



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Sebgagui Fatma

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

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : PROTECTION DES VEGETAUX

Thème

Etude de l'effet de la température sur la croissance mycélienne in vitro et évaluer l'agressivité d'une collection de *Fusarium* spp. Impliquée dans la Fusariose de l'épi

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Mr. Laouadi M	MAA	Président
Mr. Kaddouri M.A	MAA	Examineur
Mme. Touati-Hattab S	MCB	Rapporteur

Promotion : Juin –2019

Dédicace

*A mon très cher père et ma très chère mère que je ne pourrai
jamais oublier « que **DIEU** les accueille dans son vaste paradis »*

A ma chère deuxième mère Aicha

*A mes chères sœurs : Souso ,Fatiha ,Nassira ,Mabrouka, Rahma ,
Alia, Aiza*

*A mes nièces : Nabile, Bochra, Ahmed, Anass, Imane, Ibrahim,
Massouda, Fath, Nouno.*

A mon fiancé Nour Eddine

*A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite
plus de succès : Nour elhouda, Fatima, Nounou, Ibtissem,
Sabrine,Fatoum ,Alia et plus particulièrement **NOUR ELHOUDA.***

A tous ceux que j'aime et ceux m'aiment.

Remerciements

**Le grande merci pour le bon dieu qui m'a donnée la patience, la force pour
atteindre**

mes buts et le courage pour bien mener ce travail.

**Je tiens tout d'abords à manifester toute ma gratitude à Madame TOUATI -
HATTAB- Sihem, Maitre de conférences à l'université AMAR Thélidji
Laghouat pour ses**

**qualités humaines et sa gentillesse. Merci d'avoir accepté de m'encadrer,
de m'avoir**

proposé le thème de mémoire.

**Je présente aussi mes remerciements à l'ensemble des jurys qui ont
accepté**

d'examiner de travail :

Mr. Kaddouri M.A

Mr.Laouadi .M

**Je ne saurai oublier d'exprimer toutes ma sympathie à l'ensemble du
personnel du département d'Agronomie**

Dédicace	
Remerciements	
Liste des abréviations	I
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux	II
Résumé.....	V
Abstract.....	V
ملخص.....	V

TABLE DES MATIERES

Introduction	01
I. Données bibliographiques	04
1. Le blé	04
1.1. Généralités.....	04
1.2. Importance économique	05
1.2.1. Dans le monde.....	05
1.2.2. En Algérie.....	06
1.3. Le Cycle végétatif du blé.....	06
1.4. Pathologie.....	09
2. La fusarioses du blé	12
2.1. La fusariose de l'épi de blé (FHB).....	13
2.2 Symptômes de la fusariose de l'épi.....	14
2.3. Epidémiologie de la fusariose de l'épi.....	15
2.4. Principales espèces responsables de la fusariose de l'épi.....	17
2.4.1. Les relations entre espèces du complexe.....	18
2.5. Technique de détection des espèces fusariennes.....	19

2.5.1. Identification morphologique des espèces de <i>Fusarium</i>	19
3. Les mycotoxines associées à la fusariose de l'épi	21
3.1. Les trichothécènes.....	23
3.2. Toxicité et réglementation.....	24
4. Moyens de lutte contre la fusariose de l'épi	25
4.1. Les pratiques culturales	25
4.2. Résistance des cultivars.....	26
4.3. Lutte biologique	26
4.4. La lutte chimique.....	26
4.5. La lutte intégrée.....	27
 II. Matériel et méthodes	
2.1. Matériel.....	28
2.1.1. Matériel végétal.....	29
2.1.2. Matériel fongique.....	30
2.2. Méthodes.....	31
2.2.1. Isolement et identification morphologique des champignons associés à la fusariose de l'épi.....	31
2.2.2. Isolement et Purification par culture monospore.....	31
2.2.3. Identification morphologique des isolats.....	32
2.3.Effet de la température sur la croissance mycélienne des isolats d'espèces de <i>Fusarium</i> ssp sur milieu PDA.....	34
2.4. Évaluation de l'agressivité des isolats de <i>F.culmorum</i> , <i>F.pseudograminearum</i> , <i>F.graminearum</i> , <i>F. avenaceum</i> et <i>F. sporotrichioides</i> sur la partie basale des plants de blé.....	34
2.4.1. Inoculation par fragments mycéliens.....	34

2.4.2. Évaluation de l'agressivité des isolats des espèces de <i>Fusarium</i> spp sur épis, Ainsi que la sensibilité de quatre variétés de blé à la fusariose de l'épi	36
--	----

III. Résultats et Discussion

.....	37
-------	----

3.1. Partie 1 :

3.1.1 Recherche de la flore fusarienne au niveau de grains de blé.....	40
--	----

3.1.2. Identification des isolats sur milieu PDA.....	46
---	----

3.2 Partie 2 :

3.2.1. Effet de la température sur la croissance mycélienne des isolats de <i>Fusarium</i> spp. sur milieu PDA.....	48
---	----

3.3. Partie 3

3.3.1.Étude de l'agressivité des espèces <i>Fusarium</i> spp.différent au niveau de collet.....	56
---	----

3.4. Partie 4

3.4.1. Etude de l'agressivité des isolats de <i>Fusaruim</i> spp sur les épis	61
---	----

Conclusion.....	67
-----------------	----

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations

BD	blé dur
BT	blé tendre
MT	millions de tonnes
PDA	Potato dextrose agar
FHB	Fusarium head blight
FC	<i>Fusarium.culmorum</i>
FG	<i>Fusarium. graminearum</i>
FA	<i>Fusarium.avenaceum</i>
FPS	<i>Fusarium. pseudogramineraum</i>
FS	<i>Fusarium. sporotrichioides</i>
FP	<i>Fusarium.poa</i> température
T	Température
%	pourcentage
mm	millimètre
Fig	Figure
DON	Déoxynivalénol
NIV	Nivalénol
3aDON 3	Acétyl-déoxynivalénol
15aDON 15	Acétyl-déoxynivalénol
ZEA	Zéaralénone
TCT	Trichothécène
TCTB	Trichothécène de type B

Liste des figures

Figure 01 : Schéma illustrant le cycle de développement du blé.....	07
Figure 02 : Principaux stades de développement du blé et la correspondance sur l'échelle de Zadoks (Zadoks <i>et al.</i> , 1974). Les schémas illustrent ces principaux stades...	08
Figure 03 : Quelques ravageurs du blé.....	10
Figure 04 : Types de fusariose (Parry <i>et al.</i> , 1995).....	12
Figure 05 : Les symptômes de la fusariose de blé sur épi.....	14
Figure 06 : Cycle biologique de <i>Fusarium</i> sur céréales (Parry, 1995).....	16
Figure 07 : Morphologie de conidies de <i>Fusarium sp.</i> (Leslie <i>et al.</i> , 2006).....	20
Figure 08 : Principales espèces fusariennes toxigènes sur blé et orge en Europe.....	22
Figure 09 : Structure chimique des trichothécènes de types B (Cole et Cox, 1981).....	23
Figure 10 : schéma du dispositif aléatoire complet du test de l'inoculation par fragment mycélien.....	33
Figure 11 : Technique d'inoculation par fragments mycéliens.....	35
Figure 12 : Dispositif expérimental pour l'inoculation en plein champ.....	37
Figure 13 : Technique de l'inoculation par suspension sporale.....	37
Figure 14 : Echelle d'évaluation de l'INRA, (Anonyme, 2009).....	38
Figure15: Variation dans le taux de contamination des grains de blé sur DCPA.....	41
Figure 16: Taux de contamination des grains par les deux genres responsables de la fusariose du blé, <i>Microdochium</i> et <i>Fusarium</i>	41
Figure 17: Aspects morphologiques et microscopiques des espèces de <i>F. culmorum</i> ; <i>F. graminearum</i> ; <i>F.pseudograminearum</i> isolées à partir des épis de blé (G x 40).....	44
Figure 18: Aspects morphologiques et microscopiques des espèces de <i>Fusarium tricinatum</i> ; <i>F. avenaceum</i> isolées à partir de grains de blé (G x 40) et (G x 100).....	45

