochium*. Spp (Originale 2019)

Après 21 jours de semis les plantules ont été arrachées, des nécroses au niveau du collet apparaissent clairement après arrachage. La notation des symptômes est réalisée selon une échelle allant de 0 à 3(Figure.22).



Figure22 : Indice de sévérité de *Microdochium* spp .sur des plantules de blé cultivar « Vitron» montrant les quatre niveaux d'attaque (1-5) comparés au témoin(Originale 2019)

Après notations, les indices de maladie ont été calculés pour chaque isolat.

L'isolat Mc- 06 s'est avéré comme le plus agressif sur collet avec un indice d'attaque de 65%. Et en revanche l'isolat Mc - 05 a provoqué les indices d'attaque les plus faibles de l'ordre de 25% (Tableau04).

Les interactions (variétés x isolats) ont été exploitées par une analyse de variance ANOVA réalisée avec le logiciel XLSTAT-PLS software 2008.7.03 (Addinsoft, Paris, France).

les analyses de la variance ont montré que les résultats sont hautement significatifs pour le facteur 2 (isolat) et l'interaction F1 * F2 ($p < 0.0001$).

les résultats de l'interaction F1 * F2 analysés par les tests de comparaison de Tukey Pairwise à un interval de confiance de 95%, ont classé les isolats dans 4 groupes.

L'isolat Mc-01 est le plus agressif sur la variété vitron avec une moyenne d'indice d'attaque de 65 %, représenté dans le groupe A, par contre l'isolat Mc-09 a enregistré la plus faible moyenne d'indice d'attaque de 25 %, représenté dans le groupe C.

Ces tests ont permis aussi de représenter ces données par un model « Interval Plot » illustré dans la(figure22)

Tableau 4 : Répartition des isolats en groupes homogènes selon l'analyse de comparaison de Tukey Pairwise à un interval de confiance de 95% .

Les isolats.(vitron)	Indice d'attaque	Groupe homogènes
Mc-01	65	A
Mc-02	60	A B
Mc-03	58	A B
Mc-04	58	A B
Mc-05	55	A B
Mc-06	55	A B
Mc-07	48	B
Mc-08	30	C
Mc-09	25	C

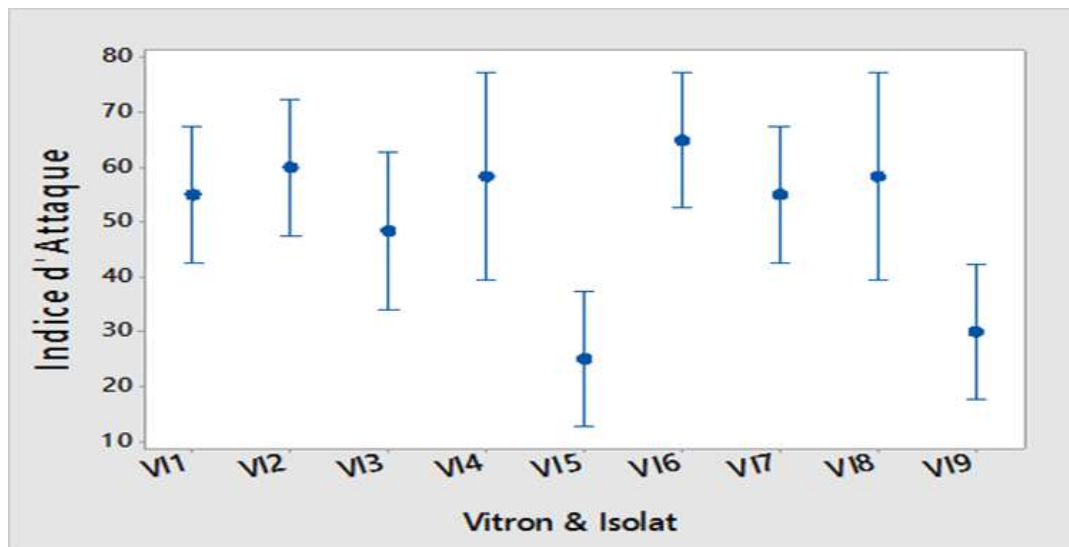


Figure 23 : Interactions entre la variété de blé dur Vitron et les espèces de *Microdochium* spp. (estimée par l'indice d'attaque fongique). Chaque point correspond à la moyenne des trois répétitions biologiques.

3.4. Etude de l'agressivité des isolats de *Microdochium*.spp sur les épis

Dans cette 4^{ème} partie de notre travail, nous nous sommes proposés de mener une étude sur la pathogénie et l'agressivité des isolats sur épi afin de tester aussi la sensibilité des variétés de blé les plus cultivées à la maladie.

Deux méthodes de notation ont été utilisées pour évaluer l'agressivité des isolats de *Microdochium.spp* sur les différentes variétés testées. La première méthode consiste à estimer par le nombre des épillets infestés par épi la surface fusariée sur épi en calculant AUDPC (Area Under Disease Progress Curve) et la deuxième technique est basée sur l'estimation de l'indice d'attaque évalué selon une échelle de notation allant de 1 à 9.

Au cours de cet essai, la sensibilité de quatre variétés blé dur et blé tendre à la fusariose de l'épi a été étudiée. L'inoculation artificielle des différentes variétés a été réalisée au moyen de 9 isolats de *Microdochium spp.*

Une semaine après l'inoculation des épis, des symptômes de la fusariose sur épillets, ont commencé à apparaître sur les épis inoculés. A la fin de l'essai (28 jours après l'inoculation), tous les épillets inoculés ont été complètement atteints. Les épis témoins, n'ont pas montré de symptômes d'attaques.

