



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE DE SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Guettaf Fatiha

DOMAINE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

SPECIALITE : protection des végétaux et de l'environnement

Thème

**Etude de l'agressivité de six espèces de
Fusarium
sur le blé**

Jury de soutenance :

Mlle. Marfoua M
Mlle. Ameer D
Mme. Touati S

Président
Examineur
Encadreur

Promotion : Juin-2016



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة عمار ثليجي - الأغواط

كلية/معهد: العلوم
قسم: العلوم الفلاحية

مذكرة ماستر

تقديم الطالب (ة): قطاف فتيحة

ميدان: العلوم الطبيعية والحياة

شعبة: علوم فلاحية

تخصص: حماية نبات وبيئة

موضوع البحث

دراسة تمييز ستة عزلات الفوزار يوم على القمح

أعضاء لجنة المناقشة:

الاسم واللقب	الدرجة العلمية	الصفة
مرفوعة مريم	رئيسا	
عامر جميلة	ممتحن أول	
تواتي سهام	مشرفا	

الدفعة: جوان-2016



Dédicace



Je voudrais dédier ce modeste travail à :

Ma très chère mère pour tout son amour son encouragements indéfectible.

Mon très chère père qui a tant sacrifié pour nous, pour son tendresse depuis ma naissance et leurs patience pendant mes années d'étude.

*que **dieu** leurs accorde une longue vie.*

Mes chers frères : Hamza, Salah, Youcef.

Mes chères sœur : Fatima, Aicha, Khadidja, Yasmina, Khawla.

Mon promoteur Mme Touati Sihem.

A toute ma famille.

A mes chers amis, surtout Nour El Hoda , à mes collègues et à tous ceux qui m'ont soutenu.

A Boudjema pour tout son encouragement et soutien.



Fatiha





Remerciement



Avant tout Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné le privilège et la volonté pour terminer ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude, mon profond respect et mes sincères remerciements à ma promotrice **Mme Touati Sihem** pour avoir accepté de m'encadrer, pour sa présence et sa disponibilité permanente, également sa pertinence et ces remarques, ces corrections et ses conseils qui m'ont permis d'améliorer mon travail, grâce à son gentillesse et sa qualité humaine m'ont permis de réaliser ce présent travail.

J'exprime mon grand respect et mes remerciements aux membre de jurys

Je n'oublie pas **Melle Ameer djamila** pour sa bienveillance, et pour ces nombreux conseils.

Mes vifs remerciements s'adressent également à tous mes enseignant de faculté de sciences d'agronomie.

J'aimerais remercier aussi mes parents source de courage, mes frères, mes belles sœurs, et toute ma famille.

Toute l'équipe du laboratoire, pour leur amitié et toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Et enfin mes amis de spécialité de Protection des végétaux et environnement.



Fatiha



Sommaire

DEDICACE.....	I
REMERCIEMENTS.....	II
RESUME.....	III
LISTE DES ABREVIATIONS.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	VIII
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : DONNEE SUR LA CULTURE DE BLE	
1. Généralités.....	3
2. Importance de blé.....	4
2.1. Mondial.....	4
2.2. En Algérie.....	5
3. Cycle végétatif du blé.....	5
3.1. Période végétatif.....	6
a. Phase germination- levée.....	6
b. Phase levée-tallage.....	6
3.2. La période reproductrice.....	6
a. Phase montaison-gonflement.....	6
b. phase épiaison-floraison.....	6
3.2.1. Période de formation et de maturation du grain.....	7
a. Grossissement du grain.....	7
b. Maturation du grain.....	7
CHAPITRE II : LA FUSARIOSE	
1. La fusariose.....	8
2. Importance des fusarioses en Algérie.....	8
3. Symptômes.....	9
4. Le complexe fusarien.....	10
4.1. Les relations entre espèces du complexe.....	11
5. L'agent causal de fusariose (<i>Fusarium spp</i>).....	12
5.1. Etiologie.....	12
5.2. Classification.....	12
a. l'anamorphe.....	12
b. les télémorphes.....	12
6. Caractères cultureux généraux.....	13
6.1. Morphologie.....	13
6.1.1. Caractères microscopique.....	13
6.1.2. Caractéristique macroscopiques.....	14
7. cycle biologique.....	14
8. Importance du genre <i>Fusarium</i>	16
CHAPITRE III : LES MYCOTOXINE	
1. Les mycotoxines.....	18
1.1. Trichothécènes.....	18
2. Le rôle de mycotoxine.....	19
3. Législation.....	20
4. La détection des toxines.....	20
5. Les moyens de lutte contre le <i>Fusarium</i>	21
5.1. Pratique culturale.....	21

5.2. lutte physique.....	21
5.3. Utilisation des fongicides.....	22
5.4. Résistance variétale.....	22
5.3. Moyennes de lutte biologique.....	22
PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES	
1. Matériel.....	23
1.1. Matériel végétale.....	23
1.2. Matériel biologique	24
2. Méthode d'isolement à partir des grains de blé.....	24
2.1. la culture monosporale.....	24
2.2. Identification morphologique des isolats.....	25
2.2.1. Identification macroscopique.....	25
2.2.2. Identification microscopique.....	25
2.3. la conservation des isolats.....	25
3. Test de pathogénicité et d'agressivité.....	26
3.1. Inoculation par fragement mycélien au stade trois feuilles.....	26
a. Notation des symptômes.....	26
3.2. Inoculation par pulvérisation de la suspension sporale au stade floraison.....	27
3.3. Effet des isolats de <i>Fusarium spp</i> sur la croissance du coléoptile in vitro.....	28
4. Mise en évidence de la toxogénèse des six espèces de <i>Fusarium</i>	29
4.1. Analyse par CCM du potentiel toxogène des isolats de <i>Fusarium</i>	29
a. principe.....	29
4.2. Mise en culture des isolats de <i>Fusarium</i> pour la production des spores en milieu liquide CMC.....	29
4.3. Milieu synthétique pour mycotoxines.....	29
4.4. Extraction et purification des trichothécènes TCTB à partir du milieu de culture liquide MS.....	30
4.5. Analyse des trichothécènes B par CCM.....	30
4.5.5.1. Mode opératoire.....	31
a. Préparation de la cuve.....	31
b. les plaques CCM.....	31
PARTIE III : RESULTAT ET DISCUSSION	
1. Identification des espèces associées à la fusariose.....	32
2. Agressivité des espèces de <i>Fusarium</i>	34
2.1. Resultat d'inoculation à stade trois feuilles.....	34
a. Discussion.....	35
2.2. Resultat d'inoculation à stade floraison.....	36
a. Discussion.....	37
2.3. Effet des isolats de <i>Fusarium spp</i> sur la croissance du coléoptile in vitro.....	38
a. Discussion.....	40
3. Extraction des mycotoxines et migration sur la plaque CCM.....	41
a. Discussion	41
CONCLUSION.....	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	45
ANNEXE.....	

Guettaf Fatiha

Etude de l'agressivité des six espèces du *Fusarium* sur le blé

Résumé

La fusariose est parmi les maladies les plus redoutables, qui attaquent le blé. Elle est associée à plusieurs espèces de genre *Fusarium* spp. et *Microdochium nivale*.

L'objectif de ce travail est l'identification des espèces pathogènes isolées à partir des grains de blé en suite l'évaluation de l'agressivité de *Fusarium*, en fin l'identification de leur pouvoir toxigène et leur et chémotypage.

L'isolement effectué a permis l'identification 04 espèce fongique à savoir : *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. poea*, *F. pseudograminearum* et *Microdochium nivale*.

L'étude de la pathogénicité et de l'agressivité des espèces pathogène isolées par les deux méthodes d'inoculation a montré que, *F. graminearum*, *F. culmorum* sont plus agressive que *F. poea*, *F. avenaceum*, *F. pseudograminearum*.

L'étude de l'effet des isolats sur la croissance du coléoptile montre que l'espèce la plus agressive est *F. culmorum*, *F. graminearum*, et l'espèce le moins agressive est *F. avenaceum*.

L'extraction, l'identification des isolats par chromatographie montre la présence d'un seul chémotype le DON qui est produit par le *F. culmorum*, *F. pseudograminearum*.

Mots clés : blé, fusariose de l'épi, *Fusarium*, pathogénicité, mycotoxines.

Guettaf Fatiha

Study of pathogenicity of six isolates of *Fusarium* on wheat

Abstract

Fusarium is one of the most dangerous diseases which infect wheat. It is associated to different species *Fusarium* and *Microdochium nivale*.

The objective of this work is the identification of *Fusarium* species which isolate from the wheat grain, then the evaluation of their pathogenesis, finally the identification.

By the isolation process showed up four species: *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. poea*, *F.* and *Microdochium nivale*.

The study of the pathogenesis and aggressiveness of isolated species showed that *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum* are more aggressive than *Fusarium poea*, *Fusarium avenaceum*.

And showed that the effect of these isolates on coleoptile growth that the most aggressive species is *F. culmorum*, *F. graminearum*, while the least aggressive is *F. avenaceum*.

The extraction and identification of the isolated species by CCM indicated the presence of one chemotype DON which is produced by *Fusarium culmorum*, *Fusarium pseudograminearum*.

Key words: wheat, *Fusarium* head blight, *Fusarium spp*, pathogenicity, mycotoxines.

قطاف فتيحة

دراسة تمييز ستة عزلات من الفيوزاريوم على القمح

ملخص

يعد الفيوزاريوم من أخطر الأمراض التي تصيب القمح. ينجم عن عدة أنواع من الفيوزاريوم و *microdochium nivale*

الهدف من هذا العمل هو تحديد أنواع الفيوزاريوم المعزولة من قبل البذور، و من تم تقييم المقدرة الإمرضية لستة أنواع الفيوزاريوم مع تحديد الكيموتيب .

من خلال عملية العزل تم تحديد أربعة أنواع هي:

F. culmorum, *F. avenaceum*, *F. poea*, et *microdochium nivale*.

أظهرت الدراسة المرضية و العدوانية من الأنواع المعزولة أن *F. Graminearum*, *F. culmorum* أكثر عدوانية من *F. poea*,
F. avenaceum

دراسة تأثير العزل على نمو الغمد الأولي بين أن النوع الأكثر ضراوة *F. culmorum*, *F. graminearum* في حين النوع الأقل
ضراوة هو *F. avenaceum*

إستخراج و تحديد العزل من قبل CCM أشار إلى وجود نوع من DON chémotype المركز الذي ينتجه *F. culmorum*,
F. pseudograminearum

الكلمات المفتاحية: القمح، جرب السنابل، الفيوزاريوم، القدرة المرضية، ميكوتكسين.

LISTE DES ABREVIATION

%	: pourcentage
°C	: degré celsius
CMC	: Carboxy méthyl cellulose
DCPA	: Dichloran chloramphenicol Peptone Agar
DON	: le déoxynivalénol (zea)
F	: <i>Fusarium</i>
FAO	: Food and Agriculture Organization
h	: heure
ha	: hectare
MBB	: Mohamed Ben Bachir
ml	: millilitre
mm	: millimetre
MN	: <i>Microdochium nivale</i>
MSM	: mycotoxin synthetic medium
NIV	: nivalénol
PDA	: Potato Dextrose Agar
PDB	: Potato Dextrose Agar
Qx	: quintaux
rpm	: rotation par minute
SAU	: Surface Agricole Utile
TCTB	: trichothécènes B
ZEA	: zéaralénone

Introduction

Les céréales constituent de loin la ressource alimentaire la plus importante au monde à la fois pour la consommation humaine et pour l'alimentation du bétail. Le secteur des céréales est d'une importance cruciale pour les disponibilités alimentaires mondiales (Choueiri, 2003).

En Algérie, La céréaliculture occupe une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Hargaz, 2007 ; Djermoun, 2009 ; Djaouti, 2010). Elle prend deux situations, céréaliculture pluviale et irriguée (Kheyar et *al.*, 2007).

Le début de l'introduction de la céréaliculture dans les régions sahariennes est lié à deux dernières décennies où l'Algérie avait connu une augmentation de la population, ceci est conjugué à une augmentation très importante concernant la demande des produits alimentaires surtout les céréales, c'est pour cela que l'état s'est orienté vers l'importation de ces produits dite nécessaires (Ben Brahim, 2009).

La plus grande superficie réservée à la céréaliculture est située dans la région d'El Ménéa, (270 km au sud de Ghardaïa), avec 1301 hectares, suivie par la région de Hassi El-Gara avec 312 hectares et Hassi El F'hal avec 242 hectares (DSA, 2015).

L'Algérie est un grand intervenant sur le marché international des céréales avec un niveau de consommation annuel approximative de 60 millions de quintaux de céréales dont le blé dur constitue la majeure partie de cette consommation (Kebri, 2003).

Plusieurs maladies peut infecté le blé, parmi celle-ci la fusariose, il s'agit d'une maladie fongique qui infecte les épis de blé, la tige, et racine, et peuvent occasionner des conséquences économiques importantes, l'ors- que les conditions d'environnement sont favorables et la variété est sensible.

Ces pertes sont dues aux baisses de rendement, mais aussi aux baisses de la qualité des grains causées par la libération de mycotoxines par les agents responsables de la maladie. En effet, la présence de ces mycotoxines dans les grains affecte leur qualité et les rend impropres à la consommation humaine et animale (Mc Mullen et *al.* 1997).

Les mycotoxines produites par le genre *Fusarium* constituent l'une des principales composantes de sa virulence; il s'agit de métabolites secondaires toxiques qui s'accumulent dans les grains et affectent les maillons supérieurs de la chaîne alimentaire dont la base est la céréale infectée (Walker et *al.*, 2001).

La reconnaissance de ces maladies ainsi que leurs moyens de lutte restent des outils importants pour une meilleure maîtrise de ces contraintes et une amélioration de la productivité par la suite (Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Dans ce travail nous nous sommes donc intéressés à faire une étude pathologique sur l'agressivité de six espèces de *Fusarium* sur différents organes de blé par différentes techniques. Et nous avons étudié le potentiel toxigène de quelques isolats présents sur les grains de blé.

Dans ce contexte trois objectifs sont visés:

Objectif 1 :

- Isolement des *Fusarium* présents au niveau des grains de blé.
- identification des isolats obtenus en se basant sur les caractères morphologiques et microscopiques.

Objectif 2 :

- Etude de la pathologie et l'agressivité de six espèces de *Fusarium*: *F. culmorum* DON, *F. culmorum* NIV, *F. graminearum*, *F. pseudograminearum*, *F. poea*, *F. avenaceum* sur deux variétés de blé à savoir la variété de blé dur MBB et variété de blé tendre HDD.

Pour atteindre ces objectifs trois méthodes d'inoculation ont été utilisées :

1-Une technique est réalisée in vitro : concerne l'évaluation de ces isolats sur la croissance du coléoptile des grains de blé

2-Deux techniques sont réalisées in vivo :

- Méthode de contact d'un fragment mycélien avec le collet.
- Méthode d'inoculation artificielle par inoculation sporale sur épi.

Objectif 3 :

- Identifier le potentiel toxigène de quelques isolats fusariens et leur chémotype.

CHAPITRE I : DONNEES SUR LA CULTURE DU BLE

1. Généralités

Les blés constituent la première ressource en alimentation humaine, et la principale source de protéines, ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiple application industrielle. La presque totalité de la nutrition de la population mondiale est fournie par les aliments en grains dont 95% sont produits par les principales cultures céréalières (Bonjean et Picard, 1990). Le blé est un terme générique qui désigne plusieurs céréales appartenant au genre *Triticum*. Ce sont des plantes annuelles, monocotylédones appartenant à l'ordre des Poales et de la famille des graminées, cultivées dans de très nombreux pays. Dans le langage courant, le terme «blé» désigne également le grain (caryopse) produit par ces plantes (Masclef, 1987).

Aujourd'hui, seules les variétés de blé tendre (*Triticum aestivum L.*) ou de blé dur (*T. turgidum (L.) Thell. spp. durum L.*) ont une importance commerciale internationale. 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.

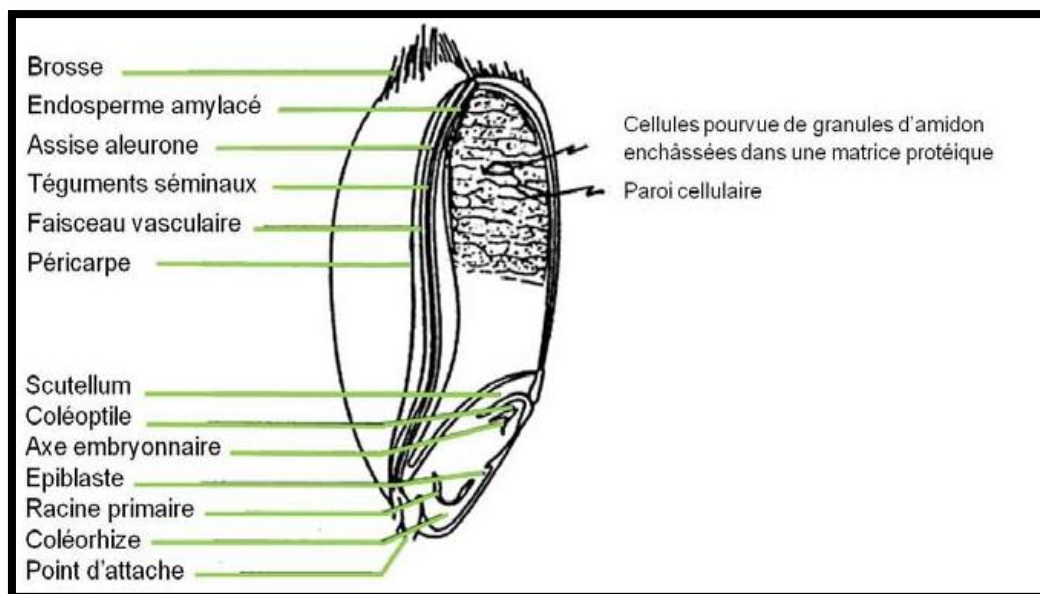
Le grain de blé est obtenu après battage, c'est à dire une fois que les balles enveloppant le grain ont été supprimées. Le grain de blé se caractérise par une brosse et un sillon longitudinal qui parcourt sa surface. Il se décompose en trois parties riches en matières minérales.