Figure 19: Aspect cultural et microscopique de <i>Microdochium</i> spp.....	45
Figure 20 : Diamètre moyen (mm) des espèces de <i>Fusarium</i> spp. après 4 jours d'incubation à 15, 20,25 ,30°C.....	49
Figure 21: la croissance mycélienne moyenne (mm) de différents isolats après 4 jours d'incubation à 15°C ,20 °C, 25°C et 30°C.....	50
Figure 22: Cinétique de croissance du mycélium des isolats de <i>F. graminearum</i> ; <i>F. pseudogramineraum</i> ; <i>F. sporotrichioides</i> ; <i>F. poae</i> et <i>F. avenaceum</i> cultivés sur milieu PDA à 15°C, 20°C, 25°C, 30°C.....	54
Figure 23 : Indice de sévérité de <i>Fusarium</i> spp sur des plantules de blé cultivar « Vitron» montrant les quatre niveaux d'attaque (1-5) comparés au témoin.....	56
Figure 24 : Variation dans l'agressivité des différentes espèces de <i>Fusarium</i> spp.....	58
Figure 25 : Interactions entre la variété de blé dur Vitron et les espèces de <i>Fusarium</i> spp. (estimée par l'indice d'attaque fongique). Chaque point correspond à la moyenne des trois répétitions biologiques.....	58
Figure 26: la classification des isolats des moins sensibles aux plus sensibles.....	63
Figure 27 : Echelle de notation.....	64

Liste des tableaux

Tableau 01 : Les dix premiers pays producteurs de céréales durant la campagne 2014-2015.....	05
Tableau 02 : les principales maladies rencontrées sur blé en Algérie.....	11
Tableau 03 : Concentrations maximales autorisées en DON dans les denrées destinées à l'alimentation humaine, d'après le règlement (CE) n°1126/2007	25
Tableau 04 : Les échantillons de blé dur et blé tendre de différentes régions céréalières de l'Algérie	28
Tableau 05 : Les isolats des différentes espèces de <i>Fusarium</i> testés.....	30
Tableau 06 : échelle dévaluation utilisée pour l'estimation de la sévérité de l'infection par <i>Fusarium</i> sur épi.	38
Tableau 07 : Taux de contamination des variétés de blé par région.....	42
Tableau 08 : La température optimale de chaque espèce de <i>Fusarium</i> spp.....	48
Tableau 9: Les pourcentages des indices d'attaque des différentes espèces de <i>Fusarium</i> spp.....	57
Tableau 10: Répartition des isolats en groupes homogènes selon l'analyse de comparaison de Tukey Pairwise à un interval de confiance de 95%.....	59
Tableau 11: Moyennes des indices d'attaques sur les quatre variétés obtenus avec les neuf isolats de <i>Fusarium</i> spp.....	62
Tableau 12: Répartition des variétés en groupes homogènes selon l'analyse CM de l'indice d'attaque (test de Keuls à 5%).....	62
Tableau 13 : Répartition des isolats en groupes homogènes selon l'analyse CM de l'indice d'attaque (test de Keuls à 5%).....	63
Tableau 14 : Moyennes de confiance des surfaces sous la courbe de progression de la maladie (AUDPC, Area Under Disease Progress Curve).....	65
Tableau A : Les cultivars utilisés aux champs.....	28
Tableau B: liste des différents isolats utilisé dans l'essai en plein champ.....	35

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude de cette maladie nouvellement observée en Algérie. Cela implique, d'une part, l'évaluation de la distribution de la maladie, l'identification des espèces impliquées, et la connaissance de leur pathogénie et de leur agressivité.

L'identification de 30 isolats de *Fusarium sp* et *Microdochium spp.* obtenus à partir de grains de blé a montré que 23,60% des isolats appartiennent au genre *Fusarium* et 54,96 % au genre *M.icrodochium*. L'étude de l'effet de la température sur la croissance de 14 isolats de *Fusarium spp.* *in vitro* a montré que l'optimum de croissance est situé à 20°C et 30°C pour tous les isolats. L'exception de *F.avenaceum* est à 15°C.

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

Mots clés : Fusariose de l'épi –*Fusarium spp.* - Croissance *in vitro*, Agressivité.

Abstract

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

The identification of a set of 30 isolates of *Fusarium sp* and *Microdochium spp.* obtained from wheat showed that of the isolates belong to the genus 23,60% *Fusarium* and 54,96 % *M.icrodochium*. The essay of the effect of temperature on isolates growth *in vitro* showed that the optimum of growth is situated at 20°C and 30° C for all isolates. Exeption for *F.avenaceum* optimum of growth is 15°C.

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

Keywords: FHB – *Fusarium spp* - *In vitro* growth - Aggressiveness

ملخص

تعفن الجذور و لفحة السنابل هي امراض فطرية تصيب القمح و تسبب خسائر كبيرة كما ان النوع *Fusarium spp.* احدى العوامل المسببة لهذه الامراض .

التعريف ل 30 عزلة من *Fusarium spp* و *Microdochium spp* المتحصل عليها من ذرة القمح تبين ان 23. 60 % من العزل ظهرت عند النوع *Fusarium* و 54. 96 % عند النوع *Microdochium*. دراسة تأثير درجة الحرارة على تطور 14 عزلات من *Microdochium spp* اظهر ان النمو الامثل هو 20 °م و 30 °م في جميع العزلات . باستثناء *F.avenaceum*. 15 °م.

دراسة العدوانية تمثل في تقنينين واحدة على الجذور و اخرى على السنابل بالنسبة للعدوانية على السنابل و على الجذور كل العزلات كانت عدائية مع درجة تغير كبيرة .

- النمو في المختبر- العدوانية *Fusarium spp* لفحة السنابل - :كلمات مفتاحيه

Introduction

Introduction

Le blé (*Triticum* sp.) est la céréale à paille la plus cultivée dans le monde, il représente avec le riz et le maïs 85,4% de la production céréalière mondiale. Le blé tendre, *Triticum aestivum*, compte pour 95% de la production mondiale des blés. alors que le blé dur, *triticum durum*, ne représente que 5% de la production mondiale en blé dont 35% sont produits en Afrique du Nord et en Asie de l'Ouest (Hamadache, 2013).

A l'échelle mondiale, le blé est une céréale primordiale, d'un point de vue économique et en tant que denrée alimentaire pour l'homme grâce à leurs teneurs en protéines et en calories qu'elles soient assimilées directement ou transformées en protéines animales (Iori et al., 2009).

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

Selon Hamadache et al., (2002), La cause principale de la faiblesse de la production du blé est le faible niveau de productivité (rendement) obtenu. Cette faible productivité est même due à des contraintes abiotiques (sécheresse surtout), humaines (itinéraires techniques appliqués, vulgarisation, etc...) et des facteurs biotiques (les adventices, les ravageurs et les maladies).