Les résultats obtenus montrent que les variétés testées ont des niveaux d'infection différents, indiquant que ces variétés n'ont pas le même niveau de résistance. Pour les neuf isolats, l'indice d'attaque varie de 12,33% pour Anza avec l'isolat Mc09 à 98,33% pour Mahona avec l'isolat Mc08 (voir tableau05) Les variétés de blé Tendre Mahouna a l'indices de sévérité le plus élevé,

Nous avons noté un fait intéressant, pour la variété de blé tendre Anza qui s'est comporté comme un matériel résistant en terme d'indice d'attaque (Tableau.05). Anza le meilleur blé tendre testé présentant le plus haut niveau de résistance .

Dans ce test, nous avons noté que Anza a un indice d'attaque de 12,33% avec l'isolat Mc09, cet indice est huit fois inférieurs des quatre indices d'attaque des variétés testées.

Les tests de Newman-Keuls ont classé la variété Mahouna comme la variété la plus sensible à l'infection à l'égard de la fusariose de l'épi avec une moyenne d'indice d'attaque de 92,63%, suivie des variétés Vitron, Amar06 et enfin, Anza qui a enregistré la plus faible moyenne d'indice d'attaque de 32,48%. (Tableau.05).

Tableau 5: Moyennes des indices d’attaques sur les quatre variétés obtenus avec les neuf isolats de *Microdochium spp.*

	1 (ISO1)	2 (ISO2)	3 (ISO3)	4 (ISO4)	5 (ISO5)	6 (ISO6)	7 (ISO7)	8 (ISO8)	9 (ISO9)
1 (mahouna)	78,333	85,000	86,667	95,000	97,667	97,333	97,667	98,333	97,667
2 (anza)	48,333	46,667	25,000	71,667	38,333	20,000	13,333	16,667	12,333
3 (amar6v2)	25,000	26,667	48,333	45,000	70,000	20,000	95,000	96,667	83,333
4 (vitron BD)	41,667	20,000	50,000	23,333	60,333	60,000	97,333	97,000	90,333

Les résultats obtenus ont montré que pour les différentes variétés testées, les moyennes des aires situés sous la courbe d’évolution de la maladie (AUDPC) ne sont pas similaires (Tableau), la variété de blé tendre Mahouna qui a enregistré une moyenne et un intervalle d’AUDPC plus élevée.

Toutefois les variétés testées présentent généralement le même classement des variétés en se basant sur les deux méthodes de notation, que ça soit l’indice d’attaque ou AUDPC. De plus, les résultats ont montré qu’indépendamment des méthodes de notation, l’évaluation de la sévérité des symptômes sur épis a pu être calculer. Ainsi, pour évaluer la pathogénie et l’agressivité des espèces de *Microdochium.spp* les deux systèmes de notation peuvent être utilisées. Cependant, l’estimation de l’indice d’attaque semble être plus facile et demande moins de temps, mais l’AUDPC est plus précise.

Tableau 6 : Moyennes de confiance des surfaces sous la courbe de progression de la maladie (AUDPC, Area Under Disease Progress Curve).

variétés	AUDPC								
	Iso1	iso2	iso3	iso4	iso5	iso6	iso7	iso8	iso9
Mahouna BT	220,5	241,5	224	280	297,5	290,5	308	227,5	276,5
ANZA	154	175	157,5	199,5	154	140	119	119	112
Amar BD	147	150,5	178,5	171,5	189	129,5	248,5	259	273
Vitron BD	196	157,5	164,5	129,5	168	168	266	294	248,5

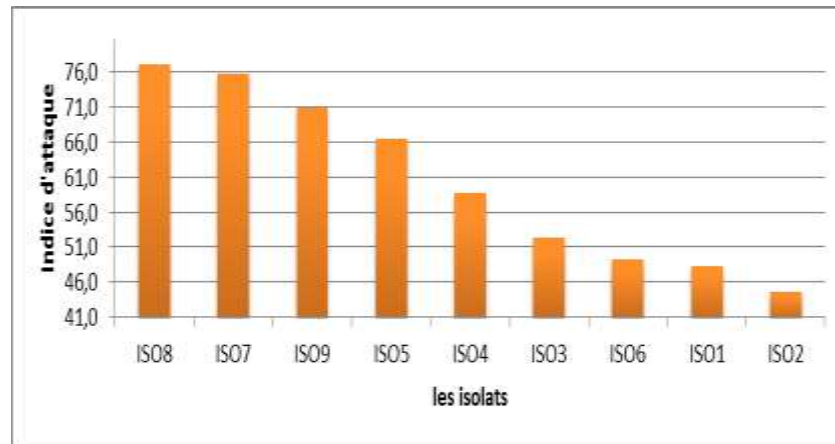


Figure24 .Indice d’attaque des isolats de *Microdochium*.spp sur les épis



Figure25 .Début des symptômes de la fusariose de l’épi

L'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative entre les indices de maladie des isolats, ($p \leq 0,05$) . Le classement des isolats le plus agressive par le test de Newman-keuls a permis de distinguer six groupes homogènes pour la technique de l'inoculation par suspension sporale.