L'**albumen** ou **endosperme** (84 % de la masse totale du grain), qui représente un organe de réserve, est constitué de granules d'amidon enchâssées dans le réseau protéique, en particulier le gluten (*Bourdeau et al., 1992*). C'est lui qui, une fois broyé, donnera la farine.

Le **tégument** (13 %), enveloppe extérieure du grain de blé, est une superposition multilamellaire d'enveloppes soudées à l'albumen. Il est composé du péricarpe (lui-même constitué de plusieurs couches) et d'une couche protéique qui sert d'assise à la

Constitution de l'albumen. C'est à partir de cette partie que le son est obtenu.

Enfin le **germe** (3 %), qui constitue la future plante et assure l'identité génétique de la variété.



(Bourdeau et *al.*, 1992).

Figure 1: Structure anatomique d'un grain de blé

2. L'importance de blé

2.1. Mondiale

Le blé occupe une place importante dans la production agricole et constitue la nourriture de base pour 35% de la production mondiale. De toutes les plantes cultivées, le blé est celle qui a pris le plus d'importance dans l'alimentation de l'être humain, c'est ce qui fait que c'est la plante la plus cultivée des céréales (HAMEL, 2010).

L'utilisation mondiale de céréales en 2013/2014 est estimée à 2 418 millions de tonnes, soit 3,5 % de plus qu'en 2012/13 (FAO, 2013).

L'utilisation mondiale de céréales va s'intensifier, surtout en raison de l'augmentation des besoins d'alimentation animale dans les pays développés et dans les économies émergentes et aussi du fait de la consommation alimentaire dans les pays les moins avancés. En effet, la demande croît plus vite dans le secteur des aliments pour animaux à la suite de la modification des habitudes alimentaires dans certains pays (DANGBEDJI, 2006).

2.2. En Algérie

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (DJERMOUN, 2009).

La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays, La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 million d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures (DJERMOUN, 2009).

Actuellement, l'Algérie est un grand importateur de blé et se trouve dépendante du marché international. Cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (Chellali, 2007).

Selon FELIACHI (2000) La céréaliculture en Algérie est pratiquée dans quatre grandes zones agro-climatiques:

- Un espace à faible potentialité : localisé dans le sud des Hauts Plateaux (zone agro-pastorale) estimé à 1.800.000 ha, la pluviométrie est inférieure à 450 mm et le rendement est de 5-6 qx/ha;

- Un espace steppique : pratiquée dans un écosystème fragile, avec une surface de 300.000-800.000 ha (KELLIL, 2009).

- Un espace au niveau des zones sahariennes qui se subdivisent en deux catégories : la première est représentée par le système traditionnel, occupe une surface de 10.000 ha, et la deuxième qui occupe une surface de 35.000 ha concerne. Cependant la céréaliculture sous pivot, est localisée en zones arides et semi arides (KELLIL, 2009).

- Un espace à haute potentialité : localisé entre les plaines littorales et sub-littorales et le nord des Hauts Plateaux, occupe une superficie de 1.200.000 ha dans une zone où la pluviométrie moyenne annuelle varie de 450 à 800 mm, avec un rendement moyen de 10-15 qx/ha (KELLIL, 2009).

3. Cycle végétatif du blé

Afin de caractériser le cycle de développement du blé, différentes échelles de notation ont été développées, portant soit sur des changements d'aspect externe, soit sur les modifications d'aspect interne des organes reproducteurs.

- L'échelle de Jonard et Koller, (1950) utilisée pour reconnaître les stades par des changements d'aspect externe (Levé - Montaison).

- L'échelle de Zadoks *et al.*, (1974) utilisée pour reconnaître les stades par des modifications d'aspect interne (Différentiation de l'épi : Stade épi 1 cm) (Gate, 1995).

3.1. Période végétatif

a. Phase germination – levée

La germination de la graine se caractérise par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et du coléoptile qui protège la sortie de la première feuille fonctionnelle. La levée est atteinte lorsque la majorité des lignes de semis sont visibles (Gate, 1995). Durant la phase semis levée, l'alimentation de la plante dépend uniquement de son système racinaire primaire et des réserves de la graine. Les principaux facteurs édaphiques qui interviennent dans la réalisation de cette phase sont, la chaleur, l'aération et l'humidité (Eliard, 1979).

b. Phase levée – tallage

La production de talles commence à l'issue du développement de la troisième feuille (Moule, 1971). L'apparition de ces talles se fait à un rythme régulier à celui de l'émission des feuilles. A partir des bourgeons situés à l'aisselle des talles primaires initiées à la base du brin maître, les talles secondaires peuvent apparaître et être susceptibles d'émettre des talles tertiaires. Le nombre de talles produites dépend de la variété, du climat, de l'alimentation minérale et hydrique de la plante, ainsi que de la densité de semis (Masle-Meynard, 1980).

3.2. La période reproductrice

a. Phase montaison – gonflement

Elle est caractérisée par l'allongement des entre-noeuds et la différenciation des pièces florales. A cette phase, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis (Clement-Grancourt et Prats, 1971). La montaison s'achève à la fin de l'émission de la dernière feuille et des manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la gaine.

b. Phase épiaison – floraison

Elle est marquée par la méiose pollinique et l'éclatement de la gaine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux (l'anthèse) et s'effectue la fécondation. Cette phase est atteinte quand

50 % des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille (Gate, 1995). Elle correspond au maximum de la croissance de la plante qui aura élaboré les trois quarts de la matière sèche totale et dépend étroitement de la nutrition minérale et de la transpiration qui influencent le nombre final de grains par épi (Masle-Meynard, 1980).

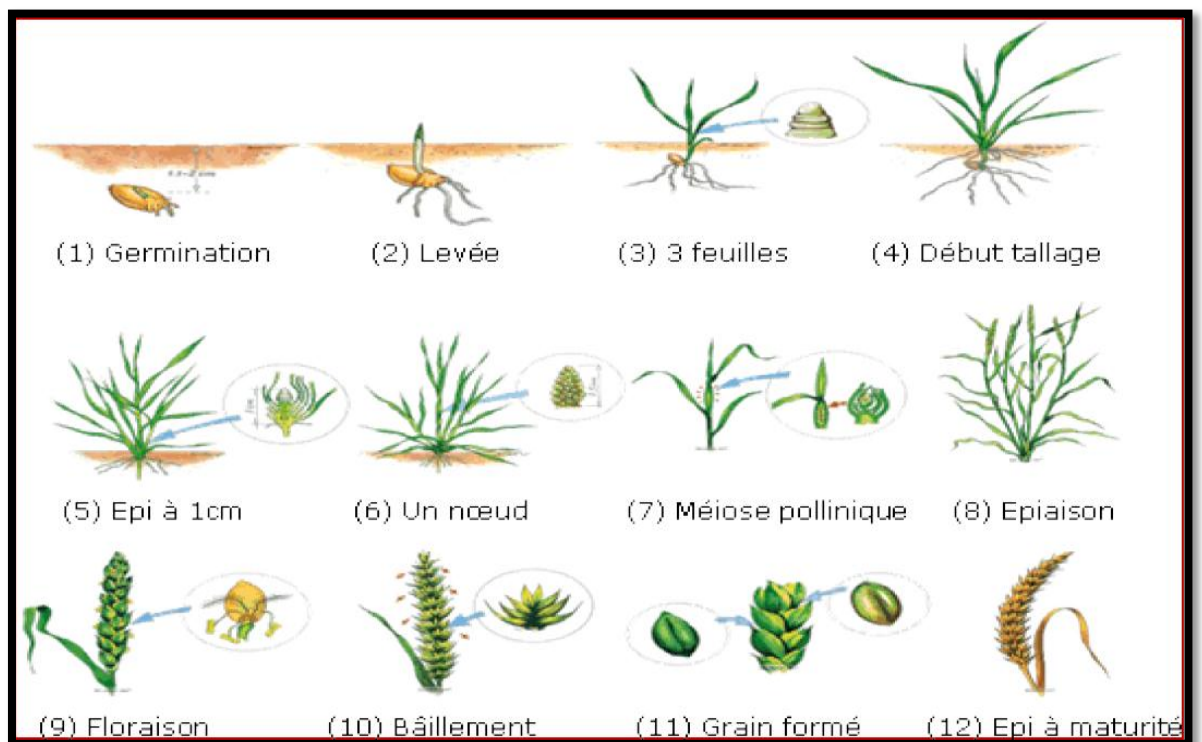
3.2.1. Période de formation et de maturation du grain

a. Grossissement du grain

Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera alors orientée vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite. A l'issue de cette phase, 40 à 50 % des réserves se sont accumulées dans le grain qui, bien qu'il ait atteint sa taille définitive, se trouve encore vert et mou, c'est le stade « grain laiteux ». (Boulelouah, 2002).

b. Maturation du grain

La phase de maturation succède au stade pâteux (45 % d'humidité). Elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va perdre progressivement son humidité. (Gate, 1995).



(Mahfoud et lasbahani, 2015).

Figure 2 : Les phases de cycle végétal du blé.

CHAPITER II : LA FUSARIOSE

1. La fusariose

La fusariose été décrite pour la première fois en 1884 en Angleterre sous le terme « *Fusarium* Head Blight » ou « FHB », et a pris une ampleur considérable ces dernières années en Asie, au Canada, en Europe ou encore en Amérique du Sud (Goswami and Kistler, 2004). La fusariose de l'épi est une maladie fongique qui peut survenir chez toutes les céréales cultivées (maïs, seigle., triticales, blé, orge, avoine) (Bailey et coll., 2004). Il s'agit, sans conteste, de la maladie la plus grave affectant les cultures de blé et d'orge de l'est du Canada. Les pertes monétaires encourues dans les années 1990 par les producteurs de blé du Québec et de l'Ontario en raison de la fusariose de l'épi totalisaient 220 millions de dollars US (Windels, 2000). Ces pertes sont causées par des réductions de rendement, mais aussi et surtout par la présence de mycotoxines qui affectent la santé des animaux d'élevage et des humains (McMullen et coll., 1997). C'est pourquoi de nombreux efforts ont été déployés pour tenter de mieux comprendre l'épidémiologie de cette maladie et élaborer de meilleures stratégies de lutte. Elle est principalement favorisée par les climats tempérés (temps doux et pluvieux) entre le stade de la floraison et le stade de la formation des grains.

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 (Pirgozliev *et al.*, 2003). La maladie affecte également les qualités nutritives du grain, par une destruction des protéines de stockage (Bechtel *et al.*, 1985).

2. Importance des fusarioses en Algérie

Pour étudier ce problème phytosanitaire, des enquêtes sur le fusarium ont été entreprises depuis 2012 par des cadres des fermes expérimentales de l'institut techniques des grandes cultures (ITGS) et à partir de 2013 par des cadres des stations

régionales de l'institut national de la protection des végétaux (INPV) en collaboration avec le bureau de liaison de la firme syngenta en Algérie.

Les premiers résultats des deux enquêtes (ITGC-INPV) mettent en évidence ce qui suit :

- présence de fusarioses au niveau de 23 wilayas potentiellement céréalières.
- le blé dur est plus sensible aux attaques de la fusariose. L'enquête a montré que les variétés de blé peuvent être atteintes par la fusariose de l'épi quelque soit la zone de culture.
- la rotation jachère pâturée/ céréales peut constituer un facteur positif à l'apparition de la maladie, car les espèces de céréales ou des graminées se développant sur la jachère peuvent constituer un réservoir au pathogène pour que la parcelle de céréales soit infectée l'année suivant.
- existence de source de tolérance chez le blé dur et le blé tendre.

3. Symptômes

Les symptômes de la fusariose de l'épi sont similaires pour toutes les cultures céréalières. Ils sont généralement caractérisés par des colorations variant du rose au saumon orangé qui apparaissent souvent initialement à l'extrémité de l'épi. Chez le blé, les épillets affectés par la fusariose avortent et prennent une teinte blanchâtre et un aspect desséché.



(<http://www.fredon-npdc.com>).

Figure 3: épi sain et épi fusarié (les principales maladies transmis par les semences, 2002).

Les grains sont petits et ridés avec un aspect crayeux et on peut parfois observer une coloration rose ou orangée correspondant à la fructification du champignon (Bailey et al. 2004).

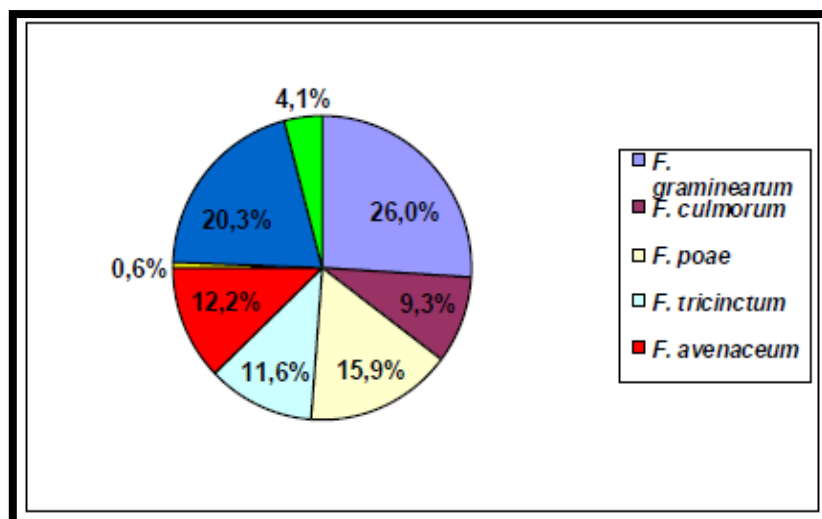


(<http://www.fredon-npdc.com>).

Figure 4: grains saine et grains (les principales maladies transmis par les semences, 2002).

4. Le complexe fusarien

La fusariose est associée à un complexe d'espèces regroupant deux genres de champignons phytopathogènes, *Fusarium* et *Microdochium* (Arseniuket *al.*, 1999). Ces 2 genres regroupent environ 19 espèces capables d'induire la fusariose de l'épi de blé et d'orge (Liddell, 2003). Les espèces les plus fréquentes en Europe sont *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. poae*, *M. nivale* et *M. majus* (Xu & Nicholson, 2009 ; Xu *et al.*, 2005), avec une fréquence plus faible de *F. culmorum* et plus forte de *F. poae* depuis 2000 en France (Ioos *et al.*, 2004).



(Trottet et al., 2014).

Figure 5: répartition des espèces responsable de la fusariose des épis sur le blé dur

4.1. Les relations entre espèces du complexe

Plusieurs de ces espèces peuvent être retrouvées ensemble, à l'échelle de la région, de la parcelle et également sur un même épi, où elles forment le complexe fusarien (Xu & Nicholson, 2009). En effet, la fusariose de l'épi est souvent causée par un mélange de 2 ou 3 agents pathogènes du complexe (Xu, 2005 ; Audenaert, 2009). La sévérité, l'incidence et la prévalence de chaque espèce varient selon la localisation géographique et les années (liées aux variations climatiques et aux pratiques culturales ; Oerke *et al.*, 2010). Ainsi, dans chaque région sont retrouvées chaque année les mêmes espèces mais à des fréquences différentes.

Associé à cela, certaines espèces comme les *F. poae*, *M. majuset* *M. nivale* ont été décrites comme moins agressives comparées aux autres espèces (Gosmanet *al.*, 2010 ; Brennan *et al.*, 2003). La présence sur un même épi de plusieurs de ces espèces est susceptible de modifier leur équilibre et leur dynamique de production de toxines. En effet, comme dans tout écosystème, des interactions peuvent avoir lieu entre souches, soit intra-, soit inter-spécifique (Xu, 2009 ; Liggitt, 1997) et potentiellement modifier leur développement et leur toxinogénèse.

5. L'agent causal de la fusariose (*Fusarium. spp*)

5.1. Etiologie

Le genre *Fusarium* qui a été tout d'abord introduit par Link en 1809 comprend de nombreux champignons phytopathogènes. Ceux-ci appartiennent à la classe des Ascomycètes, à l'ordre des Hypocréales et à la famille des Nectriaceae. Ces champignons eucaryotes tirent leur nom du latin «*fusus*» qui veut dire spores en forme de fuseau. Ce sont des organismes hétérotrophes dont la structure est organisée autour du thalle (partie non mobile) composée de structures filamenteuses appelées hyphes. À partir de ce thalle, se différencie le stade reproductif anamorphe (asexué) du stade reproductif téléomorphe (sexué) à l'origine du cycle de vie de ces champignons. Généralement, ce genre comprend des champignons microscopiques saprophytes capables de coloniser de nombreux végétaux (Liddell *et al.* 1991).

5.2. Classification

a- L'anamorphe

C'est la forme imparfaite des champignons dont la reproduction asexuée est connue.