Plusieurs maladies peuvent attaquer le blé. Les fusarioses sont les maladies les plus compliquées. Elles attaquent tous les organes de la plante, depuis les racines jusqu'aux épis. En plus, plusieurs agents pathogènes se concurrencent pour parvenir à cette situation (Caron, 1993). La fusariose de l'épi est causée par une vingtaine d'espèces du genre *Fusarium* et deux espèces du genre *Microdochium* (Arseniuk et al., 1999). Parmi ces espèces, cinq sont principalement responsables de la fusariose, il s'agit de *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. culmorum* (W. G. Smith) Sacc., *F. graminearum* Schwabe, *F. poae* (Peck) Wollenw. et *Microdochium nivale* Samuels et Hallett (Parry et al., 1995).

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

Plus précisément cette dernière maladie s'est imposée comme l'une des préoccupations importante des différents acteurs de la filière blé compte tenu des pertes économiques considérables liées à la diminution des rendements de récolte qu'elle génère (Parry et *al.*, 1995 ; Xu et Berrie, 2005).

Les deux types de maladies, *Fusarium Foot Rot* (FFR) et *Fusarium Head Blight* (FHB), ont déjà été rapportés en Algérie par Bouregghda et *al.*, (2010) et Touati-Hattab et *al.*, 2016. Dans des travaux antécédents séparément ou associés sur les mêmes plants selon les conditions climatiques.

Fusarium est aussi connu pour la capacité qu'ont certaines espèces fusariennes à produire des mycotoxines, métabolites secondaires dont la toxicité pour l'homme, les animaux et les plantes est avérée. La contamination des grains en mycotoxines peut les rendre impropre à la consommation et soulève un réel problème de santé publique.

L'étude de la pathogénie et de l'agressivité des isolats impliqués dans la fusariose du blé aide à mieux comprendre l'épidémiologie du complexe fongique associé à cette maladie afin d'entreprendre des stratégies de lutte appropriées. Plusieurs études ont été conduites sur la pathogénie et l'agressivité des espèces de *Fusarium* sur blé par Brennan et *al.*, (2003) ; Mishra et *al.*, (2003) ; Smily et *al.*, (2005) ; Kamoun et *al.*, (2010).

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

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

- ✓ Réaliser des isollements à partir des échantillons de grains de blé récoltés dans différentes régions céréalières en Algérie ;
- ✓ identifier morphologiquement les isolats de *Fusarium sp* et *Microdochium spp.*
- ✓ Etudier l'effet d'une gamme de températures sur la croissance mycélienne de (14) isolats de *Fusarium sp* sur milieu PDA .
- ✓ Evaluer l'agressivité de (14) isolats sur le collet des plants de blé de la variété Vitron suivant la technique d'inoculation par fragments mycéliens.
- ✓ Evaluer l'agressivité de (9) isolats sur épi de quatre variétés de blé par pulvérisation d'une suspension de spores.

Données bibliographique

I. Données bibliographiques

1. Le blé

1.1. Généralités

Le blé est l'espèce avec laquelle l'homme a commencé à manipuler la nature et gérer le milieu (Feillet, 2000). Originaire de Mésopotamie, c'est une des plus anciennes cultures. Il y a 10 000 ans, le blé poussait à l'état sauvage et il fait partie des trois céréales dont les grains sont utilisés pour la nourriture humaine ou animale; de la monocotylédone qui constituent la base alimentaire des populations du globe: blé, riz, maïs.

L'origine du blé (*Triticum*), du maïs (*Zea*) et du riz (*Oryza*) semble être commune, étant donné les nombreux gènes communs deux à deux ou dans les trois genres, on pense que ces genres se sont diversifiés, il y a quelques 60 à 70 millions d'années (à la fin du secondaire) à partir d'une espèce ancestrale qui aurait contenu tous les gènes dispersés chez les trois espèces actuelles (Ahn *et al.*, 1993 ; Sakamura, 1918 ; Harlan, 1971).

Les surfaces cultivées de blé dans le monde couvraient 221 millions d'hectares en 2011et, actuellement, près de 700 millions de tonnes de blé sont produites chaque année dans le monde qui font de lui la céréale la plus consommée par l'homme avec le riz (Boussac *et al.*, 2012).

Aujourd'hui, deux espèces de blé dominent la production et sont les plus répandues dans le monde. Il s'agit du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et du blé dur (*Triticum turgidum*, var. *durum* L.). 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 (Feillet, 2000).

C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant (qui ne s'ouvre pas), appelé caryopse, constitué d'une graine (composée d'un embryon et d'un tissu de réserve constitué de 70% d'amidon et 15% de gluten) et de téguments. Les principaux caractères des espèces de blé que l'homme a cherché à sélectionner sont : la robustesse de l'axe de l'épi (qui ne doit pas se casser lors de la récolte), la séparation facile des enveloppes du grain, la grande taille des grains et la compacité des épis (plus maniable que l'épi lâche), mais également la productivité et la résistance au froid ou aux maladies (Bozzini, 1998).

1.2. Importance économique

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).

1.2.1. Dans le monde

La production mondiale des céréales confondues (blé et céréales secondaires) durant la campagne 2014-2015 a augmenté de 24 millions par rapport à la campagne céréalière précédente pour atteindre 2031 M. T.

Les Etats Unis d'Amérique, la Chine, l'Union-Européenne, l'Inde, la Russie, l'Ukraine, l'Argentine, le Canada, l'Australie, et le Kazakhstan représentent les dix premiers pays producteurs de céréales dans le monde (Tab.1).

Tableau 1 : Les dix premiers pays producteurs de céréales durant la campagne 2014-2015

Pays	Production (M.T.)
Les Etats Unis d'Amérique	432,7
La Chine	349,8
L'Union Européenne	326,4
L'Inde	137,8
La Russie	100,5
L'Ukraine	64,5
L'Argentine	54,3
Le Canada	51,4
L'Australie	35,6
Le Kazakhstan	16,6

Source : (Anonyme, 2016)

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

1.2.2. En Algérie

Les céréales jouent un rôle important dans l'agriculture nationale Algérienne puisqu'elles occupent 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'Hectare. La majeure partie de ces emblavures se fait dans les régions de Sidi Bel Abbés, Tiaret, Sétif et El Eulma. Ces grandes régions céréalières sont situées dans leur majorité sur les hauts plateaux ; ils sont caractérisés par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, des gelées printanières et des vents chauds desséchants (Belaid, 1996 et Djekoun *et al.*, 2002).

1.3. Le Cycle végétatif du blé

Le cycle du blé débute par la germination d'une graine après humidification.