Tableau07 : Répartition des isolats en groupes homogènes selon l'analyse CMM de l'IA (test de Keuls à 5%)

Modalité	Modalité	Moyenne	Groupes homogènes		
ISO8	77,167	A			
ISO7	75,833	A			
ISO9	70,917	A	B		
ISO5	66,583		B		
ISO4	58,750			C	
ISO3	52,500				D
ISO6	49,333				D E
ISO1	48,333				D E
ISO2	44,583				D E

4. Discussions :

Les résultats des isolements ont confirmé la contamination des grains de blé par ce champignon pathogène. En effet après 10-12 d'incubation, les *Fusarium* spp. et *Microdochium* spp. infectant les grains se sont bien développés sur le milieu semi sélectif DCPA.

L'identification morphologique des espèces fongiques isolées des épis de blé attaqués a été basée sur différents critères morphologiques proposés par Ismail *et al.*, (2015) ; Samuel et Hallet, (1983) et Leslie *et al.*, (2006). une collection de 30 isolats du genre *Fusarium* a été purifiée et exploitée pour l'identification. L'identification morphologique a permis de montrer l'implication de 6 espèces à savoir: *F. culmorum*, , *F. pseudograminearum*, *F. graminearum* , *F. tricinctum*, *F. avenaceum* et *Microdochium* spp.

Les résultats de ces isolements ont montré que *F. culmorum* est l'espèce prédominante présente sur grains de blé, suivi par le *Microdochium* spp. et *F. pseudograminearum*, ainsi que d'autres espèces moins présentes comme *F. graminearum*, *F. tricinctum* et *F. avenaceum* sont également recensées.

Nos résultats sont en accord avec des travaux récents réalisés en Algérie, qui ont montré que l'espèce *F. culmorum*, est majoritairement présente sur le blé en Algérie (Touati-Hattab *et al* 2016 et Laraba *et al.*,2017).

Aussi, les études menées par Bouaicha , (2016) et Abdallah-Nekache, (2019) ont confirmé la prévalence des deux espèces (*M. nivale* et *M. majus*) sur blés en Algérie.

Les deux espèces *F. culmorum* et *F. pseudograminearum* ont été signalées comme espèces dominantes dans de nombreux pays méditerranéens, la Syrie et l'Égypte (Alkadri *et al.*, 2013, Balmas *et al.*, 2015) et l'Italie (Rossi *et al.* 1995, Scherm, 2013, Balmas *et al.*, 2015) y compris l'île de Sardaigne (Balmas *et al.*, 2015).

Le *Microdochium nivale* a été aussi décrit dans les régions humides de la Syrie (Van Leur et Bailey, 2000). En Tunisie *M. nivale* var. *nivale* a été identifié comme l'espèce la plus fréquente (63, 5%); elle a été isolée à partir de presque 90% des échantillons récoltés (Kammoun *et al.*, 2010).

L'étude de la croissance mycélienne des 09 isolats à différentes températures (15°C ,20°C ,25°C, 30°C) a montré que l'intervalle de croissance des isolats *Microdochium*.spp. est

situé entre 15°C et 30°C et qu'il existe une différence dans l'optimum de croissance entre les isolats. Il s'est avéré que l'optimum de la croissance mycélienne de l'espèce *Microdochium.spp* est situé à 20,30°C pour tous les isolats. Brennan et *al.*, (2003) ont trouvé que *M. nivale* et *M. majus* avaient un optimum de croissance situé à 20°C. De même Arsvoll (1975) a rapporté que l'optimum de croissance se situe entre 18-21°C et que l'intervalle de croissance se situe entre -6 °C et 28° (Tronsmo et *al.*, 2001). Par contre Hudec et *al.*, (2010) ont trouvé que *M. nivale* et *M. majus* poussaient mieux sur milieu PDA à 15°C.

Différentes méthodes d'inoculation ont été décrites dans la littérature pour évaluer l'agressivité des espèces fongiques impliquées dans la fusariose et la pourriture racinaire du collet. Ces méthodes incluent : l'inoculation des grains en les plaçant sur du papier-filtre imbibé d'inoculum (Brennan et *al.*, 2003), l'inoculation des plantules soit en utilisant un sol infesté (Eken et *al.*, 2011) soit des grains inoculés (Mishra et *al.*, 2003 ; Hajieghrari, 2009), l'inoculation des plantules par l'ajout sur la surface du substrat de grains inoculés et broyés (Wang et *al.*, 2006 ; chekali et *al.*, 2013).

L'inoculation peut se faire également par une suspension sporale (Carter et *al.*, 2002 ; kammoun et *al.*, 2010) ou l'inoculation par fragments mycéliens à la base du collet (Fernandez et Chen, 2005 ; Tunali et *al.*, 2006).

Au cours de cette étude et afin d'évaluer l'agressivité de isolats de *Microdochium.spp* sur la partie basale du collet par la technique au stade trois feuilles qui sont déposés de manière adjacente aux graines lors du semis. Le test a été réalisé sur 09 isolats de *Microdochium.spp*, tous les isolats ont induit des symptômes sur plantules de blé.

En effet, nos résultats ont montré, que tous les isolats ont induit des brunissements sur collet avec des indices de sévérités différents. Ainsi l'agressivité des isolats varie entre les isolats qui peuvent appartenir aux deux espèces (*M.nivale* et *M.majus*), Il est à noter que les indices de maladies obtenus par inoculation par fragments mycéliens.

Néanmoins, la technique d'inoculation par explants mycéliens semble être plus facile à réaliser et demande moins de temps ; sachant que cette méthode d'inoculation a été précédemment utilisée par Fernandez et Chen (2005), Tunali et *al.*, (2006), Hajieghrari (2009) et Ren et *al.*, (2015).