La multiplication asexuée fait intervenir des conidies de formes et d'organisations très variées (Bouchet *et al.*, 2000). Dans la classification conservant la division des Deuteromycota, le genre *Fusarium* doit être placé dans:

Classe: Hyphomycètes, thalle filamenteux septé

Ordre: Tuberculariales, présence de sporochies

Famille: Tuberculariaceae : seule famille de l'ordre (Botton *et al.*, 1985).

b- Les téléomorphes

C'est la forme parfaite des champignons dont la reproduction sexuée est connue.

Les téléomorphes de *Fusarium* sont des Hypocréales appartenant à la sous-division des Ascomycotina.

Classe: Hymenoascomycètes, présence d'un ascocarpe avec couche fertile.

Ordre: Hypocréales

Sous-classe : Pyrenomycetideae, l'ascocarpe est un périthèce

Famille: Hypocreaceae, ascospores non filiformes multiseptées (Botton *et al.*, 1985).

Les formes parfaites de *Fusarium* sont: *Gibberella* Sacco.

Nectria(Fr.)

6. Caractères culturels généraux

Les *Fusarium* poussent sur milieu Sabouraud, mais se développent mieux sur gélose au malt ou sur milieu PDA (potato-dextrose-agar). Leur température optimale de croissance est comprise entre 22 et 37°C.

Sur les milieux de culture, les *Fusarium* forment des colonies duveteuses ou cotonneuses de couleur variable (blanche, crème, jaune, rose, rouge, violette ou lilas) selon les espèces. Le revers peut être crème, rouge à pourpre, lilas ou violet. Les pigments diffusent souvent dans la gélose (Chermette et Bussieras, 1993).

6.1. Morphologie

6.1.1. Caractères microscopique

Les *Fusarium* ont un thalle à croissance généralement rapide, blanc à crème, jaune brunâtre, rose, rouge, violet ou lilas. Les conidiophores parfois très ramifiés forment sur le thalle des coussinets (sporodochies) et portent des masses de spores d'aspects gras.

Les phialides sont plus ou moins allongées et peuvent produire deux types de conidies:

- des macroconidies fusiformes, souvent courbées, pluriseptées, avec une cellule basale pédicellée, portant une sorte de talon.
- des microconidies petites, généralement septées, piriformes, fusiformes ou ovoïdes.

Certaines espèces produisent les deux types de spores, d'autres ne forment que des Macroconidies.

- Les chlamydospores sont présentes ou absentes, terminales ou intercalaires, différenciées par le mycélium ou par les conidies (Botton *et al.*, 1985).



(Champion, 1997).

Figure 6: sporodochie et spores de *Fusarium species* (x2500)

6.2.2. Caractéristiques macroscopiques

Les caractéristiques macroscopiques sont utilisées pour l'identification des espèces du genre *Fusarium*. Celles-ci se fondent sur la couleur du mycélium sur gélose (blanc, jaune, rosé, crème etc.), la couleur de la pigmentation sécrétée par le champignon (rose, rouge, brun etc.), le type de mycélium (aérien ou rampant), l'aspect du mycélium (floconneux, duveteux ou luisant), la vitesse de croissance ainsi que l'odeur dégagée par la culture (Nelson et al.1983).

7. Cycle biologique

Toutes les espèces de *Fusarium* qui infectent les céréales peuvent survivre Saprophytiquement sur les débris végétaux (Parry et al., 1995). D'ailleurs, on considère les débris végétaux comme la principale source d'inoculum (Sutton, 1982). On retrouve aussi des hôtes alternatifs, comme les mauvaises herbes, qui peuvent augmenter la charge d'inoculum. L'inoculum peut prendre la forme d'ascospores, de macroconidies, de chlamydospores ou de fragments d'hyphes mycéliens (Bai et Shaner, 1994).

Les conditions climatiques ont une influence énorme sur l'incidence de la fusariose. Elles sélectionnent différentes espèces de *Fusarium*, qui possèdent des exigences de température et d'hydratation variables (Bakan, 1998). Elles conditionnent la libération, la dissémination et la germination des spores.

La production de l'inoculum primaire débute lorsque le champignon est bien implanté (par ses formes de conservation) sur les résidus de culture et que les conditions environnementales propices sont réunies, soient des conditions chaudes et humides qui favorisent le cycle infectieux.

La dissémination des spores se fait par le vent, la pluie mais aussi par les insectes (Goswami et Kistler, 2004). Le stade de développement de la plante influence également le degré de contamination, l'anthèse correspondant à une période de plus grande sensibilité du blé à la fusariose de l'épi (Sutton, 1982).

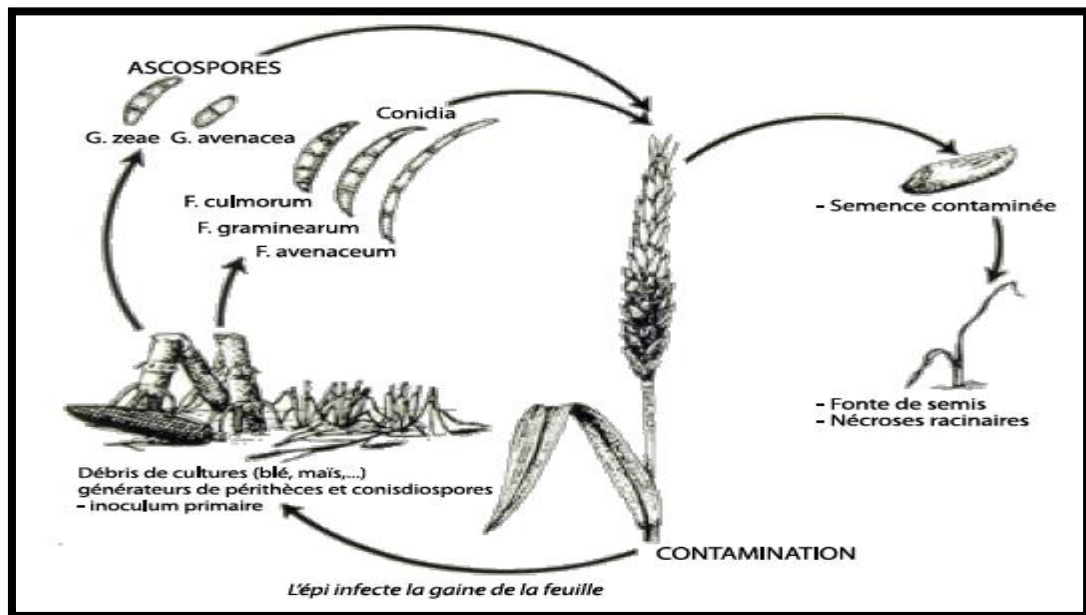
L'infection chez le blé a lieu principalement pendant une très courte période, soit au moment de la sortie des étamines. Cette période dure à peine quelques jours. Le risque d'infection est toutefois important et les conséquences de la maladie sont graves. À ce stade du développement, la fleur du blé est largement ouverte et sujette à l'invasion par le champignon. L'infection à ce stade de développement a le plus d'impact sur le rendement en grains (Luzon *et al.*, 2007).

La fusariose de l'épi de blé est donc initiée par le dépôt de spores matures sur des épis de blé en fleur. Ces spores germent, colonisent les anthères extrudées, généralement dans la partie médiane de l'épi, où commence la floraison et où l'humidité est supérieure à celle des autres épillets (Walter *et al.*, 2009 ; Leonard et Bushnell, 2003). Ils entrent dans la fleur et se développent afin de rejoindre la graine en formation, les bractées florales et le rachis. La pénétration dans l'épi peut également avoir lieu en surface des glumes ou via des ouvertures naturelles (stomates, blessures, base de l'épillet ; Brown *et al.*, 2010 ; Champeil *et al.*, 2004).

Lorsque le champignon s'est introduit dans un tissu, celui-ci progresse d'abord de manière intercellulaire, c'est la phase asymptomatique de la maladie. Le champignon rejoint les vaisseaux conducteurs du xylème et se développe ainsi dans la moelle de la tige. Cela permet au champignon de se développer dans l'ensemble de la plante. C'est le début de la phase symptomatique avec formation de nécroses sur la tige et décoloration des tissus.

Les hyphes progressent dans les tissus vivants de l'hôte de façon radiale et induisent une colonisation intracellulaire et nécrotrophique des cellules de l'hôte. Ceci se traduit par l'apparition des premiers symptômes de décoloration (« bleaching ») 2 à 4 jours après l'infection. Les symptômes de nécrose peuvent également être associés à

des tâches brunes des glumes et rachis (Christ *et al.*, 2011 ; Bottalico et Perrone, 2002 ;).Le pathogène circule via le rachis et colonise préférentiellement les épillets adjacents et plutôt inférieurs à l'infection (Argyris *et al.*, 2005). Cette propagation dans le rachis entraîne un dysfonctionnement du système vasculaire associé à une maturation précoce de la partie de l'épi supérieure à l'infection, l'échaudage.



(Tabuc, 2007).

Figure 7: le cycle de développement de la fusariose.

8. Importance du genre *Fusarium*

Le genre *Fusarium* comprend des espèces capables de produire de nombreuses mycotoxines : les trichothécènes, la zéaralénone et les fumonisines (tab1).

- *Fusarium poae*, *F. sporotrichioides*, *F. crookwellense*, *F. culmorum*, *F.*

Graminearum produisent des trichothécènes de types A et B ;

- *Fusarium verticillioides* (moniliforme) et *F. proliferatum* synthétisent les fumonisines ;

- *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* *F. oxysporum* et *F. sporotrichioides*

Produisent de la zéaralénone (Pitt, 2000).

Tableau 1 : Les *Fusarium* producteurs des mycotoxines (Tabuc, 2007).

Espèces de <i>Fusarium</i>	Mycotoxines produites
<i>Fusarium acuminatum</i>	moniliformine, trichotécènes type A
<i>Fusarium anthophilum</i>	moniliformine
<i>Fusarium avenaceum</i>	fusarine C, moniliformine
<i>Fusarium chlamyosporum</i>	moniliformine
<i>Fusarium cerealis</i> (sin. <i>crookwellense</i>)	culmorine, fusarine C, trichotécènes type B
<i>Fusarium culmorum</i>	culmorine, fusarine C, trichotécènes type B, zéaralénone
<i>Fusarium graminearum</i>	trichotécènes type B, zéaralénone
<i>Fusarium oxysporum</i>	acide fusarique, moniliformine, oxysporine
<i>Fusarium pallidoroseum</i> (sin. <i>semitectum</i>)	moniliformine, zéaralénone
<i>Fusarium poae</i> (sin. <i>tricinctum</i>)	fusarine C, trichotécènes type A
<i>Fusarium proliferatum</i>	moniliformine
<i>Fusarium sacchari</i>	moniliformine
<i>Fusarium sambucinum</i>	fusarine C, trichotécènes type A
<i>Fusarium solani</i>	acide fusarique, naftoquinone
<i>Fusarium sporotrichoides</i>	fusarine C, trichotécènes type A, zéaralénone
<i>Fusarium verticillioides</i> (sin. <i>moniliforme</i>)	fumonisines, fusarine C, gibberelines, moniliformine, naftoquinone

(Tabuc, 2007).

CHAPITRE III : LES MYCOTOXINES

1. Les mycotoxines

Les mycotoxines sont des molécules toxiques aux structures chimiques très variées de faible poids moléculaire. Ce sont des métabolites secondaires produits par diverses espèces de champignons microscopiques capables d'infecter les plantes et certains aliments d'origine animale. Ces champignons appartiennent essentiellement à trois genres fongiques : *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium*, *Alternaria* et *Claviceps*. Les espèces de fréquentes sont les trichothécènes, les fumonisines et la zéaralénone (Placinta *et al.*, 1999). La plupart des mycotoxines sont chimiquement stables, résistent aux températures élevées, aux conditions de stockage et procédés de transformation. Elles se retrouvent dans les produits finis. Ces mycotoxines sont connues pour être produites au champ, mais également lors du stockage du grain si de l'eau est disponible (Langseth *et al.*, 1997).

1.1. Les trichothécènes

Les trichothécènes sont des métabolites secondaires toxiques produits par plusieurs genres de champignons, incluant *Trichoderma*, *Stachybotrys*, *Cephalosporium*, et *Fusarium*.

Ils sont divisés en quatre catégories ou types (A, B, C, D). Les trichothécènes des groupes A et B sont largement présents sur céréales et denrées alimentaires tandis que les types C et D sont rarement rencontrés et ne seront pas étudiés (figures 10 et II).

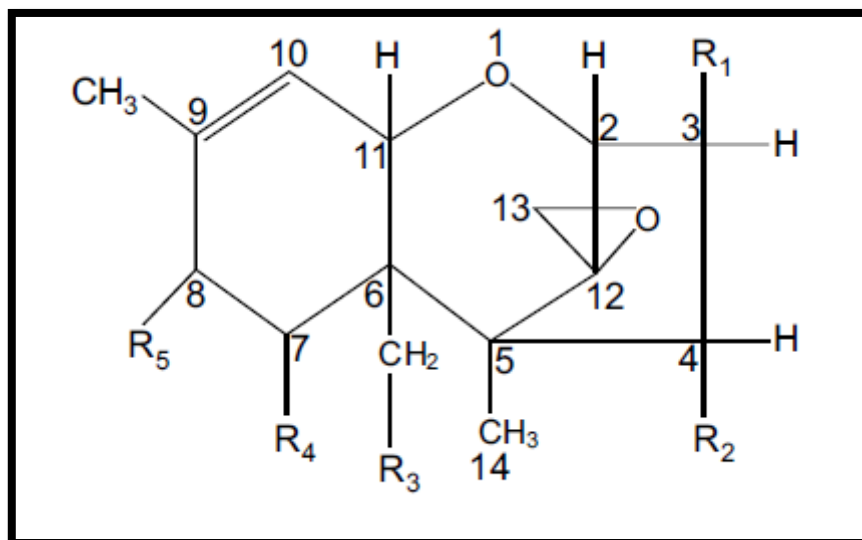
Groupe A : ce sont les trichothécènes qui ne possèdent pas de fonction cétone en C8

Groupe B : ce sont les trichothécènes caractérisés par une fonction cétone en C8

Au sein des groupes A et B, les trichothécènes les plus fréquemment rencontrés sont la toxine T-2, la toxine HT-2 du groupe A, le déoxynivalénol (DON) et le nivalénol (NIV) du groupe B (Parent-Massin, 2000), (Krska *et al.*, 2001).

Elles sont produites et s'accumulent au cours du développement des grains avant la récolte. (Champeil *et al.*, 2004). ont un très large spectre d'action: elles peuvent inhiber la synthèse de protéines chez des champignons, des plantes et des animaux L'utilisation de grains fusariés dans l'alimentation animale peut causer de sérieux problèmes de *santé* et réduire la productivité des animaux (Parry *et al.*, 1995).

Les trichothécènes sont également phytotoxiques. Ils causent notamment des nécroses et des retards de croissance ainsi qu'une perturbation de la germination des graines (Rocha *et al.*, 2005).



(Tabuc, 2007).

Figure 8: Structure chimique générale des principaux trichothécènes des groupes A et B.

En se basant sur le type de trichothécènes produit par l'agent pathogène, différents chémotypes ont été décrits chez les espèces de *Fusarium*: chémotype I (DON et ses dérivés acétylés) et chémotype II (NIV et ses dérivés) (Sydenham *et al.* 1991). Chez le *F. graminearum* on reconnaît trois chémotypes. Deux sont capables de synthétiser le DON mais sont subdivisés en deux sous-types, selon les dérivés acétylés 3-acétyl DON (3-ADON) ou 15-acétyl DON (15-ADON)) qui l'accompagnent. Le troisième chémotype en est un qui synthétise le nivalénol (NIV). Covarelli *et al.* (2014) ont mentionné l'importance d'étudier les chémotypes des populations de *Fusarium* car la toxicité des NIV et DON varie selon l'hôte touché. Le chémotype a ainsi un effet sur la phytotoxicité du champignon pathogène; il est donc important d'identifier les chémotypes présents pour avoir une information épidémiologique sur la population qui colonise la culture.

2. Le rôle des toxines

La production de trichothécènes joue un rôle dans la progression du champignon d'un épillet à l'autre. La toxine inhiberait la production de callose au niveau du rachis qui constituerait une barrière physique pour limiter la progression du champignon (Jansen *et al.*, 2005). Ceci permettrait donc au champignon de progresser plus rapidement chez l'hôte. De plus, la production de trichothécènes semble être tissu-spécifique au moment de l'infection et fortement induite au niveau du rachis (Ilgen *et al.*, 2009).

Parmi les nombreux effets cellulaires des trichothécènes, et en particulier des trichothécènes B, citons l'inhibition des synthèses protéiques qui a lieu dans les grains et les gaines foliaires de blé ainsi que dans les grains de maïs. Ces mycotoxines interfèrent avec le site actif de la peptidyl-transferase des ribosomes, ce qui inhibe l'initiation, l'élongation ou la terminaison des synthèses protéiques (Rocha *et al.*, 2005). Lors de l'infection d'une plante hôte par un parasite, la plante met en place des mécanismes de défense comme l'émission de formes actives de l'oxygène (ROS) créant un environnement oxydant qui induit une l'expression de gènes *Tri* et donc la production de DON ou de NIV (Pont *et al.*, 2007).