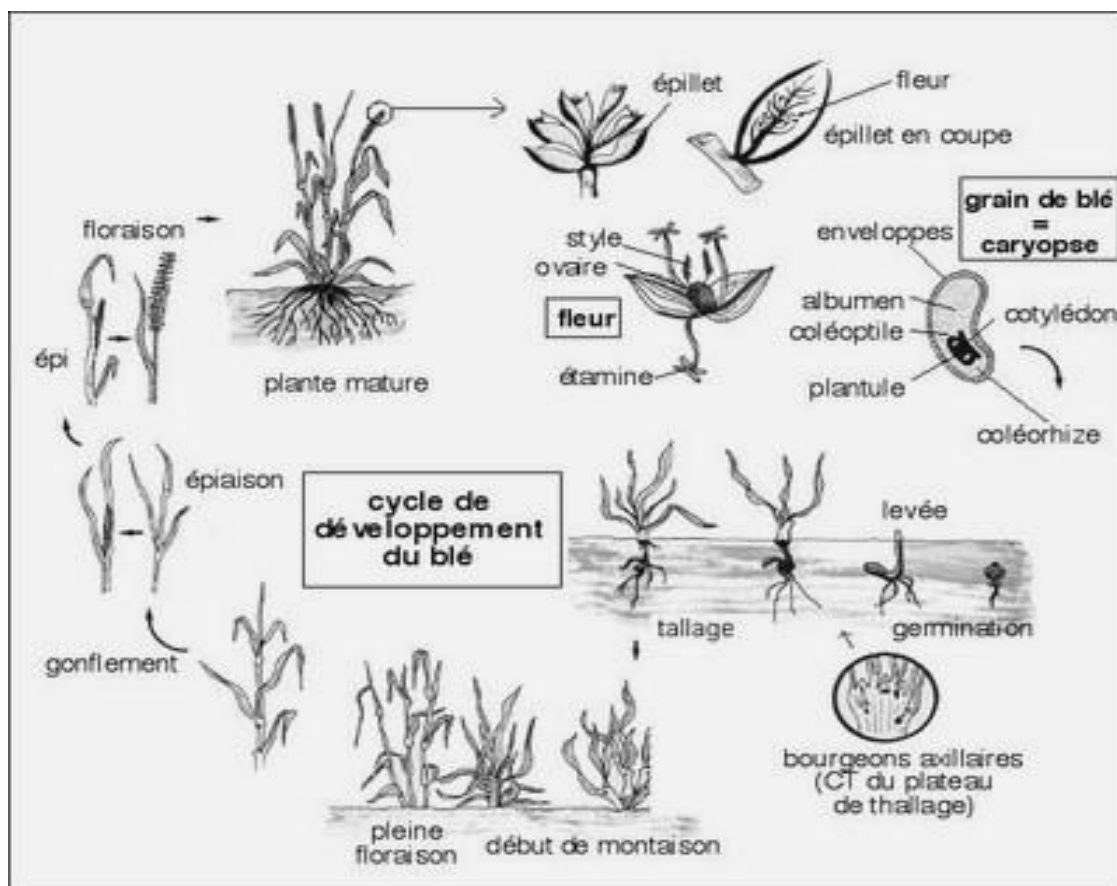
L'embryon n'a qu'un cotylédon (le blé est une monocotylédone) et la plantule comporte un coléorhize, qui donnera la racine, et une coléoptile, qui donnera l'axe feuillé (Fig. 1).

La levée se fait réellement pendant la sortie des feuilles à la surface du sol. La coléoptile forme un étui protégeant les premières feuilles. Il apparaît un renflement dans la partie supérieure du rhizome qui grossit et forme le plateau de tallage. Commence alors la période dite de "montaison", phase pendant laquelle la plante pousse rapidement si le temps et l'humidité le permettent et au cours de laquelle elle met de nouvelles feuilles. Ensuite, l'épi se forme, c'est "l'épiaison". La floraison ne débutera que lorsque la température dépassera les 14 °C (Feillet, 2000)

La floraison s'observe à partir du moment où quelques anthères sont visibles dans le tiers moyen de l'épi, elles entraînent l'ouverture des épillets et sortent en dehors des glumelles, laissant l'entrée possible aux agents pathogènes comme ceux responsables de la fusariose des épis. Environ 15 jours après la floraison, le blé commence à changer de couleur. Le cycle s'achève par la maturation qui dure en moyenne 45 jours. maturation des grains se fera en plusieurs étapes, la maturité laiteuse (le grain contient encore 50%

d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin), la maturité jaune (le grain a perdu en humidité et l'amidon a été constitué), la maturité complète (la teneur en humidité atteint environ 20%), le grain est mûr et prêt à être récolté, c'est alors la période des moissons (Feillet, 2000).

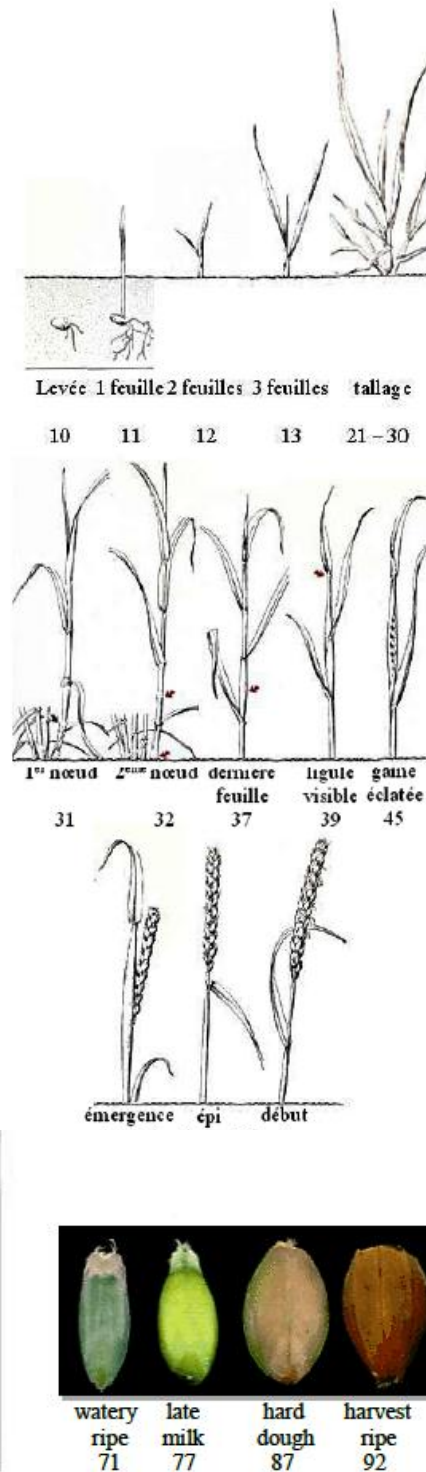
Afin de caractériser précisément les stades de développement du blé, le phytopathologiste Néerlandais Jan C. Zadoks a proposé une échelle en 1974 présentée dans le (Fig.2). Cette échelle est aujourd'hui couramment utilisée en recherche et en agriculture (Zadoks et *al.*1974).



Source : Feillet, (2000)

Figure 1 : Schéma illustrant le cycle de développement du blé

Feekes	Zadoks	General Description
Vegetative Growth & Tillering		
1	10	1 st leaf through coleoptile
	12	2 nd leaf unfolded
	13	3 rd leaf unfolded
2	21	Main shoot and 1 tiller
	22	Main shoot and 2 tillers
	23	Main shoot and 3 tillers
3	26	Main shoot and 6 tillers
4-5	30	Tillering ended, leaf sheaths strongly erected
Stem Extension		
6	31	1 st node detectable
7	32	2 nd node detectable
8	37	Flag leaf just visible
9	39	Flag leaf ligule visible
10	45	Boots swollen
Heading and Flowering		
10.1	50	1 st spikelet visible through split boot
10.2	52	¼ head emerged
10.3	54	½ head emerged
10.4	56	¾ head emerged
10.5	58	Head fully emerged
10.51	60	Start of flowering
Kernel Formation		
10.54	71	Milk stage - watery ripe
11.1	75	Milk stage - medium milk
11.2	85	Soft dough
	87	Hard dough
11.3	91	Dry matter accumulation ends
11.4	92	Harvest ripe



Source: Zadoks et al., 1974

Figure 2 : Principaux stades de développement du blé et le sur correspondance sur l'échelle de Zadoks (Zadoks et al., 1974). Les schémas illustrent ces principaux stades

1.4. Pathologie

En dépit d'indéniables progrès, les rendements céréaliers demeurent faibles et très irréguliers. Ces fluctuations peuvent être dues à la variation des conditions climatiques (irrégularité des précipitations) ou causées par les ennemis du blé que ce soit lors de la récolte ou lors du stockage, selon Feliachi, (2002) ces pertes peuvent être estimées de 30%.