L'étude de l'agressivité des isolats de *M. majus* et *M. nivale* sur collet a montré une variabilité significative dans l'agressivité des isolats. Brennan et *al.*, (2003) ; Abdallah, (2013) ont montré que les isolats de *M. nivale* et *M. majus* sont faiblement agressifs sur collet. Contrairement à ces résultats, Demirci et Dane (2003) ont trouvé que les isolats de *M. nivale* sont fortement agressifs. Ren et *al.*, (2015) ont montré que les isolats de *M. nivale* sont plus agressifs sur collet que les isolats de *M. majus*. Parry et *al.*, (1994) ont constaté que la température a un effet sur la pathogénicité et l'agressivité de l'espèce *Microdochium.spp* sur sa plante hôte.

L'agressivité d'une collection de 9 isolats de *Microdochium.spp* sur épi avait été réalisée par pulvérisation d'une suspension de spores. Les résultats de cet essai ont indiqué que tous les isolats testés ont induit des symptômes typiques de la fusariose de l'épi mais avec des degrés d'attaque différents. Les indices d'attaques enregistrés varient selon l'isolat. Les pourcentages d'infections de nos isolats varient entre 33,33 et 66,66 %. En Irlande, Diamond et Cooke (1999) ont noté une sévérité élevée de leurs isolats sur les plants de blé après 25 jours de l'inoculation. En revanche les travaux de Stack et McMullen (1985) et Brennan et *al.*, (2005) sur des collections Américaines et Irlandaises de *Microdochium spp.* ont rapporté une agressivité très basse de leurs isolats de *M. nivale* et *M. majus* sur blé.

Nos résultats apportent une évaluation des variétés de blé utilisées en Algérie pour la tolérance à la fusariose causée par des souches locales de *Microdochium spp.* Les quatre variétés ont en effet montré, après inoculation, de sérieuses différences concernant le degré d'infection par *microdochium spp.*

En considérant nos résultats dans les conditions climatiques algériennes, la classification des variétés des moins sensibles aux plus sensibles peut s'établir comme suit: Anzaz(BT)> Amar+Vitron(BD)>Mahouna(BD).

Conclusion

Le blé constitue une céréale d'importance primordiale d'un point de vue économique et en tant que denrées alimentaires pour l'homme. En Algérie la culture du blé est parmi les grandes cultures ayant une importance dans la politique agricole du pays.

La pourriture racinaire et la fusariose de l'épi sont deux maladies dévastatrices causées par un complexe d'espèces fongique. Les espèces *M. nivale* et *M. majus* représentent ensemble le deuxième agent causal de ces maladies en Algérie. Lors de cette étude, nous avons réalisé une caractérisation morphologique culturelle, pathologique.

Les isolements effectués à partir de grains de blé ont permis d'obtenir une collection 30 isolats. L'identification morphologique des agents responsables a permis d'identifier 6 espèces à savoir : *F. culmorum*, *Microdochium* spp, *F. pseudograminearum*, *F. graminearum*, *F. tricinatum* et *F. avenaceum*.

Le test de l'effet d'une gamme de température sur la croissance mycélienne *in vitro* des isolats de *Microdochium* spp. a montré que l'optimum de croissance est situé entre 20°C et 30 °C pour tous les isolats et que le taux de croissance augmente entre les températures 15°C et 30°C.

L'étude de la pathogénicité et de l'agressivité des isolats de *Microdochium* spp sur collet et sur épi de blé a montré que tous les isolats ont induit les symptômes typiques de la pourriture racinaire et de la fusariose de l'épi.

En conclusion, la présente étude a permis de confirmer l'identité morphologique des isolats de l'agent pathogène (*Microdochium* spp.), isolé pour la première fois à partir de grains de blé en Algérie« unpublished data ». et récemment identifié comme le deuxième agent causal de la fusariose de blé et de la pourriture racinaire en Algérie.

En perspective, notre travail a porté sur une petite collection (9 isolats) de *Microdochium* spp . Ainsi, il serait intéressant d'élargir la collection par des prospections dans d'autres régions céréalières dans l'Est, le Centre et l'Ouest du pays.

Il est également recommandé de confirmer l'identification morphologique par une identification moléculaire des deux espèces *M. nivale* et *M. majus* ou la distinction est impossible sur le plan morphologique et microscopique dans le but d'établir une meilleur gestion de la maladie.