3. Législation

Les nouvelles réglementations de la Commission Européenne se sont précisées en 2005 en matière de fusariotoxines autorisées pour les céréales à paille et le maïs destinés à la consommation humaine. Le règlement n°856/2005 du 6 Juin 2005 publie des teneurs maximales autorisées pour plusieurs fusariotoxines, dont les trichothécènes B, et en particulier le déoxynivalenol. Il n'existe pas une réglementation simple avec un taux unique pour chaque mycotoxine de *Fusarium*, mais différents taux correspondants à différents types d'utilisation possible des denrées destinées à l'alimentation humaine. Les taux fixés sont par exemple de 1750 µg/kg sur blé dur. Un taux de 750 µg/kg est fixé pour les produits de première transformation des céréales (farines, pâtes). Le règlement précise également que les lots de céréales rejetés ne doivent pas être mélangés avec des lots moins contaminés afin d'en réduire le niveau global de contamination. Une recommandation a aussi été publiée en ce qui concerne les produits à base de céréales et de maïs destinés à l'alimentation du bétail (CE 576/2006 du 17 Août 2006).

4. La détection des mycotoxines

L'emploi des méthodes physico-chimiques s'est largement répandu pour la recherche des mycotoxines. L'analyse des mycotoxines sont base sur la nature chimique de la mycotoxine, son poids moléculaire et ses groupes fonctionnels. Tous ces facteurs déterminent la volatilité et la solubilité de la mycotoxine ce qui permet une approche analytique de la toxine. Les méthodes physico-chimiques comme la chromatographie sur couche mince (CCM), la chromatographie gazeuse (CPG) ou la chromatographie liquide haute performance (CLHP) permettent toujours la quantification des molécules La chromatographie sur couche mince (CCM) permet le dosage de nombreuses mycotoxines (Betina, 1993), parfois simultanément, mais elle tend à disparaître progressivement au profit de méthodes plus complexes comme la chromatographie liquide haute performance (CLHP), (Frisvad et Thrane, 1993). Les techniques d'immuno-chimie et notamment la méthode ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay) sont couramment utilisées dans ce but. Cette méthode de détection a montré son efficacité dans la détection de champignons filamenteux (Li et *al.*, 2000).

5. Moyenne de lutte

5.1. Pratique cultural

Étant donné que le *Fusarium* est capable de survivre dans les résidus de culture, plusieurs pratiques culturales ont été employées afin de réduire cet inoculum primaire. L'une de ces pratiques est la rotation de culture en utilisant une espèce non graminée. De plus, quelques pratiques de travail du sol et de répression des mauvaises herbes peuvent contribuer à une réduction de la quantité d'inoculum de *Fusarium* (Parry et *al.*1995). En effet, un travail réduit du sol ou un semis direct augmentent tous deux les risques de la fusariose (Tekauz et *al.* 2000). De plus le semis après une culture sensible à la fusariose telle que le blé, le maïs, le seigle ou le triticales augmente le risque d'infection (Koehler et *al.*1924). Il est donc important d'effectuer des rotations avec des cultures non-hôtes (le trèfle, la luzerne, pommes de terre, le lin) afin de réduire l'incidence de la maladie (Pageau et *al.* 2008).

D'autre part, plusieurs pratiques culturales sont aussi recommandées telles que la récolte à maturité et le séchage rapide des plantes matures afin de stopper le développement de l'agent pathogène.

5.2. Lutte physique

Anchisi et *al.*, (1985) ont développé un traitement à l'eau chaude pour protéger les plants dans un sol où l'on sait la maladie présente. La méthode consiste à traiter les racines avec de l'eau à 48-49 °C pendant 30 secondes avant de transplanter au moins de 48 heures après cela stimule la croissance des racines.

La taille des racines amène aussi une protection contre la fusariose pour la même raison, la stérilisation ou la solarisation ne sont pas de solution à long terme.

5.3. Utilisation de fongicides

La fusariose peut aussi être maîtrisée par l'application de produits chimiques (fongicides). Ceux-ci assurent une répression partielle de la fusariose et de la contamination par les mycotoxines associées. Les fongicides sont appliqués à l'anthèse pour réduire les pertes de rendement et la contamination par les mycotoxines (Mesterházy et *al.* 2003). Il sera donc nécessaire de surveiller plusieurs paramètres tels que les conditions climatiques, surtout au stade critique de contamination, et d'assurer une application au bon stade de développement de la plante (Giraud et *al.* 2011). Mise à part l'emploi des fongicides, la résistance génétique a aussi été considérée comme la plus rentable des stratégies de gestion de la fusariose. (Ruckenbauer et *al.* 2001).

Il existe une sensibilité différente des espèces incriminées à la fusariose en fonction des molécules actives utilisées. Par exemple, *F. graminearum* est particulièrement sensible aux triazoles alors que *M. nivale* l'est beaucoup moins (Champeil et *al.*, 2004, Parry et *al.*, 1995).

5.4. Résistance variétale

La sélection des variétés résistantes donne de bons résultats cependant il faut entretenir une diversité génétique de manière à ne pas faciliter les mutations adaptatives et les expansions géographiques de champignon. Depuis quelques années la recherche se concentre surtout sur l'identification des gènes impliqués dans la résistance, ceux codant pour des enzymes entrants dans la biosynthèse de composé toxiques pour le champignon, et ceux codant pour des toxines protéiques qui inhibent directement sa croissance (Cornelissen et Malchers 1993 ; Terras et *al.*, 1998 ; Valpuesta, 2002).

5.5. Moyens de lutte biologique

De nombreux agents de bio-contrôle sont actuellement disponibles dans le commerce.

Le principe repose sur l'hyper-parasitisme. Certains champignons sont des parasites d'autres champignons. C'est le cas pour de nombreuses espèces du genre *Trichoderma*. *T. harzianum* a été décrit comme capable de contrôler les pathologies induites par *F.oxysporum* sur le bananier (Thangavelu et *al.*, 2004).

I. MATERIELS

1. Matériel végétal

Des échantillons de blés dur et tendre récoltés durant la campagne 2013-2014 de différentes régions céréalières de l'Algérie ont été analysés dans le but d'estimer la contamination du blé par les différentes espèces de *Fusarium* et de confirmer la présence de ce pathogène dans certaines régions (tab 2).

Pour les tests de pathogénie et d'agressivité nous avons utilisé Deux une variété de blé tendre il s'agit de la variété HD1220 et une variété de blé dur MBB.

Tableau 2: liste d'échantillons de grains de blé analysés.

Espèce	Nom de la variété	Région géographique	Année de récolte
1	Bousselam	Sétif	2013
2	GTA	Oued Smara	2015
3	GTA	Bordj	2013-2014
4	Vitron	Berrouaghia	2014
5	Vitron	CCLS (Berroighia)	
6	Vitron _{R1}	Ghilizane	2013-2014
7	Chen's	Bouredj bouariridj	2014
8	Djanete	Sétif	2015
9	Semito _{R1}	Ghilizane	2015
10	Sémito	El- Meniaa	2015
11	Sémito	EL-Khemis	2015
12	Sémito	CCLS	2014
13	MBB	Sétif	2015
14	H×D 1220	Ghilizane	2015

(Originale, 2016).

I. MATERIELS

1. Matériel végétal

Des échantillons de blés dur et tendre récoltés durant la campagne 2013-2014 de différentes régions céréalières de l'Algérie ont été analysés dans le but d'estimer la contamination du blé par les différentes espèces de *Fusarium* et de confirmer la présence de ce pathogène dans certaines régions (tab 2).

Pour les tests de pathogénie et d'agressivité nous avons utilisé Deux une variété de blé tendre il s'agit de la variété HD1220 et une variété de blé dur MBB.

Tableau 2: liste d'échantillons de grains de blé analysés.

Espèce	Nom de la variété	Région géographique	Année de récolte
1	Bousselam	Sétif	2013
2	GTA	Oued Smara	2015
3	GTA	Bordj	2013-2014
4	Vitron	Berrouaghia	2014
5	Vitron	CCLS (Berroighia)	
6	Vitron _{R1}	Ghilizane	2013-2014
7	Chen's	Bouredj bouariridj	2014
8	Djanete	Sétif	2015
9	Semito _{R1}	Ghilizane	2015
10	Sémito	El- Meniaa	2015
11	Sémito	EL-Khemis	2015
12	Sémito	CCLS	2014
13	MBB	Sétif	2015
14	H×D 1220	Ghilizane	2015

(Originale, 2016).

I. MATERIELS

1. Matériel végétal

Des échantillons de blés dur et tendre récoltés durant la campagne 2013-2014 de différentes régions céréalières de l'Algérie ont été analysés dans le but d'estimer la contamination du blé par les différentes espèces de *Fusarium* et de confirmer la présence de ce pathogène dans certaines régions (tab 2).

Pour les tests de pathogénie et d'agressivité nous avons utilisé Deux une variété de blé tendre il s'agit de la variété HD1220 et une variété de blé dur MBB.

Tableau 2: liste d'échantillons de grains de blé analysés.

Espèce	Nom de la variété	Région géographique	Année de récolte
1	Bousselam	Sétif	2013
2	GTA	Oued Smara	2015
3	GTA	Bordj	2013-2014
4	Vitron	Berrouaghia	2014
5	Vitron	CCLS (Berroighia)	
6	Vitron _{R1}	Ghilizane	2013-2014
7	Chen's	Bouredj bouariridj	2014
8	Djanete	Sétif	2015
9	Semito _{R1}	Ghilizane	2015
10	Sémito	El- Meniaa	2015
11	Sémito	EL-Khemis	2015
12	Sémito	CCLS	2014
13	MBB	Sétif	2015
14	H×D 1220	Ghilizane	2015

(Originale, 2016).

2 .Matériel biologique

Au cours de cette étude, nous avons utilisé six espèces de *Fusarium* (tab3), à savoir les souches, *F. graminearum*, *F. pseudograminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum*, et l'isolat de *F. poea* qui a été isolé au cours de ce travail.

Tableau 3: liste des différents isolats Fusariens utilisés.

N° d'isolat	Code expérimentale	Espèce	Organe d'isolement	Année d'isolement
01	FC011	<i>F.culmorum</i>	Grain	2011
02	FC1006	<i>F.culmorum</i>	Grain	2006
03	FPs014	<i>F.pseudograminearum</i>	Grain	2014
04	FG014	<i>F.graminearum</i>	Grain	2014
05	FP013	<i>F.poea</i>	Grain	2013
06	FA_v 013	<i>F.avenaceum</i>	Grain	2013

(Originale,

2016).

2. Méthode d'isolement à partir des grains de blé

Le prélèvement des 100 grains de blé doit se faire d'une manière aléatoire. Les grains de blé sont désinfectés superficiellement dans de l'hypochlorite de sodium dilué à 2% pendant 3 min, puis rincés 3 fois à l'eau distillée stérile, après séchage, 10 grains sont déposés dans des boîtes contenant du DCPA (dichloran chloramphénicol peptone agar) et sont incubées 6 jours dans une étuve à une température de 25 c°. Une fois que les *Fusarium spp.* Infectant les grains se développent sur le milieu semi sélectif DCPA, les colonies de *Fusarium* sont repiquées sur milieu agar de dextrose de pomme de terre (PDA).

En suite des cultures monosporales ont été réalisées à partir de chaque colonie avant l'identification des isolats.

2.1. La culture monosporale

Cette technique a pour objectif d'isoler une seul spore. Le mode opératoire consiste à mettre un morceau d'implant de l'échantillon dans un flacon contenant 6 ml d'eau distillée ; après agitation au vortex, à l'aide d'une anse nous avons prélevé un peu de milieu puis nous l'avons étalé sur un coté de la boîte en

faisant des allées et retour «scarification». Après avoir flambé l'anse, nous avons prélevé à nouveau et scarifié un autre côté de la boîte.

Après 24 h d'incubation, les spores commencent à émettre des tubes germinatifs, un prélèvement d'une seule colonie est alors effectué en boîte de Pétri contenant du PDA.

Après 7 à 10 jours d'incubation, les colonies sont pures.

2.2. Identification morphologique des isolats

L'identification est basée sur les caractères morphologiques et les aspects cultureux

(La densité, Pigmentation du mycélium, aspect du mycélium) du champignon obtenu sur milieu de culture PDA, l'identification pourra être réalisée en utilisant les clés de références de Leslie et *al.*, (2006).

2.2.1. Identification macroscopique :

Observation se fait à l'œil nu et à la loupe binoculaire en se basant essentiellement sur l'aspect culturelle des isolats et la coloration du mycélium sur milieu PDA. Le diamètre de la colonie, de leur revers et présence des exsudats etc.

- vitesse de croissance
- aspect du mycélium aérien
- couleur de l'envers de la colonie
- odeur

2.2.2. Identification microscopique

L'examen microscopique d'une colonie fongique se fait après réalisation d'un étalement entre lame et lamelle et coloration de la préparation au Bleu Cotton. Généralement, un examen à l'objectif 40 est suffisant pour mettre en évidence la plupart des éléments importants de diagnose (Cahagnier et Richard-Mollard, 1998).

- la forme, la taille des macroconidies
- la présence ou l'absence des microconidies et des chlamydospores

2.2.3. La conservation des isolats

les champignons, une fois purifiés, sont conservés en tubes sur des milieu courants tel que le milieu PDA (Botton et *al.*, 1990). Il est prudent d'utiliser un système

rationnel d'étiquetage de façon à ce que chaque isolat, tout en étant désigné par un minimum de signe, puisse être identifié sans ambiguïté (Dave et *al.*, 1997).

Une fois repiqués dans les tubes inclinés sont incubés à température ambiante pendant 12 jours et conservés à $4 \pm 1^\circ\text{C}$ (Bensmira, 2006).

3. Test de pathogénicité et d'agressivité

Deux méthodes d'inoculations ont été utilisées pour étudier la pathogénie et l'agressivité des six espèces de *Fusarium*, Méthode de contact d'un fragment mycélien avec le collet de la plantule au stade de trois feuilles et la méthode d'inoculation artificielle par suspension sporale réalisée dans le stade de floraison.

3.1. Inoculation par fragment mycéliens au stade de trois feuilles

L'essai a été réalisé sous serre, deux variétés ont été étudiées de blé dur (MBB) et blé tendre (HDD), le semis a été réalisé dans des petits pots de diamètre (6cm) l'inoculation au stade trois feuilles, remplis avec un mélange stérile de sable, tourbe et de terreau (1 : 1 : 1 : v/v/v).

L'inoculum a été préparé à partir de cultures pures âgées de 12 jours sur milieu PDA. Des fragments de 1 cm ont été découpés et déposés adjacent à la plantule au niveau du collet avec trois répétitions pour chaque isolat. Des plantules inoculées par des fragments de PDA, ne contenant pas de champignon, ont été utilisées comme témoin négatif.

a. 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 la 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 : plant sain.

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 morte.

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

Isolats faiblement agressifs : $IS \leq 2$

Isolats moyennement agressifs : $2 < IS < 4$

Isolats fortement agressifs ≥ 4

3.2. Inoculation au stade floraison par pulvérisation de la suspension sporale

Les semences ont été placées à une profondeur de 2 cm, dans des sacs noirs en plastiques (15 cm de diamètre) remplis avec un mélange stérile de sable, tourbe et de terreau (1 :1 :1 v/v/v), à raison de 4 semences par pot. Le dispositif expérimental est de type aléatoire complet.

L'essai a été réalisé sous serre à une température comprise entre 21 à 25 °C. L'irrigation a été faite régulièrement suivant les besoins des plantes.

L'inoculation des réalisée au stade floraison complète. L'inoculum a été préparé à partir des cultures âgées 12 jours la concentration de la suspension de spores a été ajustée à 10^6 spores/ml.

Après humidification des pis, l'inoculation est réalisée à l'aide d'un pulvérisateur. On recouvre la partie aérienne avec un sac en plastique pour maintenir une certaine humidité relative 100% pendant 48 h, le temps nécessaire pour la germination des spores.

7 jours après l'inoculation des notations sont réalisées tous les 7 en se basant sur une échelle de notation Michel (2001) de 0 à 9, sachant que 9 correspond à une sensibilité maximale et 0 à l'absence totale des symptômes (tab 4).

Tableau 4: Echelle d'évaluation utilisée pour l'estimation de la sévérité de l'infection par *Fusarium* sur épi.

Note	Partie de l'épi infectée	Description des symptômes
1	0.5%	Sans symptômes.
2	2.5%	Traces de symptôme, un épillet sur 10 épis montre des symptômes.
3	10%	10% des épillets de chaque épi sont infectés.
4	25%	Un quart des épillets épi sont infectés.
5	50%	La moitié des épillets d'un épi sont infectés.
6	75%	Trois quarts des épillets sont infectés.
7	90%	10% des épillets d'un épi ne sont pas infectés.
8	97.5%	Peu d'épillets d'un épi ne sont pas infectés.
9	100%	Tous les épis sont morts.

(Mascher et *al.*, 2005).

3.3. Effet des isolats de *Fusarium spp.* sur la croissance du coléoptile in vitro

La technique adoptée est celle décrite par Mesterhazy (1983). Des flacons contenant 50 ml de bouillon de pomme de terre PDB (potato dextrose broth) sont inoculés avec 4 explants mycéliens pour chaque isolat de *Fusarium spp.* Prélevés sur des cultures âgées de 7 jours. Les flacons sont incubés à 20 °C sous agitation continue (250 rpm) pendant 7 jours.