Un grand nombre de ravageurs du blé, incluant par exemple des limaces, des pucerons, des nématodes, des cécidomyies, des larves de tipules, peuvent avoir un impact plus ou moins important sur le rendement et la qualité des récoltes. Par exemple, la jaunisse nanisante de l'orge (J.N.O), qui peut également affecter le blé, est une maladie véhiculée par des pucerons, entraînant des anomalies des parties aériennes de la plante (au niveau de l'épi) ainsi que des malformations des grains (Fig. 3).

Envahissement des champs par les adventices et le développement des maladies fongiques. Ces dernières ont une influence sur le rendement, puisqu'elles contaminent pour certaines une partie de la feuille, voire la totalité (ex : la septoriose) ce qui inhibe le rendement photosynthétique. Certaines maladies affectent les épis et les grains (ex : la carie, le charbon, la fusariose). De plus, certaines espèces fongiques synthétisent des mycotoxines qui s'accumulent dans les grains, c'est le cas pour la plupart des espèces responsables de la fusariose (Tab. 2).

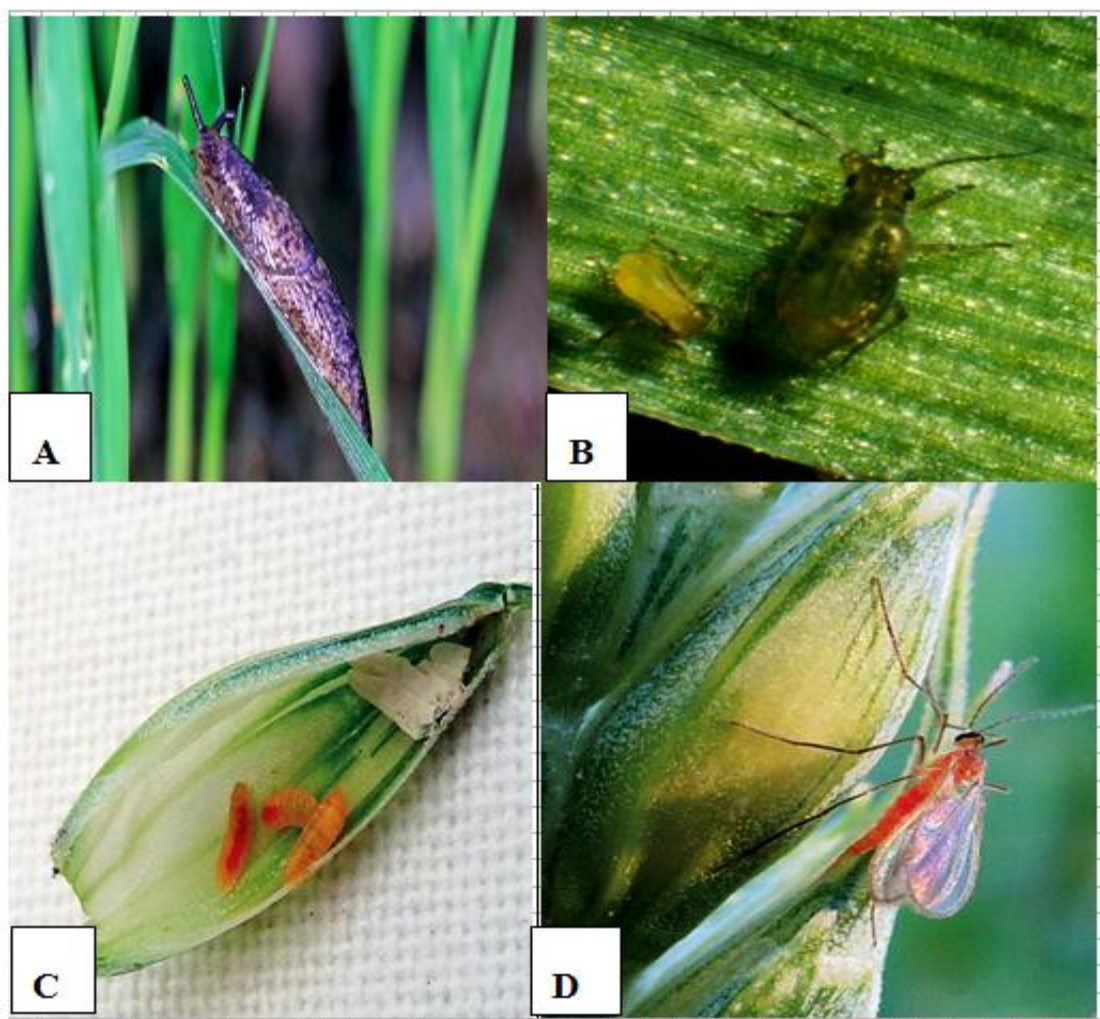
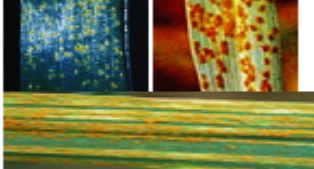
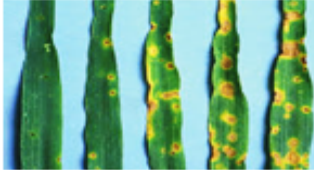


Figure 3 : Quelques ravageurs du blé

La limace noire du blé *Arion hortensis* (A); le petit puceron des céréales, ou puceron du blé *Rhopalosiphum padi* (B); La cécidomyie orange du blé *Sitodiplosis mosellana* au stade larvaire (C) et adulte (D).

Source : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_

Tableau 2 : les principales maladies rencontrées sur blé en Algérie

Maladies	Agents pathogènes	Importance		Les symptômes
		Blé dur	Blé tendre	
Charbon nu	<i>Ustilago tritici</i> <i>Ustilago nuda</i>	*	*	
Carie	<i>Tilletia caries</i> <i>Tilletia foetida</i>	*	**	
Piétin échaudage	<i>Gaeumannomyces Graminis</i>	*	*	
Septoriose	<i>Septoria tritici</i>	***	*	
Oïdium	<i>Erysiphe graminis f.sp. tritici</i>	*	*	
Rouille brune Rouille jaune Rouille noire	<i>Puccinia tritici</i> <i>Puccinia striiformis</i> <i>Puccinia graminis f.sp. tritici</i>	**	**	
Tâche helminthosporiène	<i>Pyrenophora Tritici repentis</i>	**	*	

Source : (Boulal et al.,2007)

(*) : Rare à peu importante; (**) : Assez importante; (***): Très importante; (/): Absente sp)

2. La fusariose du blé

La fusariose est une maladie des céréales dites "à petits grains" qui sévit à travers le monde (Parry et *al.*, 1995). Sous des conditions climatiques favorables, la fusariose peut attaquer à tous les stades de développement et tous les organes de la plante, depuis les racines jusqu'aux épis. Le terme "fusariose" des céréales regroupe trois types de symptômes (Fig. .4), (Parry et *al.*, 1995) :