Références bibliographique

1. **Abdallah, N. 2013.** Complexe fongique pourriture racinaire et fusariose de l'épi: Étude pathologique et lutte biologique avec *Trichoderma atroviride* P. Karsten. Mém. Mag. Agr. E.N.S.A. El-Harrach. 169 p.
2. **Aït-Abdallah-Djennadi, F., Dekkiche, N., Ghalem-Djender, Z., Oumedjekane, K. et Zaghouane-Boufenar, F. 2010.** Cultures et couts de production des grandes cultures. I.T.G.C. El-Harrache, Alger. 16 p.
3. **Akinsanmi, O.A., Backhouse, D., Simpfendorfer, S., et Chakraborty, S. 2006.** Pathogenic variation of *Fusarium* isolates associated with head blight of wheat in Australia. *Journal of Phytopathology* 154: 513-521.
4. **Anonyme.2014.**Statistique Agricole Superficie et Production, Serie B. Direction des Statistique Agricole et des Système d'information. 72p.
5. **Anonyme.2014.**Statistique Agricole Superficie et Production, Serie B. Direction des Statistique Agricole et des Système d'information. 72p.
6. **AOKI T., & O'DONNELL, K. 1999.** Morphological and molecular characterization of *Fusarium pseudograminearum* sp. nov., formerly recognized as the Group 1 population of *F. graminearum*. *Mycologia* 91: 597-609.
7. **Aoki, T., et O'Donnell, K. 1999.** Morphological and molecular characterization of *Fusarium pseudograminearum* sp. nov., formerly recognized as the Group 1 population of *F. graminearum*. *Mycologia* 91: 597-609.
8. **ARSENIUK E., FOREMSKA E., GORAL T. & CHELKOWSKI J. 1999.** *Fusarium* head blight reactions and accumulation of deoxynivalenol (DON) and some of its derivatives in kernels of wheat, triticale and rye. *Journal of Phytopathology*, 147, 577-590.
9. **ARSENIUK E., GORAL G. & CZEMBOR H.J. 1993.** Reaction of triticale, wheat and rye accessions to graminaceous *Fusarium* spp. infection at the seedling and adult plant growth stages. *Euphytica*, 70, 175-183.
10. **Arsvoll, K., 1975.** Fungi causing winter damage on cultivated grasses in Norway. *Meld. Norge. LandbrUgs.* 54 (9): 49 p.
11. **AUDENAERT, K., VAN BROECK, R., BEKAERT, B., DEWITTE, F., HEREMANS, B., MESSENS, K., HÖFTE, M. & HAESAERT, G., 2009.** *Fusarium* head blight (FHB) in Flanders: population diversity, inter-species associations and DON contamination in commercial winter wheat varieties. *Eur. J. Plant Pathol.* 125, 445–458.

Références bibliographique

12. **BECHTEL, D. B., KALEIKAU, L. A., GAINES, R. L. & SEITZ, L. M. 1985.** The effects of *Fusarium graminearum* infection on wheat kernels. *Cereal Chemistry*, 62, 191-197
13. **BENTLEY, A.R., CROMEY, M.G., FARROKHI-NEJAD, R., LESLIE, J.F., SUMMERELL, B.A. & ETBURGESS, L.W. 2006.** *Fusarium* crown and root rot pathogens associated with wheat and grasses on the South Island of New Zealand. *Australasian Plant Pathology* 35: 495- 502.
14. **BOTTALICO, A. & PERRONE, G. 2002.** Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *European Journal of Plant Pathology*, 108,
15. **BOTTALICO, A. 1998.** *Fusarium* disease of cereals: Species complex and related mycotoxin profiles in Europe. *Journal of Plant Pathology*, 80, 19.
16. **BOULAL, H., ZAGHOANE, O., EL MOURID, M. & REZGHI, S. 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie).
17. **BOUREGHDA , H., DJEGHMOUM , C. & BOUROUBI, N. 2010.** Study of in vitro growth and pathogenicity of some isolates of *Fusarium* spp.: causal agent of *Fusarium* Head Scab and Root Rot of wheat (poster). Le proceeding du congrès MPU Rome.
18. **Boutigny, A.L., 2007.** Etude de l'effet de composés du grain de blé dur sur la régulation de la voie de biosynthèse des trichothécènes B: purification de composés inhibiteurs, analyse des mécanismes impliqués. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux, France.
19. **BOZZINI A. 1988.** Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. Dans Fabriani G. et C. Lintas (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACC (Minnesota), États-Unis. p. 1-16.
20. **Brennan, J. M., Fagan, B., Van Maanen, A., Cooke, B.M. et Doohan, F.M. 2003.** Studies on in vitro growth and pathogenicity of European *Fusarium* fungi. *European Journal of Plant Pathology* 109: 577-587.
21. **Carter, J.P., Rezanoor, H.N., Holden, D., Desjardins, A.E., Plattner R.D. et Nicholson, P. 2002.** Variation in pathogenicity associated with the genetic diversity of *Fusarium graminearum*. *European Journal of Plant Pathology* 108: 573-583.
22. **CHAMPEIL, A., DORE T. & FOURBET J.F. 2004 (a).** *Fusarium* head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and

Références bibliographique

- the production of mycotoxins by *Fusarium* in wheat grains. *Plant Science* 166: 1389-1415.
23. **CHAMPEIL, A., DORE, T. & FOURBET, J. F. 2004 (b).** *Fusarium* head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by *Fusarium* in wheat grains. *Plant Science*, 166, 1389-1415.
24. **Chekali, S., Gargouri, S., Berraies, S., Gharbi, M.S., Nicol, M.J. et Nasraoui, B. 2013.** Impact of *Fusarium* foot and root rot on yield of cereals in Tunisia. *Tunisian Journal of Plant Protection* 8: 75-86.
25. **Couture, L. 1982.** Réceptivité de cultivars de céréales de printemps à la contamination des grains sur inflorescence par les *Fusarium* spp. *Canadian Journal of Plant Science* 62: 29-34.
26. **Cromey, M.G., Shorter, S.C., Lauren, D.R., et Sinclair, K.I. 2002.** Cultivar and crop management influences on *Fusarium* head blight and mycotoxins in spring wheat (*Triticum aestivum*) in New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 30: 235-247.
27. **Da Luz, W.C., Stockwell, C.A., et Bergstrom, C.A. 2003.** Biological control of *Fusarium graminearum*. In: K.J. Leonard, et W.R. Bushnell, Editors, 2003. *Fusarium Head Blight of Wheat and Barley*, American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, p 381-394.
28. **Demirci, E. et Dane, E. 2003.** Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. from stem bases of Winter Wheat in Erzurum, Turkey. *Phytoparasitica* 3: 170-173.
29. **Diamond H, Cooke BM, 1999.** Towards the development of a novel in vitro strategy for early screening of *Fusarium* ear blight resistance in adult winter wheat plants. *European Journal of Plant Pathology* 105: 363 -72.
30. **Diamond, H., et Cooke, B. 2003.** Preliminary studies on biological control of *Fusarium* ear blight complex of wheat. *Crop Protection* 22: 99-107.
31. **Dill-Macky, R., et Jones, R.K. 2000.** The effect of previous crop residues and tillage on *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Disease* 84: 71-76.
32. **DONMEZ, E., R.G. SEARS, J.P. SHROYER ET G.M. PAULSEN. 2000.** Evaluation of Winter Durum Wheat for Kansas. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Publication No 00-172-S.