Dans des boîtes de pétri (90 mm de diamètre) sont placées sur le milieu, ensuite 8 ml de mycélium sont déposés et couverts avec un 2^{ème} papier filtre stérile. Un nombre de 25 graines de blé préalablement désinfectées (à l'aide de l'hypochlorite de sodium) sont déposées dans chaque boîte. Les boîtes contenant les graines inoculées par les différents isolats sont incubées à 25 °C à raison de deux répétitions pour chaque isolat. Une boîte témoin est réalisée et incubées dans les mêmes conditions.

Les mesures de la croissance du coléoptile sont effectuées au bout du 4^{ème} jours d'incubation.



(Originale, 2016).

Figure 9: boîte de pétri contenant les graines de blé (25 graines) inoculées par me mycélium.

4. La mise en évidence de la toxinogénèse des six espèces de *Fusarium*

L'identification du potentiel toxigène des isolats de *Fusarium* a été basée sur une méthode physico-chimique, la chromatographie sur couche mince (CCM) qui permet caractériser les constituants d'un échantillon selon leur différence d'affinité entre les molécules de ces espèces et les molécules présentes d'une part dans l'éluant (phase mobile), d'autre part dans le support solide (phase fixe).

4.1. Analyse par CCM du potentiel toxigène des isolats de *Fusarium*

a. Principe

Le mélange est fixé sur un support appelé phase stationnaire (un gel de silice déposé en couche mince sur une plaque d'aluminium). Il est entraîné par un solvant approprié (phase mobile ou éluant) qui migre par capillarité sur la plaque. Les constituants du mélange se séparent par migration différentielle : chacun d'eux est

d'autant plus entraîné par l'éluant qu'il est plus soluble dans celui-ci et moins adsorbé sur la phase stationnaire.

Après migration les taches doivent être révélées ; c'est la détection qui se fait par observation à la lumière UV si la plaque de silice comporte un indicateur de fluorescence.

4.2 .Mise en culture des isolats de *Fusarium* pour la production des spores en milieu liquide CMC

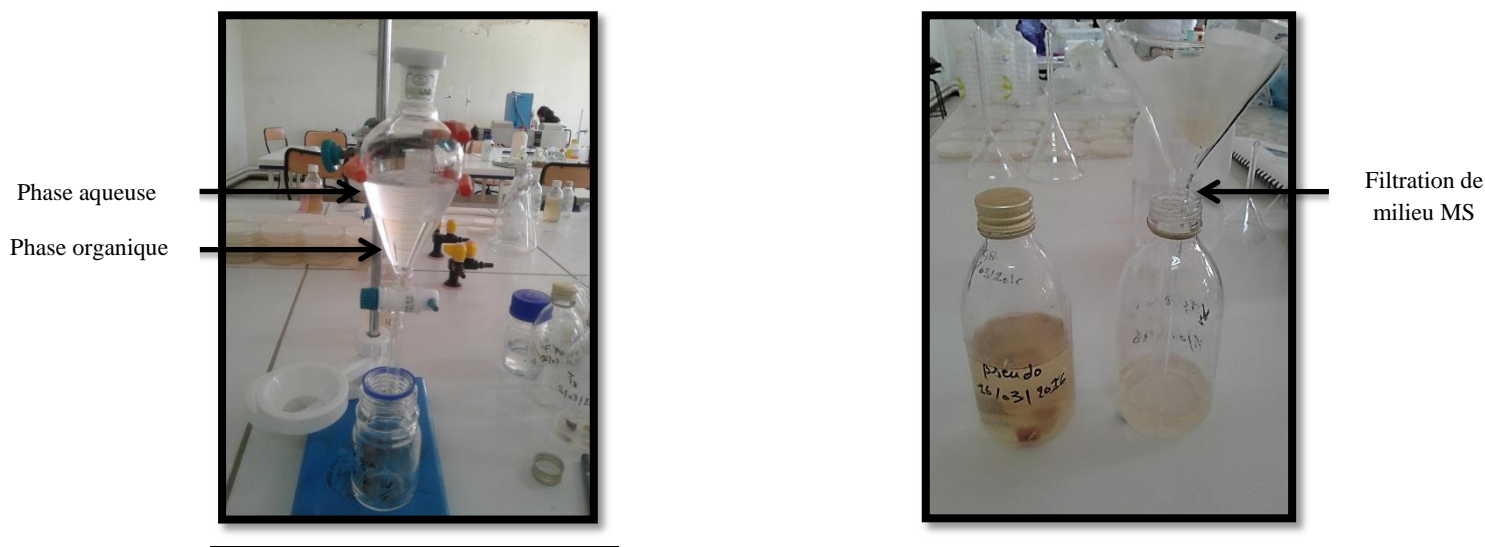
La capacité de sporulation des souches a été mesurée par détermination de la concentration en spores produites sur milieu CMC ((carboxy-méthyl-cellulose) liquide pour les *Fusarium*, qui est utilisé pour favoriser une meilleure production des spores des *Fusarium*. Des explants ont été prélevés d'une colonie pure de chaque souche âgée de 12 jours. Les flacons sont hermétiquement fermés, sont incubés à 25 °C pendant huit jours. Après incubation, les cultures sont arrêtées sur des filtres en polyéthylène stériles.

4.3. Milieu synthétique pour mycotoxine

Pour l'induction de la production des mycotoxines, nous avons utilisées le milieu de culture liquide MSM (mycotoxinsynthetic medium) de vogel (1956(0.5 g/l de KH₂PO₄ ; 0.6 g/l de K₂HPO₄ ; 0.017 g/l de MGSO₄ ; 0.1 mg/l de biotine ; 20 g/l de glucose ; et 0.1 ml/l d'une solution de sels minéraux 50 x) a été utilisé. La préparation de ce milieu de culture consiste dans un premier temps à faire dissoudre le glucose dans l'eau, puis autoclavé pendant 30 min à 105 ° C ; puis, les différentes solutions des autres constituants ont été additionnées stérilement. Un volume de 100 ml du milieu MSM a été réparti stérilement dans des fioles erlenmeyer de 200 ml. Après inoculation des fioles avec 100 ml de filtrat obtenus du milieu CMC sont additionnées à 200 ml de milieu MS dans des conditions stériles, sont ensuite incubés à 25.° C pendant 14 jours pour la production des mycotoxines.

4.4. Extraction et purification des trichotécènes TCTB à partir du milieu de culture liquide MS

Pour l'extraction, 50 ml d'acétate d'éthyle sont ajoutés à 25 ml de milieu MS, on vortex pendant 1 min. après décantation (30 MIN-1H) jusqu'à l'apparition de deux phase, toute la quantité du surnageant est prélevée pour être évaporé sous vide à l'aide d'un rotavapeur. L'extrait sec est repris avec 2 ml de méthanol/eau (1/1, v/v).



(Originale,

2016).

Figure 10: le prélèvement du surnageant.

4.5. Analyse des trichothécènes B par CCM :

La chromatographie est une méthode physique de séparation de mélanges leurs constituants; elle est basée sur les différences d'affinité des substances à l'égard de deux phases, l'une stationnaire ou fixe, l'autre mobile.

L'atmosphère de la cuve doit être saturée en vapeur d'éluant c.à.d. 10 ml de notre système solvant éthyle d'acétate et hexane (16/4).

Ceci impose d'avoir une cuve bien fermée et préparée un certain temps à l'avance, et le niveau de l'éluant au fond de la cuve doit être de 5 à 8 mm.

b. les plaques de la CCM

On repère à l'avance l'emplacement ou seront effectués les dépôts, pour cela on trace un léger trait de crayon parallèle au bord inférieur de la plaque à une distance de

2 cm. Les dépôts seront effectués sur cette ligne, à 1 cm du bord de la plaque et espacés de 1 cm.

Les solutions avec lesquelles on va réaliser les dépôts doivent être des solutions diluées. Des tubes capillaires en verre sont utilisés pour effectuer les dépôts et qui doivent se faire en une durée très brève afin d'éviter l'étalement de ces derniers.

Nous avons fait une révélation aux **UV** qui ont permis de mettre en évidence sous forme de taches sombres des substances qui absorbent les UV, une autre méthode de révélation est utilisée, il s'agit d'une méthode chimique cependant, une coloration permet de détecter des quantités très faibles : le chlorure d'alumine, qui chauffé à 120°C pendant 7 minutes permet d'obtenir une coloration bleue fluorescente (IPCS, 1990). On peut atteindre avec cette méthode des limites de détection de l'ordre de 20 ug/kg dans les aliments (Kamimura, 1981).

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Identification des espèces associées à la fusariose

Les colonies roses et blanches de *Fusarium* qui se sont développées sur DCPA ont été confirmées par repiquage de ces champignons sur PDA, ainsi une identification a été réalisée basée sur l'analyse des critères généraux et morphologiques en utilisant la clé d'identification de Leslie *et al.* (2006).

Les résultats ont montré que 60% des 14 variétés analysées collectées à partir de 6 régions céréalières, ont été infestés par les espèces des genres *Fusarium* et *Microdochium*. L'identification morphologique a montré la présence de 4 espèces fongiques à savoir

M. nivale, *F. culmorum*, le *F. poae* et le *F. pseudograminearum* (fig9). D'autres champignons saprophytes ont été aussi isolés à savoir *Alternaria spp.* et *aspergillus spp.*

Grâce aux isolements nous avons obtenu une gamme d'isolats de *Fusarium* provenant de différentes régions céréalières d'Algérie qui sont représentés dans le (tab 5).

Tableau 5: la gamme d'isolats obtenus des isolements.

N d'isolat	Espèce	Variété	Origine géographique	Organe d'isolement	Année d'isolement
01	<i>Microdochium nivale</i>	Vitron	Berrouaghia	Grain	2014
02	<i>Fusarium pseudo graminearum</i>	Semito	El-Menia	Grain	2015
03	<i>Fusarium poae</i>	Semito	El-Khemis	Grain	2015
04	<i>Fusarium culmorum</i>	GTA	Oued Smara	Grain	2015

(Originale, 2016).

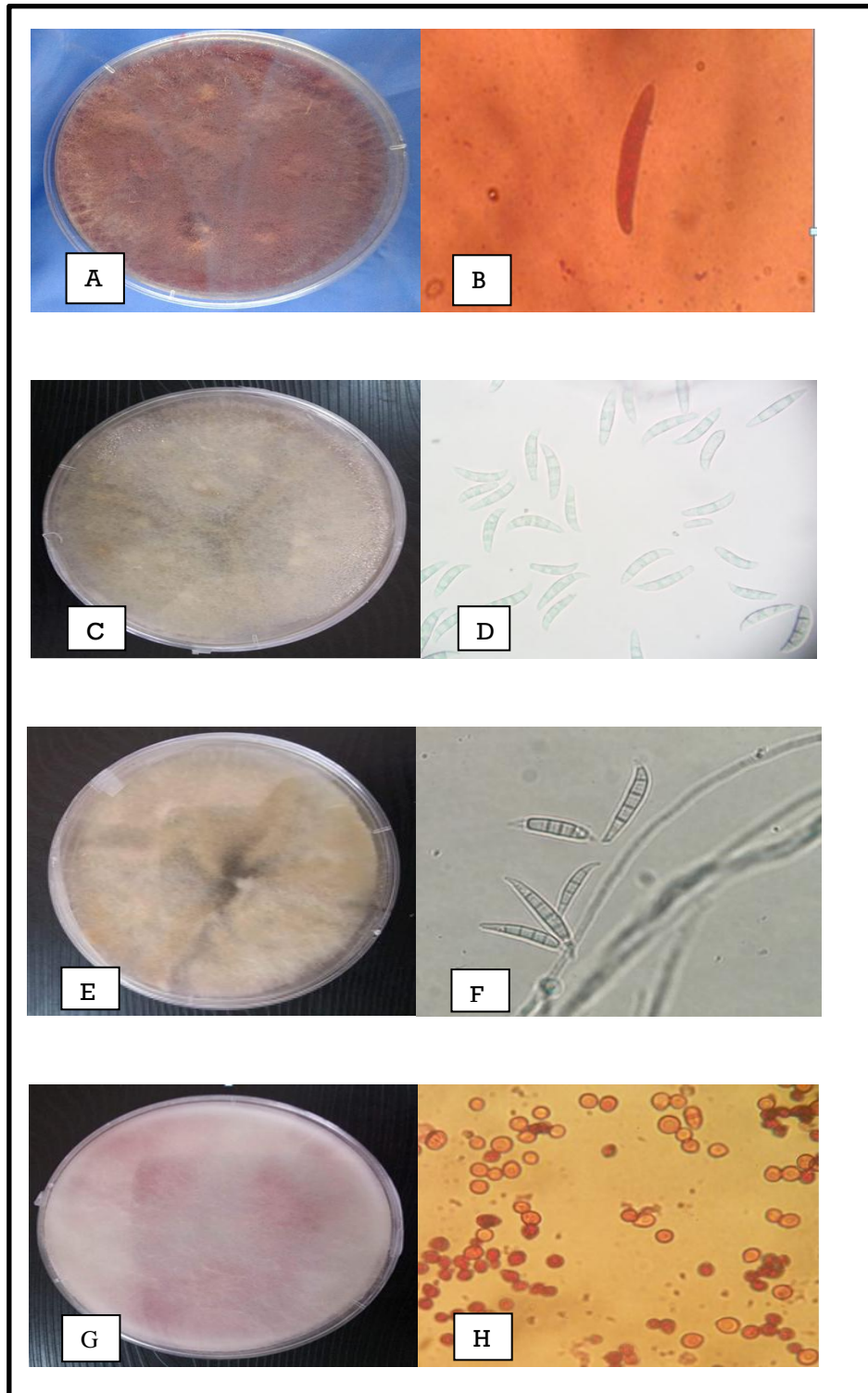


Figure11: aspects morphologiques et microscopique (G×40) des espèces fongiques isolées à partir des grains de blé : (A) des colonies de *Fusariumculmorum* de couleur rouge, (B) macroconidies sont épaisses et faiblement arquées. (C) des colonies de *microdochium nival* de couleur abricot, (D) les macroconidies sont de taille petit et les microconidies sont absent. (E) des colonies de *Fusariumavenaceum*, (F) des colonies a mycelium aérien duveteux de couleur qui varie du rouge, blanc avec des

reflets jaune ou rouge au contact d'agar. (G) des colonies de *Fusarium* à mycélium aérien et abondant initialement pale devenant marron avec l'âge, un pigment rouge ou jaune se forme au contact de l'agar, (H) les macroconidies sont globuleuse et presentent une papille, elles sont généralement non cloisonnés.

2. Agressivité des espèces de *Fusarium*

L'étude de la pathogénie et de l'agressivité de six espèces à savoir: *F. culmorum*, *F. pseudograminearum*, *F. graminearum* et *F. avenaceum*, *F. poea* aide à mieux comprendre l'épidémiologie du complexe fongique associé à la fusariose du blé afin d'entreprendre des stratégies de lutte appropriée. Plusieurs études ont été conduites sur la pathogénie et l'agressivité des espèces de *Fusarium* sur blé (Mishra et al.,2003 ; Smiley et al.,2005 ; Wu et al.,2005; Akinsanmi et al.,2006 ; Qu et al.,2008). Dans ce cadre, nous proposons d'étudier dans ce travail la pathogénie et l'agressivité de six espèces de *Fusarium* sur des plantules et plants adultes de deux variétés de blé, il s'agit de la variété de blé tendre HD1220 et la variété de blé dur MBB. Tout d'abord, deux techniques d'inoculation ont été testées (par suspension sporale, et par fragment mycélien) en utilisant 6 isolats de *Fusarium* isolés des grains et de l'épi.

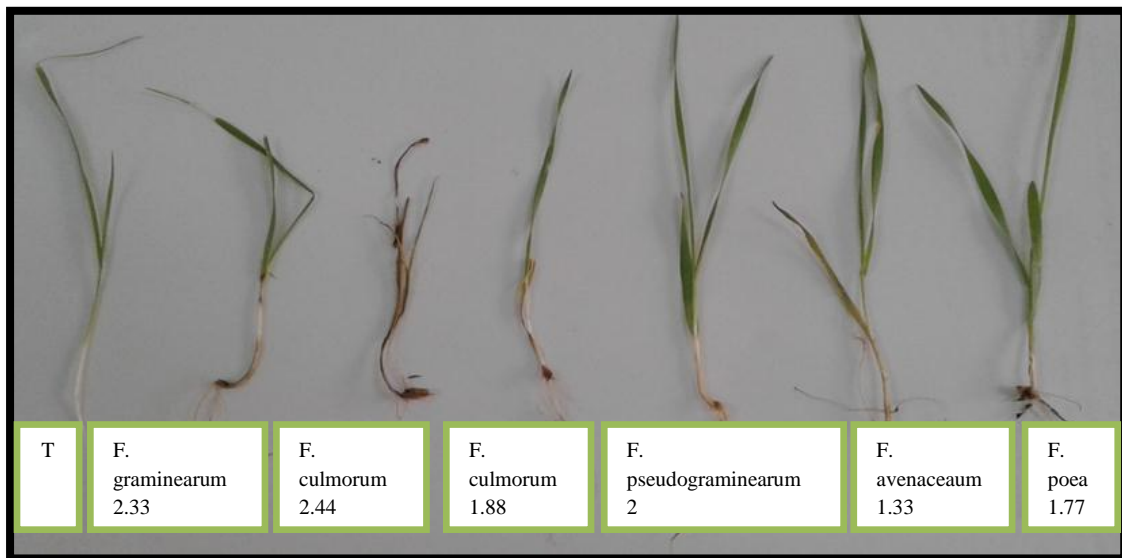
2.1. Résultat d'inoculation au stade trois feuilles

Au cours de cet essai, 6 isolats de *Fusarium* , 2 souches de *F. culmorum* de chemotype différents DON et NIV, *F. avenaceum*, *F. pseudograminearum*, *F. graminearum* et *F.poea* ont été testés. Les résultats de cette étude ont montré que toutes les espèces testées ont engendré l'apparition d'un brunissement au niveau du collet, tandis que les plantules témoins n'ont pas montré de symptômes d'attaque (fig10).