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

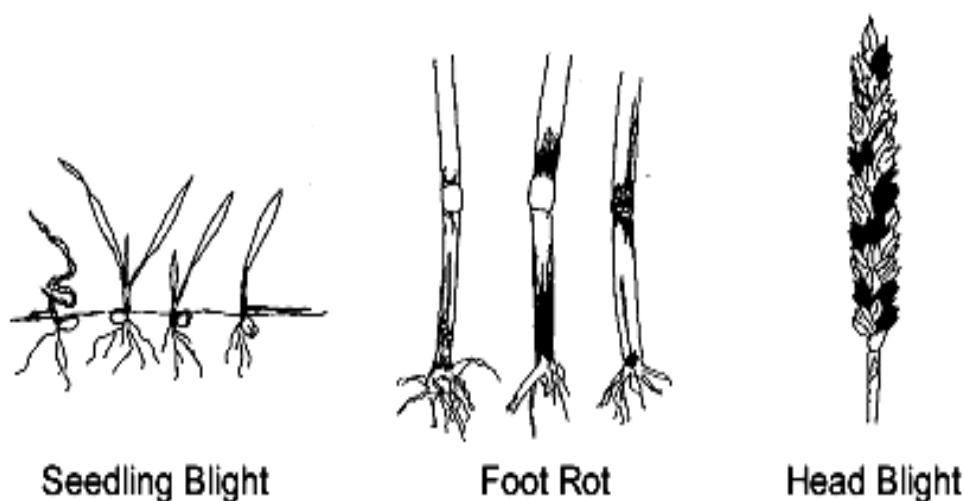


Figure 4 : Types de fusariose (Parry et *al.*, 1995)

La fusariose du blé est causée par une vingtaine d'espèces du genre *Fusarium* et deux espèces du genre *Microdochium* (Arseniuk et *al.*, 1999). Parmi ces espèces, cinq sont principalement responsables de la fusariose, il s'agit de *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. culmorum* (W. G. Smitt) Sacc., *F. graminearum* Schwabe, *F. poae* (Peck) Wollenw. et *Microdochium nivale* Samuels et Hallett (Parry et *al.*, 1995). Dans l'espèce *F. graminearum*, deux groupes se distinguent, les membres de chaque groupe sont classés en

deux espèces différentes *F.pseudograminearum* "groupe 1" et *F. graminearum* "groupe 2" (Aoki et O'Donnel, 1999).

Notons aussi que l'espèce *M. nivale* possède deux sous-espèces *M. nivale* var. *nivale* et *M.nivale* var. *majus* (Arseniuk *et al.*, 1999; De Hoog *et al.*, 2000 ; Simpson *et al.*, 2001; Champeil *et al.*, 2004).

2.1. La fusariose de l'épi du blé (FHB)

Cette maladie est répandue dans le monde, elle se développe dans des conditions de pluviométrie fréquente, d'humidité élevée et en présence de vent, durant et après la floraison (McMullen *et al.*, 1997). Cette maladie a 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 maladie a été identifiée comme un facteur majeur limitant la production du blé dans plusieurs parties du monde (Stack, 2000). En Nouvelle-Zélande en 2000, 45% des cultures de blé de printemps étaient infectées par la maladie (Cromey *et al.*, 2001). Au Japon, en 1998, les pertes de rendement des cultures d'orge ont été estimées de 67 à 96% (Leonard and Bushnell, 2003).

La fusariose de l'épi provoque une perte de rendement liée à une altération de la qualité des grains (Pirgozliev *et al.*, 2003). Les infections peuvent dévaster des cultures entières et engendrer des pertes économiques importantes dues à une forte diminution de rendements. Aux Etats-Unis, les pertes liées à la maladie ont été estimées, entre 1998 et 2000, à 2.7 milliards de dollars (Wood, 2002).

La fusariose affecte également les qualités nutritives et technologiques des grains, ce qui a des conséquences néfastes lors des processus de transformations industrielles des grains. Il a été mis en évidence que l'invasion des grains de blé par *Fusarium* entraînait la dégradation des grains d'amidon, des protéines de réserve et des parois cellulaires (Bechtel *et al.*, 1985). En outre, lors de son développement sur la plante, le champignon sécrète des mycotoxines, métabolites secondaires, qui contaminent les grains et sont dangereuses pour les consommateurs et les animaux (Cahagnier, 2001; Gutzwiller *et al.*, 2005).

2.2. Symptômes de la fusariose de l'épi

Les premiers symptômes apparaissent souvent au centre de l'épi d'où ils progressent ensuite vers le haut et vers le bas.

Au début, seuls quelques épillets sont atteints tandis que le reste de l'épi est vert (Mascher et *al.*, 2005). La fusariose de l'épi est souvent associée à une coloration rose-orangée ou violacée au niveau des épillets qui correspond aux fructifications du champignon, surtout lors de périodes d'humidités prolongées.

De petits organes de fructification noirs produits par le champignon peuvent apparaître tard dans la saison (Champeil et *al.*, 2004, Windels, 2000). La germination des semences contaminées est également affectée, ce qui peut entraîner des symptômes de fontes de semis (Pirgozliev et *al.*, 2003). Les grains de blé fusariés sont atrophiés, ridés, décolorés et peuvent présenter un duvet blanc ou rosé (Fig .5).



Source :

Figure 5: Les symptômes de la fusariose de blé sur épi

Epis et épillets fusariés sont jaunes ou blanchis, présentent une coloration rose ou orangée qui correspond aux fructifications du champignon (macroconidies) (A'), (A) et (B) ;

Les grains de blé fusariés se caractérisent par des grains minces et ridés d'apparence crayeuse souvent appelés grains momifiés (C).

2.3. Epidémiologie de la fusariose de l'épi

Les espèces des genres *Fusarium* et *Microdochium* sont capables de survivre sous forme de mycélium saprophyte ou de chlamydospores (Parry *et al.*, 1995). Trois sources d'inoculum peuvent être à l'origine du développement des fusarioses :

- ✓ Les résidus de culture infectés l'année précédente (source principale) (Champeil *et al.*, 2004 ; Osborne et Stein, 2007), les chlamydospores qui survivent dans le sol (Arsan *et al.*, 2011). La survie des champignons sur résidus peut atteindre plus de 2 ans après récolte (Pereyra *et al.*, 2004 ; Audenaert *et al.*, 2009).
- ✓ Les semences infectées lors des infections sur épi, le mycélium attaque les grains à travers les glumes, pénètre dans le péricarpe, l'albumen, voire l'embryon. Cette source inoculum permet à la maladie de se développer dès l'automne. Pendant la germination, le mycélium reprend son activité et, selon le degré de pénétration initial, il ralentit ou inhibe la germination, entraînant des manques à la levée et la fonte des semis (Xu et Nicholson, 2009).
- ✓ Les plantes hôtes (*Agrostis*, *Bromus*, *Medicago*, *Festuca*...), peuvent également jouer le rôle de réservoir de *Fusarium* sans présenter de symptômes visibles (Leonard et Bushnell, 2003 ; Champeil *et al.*, 2004).