Références bibliographique

33. Eken, C., Bulut, S., Öztürk, A., Dane, E., Çağlar, O. et Demireci, E. 2011. Screening of wheat germ plasm for resistance to *Microdochium nivale* under field conditions. *The Journal of Animal and Plant Sciences* 21(1): 72-77.
34. FAO 2016. Production de blé en Algérie. <https://fr.actualitix.com/pays/dza/algerie-ble-production.php.A>.
35. FEILLET, P. 2000. Le grain de blé composition et utilisation. In: INRA EDITIONS, Paris, France, p. 308.
36. Fernandez, M.R. et Chen, Y. 2005. Pathogenicity of *Fusarium* species on different plant parts of spring wheat under controlled conditions. *Plant Disease* 89: 164-169.
37. Fernandez, M.R. et Chen, Y. 2005. Pathogenicity of *Fusarium* species on different plant parts of spring wheat under controlled conditions. *Plant Disease* 89: 164-169.
38. GLYNN, N. C., HARE, M. C., PARRY, D. W., & EDWARDS, S. G. 2005. Phylogenetic analysis of EF-1 alpha gene sequences from isolates of *Microdochium nivale* leads to elevation of varieties majus and nivale to species status. *Mycological Research*, 109, 872–880.
39. GOSWAMI R.S. & KISTLER H.C. 2004 Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology*, 5, 515-525.
40. Hajieghrari B. 2009. Wheat crown and root rotting fungi in Moghan area, Northwest of Iran. *African Journal of Biotechnology* 8 (22): 6214-6219.
41. HAMADACHE, A. 2013. Élément de phytotechnie générale-Grandes cultures-Principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du Nord (agriculture conventionnelle) Tome I: Le blé, p.230.
42. Hecker, A., Bänziger, I., Jenny, E., Forrer, H.R., et Vogelgsang, S. 2004. Less *Fusarium* toxins by choosing the right varieties? (in German) *Agrarforschung* 11: 384-389.
43. HOCKING A. & ANDREWS S. 1987. Dichloran chloramphenicol peptone agar as an identification medium for *Fusarium* species and some dematiaceous hyphomycètes. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 89 (2). 239-244.
44. Horberg, H.M. 2002. Patterns of splash dispersed conidia of *Fusarium poae* and *Fusarium culmorum*. *European Journal of Plant Pathology* 108: 73-80.
45. Hudec M. et Muchová D. 2010. Influence of Temperature and Species Origin on *Fusarium* spp. and *Microdochium nivale* Pathogenicity to Wheat Seedlings. *Plant Protection Science* 46 (2): 59-65.

Références bibliographique

46. Jurgensen, J.E., Bowden, R.L., Zeller, K.A., Leslie J.F., et Alexander, N.J. 2002. A genetic map of *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*). *Genetics* 160: 1451-1460.
47. Kammoun -Gargouri, L., Gargouri, S., Barreau, C., Richard-Forget, F. et Hajlaoui, M.R. 2010. Trichothecene chemotypes of *Fusarium culmorum* infecting wheat in Tunisia. *International Journal of Food Microbiology* 140: 84 – 89.
48. Kang, Z., et Buchenauer, H. 2000. Cytology and ultrastructure of the infection of wheat spikes by *Fusarium culmorum*. *Mycological Research* 104: 1083-1093.
49. Khan, S.H., Idress, M., Muhammad, F., Mahmood, A. et Zaidi, S.H. 2004. Incidence of shisham (*Dalbergia sissoo* Roxb.) decline and In vitro response of isolated fungus spp., to various fungicides. *International Journal of Agriculture and Biology* 6: 611-614.
50. Kheyar, M.O., Amara, M. et Harrad, F. 2008. La mécanisation de la céréaliculture Algérienne : constat et perspectives. *Annales de l'Institut National Agronomique- El-Harrach* 28 (1-2): 95-102.
51. Kurek, E., Jaroszuk, C.S., et Shtssls, J.Z. 2003. Rye (*Secale cereale*) growth promotion by *Pseudomonas fluorescens* strains and their interactions with *Fusarium culmorum* under various soil conditions. *Biological Control* 26: 48-56.
52. LEES, A. 1995. Diagnosis and Control of Foot Rot Pathogens of Wheat. Buckinghamshire, UK: Open University, PhD thesis, 353p.
53. LEONARD, K. J. & BUSHNELL, W. R. 2003. *Fusarium* head blight of wheat and barley, St. Paul, Minn., APS Press, pp 120-143.
54. LEONARD, K. J. & BUSHNELL, W. R. 2003. *Fusarium* head blight of wheat and barley, St. Paul, Minn., APS Press, pp 120-143.
55. LESLIE J.F. & SUMMERELL B.A. 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. In: Blackwell publishing, 388p.
56. Leslie, J. et Summerell, B. 2006. The *Fusarium* laboratory manual. First edition. Blackwell Publishing. 387 p.
57. LNPV, 2002. Détection et identification des espèces de *Fusarium* spp. et *Microdochium nivale* sur grains de céréales par isolement mycologique semi sélectif et étude microbiologique ». LNPV. Malzeville. MH/03/16 version a. 26p.
58. LORI, G. A., SISTERNA, M. N., SARANDON, S. J., RIZZO, I. & CHIDICHIMO, H. 2009. *Fusarium* Head Blight in wheat : impact of tillage and other agronomic practices under natural infection. *Crop Protection* 28: 495-502.