(Originale, 2016).

Figure 12 : Indice de sévérité des six isolats sur des plantules de blé (MBB) attaqué comparés au témoin au stade trois feuilles.



(Originale, 2016).

Figure 13: Indice de sévérité des six isolats sur des plantules de blé (HDD) attaqué comparés au témoin au stade trois feuilles.

a. Discussion

Les résultats ont montré aussi que l'indice de sévérité de la maladie est variable selon les espèces et selon les isolats. En effet, l'indice de sévérité varie de 2.5 pour

l'espèce *F. culmorum* NIV 3.25 pour *F. culmorum* DON, de 3.21 pour l'espèce *F. graminearum*, de 3.11 pour l'espèce *F. pseudograminearum*, et nous avons noté aussi 2.66 pour l'espèce *F. poea* par contre des indices de sévérité plus faible de 2.33 ont été notés pour l'espèce *F. avenaceum*. (fig12).

Généralement ce test a montré que les espèces *F. culmorum* et *F. graminearum* est induit l'indice de sévérité de la maladie le plus élevé pour toutes les plantules de blé testées (fig 14).

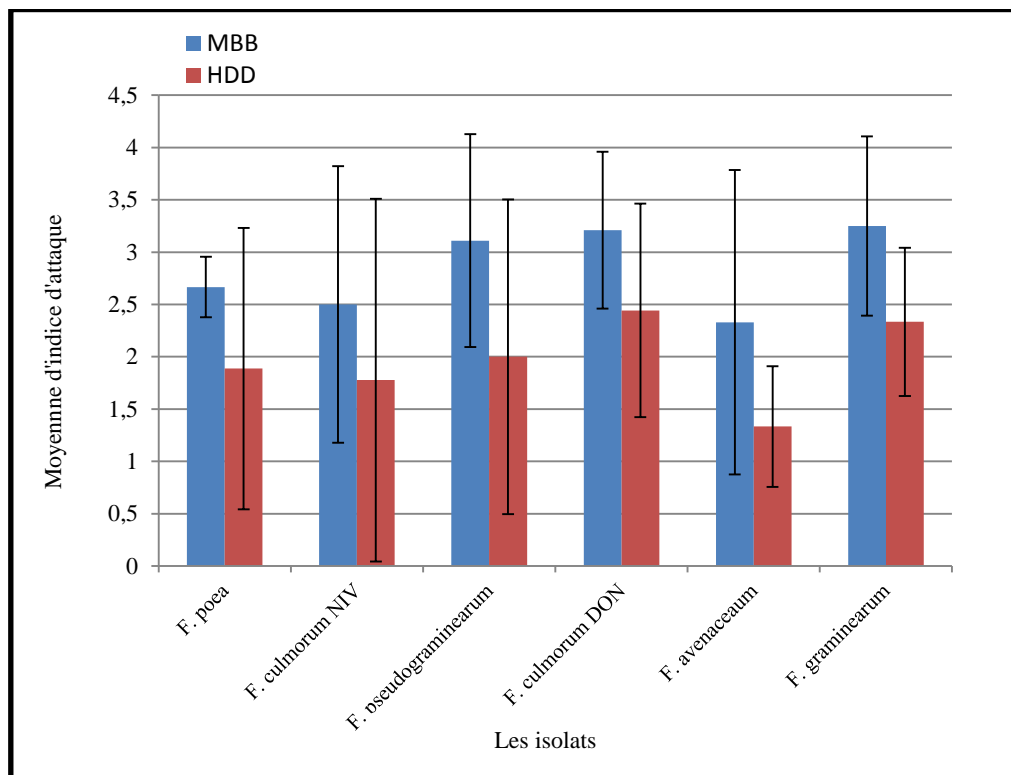
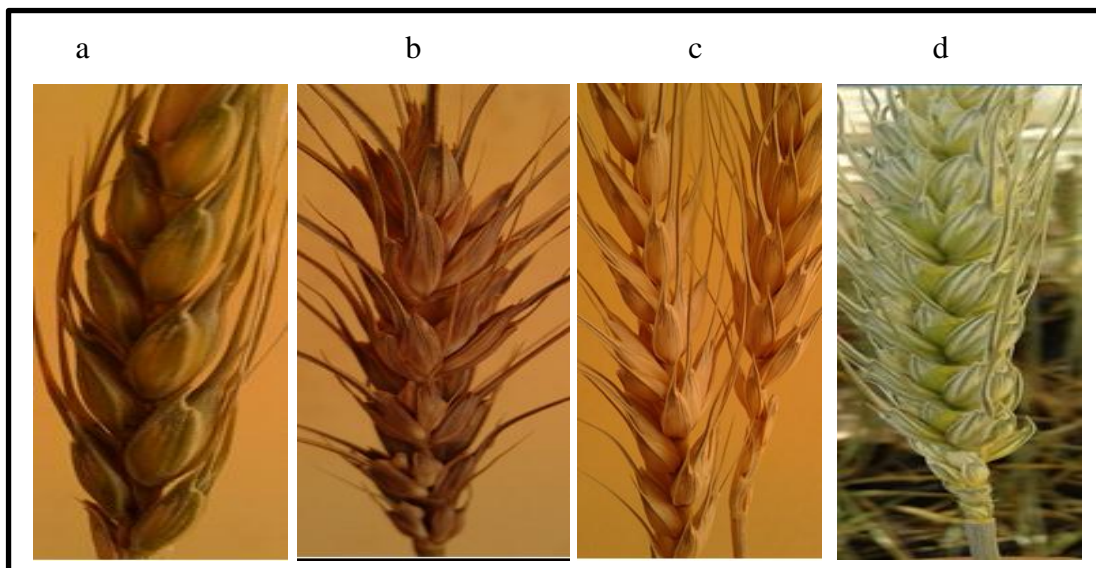


Figure 14 : les moyennes d'indice d'attaque des plantules de blé au stade trois feuilles

2.2. Résultat d'inoculation à stade floraison

Au cours de cet essai, l'agressivité des 6 espèces de *Fusarium*, a été étudiée. L'inoculation artificielle a été réalisée au moyen d'une suspension sporale de chaque espèce.

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 (21 jours après l'inoculation), tous les épillets inoculés ont été complètement attaqués (fig.15). Les épis témoins, n'ont pas montré de symptômes d'attaques.



(Originale, 2016).

Figure15 : symptômes de la fusariose de l'épi sur épis inoculés (a, b, c) compare au témoin (d) non inoculé.

Les résultats obtenus ont montré que les moyennes des indices d'attaques sont différentes d'un isolat à un autre. En effet, la moyenne d'attaque est 76.66 pour *F. culmorum* DON, 72.91 pour *F. graminearum*, 65 pour *F. pseudograminerum*, 61.11 pour *F. poea*, 53.33 pour *F. avenaceum*, 49.44 pour *F. culmorum* NIV (fig16).

Ce test a montré que l'espèce *Fusarium culmorum* induit le moyen d'attaque le plus élevé pour toutes les plantules de blé testées.

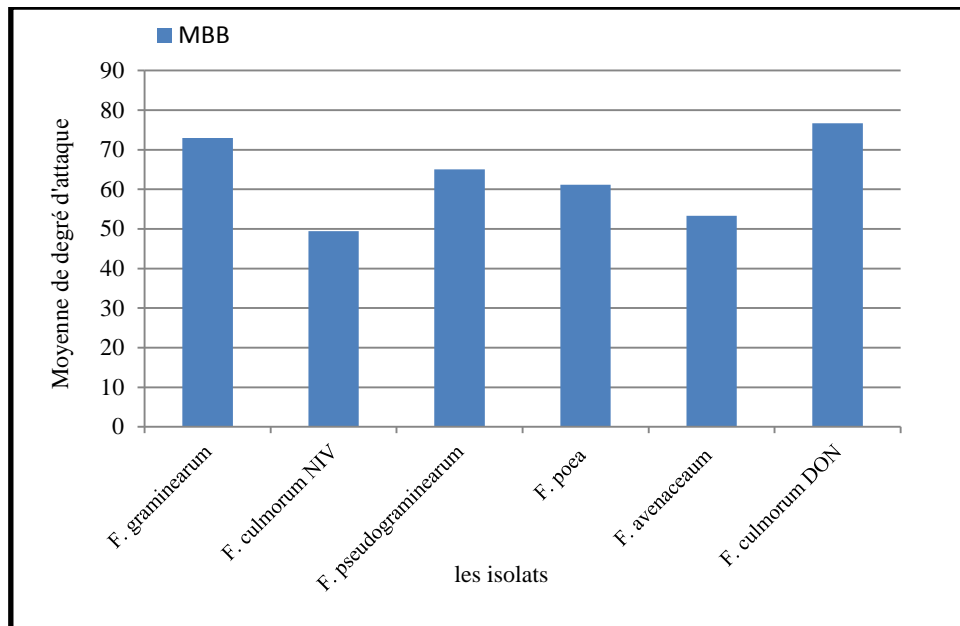


Figure 16: Moyennes de degré d'attaques des plantes de blé au stade floraison après 21 jours d'inoculation.

a. Discussion

Différentes méthodes d'inoculation ont été décrites dans la littérature pour évaluer la pathogénie et l'agressivité des espèces de *Fusarium*. Ces méthodes incluent : l'inoculation des grains en les plaçant sur du papier filtre imbibé d'inoculum (Brennan et al., 2003; Mesterházy, 1983), l'inoculation des plantules soit en utilisant un sol infesté (Smiley et Patterson, 1996) soit des gains inoculés (Mishra et al., 2003), l'inoculation des plantules par l'ajout sur la surface du substrat de grains inoculés et broyés (Wang et al., 2006) ou par une suspension sporale (Carter et al., 2002) ou en plaçant un fragment d'agar mycélien à la base du collet (Fernandez et Chen, 2005 ; Tunali et al., 2006), ou bien l'inoculation des coléoptiles en couvrant leurs bouts par des pièces de papiers filtres imbibés de suspension sporale (Wu et al., 2004). Au cours de cette étude, deux techniques d'inoculation ont été utilisées: l'inoculation des épis au stade floraison par une suspension sporale, et l'inoculation par fragment mycélien au stade 3 feuilles.

Tous les isolats se sont montrés pathogènes sur plantules et sur épis. De plus, les résultats ont montré qu'indépendamment des techniques d'inoculation, tous les isolats ont induit une décoloration au niveau du collet et de l'épi engendrant des indices de sévérités différents. Cependant, la technique d'inoculation par fragment mycélien

semble être plus facile et demande moins de temps. De plus, certains isolats de *Fusarium* n'ont pas pu sporuler abondamment.

L'étude de l'agressivité des espèces de *Fusarium* a montré que les espèces *F. graminearum* et *F. culmorum* sont les plus agressifs. Alors que les espèces *F. culmorum* NIV et *F. avenaceum* sont moins agressifs. Il est à noter que le *F. culmorum* qui de chémotype DON est plus agressif que le *F. culmorum* de chémotype NIV.

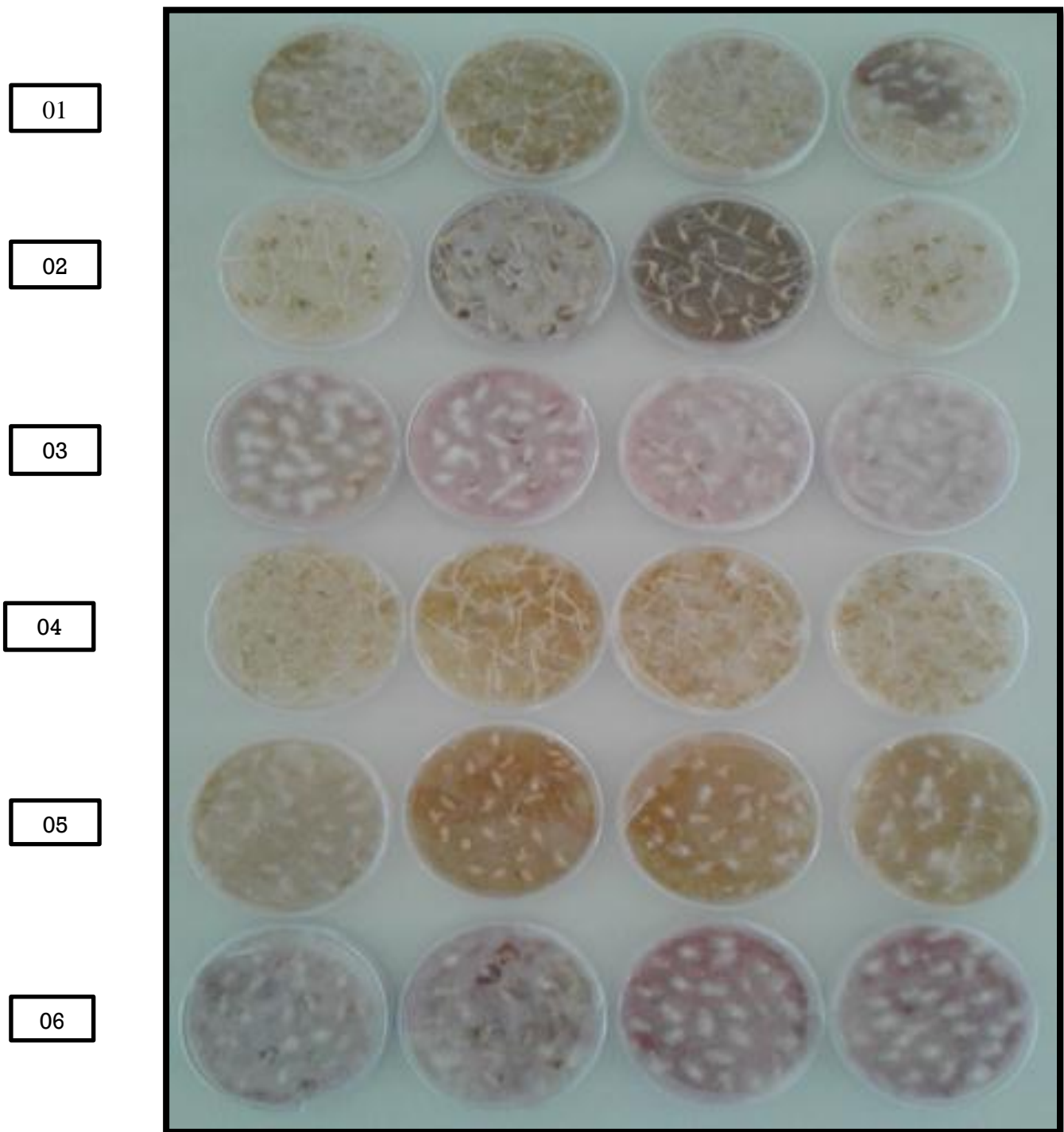
En étudiant l'agressivité de plusieurs espèces de *Fusarium*, vis-à-vis de la pourriture des racines, Fernandez et Chen (2005) ont rapporté que les deux espèces *F. culmorum* et *F. graminearum* sont plus agressives que l'espèce *F. avenaceum*. De plus, Smiley et al. (2005) ont rapporté que sous serre, les espèces *F. culmorum* et *F. pseudograminearum* peuvent engendrer des niveaux d'attaques élevés. Les résultats trouvés au cours de cette étude sont aussi en accord avec les travaux de Tunali et al. (2006). Ces derniers ont noté une pathogénie élevée, causée par les espèces *F. culmorum* et *F. pseudograminearum*, sur des plantules de blé.

Brennan et al. (2003) ont également rapporté que sur coléoptiles de blé, les espèces *F. culmorum* et *F. graminearum* sont plus agressives que les espèces *F. avenaceum* et *M. nivale*.

Les résultats de cette étude ont montré aussi, une grande variation entre les isolats, et que l'agressivité peut varier au sein d'une même espèce.

2.3. Effet des isolats de *Fusarium spp.* sur la croissance du coléoptile in vitro

Le test de pathogénicité est réalisé à une température 25 °C. Le degré d'agressivité des isolats de *Fusarium spp.* est exprimé par le pourcentage de réduction de la croissance du coléoptile par rapport au témoin non inoculé.



(Originale 2016).

Figure 17: Effet des isolats de *Fusarium spp.* sur la croissance de coléoptile après 4 jours d'incubation à 20 °C.

Tableau 6: pourcentage moyen de réduction de la croissance du coléoptile par rapport au témoin, sous l'effet des isolats de *Fusarium spp.* Après 4 jours d'incubation à 25 °C.

Espèce	Pourcentage moyen de réduction de la croissance du coléoptile après 4 jours d'incubation à 25 °C
<i>F. pseudograminearum</i>	60
<i>F. poea</i>	40
<i>F. graminearum</i>	98
<i>F. avenaceaum</i>	20
<i>F. culmorum</i> NIV	94
<i>F. culmorum</i> DON	98

(Originale,

2016).

a. Discussion

L'étude de l'effet des isolats de *Fusarium* sur la croissance du coléoptile à une température d'incubation de 25 °C montre que des pourcentages de réduction de la croissance de coléoptile sont élevés par rapport au témoin.