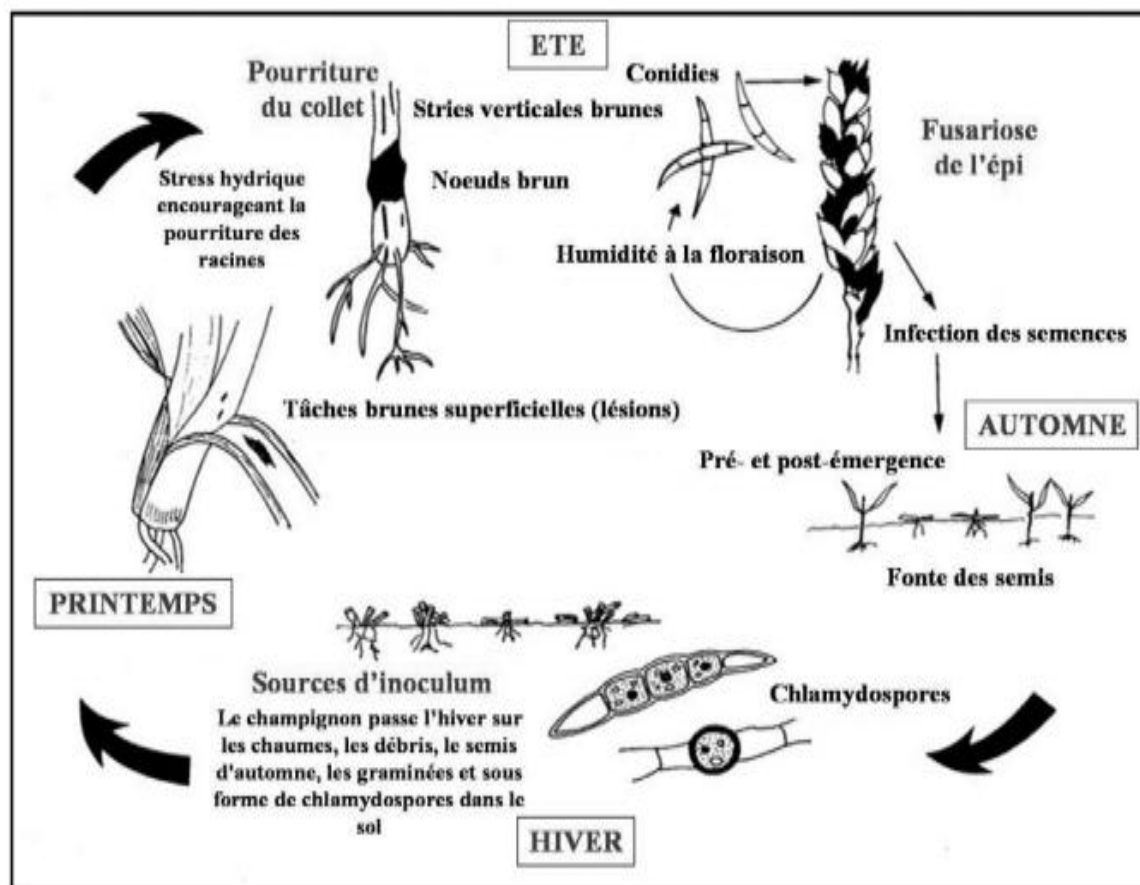


Figure 6: Cycle biologique de *Fusarium* sur céréales (Parry, 1995).

Le vent et les précipitations sont les facteurs responsables de la dispersion de l'inoculum du pathogène. Les gouttes de pluie permettent la dispersion des spores du pathogène, notamment à partir du sol, et les transportent jusqu'au niveau de l'épi (Horberg, 2002 ; Paul *et al.*, 2004).

Pendant l'hiver le pathogène subit une période de dormance sur les résidus infectés ou il produit des spores asexuées qui seront entraîner à long distance à l'aide des vents et des pluies (Parry *et al.*, 1995 ; Schmale et Bergstrom, 2003).

En été, lorsque la plante accomplit sa période végétative et entame sa reproductive (épiaison, floraison), l'infection se produit lorsque l'arrivée des ascospores et de macroconidies sur l'épi coïncide avec des périodes de forte humidité.

Si les spores atteignent les inflorescences à l'émergence des étamines, ils succèdent à pénétrer les glumes à travers les stomates et germer, puis coloniser l'épillet, et contaminer

tout l'épi se qui procèdent la chlorose des grains (Schmale et Bergstrom, 2003 ; Xu et Berrie, 2005).

Les inflorescences atteintes par l'agent pathogène produisent des grains infectés d'apparence flétris ou ridés. Les grains infectés qui apparaît sains, vont être utilisés ultérieurement comme semence et deviendront une nouvelle source d'inoculum (Schmale et Bergstrom, 2003) (Fig . 6).

2.4. Principales espèces responsables de la fusariose de l'épi

Le genre *Fusarium* est un champignon ascomycète, qui appartient à la classe des *Sordariomycetes*, l'ordre des *Hypocreales* et la famille des *Nectriaceae*. La première et véritable description du genre *Fusarium* a été réalisée par Link en 1809. Il doit son nom d'latin *fusus* (fuseau) en rapport à la forme de ses macroconidies fusiformes et cloisonnées (Leslie *et al.* 2006).

Les formes parfaites ou téléomorphes de quelques espèces de *Fusarium* sont connues, et appartiennent à la classe des *Ascomycètes* sous les genres *Gibberella*, *Calonectria* et *Nectria*. Il existe quelques espèces de *Fusarium* pour lesquelles une forme sexuée n'a pas été mise en évidence. C'est le cas par exemple de *F. culmorum* appartenant à la section taxonomique *Discolor*, section à laquelle appartient également *F. graminearum* dont le téléomorphe bien identifié est *Gibberella zea* (Samuels, *et al.*, 2001, Seifert, 2001, Snelosse et Durrieu, 2004, Kristensen, *et al.*, 2005).

La fusariose de l'épi peut être causée par une vingtaine d'espèces du genre *Fusarium* et *Microdochium nivale* (Arseniuk *et al.*, 1999). Parmi ces espèces, cinq sont les plus fréquemment retrouvées au niveau mondial : *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium avenaceum*, *Fusarium poae* et *Microdochium nivale* (Parry *et al.*, 1995).

F. graminearum est considérée comme un complexe d'espèces à part entière dont 14 ont été récemment identifiées par « Genealogical Concordance Phylogenetic Species Recognition (GCPSR) » : *F. austroamericanum* (lignée 1), *F. meridionale* (lignée 2), *F. boothii* (lignée 3), *F. mesoamericanum* (lignée 4), *F. acaciae-mearnsii* (lignée 5), *F. asiaticum* (lignée 6), *F. graminearum* (lignée 7), *F. cortaderiae* (lignée 8), *F. brasiliicum* (originaire du Brésil), *F. vorosii* (originaire du Japon et de Hongrie), *F. gerlachii* (originaire de la moitié ouest des Etats-Unis), *F. aethiopicum* (originaire d'Ethiopie), *F. ussuriianum* (originaire de l'Est de la Russie) et, plus récemment, une nouvelle lignée originaire du

Népal (O'Donnell *et al.*, 2008 ; Boutigny *et al.*, 2011 ; Alvarez *et al.*, 2011 ; Starkey *et al.*, 2007).

Chacune de ces espèces ainsi que leur chénotype seraient spécifiques d'une région géographique et pour la plupart, endémiques de l'hémisphère sud (Wang *et al.*, 2011). La seule exception reste *F.graminearum sensus stricto* qui est présente et dominante sur une plus grande échelle en Europe et en Amérique (O'Donnell *et al.*, 2008 ; Scoz *et al.*, 2009 ; Alvarez *et al.*, 2011). Aussi cette prédominance de *F. graminearum* a été confirmée dans les blés français récoltés entre 2007 et 2010 (Montibus, 2013).