Références bibliographique

59. **LORI, G. A., SISTERNA, M. N., SARANDON, S. J., RIZZO, I. & CHIDICHIMO, H. 2009.** *Fusarium* Head Blight in wheat : impact of tillage and other agronomic practices under natural infection. *Crop Protection* 28: 495-502.
60. **MASCHER F., MICHEL V. & BROWNE R. A, 2005.** Sélection de variétés de blé et de triticale résistantes à la fusariose sur épi . *Agroscope*. 375: 189-194 p.
61. **MC MULLEN, M., JONES, R. & GALLENBERG, D. 1997.** Scab of Wheat and Barley: A Reemerging Disease of Devastating Impact. *Plant Disease*, 81, 1340-1348.
62. **MESTERHAZY, A. 1995.** Types and components of resistance to *Fusarium* Head Blight of wheat. *Plant Breeding*, 114(5): 377-386.
63. **Mishra, P.K., Fox, R.T.V. et Culham, A. 2003.** Inter-simple sequence repeat and aggressiveness analyses revealed high genetic diversity, recombination and long-range dispersal in *Fusarium culmorum*. *Annals of Applied Biology* 143: 291-301.
64. **Nelson, P.E., Toussoun, T.A., et Marasas, W.F.O. 1983.** *Fusarium* species, an illustrated manual for identification. The Pennsylvania University Press, London.
65. **PARRY, D. W., JENKINSON, P. & MCLEOD, L. 1995.** *Fusarium* Ear Blight (scab) in small grain cereals-a review. *Plantpathology*, 44, 207-238
66. **Paul, P.A., El-Allaf, S.M., Lipps, P.E., et Madden, L.V. 2004.** Rain splash dispersal of *Gibberella zeae* within wheat canopies in Ohio. *Phytopathology* 94: 1342-1349.
67. **RASTOIN, J.L & BENABDERRAZIK, E. 2014.** Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb Pour un co-développement de filières territorialisées. *IPEMED*. p32.
68. **Ren R. Yang X. Ray R V. 2015.** Comparative aggressiveness of *Microdochium nivale* and *M. majus* and evaluation of screening methode for *Fusarium* seedling blight resistance in wheat cultivars. *European Journal of Plant Pathology* 141: 281-294.
69. **Schiff, C.L., Wilson I.W., et Somerville, S.C. 2001.** Polygenic powdery mildew disease resistance in *Arabidopsis thaliana*. Quantitative trait analysis of the accession Warschau-1. *Plant Pathology* 50: 690-701.
70. **Schisler, D.A. Khan, N.I., Boehm, M.J., et Slininger, P.J. 2002.** Greenhouse and field evaluation of biological control of *Fusarium* head blight on durum wheat. *Plant Disease* 86: 1350-1356.
71. **Schmale, D.G., Shah, D.A., et Bergstron, G.C. 2005.** Spatial patterns of viable spore deposition of *Gibberella zeae* in wheat fields. *Phytopathology* 95: 472-479.
72. **SCHOLLENBERGER M., MULLER H.M., RUFLE M., TERRY-JARA H., SUCHY S., PLANK S. & DROCHNER W. 2007.** Natural occurrence of *Fusarium*