L'agressivité des isolats varie selon les espèces, mais une variabilité est également notée aussi entre les différents isolats de la même espèce, il est noté un agressivité de 98 pour le *F. culmorum* de chémotype DON, tandis que le *F. culmorum* de chémotyp NIV est de 94.

L'espèce la plus agressive est *Fusarium graminearum* et *Fusarium culmorum* DON avec un pourcentage moyen de réduction de la croissance du coléoptile de 98, et l'espèce la moins agressive est *Fusarium avenaceaum* avec un pourcentage de réduction moyen de 20. Tandis que le *F. pseudograminearum*, *F. poea* induit un pourcentage moyen de réduction de 60, 40 respectivement.

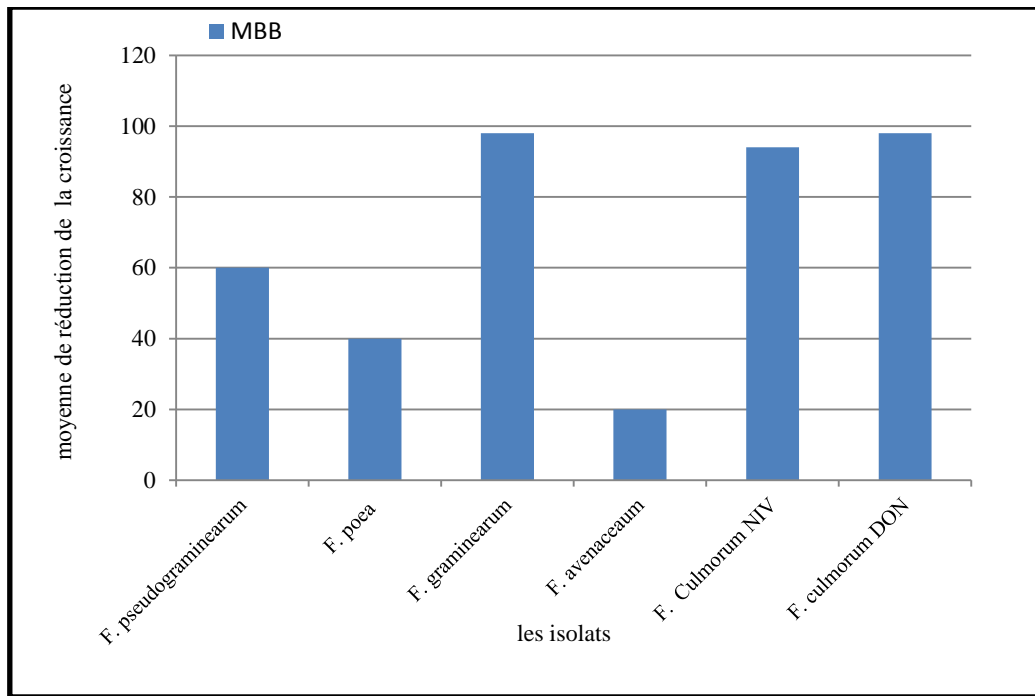


Figure 18: Pourcentage moyen de réduction de la croissance du coléoptile après 4 jours d'incubation à 25 °C.

3. Extraction des mycotoxines et la migration sur la plaque CCM

La chromatographie sur couche mince (CCM), qui est destinée surtout à la séparation en vue d'analyse d'un mélange. Nous a permis l'identification le potentiel toxigène des deux isolats de *Fusarium* analysés.

la lecture sous UV à nécessite un révélateur chimique, chlorure d'Aluminium, nous avons utilisé la lampe UV de 360 nm (fig 17).

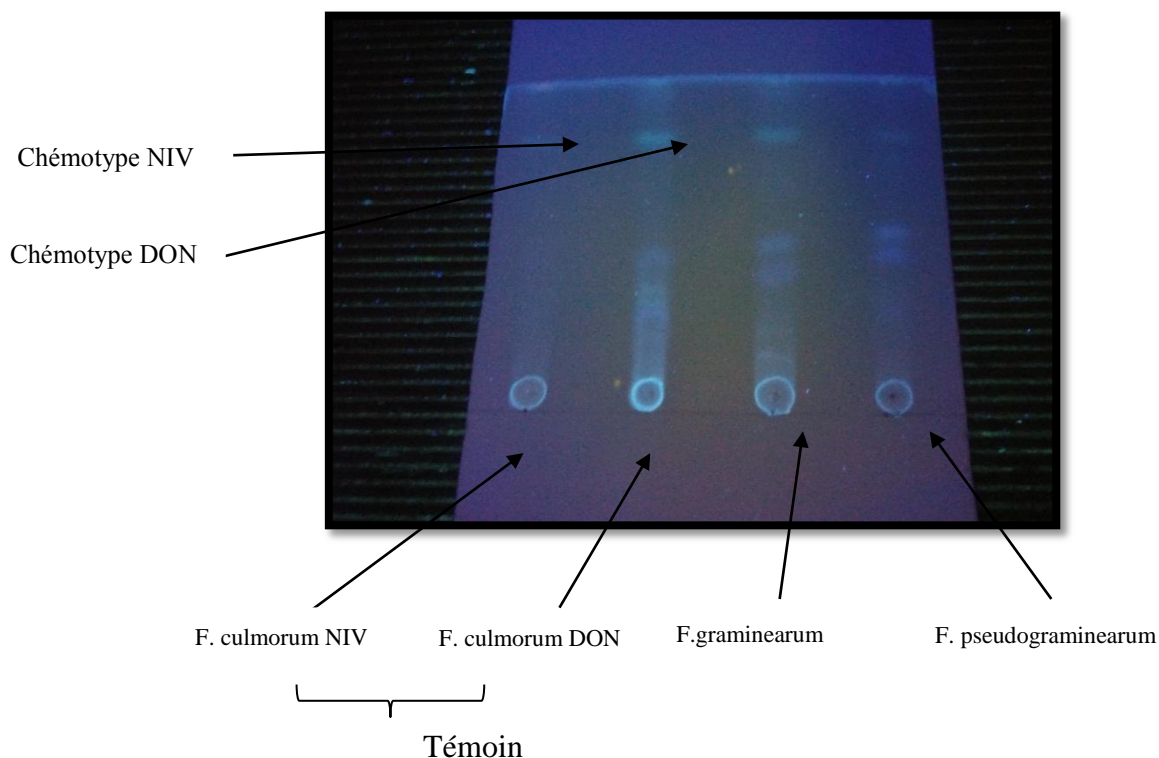
a. Discussion

La lecture de la plaque CCM sous la lampe UV a permis de constater une séparation qui s'est produite sur la plaque des bandes linéaires. Avec de la même densité et qui émettent une fluorescence bleu. L'effet chémotype à bien apparus, deux taches ont attiré notre attention, il s'agit de l'isolat (3) *Fusarium graminearum* et (4) *Fusarium pseudograminearum* qui ont le même profil et qui correspond au profil de la souche de chémotype DON. Covarelli et *al.* (2014) ont mentionné l'importance d'étudier les chémotypes des populations de *Fusarium* car la toxicité des NIV et DON varie selon l'hôte touché. Nous tenons à rappeler que les spots 1 et 2 correspondent à nos deux souches de référence *Fusarium culmorum* de chémotype Don/Adon et NIV respectivement. Il faut savoir que la toxine Niv est produite en très faible

concentration par le champignon qui est difficile à détecter même par HPLC, Tandis que le DON est produit à de très forte quantité.

Les résultats nous ont permis d'identifier les chémotypes des deux isolats 3 et 4 et qui sont de chémotype DON. Et il montre qu'il existe une différence dans les niveaux des trichotécènes produites par les isolats.

Différent mycotoxines peuvent être produites.ils s'agit essentiellement des mycotoxines qui appartient a la famille des trichotécènes B Parmi les espèces productrices de TCTB, il est possible de distinguer des isolats de *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* de chémotype DON qui synthétisent le Deoxynivalenol et d'autres de chémotype NIV qui synthétisent du Nivalénol (NIV).les NIV sont considérés comme les plus toxique à l'homme et aux animaux alors que les DON peuvent être plus phytotoxique (Bottalico, 1998).



(Originale, 2016).

Figure 19: révélation de la plaque CCM sous les rayons UV.

Conclusion

Les céréales occupent, à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agronomique. Le blé, en particulier, constitue une céréale importante, d'un point de vue économique et en tant que denrées alimentaires pour l'homme.

Il existe une tendance mondiale à une demande accrue pour le blé tant dans les pays

industrialisés que dans les pays en voie de développement.

La première partie de cette étude a visé l'identification des espèces pathogènes qui sont associées à la fusariose.

Les isolations effectuées à partir des grains de blé ont permis d'obtenir une gamme d'isolats. L'identification de ces isolats a abouti à la détermination de 4 espèces différentes : *F. culmorum*, *F. pseudograminearum*, *F. poae* et *Microdochium nivale*. Les isolats sont identifiés en se basant sur les critères morphologiques. Parmi les espèces isolées *F. Culmorum* est la plus dominante.

Plusieurs auteurs expliquent la dominance de chaque espèce dans une région donnée par les conditions climatiques. En effet, plusieurs travaux ont rapporté que l'espèce *F. Culmorum* est la plus dominante dans les pays de l'Afrique du Nord.

La connaissance des espèces de *Fusarium* majoritaires sur céréales permet de mieux appréhender le risque sanitaire que constitue la production de mycotoxines par ces champignons et de mettre en place des moyens de lutte adaptés en prenant en compte des facteurs tels que le climat

La deuxième partie de ce travail a porté sur l'étude de la pathogénie et de l'agressivité

Des principales espèces fongiques isolées sur des plantules et plants de blé. Dans un premier temps, deux techniques d'inoculation ont été testées et comparées entre elles. Toutefois la technique d'inoculation par fragment mycélien semble être plus simple et demande moins de temps. Les résultats de l'agressivité des isolats de *Fusarium* par l'inoculation des fragments mycéliens montrent que *F. graminearum* est l'espèce la plus agressive.

L'inoculation des épis a montré que l'espèce la plus agressive est *F. culmorum* suivi de *F. graminearum*, alors que l'espèce *F. Avenaceum* a montré une agressivité réduite. D'après l'étude de l'effet de la croissance mycélienne des isolats sur la

germination du coléoptile montre que les espèces *F. culmorum* DON, *F. graminearum* qui ont réduit la germination. Les travaux de Mesterhazy (1983-1984) ont montré l'existence d'une corrélation entre la réduction de la croissance du coléoptile des plantules in vitro et les tests de la pathogénicité sur les épis pour l'espèce *F. graminearum*.

La comparaison des résultats obtenus de ces tests montre que l'agressivité des isolats varie entre les espèces de *Fusarium*, et une variabilité aussi a été notée entre les différents isolats de mêmes espèces.

Le résultat obtenu montre aussi que la variété de blé HD1220 s'est montrée moins résistante par rapport à la variété de blé dur MBB, la culture de ces variétés dans les zones favorables au développement de la fusariose favorise la contamination des grains par ces champignons toxigènes.

Le dernier volet de cette étude a porté sur l'identification du potentiel toxigène, les résultats obtenus par la méthode chromatographique montre que les deux isolats testés sont de chémotype TCTB (DON).

En perspectives, il est intéressant de pousser les études pour une connaissance globale des différentes espèces responsables de la fusariose de l'épi en Algérie.

Il est nécessaire d'effectuer un échantillonnage plus large dans les principales régions céréalières du pays et dans les différents étages bioclimatiques, afin d'identifier les espèces existantes, leur pouvoir pathogène et leur fréquence selon les régions.

La disponibilité d'une classification de la sensibilité des cultivars du blé est un outil de plus pour les agriculteurs comme moyen de lutte contre la fusariose. Toutefois, cette maladie étant très complexe, il ne faut négliger aucun des autres facteurs afin de réduire les risques de contamination des récoltes par les toxines.

Références bibliographique

- Akinsanmi, O.A, Bachhouse, 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.
- anchis, M., Gennari, M., Matta, A. 1985. Retardation of *Fusarium* wilts symptoms in tomato by pre-and post-inoculation treatments of the roots and aerial parts of the host hot water. *Physiological Plant Pathology*, 26, pp.175-183.
- Aouali, S. Douici, A.2005. Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes développement et moyens de lutte. ITGC EL Harrach, Alger 51 pp.
- 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
- Bai G.et Shaner G.1994. Scab of wheat: prospects for control. *Plant Dis.*78 : 760-766.
- Bailey, K.L., Couture, L., Gossen, B.D., Gugel, R.K. et Morrall, R.A.A. 2004. Maladies des grandes cultures au Canada. Société canadienne de phytopathologie. 318p
- Bailey, K.L., Couture, L., Gossen, B.D., Gugel, R.K. et Morrall, R.A.A. 2004. Maladies des grandes cultures au Canada. Société canadienne de phytopathologie. 318p.
- Bakan B. (1998) Approche physiologique de la biosynthèse des trichothécènes par *Fusarium*. Thèse, Université Paris-Grignon, France, 150 p.
- 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.
- Ben Brahim K., 2009 - Composition et structure de la végétation des périmètres Céréaliers abandonnés dans la région d'Ouargla. Mém. Magister, Univ, Ouargla, 61 p.
- Bensamira, S.2006. Isolement et caractérisation de souches de milieux extrêmes (sol sobkha de la région de Beskra) productrice de cellulase thermostable a

intérêt industriel. Thèse de magistère. CONSTANTINE. Université de Mentouri. 166p.

- Betina Y., (1993). Thin-layer chromatography of mycotoxins. *In* : Chromatography of Mycotoxins : techniques and applications. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp 141-233
- Bily, A. C., L. M. Reid, M. E. Savard, R. Reddy, B. A. Blackwell, C. M. Campbell, A. Krantis, T. Durst, B. J. R. Philogene, J. T. Arnason, and C. Regnault-Roger. 2004. Analysis of *Fusarium graminearum* mycotoxins in different biological matrices by LC/MS. *Mycopathologia* 157:117-126.
- Bonjean, et Picard, 1990: les cereals à paille: origine, histoire, économique, sélection. Softword-Groupe ITM, Paris 208p.
- Bottalico, A. 1998. *Fusarium disease* of cereals: species complex and related mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *European Journal of Plant Pathology*, 108, 611-624.
- Botton B., Breton A., Fèvre M., Gauthier S., Guy P., Larpent J.P., Reymond P., Sanglier J.J., Vayssier Y., Veau P., (1990), Moisissures utiles et nuisibles, Importance industrielle, *Ed. Masson*, Paris
- Botton R, Breton A, Fèvre M., Guy PH., Larpent J.P. et Veau P., (1985). Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle. *Biotechnologies*. Masson, p139 à 145.
- Bouchet P., Guignard J.L. et Villard J., (2000). Les champignons. Mycologie fondamentale et appliquée. Abrégés. Edition Masson p77.
- Boulelouah N. 2002. Analyse de la variabilité génotypique de l'absorption de l'azote chez le blé tendre. DEA.INA. Paris Grignon, 33p.
- Bourdeau, A. and G. Ménard (1992). Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Laval, Les Presses de l'Université de Laval.
- Brennan JM, Fagan B, Van Maanen A, Cooke BM, Doohan FM, 2003. Studies on *in vitro* growth and pathogenicity of European *Fusarium* fungi. *European Journal of Plant Pathology* 109, 577–587.
- Brown, N. A., Urban, M., Van De Meene, A. M. & Hammond-Kosack, K. E. 2010. The infection biology of *Fusarium graminearum*: defining the pathways of spikelet to spikelet colonisation in wheat ears. *Fungal Biol*, 114, 555-71.

- Cahagnier B., Richard-Molard D., (1998), Analyse mycologique in *Moisissures des aliments peu hydratés*, Ed. Tec & Doc, p 140-158.
- Cahagnier R, (1997). Les mycotoxines dans les céréales. Journée d'information « céréales et sécurité alimentaire », dossier participant, IFBM, Nancy p19-25.
- Carter, J.P., Rezanoor, H.N., Holden, D., Desjardins, A.E., Plattner R.D., and Nicholson, P. 2002. Variation in pathogenicity associated with the genetic diversity of *Fusarium graminearum*. *Eur. J. Plant Pathol.* 108: 573-583.
- Champeil, A., Dore, T. & Fourbet, J. F. 2004. *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.
- Champion R., (1997). Identifier les champignons transmis par les semences. Techniques et Pratiques. INRA Editions p166 à 197.
- Chellali B. 2007. Marché mondial des céréales: L'Algérie assure sa sécurité alimentaire.
- Chermette. R., Bussieras.J. (1993). Parasitologie vétérinaire : mycologie. Edité par le Service de Parasitologie de l'Ecole Nationale vétérinaire de Maisons-Alfort. Chez le blé tendre. *Agronomie* 13,829-833.
- Choueiri E., 2003 - La céréaliculture. Projet "Assistance au Recensement Agricole", FAO, Liban, 69 p.
- Chromatography of mycotoxins : techniques and applications. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. pp 253-356.
- Clement G. et Prats. 1971. Les céréales. Ed.J.B. Bailliers et Fils, 360p.
- Cornelisse B.J.C., Melchers, L.S.1993. strategies for control of fungal diseases with transgenic plants. *Plant physiol.*, 101, pp.709-712.
- Covarelli, L., Beccari, G., Prodi, A., Generotti, S., Etruschi, F., Juan, C., Ferrer, E., & Mañes, J. (2014). *Fusarium* species, chemotype characterisation and trichothecene contamination of durum and soft wheat in an area of central Italy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(3), 540-551.
- Dangbedji J., 2006 - Les viandes et les céréales destinées à l'alimentation animale marqueront les prochaines années de la production agricole mondiale. La direction des études et des perspectives économiques, Vol. 22, n° 23, 2 p.

- Davet, P. Rouxel, F. 1997. Detection et isolement des champignons du sol INRA. Paris . 201pp.
- Djaouti M., 2010 - renforcement des capacités des acteurs de la filière céréale en Algérie dans le cadre d'un partenariat nord- sud .cas de wilaya de sétif .Mém. Master of science N°106.Montpellier, CIHEAM-IAMM, 137 p.
- Djermoun A., 2009 - La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. Revue Nature et Technologie. N° 01, Univ, Chlef, pp. 45-53.
- Eliard J.L. 1979. Manuel d'agriculture générale. Ed. J.B. Bailière, Paris, 344 p.
- FAO., 2013 - Perspectives alimentaires. (Les marchés en bref), 11 p.
- Feliachi K., 2000 - programme de développement de la céréaliculture en Algérie.
- Fernandez, M.R., et Chen, Y. 2005. Pathogenicity of *Fusarium* species on different plant Parts of spring wheat controlled conditions. Plant Diseases of wheat and rye. Phytopathologische Zeitschrift, 100, 44-87.
- Frisvad J.C. et Thrane D., (1993). Liquid column chromatography of mycotoxins.
- Gate P. 1995. Ecophysiologie du blé. Ed. ITCF. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 419 p.
- Giraud, T., Fournier, E., Vautrin, D., Solignac, M., Vercken, E., Bakan, B., & Brygoo, Y. (2002). Isolation of eight polymorphic microsatellite loci, using an enrichment protocol, in the phytopathogenic fungus *Fusarium culmorum*. *Molecular Ecology Notes*, 2(2), 121-123.
- Goswami, R. S., and H. C. Kistler. 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Mol. Plant Pathol.* 5:515-525.
- Hamel L., 2010 - Appréciation de la variabilité génétique des blés durs et des blés
- Hargaz H., 2007 - Identification et sélection des caractères de résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions semi-arides des hauts plateaux de Sétif. Mém. Mag. Institut national d'agronomie EL Harrach, Alger, 78 p.
- Homdork S., Fehnnann H. et Beek R., (2000). Influence of different storage conditions on the mycotoxin production and quality of *Fusarium* infected wheat grain. *Journal of Phytopathology* 148, 7-15.

- http://www.fredon-npdc.com/fiches/_2002_12_les_principales_maladiesdu_blé transmises par les semences.
- <http://www.sticman.fr/images/fusarioses/AGRIDYNE-BLE-FUSARIOSE.pdf>.
- Ilgen, P., Hadelier, B., Maier, F. J. et Schäfer, W. 2009. Developing Kernel and Rachis Node Induce the Trichothecene Pathway of *Fusarium graminearum* During Wheat Head Infection. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 22, 899-908.
- Ioos R, Belhadj A, Menez M, Faure A, 2005. The effects of fungicides on *Fusarium* spp. And *Microdochium nivale* and their associated trichothecene mycotoxins in French naturally infected cereal grains. *Crop Protection* 24, 894-902.
- Jansen C., von Wettstein D., Schafer W., Kogel K.H., Felk A. & Maier F.J. (2005) Infection patterns in barley and wheat spikes inoculated with wild-type and trichodiene synthase gene disrupted *Fusarium graminearum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 16892-16897.
- Jonard P. et Koller J. 1950. Les facteurs de la productivité chez le blé. Résultats obtenus en 1948 et 1949. *Ann. Am. Plant.*, 2: 256-276.
- Kamimura. H., Nishijima. M., Yasuda. K., Saito. K., Ibe. A., Nagayama. T., Ushiyama. H., Naoi. Y. 1981 Simultaneous detection of several *Fusarium* mycotoxines in cereals, grain and food stuffs. *J. Assc. Off. Anal. Chem.* 1067-1073.
- Kebri, F. (2003) : Avec un niveau de consommation de 60 millions de qx/an, l'Algérie un grand consommateur. *Partenaires. Mensuel de la chambre française de commerce et d'industrie en Algérie.* N° 41 Décembre, 23p.
- Kellil H., 2009 - Contribution à l'étude du complexe entomologique des Céréales dans la Région des hautes plaines de l'est algérien. *Mém. Magister, Univ, Batna*, 188 p.
- Kheyar M.O., Amara M., Harrad F., 2007-la mécanisation de la céréaliculture algérienne : constat et perspectives. *Annales de l'Institut National Agronomique- El-Harrach- Alger.* Vol.28 N° 1 et 2.

- Koehler, B., Dickson, J. G., & Holbert, J. R. (1924). Wheat scab and corn root caused by *Gibberella saubinetii* in relation to crop successions. *Journal of Agricultural Research*, 61.
- Krska R., Baungartner J.S. et Joseph R, (2001). The state of the art in the analysis of type A and B trichothecene mycotoxins in cereals. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry* 371, 285-299.
- Langseth W., Ellingsen Y., Nymoen U. et Okland KM., (1989). High-performance liquid chromatographic determination of zearalenone and ochratoxin A in cereals and feed. *J. Chromatogr.* 478, 269-274.
- Lauzon M., Dion Y., Rioux S., 2007. Fusariose de l'épi chez le blé et l'orge ; CÉROM Saint-Bruno-de-Montarville, bulletin technique : phytopathologie No :2.01, 5p.
- IDSA., 2015 - Direction des services agricoles, rapport des cultures en wilaya, 113 p.
- Les principales maladies transmises par les semences. Décembre 2002.
- Leslie J.F. & Summerell B.A. (2006) *The Fusarium Laboratory Manual*. In: Blackwell publishing, 388 p.
- Li S., Marquardt R.R., Abramson D., Immunochemical detection of molds: A review, *Journal of Food Protection*, Volume 63, Issue 2, 2000, Pages 281-291
- Liddell CM, 2003. Systematics of *Fusarium* species and allies associated with Fusarium head blight. Pages 35-43 in: *Fusarium head blight of wheat and barley*. K. J. Leonard and W. R. Bushnell, eds. *The American Phytopathological Society*, St. Paul, MN.
- Liggitt J, Jenkinson P, Parry DW, 1997. The role of saprophytic microflora in the development of *Fusarium* ear blight of winter wheat caused by *Fusarium culmorum*. *Crop Protection* 16(7), 679-685.
- Mahfoud, A. et Lasbahani, A. 2015. Approche de lutte contre les maladies fongiques du blé : étude de l'efficacité de trois molécules antifongiques (in-vitro et in situ) et l'effet antagoniste de certains microorganismes fongiques (in-vitro). Thèse de master : Université des Frères Mentouri Constantine.
- Mascher, F., Michel, V. et Browne, R. A. 2005. Sélection de variétés de blé et de triticales résistantes à la fusariose sur épi. *Revue suisse agricole*. 37 (5) : 189-194.

- Masclef, A. (1987). Atlas des plantes de France : Textes, Belin.
- Masle-Meynard J. 1980. L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière. Thèse de Docteur-Ingénieur. INA-PG, Paris, 274p.
- McCormick, S. P., Stanley, A. M., Stover, N. A. & Alexander, N. J. 2011. Trichothecenes: From Simple to Complex Mycotoxins. *Toxins*, 3, 802-814.
- McMuII en M., Jones J. et Gallenberg D. 1997. Scab of wheat and barley: A re-emerging disease of devastating impact. *Plant Dis.* 81 : 1340-1348.
- Mesterhazy, A 1987. Selection of head blight resistant wheats through improved seedling resistance. *Plant Breed.* 98 95-36.
- Mesterházy, Á., Bartók, T., & Lamper, C. (2003). Influence of wheat cultivar, species of *Fusarium*, and isolate aggressiveness on the efficacy of fungicides for control of *Fusarium* head blight. *Plant Disease*, 87(9), 1107-1115.
- Michel, V. 2001. La sélection de variétés de blé et de triticales résistantes aux maladies. *Revue suisse agricole* 33 (4) : 133-140.
- Mishra, P.K., Fox, R.T.V., and Culham, A. 2003. Inter-simple sequence repeat and aggressiveness analyses revealed high genetic diversity, recombination and long-range dispersal in *Fusarium culmorum*. *Ann. Appl. Biol.* 143: 291-301.
- 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.
- Moule C. 1971. Céréales 2. Phytotechnie spéciale. Ed. La maison rustique, Paris, 236p.
- Mycotoxins : techniques and applications. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp 141-233.
- Nelson P.E., Toussoun T.A. et Marasas W.F.O., (1983). *Fusarium* species. An illustrated manual for identification. The Pennsylvania State University Press, University Park, Pa, 193pp.

- Oerke EC, Meier A, Dehne HW, Sulyok M, Krska R, Steiner U, 2010. Spatial variability of *Fusarium* head blight pathogens and associated mycotoxins in wheat crops. *Plant Pathology* 59, 671-682.
- Pageau, D., Lafond, J., Lajeunesse, J., & Savard, M. E. (2008). Effect of preceding crop and nitrogen fertilization on the deoxynivalenol contents of barley. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 30(3), 397-403.
- Parry D.W., Jenkinson P. et McLeod L. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals - a review. *Plant Pathol.* 44: 207-238.
- Pathogens from China and Europe by SSCP and seedling assays on wheat. *Plant Pathol.* 57: 642-651.
- Pirgozliev S. R., Edwards S. G., Hare M. C., Jenkinson Peter. « Strategies for the control of *Fusarium* head blight in cereals ». *European journal of plant pathology. Workshop of the EU COST Action 835 Agriculturally Important*
- Pitt J.I., (2000), Toxigenic fungi and mycotoxins, *Br. Med. Bull.*, 56 (1), 184 - 192.
- Placinta C. ., D'mello J. P., Macdonald A. M. « A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins ». *Animal Feed Science and Technology*. 31 mars 1999. Vol. 78, n°1-2, p. 21-37.
- Ponts N., Pinson-Gadais L., Barreau C., Richard-Forget F. & Ouellet T. (2007) Exogenous H₂O₂ and catalase treatments interfere with *Tri* genes expression in liquid cultures of *Fusarium graminearum*. *FEBS Letters*, 581, 443-447.
- Qu, B., Li, H.P., Zhang, J.B., Huang, T., Carter, J., Liao, Y.C., and Nicholson, P. 2008. Comparison of genetic diversity and pathogenicity of *Fusarium* head blight
- Rocha O., Ansari K. & Doohan F.M. (2005) Effects of trichothecene mycotoxins on eukaryotic cells: A review. *Food Additives and Contaminants*, 22, 369-378.
- Ruckebauer P, Buerstmayr H, Lemmens M, 2001. Present strategies in resistance breeding against scab (*Fusarium* spp.). *Euphytica* 119, 121-7.
- Smiley, R.W. and Patterson, L.M. 1996. Pathogenic fungi associated with *Fusarium* footrot of winter wheat in the semiarid Pacific Northwest USA. *Plant Dis.* 80: 944-949.

- Smiley, R.W., Gourlie, J.A., Easley, S.A., et Patterson, L.M. 2005. Pathogenicity of fungi associated with the wheat crown rot complex in Oregon and Washington. *Plant Disease* 89: 949-957.
- Sutton J-C. 1982. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Can. J. Plant Pathol.* 4 : 195-209.
- Sydenham, E. W., Marasas, W. F. O., Thiel, P. G., Shephard, G. S., & Nieuwenhuis, J. J. (1991). Production of mycotoxins by selected *Fusarium graminearum* and *F. crookwellense* isolates. *Food Additives and Contaminants*, 8(1), 31-41.
- Tabuc, C. 2007. Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines. Thèse de Doctorat. Université de Bucarest Toulouse. 190p.
- Tekauz, A., McCallum, B., & Gilbert, J. (2000). *Fusarium* head blight of barley in western Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 22(1), 9-16.
- Terras, F.R., Penninckx, I.A., Goderis, I.J. Broekaert, W.F. 1998. Evidence that the role of plant defensins in radish defense responses is independent of salicylic acid. *Planta*, 206, pp.117-124 .
- Thangavelu R., Palaniswami A., Velazhahan R., Mass production of *Trichoderma harzianum* for managing *Fusarium* wilt of banana, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volume 103, Issue 1, 2004, Pages 259-263.
- Trotter M., *Innovations Agronomiques* 35 (2014), pp173-180.
- Tunali, B., Nicol, J., Yelda Erol, F., and Altiparmak, G. 2006. Pathogenicity of Turkish crown and head scab isolates on stem bases on winter wheat under greenhouse conditions. *Plant Pathol. J.* 5: 143-149.
- Valpuesta, V. 2002. *Fruit and vegetable biotechnology*. Woodhead Publishing Ltd. England, 332 p.
- Walker, S. L., Leath, S., Hagler W.M, Jr., et Murphy, J. P. (2001). Variation among isolates of *Fusarium graminearum* associated with *Fusarium* head blight in North Carolina. *Plant Disease*, 85(4), 404-410
- Walter, S., Nicholson, P. et Doohan, F. M. 2009. Action and reaction of host and pathogen during *Fusarium* head blight disease. *New Phytol*, 185, 54-66.

- Wang, H., Hwang, S.F., Eudes, F., Chang K.F., Howard, R.J., and Turnbull, G.D. 2006. Trichothecenes and aggressiveness of *Fusarium graminearum* causing seedling blight and root rot in cereals. *Plant Pathol.* 55: 224-230.
- Wheat and changes of level in relation to storage parameters. *Food Additives and*
- Windels, C. E. (2000). Economic and social impacts of Fusarium head blight: Changing farms and rural communities in the Northern Great Plains. *Phytopathology*, 90(1), 17-21.
- Wu, A.B. Li, H.P., Zhaco, C.S. et Liao, Y.C. 2005. Comparative pathogenicity of *Fusarium graminearum* isolates from china revealed by wheat coleoptile and floret inoculations. *Mycopathologia* 160: 75-83.
- Wu, A.B., Li, H.P., Zhaco, C.S., and Liao, Y.C. 2005. Comparative pathogenicity of *Fusarium graminearum* isolates from China revealed by wheat coleoptile and floret inoculations. *Mycopathologia* 160: 75-83.
- Xu XM, Nicholson P, 2009. Community ecology of fungal pathogens causing wheat head blight. *Annual Review of Phytopathology* 47, 83–103.
- Xu XM, Parry DW, Nicholson P, Thomsett MA, Simpson D, Edwards SG, Cooke BM, Doohan FM, Brennan JM, Moretti A, Tocco G, Mule G, Hornok L, Giczey G, Tatnell J, 2005. Predominance and association of pathogenic fungi causing *Fusarium* ear blight in wheat in four European countries. *European Journal of Plant Pathology* 112, 143-154.
- Zadoks J.C., Chang P.T. et Konzak E.F. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Ecarpia Bul.*, 7: 42-52.

Annexes N° 1 : les milieux utilisés

Composition de milieu DCPA (Dicholoran chloramphenicol Peptone Agar)

Peptone bacteriologies	15.0 g
K ₂ HPO ₄	01.0 g
MgSO ₄ 7H ₂ O	0.5 g
Chloramphenicol	0.2 g
Crystal violet en solution aqueuse	1 ml

Composition de milieu (PDA) Potato Dextrose Agar

Agar-agar	20 g
Pomme de terre	200 g
Dextrose (Glucose)	20 g
Eau distillée	1000 ml
Agar	15.0

Composition de milieu PDB (Potato Dextrose Broth)

Pomme de terre	200 g
Glucose	20 g
Eau distillé stérile	1000 ml
Eau distillée	1000 ml

Les milieux sont autoclavés à 120 °C pendant 20 mn.

Annexes N° 2 : Caractéristiques des variétés du blé utilisée

Mohamed Ben Bachir (MBB)

Variété: Mohamed Ben Bachir

Espèce : Blé dur

Pédigrée:

Origine: Algérie

Obteneur: Sétif

Demandeur: ITGC

Anné d'inscription : 1998

Caractéristiques morphologique

Compacité de l'épi : compact

Couleur de l'épi : roux

Hauteur du plant à la maturité : 120 cm

Caractéristiques culturales :

Alternativité : automne

Cycle végétative : tardif

Tallage : moyen

Résistance

Au froid : résistance

À la verse : sensible

À la sécheresse : tolérance

Résistance aux maladies

Rouille jaune : tolérante

Rouille brune : sensible

Rouille noire : sensible

Piétin échaudage: tolérante

Oidium : tolérante

Septeriose : assez sensible

Fusariose : assez sensible



Figure: variété Mohamed Ben Bachir (MBB).

HIDDAB (HDD)

Variété : Hiddab
Espèce : Blé tender
Pedigrée: D1220/3*Kal/NalCM40450
Origine : Mexique
Obtenteur: Cimmyt
Demandeur: ITGC

Année d'inscription : 1998

Caracteristiques morphologiques

Compacité de l'épi : très lache
Couleur de l'épi : blanc
Hauteur de la plante à la maturité : 90 à 100 cm

Caracteristiques culturales

Alternativité : hiver
Cycle végétatif : semi-précoce à précoce
Tallage : moyen à fort
Résistance
au froid : résistance
a la verse : résistance
a la sécheresse : tolérante

resistance aux maladies

Rouille jaune : très sensible
Rouille brune : moyennement sensible
Rouille noire : moyennement sensible
Piétin verse : résistance
Piétin échaudage: sensible

Oidium : résistance
Septeriose : moyennement sensible
Fusariose : moyennement sensible



Figure : variété Hiddab (HDD).