Références bibliographique

- toxins in soy food marketed in Germany. *International Journal of Food Microbiology*, 113, 142-146.
73. Shaner, G., et Finny, RE. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopatology* 67: 1051-1056.
74. SIMPSON, D.R., THOMSETT, M.A., ET NICHOLSON, P. 2004. Competitive interactions between *Microdochium nivale* var. majus, *M. nivale* var. nivale and *Fusarium culmorum* in planta and in vitro. *Environmental Microbiology* 6: 79-87.
75. Stack, R.W. et McMullen, M.P. 1985. Head blighting potential of *Fusarium* species associated with spring wheat heads. *Canadian Journal of Plant Pathology* 7: 79-82.
76. SUTTON, J. C. 1982. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 4, 195-209.
77. Talas, F., Kalih, R. et Miedaner, T. 2012. Within-Field Variation of *Fusarium graminearum* Isolates for Aggressiveness and Deoxynivalenol Production in Wheat Head Blight. *Phytopathology* 102: 128-134.
78. Touati-Hattab, S., Barreau, C., Verdal-Bonnin, M.N.C., Hereau, S., Richard-Forget, F., Hadjout, S., Mekliche, L. et Bouznad, Z. 2016. Pathogenicity and trichothecenes production of *Fusarium culmorum* strains causing head blight on wheat and evaluation of resistance of the varieties cultivated in Algeria. *European Journal of Plant Pathology* (DOI 10.1007/s10658-016-0869-y).
79. Trombete, F., Barros, A., Vieira, M., Saldanha, T., Venâncio, A. et Fraga, M. 2016. Simultaneous Determination of Deoxynivalenol, Deoxynivalenol-3-Glucoside and Nivalenol in Wheat Grains by HPLC-PDA with Immunoaffinity Column Cleanup. *Food Analytical Methods* (DOI 10.1007/s12161-016-0450-5)
80. Tronsmo, A. M., Hsiang, T., Okuyama, H. et Nakajima, T. 2001. Low temperature diseases caused by *Microdochium nivale*. *Hokkaido National Agricultural*: 75-86 pp.
81. Tunali, B., Nicol, J., Yelda, Erol, F. et Altıparmak, G. 2006. Pathogenicity of Turkish crown and head scab isolates on stem bases on winter wheat under greenhouse conditions. *Journal of Plant Pathology* 5: 143-149.
82. Waalwijk, C., Kastelein, P., Vries, I.d., Kerenyi, Z., Lee, T.v.d., Hesselink, T., Kohl, J. et Kema, G. 2003. Major changes in *Fusarium* spp. in wheat in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology* 109: 743-754.
83. Wagacha, J.M., et Muthomi, J.W. 2007. *Fusarium culmorum*: infection process, mechanisms of mycotoxin production and their role in pathogenesis in wheat. *Crop Protection* 26: 877-885.

Références bibliographique

84. **WALTER, S., NICHOLSON, P. & DOOHAN, F. M. 2009.** Action and reaction of host and pathogen during *Fusarium* head blight disease. *New Phytol*, 185, 54-66
85. **Wang, B., Brubaker, C.L., Tate, W., Woods, M.J., Matheson, B.A. et Burdon, J.J. 2006.** Genetic variation and population structure of *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum* in Australia. *Plant Pathology* 55:746-755.
86. **Wang, Y.Z. et Miller, J.D. 1988.** Effects of metabolites on wheat tissue in relation to *Fusarium* head blight resistance. *Journal of Phytopathology* 122: 118-125.
87. **XU, X. M. & BERRIE, A. M. 2005.** Epidemiology of mycotoxigenic fungi associated with *Fusarium* ear blight and apple blue mould: a review. *Food Addit Contam*, 22, 290-301.
88. **Zadoks, J.C., Chang, T.T., et Konzak, C.F. 1974.** A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.

ملخص :

تعفن الجذور و لفحة السنابل هي امراض فطرية تصيب القمح و تسبب خسائر كبيرة كما ان النوع *Microdochium spp* احدى العوامل المسببة لهذه الامراض .
التعريف ل 30 عزلة من *Fusarium sp* و *Microdochium spp* المتحصل عليها من ذرة القمح تبين ان 62 % من العزل ظهرت عند النوع *Fusarium* و 10% عند النوع *Microdochium*. دراسة تأثير درجة الحرارة على تطور 9 عزلات من *Microdochium spp* اظهر ان النمو الامثل هو 20 و 30 في جميع العزلات
دراسة العدوانية تمثل في تقنين واحد على الجذور و اخرى على السنابل بالنسبة للعدوانية على السنابل و على الجذور كل العزلات كانت عدائية مع درجة تغير كبيرة .

كلمات مفتاحية : تعفن الجذور- لفحة السنابل - *Fusarium sp-Microdochium spp* – العدوانية.

Résumé

Les fusarioses sont des maladies fongiques qui sévissent à travers le monde, elles s'attaquent aux cultures de blé et provoquent des pertes considérables. *M.icrodochium spp.* font partie des agents causaux de ces maladies.

L'identification de 30 isolats de *Fusarium sp* et *Microdochium spp.* obtenus à partir de grains de blé a montré que 62 % des isolats appartiennent au genre *Fusarium* et 10 % au genre *M.icrodochium*. L'étude de l'effet de la température sur la croissance de 9 isolats de *Microdochium spp.* *in vitro* a montré que l'optimum de croissance est situé à 20°C et 30°C pour tous les isolats.

Les tests de l'agressivité dans cette étude ont été évalués sur le collet et l'épi. L'essai de l'évaluation de l'agressivité sur collet et épi a montré que tous les isolats ont induit les symptômes typiques de la pourriture sur collet et de la fusariose sur épi avec une variabilité dans l'agressivité.

Mots clés : Pourriture racinaire - Fusariose de l'épi – *Microdochium spp.* - Croissance *in vitro* Agressivité.

Abstract

Fusarium head blight and Fusarium crown rot and foot rot are fungal diseases prevalent worldwide; they cause huge yield losses on wheat crops. *Microdochium spp* are part of the causal agents of these diseases.

The identification of a set of 30 isolates of de *Fusarium sp and Microdochium spp.* obtained from wheat showed that 62% of the isolates belong to the genus *Fusarium* and 10% *M.icrodochium*. The essay of the effect of temperature on isolates growth *in vitro* showed that the optimum of growth is situated at 20°C and 30° C for all isolates.

The aggressiveness of these isolates was evaluated on the collar and ear. The test for assessing the aggressiveness on collar and ear showed that all isolates induced the typical symptoms of FCR and FHB with variability in the disease indices.

Keywords: FCR - FHB - *Microdochium spp* - *In vitro* growth - Aggressiveness