Dans de nombreux pays méditerranéens *F. culmorum* et *F. pseudograminearum* ont été signalées comme espèces dominantes comme la Tunisie, (Kammoun *et al.*, 2010, Kammoun *et al.*, 2009), l'Algérie (Touati-Hattab *et al.* 2016; Laraba *et al.*, 2017; yekkour *et al.*, 2015). La distribution et la prédominance de ces espèces pathogènes sont, pour une grande part, déterminées par l'espèce céréalière, la région et les conditions climatiques (Xu, 2003).

Ainsi, les espèces *F. culmorum* et *F. avenaceum* sont plutôt associées aux zones froides telles que le Nord de l'Europe (Logrieco *et al.*, 1990 ; Parry *et al.*, 1995 ; Abramson, 1998 ; Joergensen, 2000 ; Cromei *et al.*, 2002). Par contre, *F. graminearum* est fréquente dans les régions continentales, tels qu'aux Etats-Unis, en Chine, et en Nouvelle Zélande (Parry *et al.*, 1995 ; Waalwijk *et al.*, 2003)

2.4.1. Les relations entre espèces du complexe

Ce complexe n'est responsable seulement de la fusariose de l'épi mais aussi de la maladie appelée la pourriture racinaire, et selon Agrios (2005), la fusariose de l'épi être accompagnée ou précédée par des attaques sur le collet et les racines.

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 et 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).

Associé à cela, certaines espèces comme les *F. poae*, *M. majus* et *M. nivale* ont été décrites comme moins agressives comparées aux autres espèces (Gosman *et 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-spécifiques (Xu, 2009 ; Liggitt, 1997) et potentiellement modifier leur développement et leur toxinogénèse.

Concernant l'espèce *F.pseudograminearum*, elle est généralement associée au piétien fusarien chez le blé, l'orge, l'avoine et les espèces de *Medicago* (Cook, 1981). Elle a été aussi fréquemment associée à la pourriture du blé en Tunisie (Gargaouri *et al.*, 2001).

2.5. Technique de détection des espèces fusariennes

L'identification des espèces fongiques responsables de la fusariose de l'épi constitue une des premières étapes pour entreprendre toute méthode de lutte contre la maladie. Cette identification a pendant longtemps été exclusivement basée sur l'observation des caractères culturels et morphologiques de l'espèce.

De nos jours, des progrès récents en détection et quantification moléculaire de la mycoflore fusarienne peuvent permettre une analyse fine de cette communauté et des interactions possibles, afin de limiter le développement du champignon sur la plante, la production de toxines et donc la maladie (Burlakoti *et al.*, 2007; Yli-Mattila *et al.*, 2008).

2.5.1. Identification morphologique des espèces de *Fusarium*

L'identification morphologique permet de déterminer le genre, mais la séparation des espèces est difficile et se base sur plusieurs critères primaires et secondaires (Wagacha et Muthomi, 2007).

L'identification morphologique des espèces du genre *Fusarium* nécessite la culture des isolats sur différents milieux de cultures. Les plus utilisés sont les milieux PDA (Potato Dextrose Agar) sur lequel, les caractéristiques macroscopiques peuvent être observées (la vitesse de croissance, l'aspect du mycélium aérien, la couleur de l'envers de la colonie et l'odeur), alors qu'en culture sur SNA (Spezieller Nährstoffarmer Agar).

les caractéristiques microscopiques peuvent être déterminées, telles que l'observation des macroconidies produites en *sporodochia*, la forme des microconidies et le type des phialides portées par des conidiophores du mycélium aérien (Burgess *et al.*, 1991; LNPV, 2002).

Les caractéristiques primaires comportent la morphologie des colonies, l'aspect et le nombre de septations des macroconidies, la présence ou l'absence des microconidies, et le type du conidiophore. Les caractéristiques secondaires se basent sur la présence ou l'absence des chlamydospores, leur forme ainsi que leur disposition et la présence ou l'absence des sporodochies (Nelson *et al.*, 1983; Windels, 1991).

Cependant ces techniques microbiologiques limitent nos isolements à partir du grain. Il est ainsi possible de ne pas isoler toutes les espèces qui ont contaminé le grain, ou encore de mal identifier certaines espèces morphologiquement semblables. Des techniques moléculaires beaucoup plus fiables basées sur la PCR ont récemment vu le jour.

Elle est généralement basée sur l'amplification, par PCR (Polymérase Chain Réaction), de régions spécifiques (Hsu *et al.*, 2003). Cette technique se caractérise par sa simplicité, sa rapidité et son extrême sensibilité avec le potentiel théorique de détecter une seule molécule cible (Edwards *et al.*, 2002).

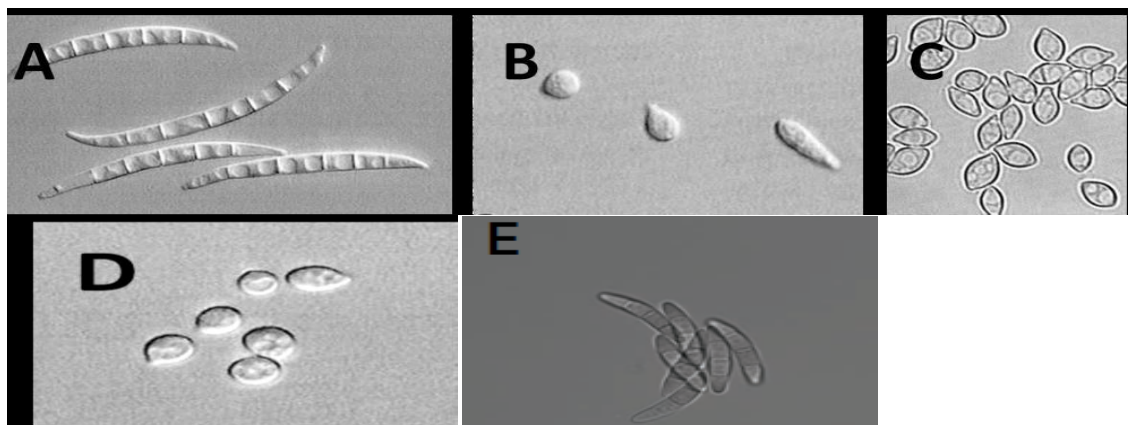


Figure 7 : Morphologie de conidies de *Fusarium sp.* (Leslie *et al.*, 2006) (Macroconidies de *F. graminearum* (A) et microconidies de *F. sporotrichioides* (B), *F. tricinctum* (C), *F. poae* (D) et ascospore de *F. graminearum* (E))

3. Les mycotoxines associées à la fusariose de l'épi

Une vingtaine de mycotoxines sont considérées comme potentiellement dangereuses pour l'homme et l'animal, du fait de leur production et de leur concentration dans les produits alimentaires (Cahagnier *et al.*, 1995).

Les plus importantes sont les aflatoxines, l'ochratoxine A, la zéaralénone, les fumonisines, la citrinine, la patuline, l'acide pénicillique, et les trichothécènes (D'Mello et Mc Donald, 1997; Scudamore et Livesey, 1997; Pfohl-Leszkowicz *et al.*, 2002; Bennet et Klich, 2003 ; Llorenset *al.*, 2006 ; Prandini *et al.*, 2009). Sur la Figure sont reportées, par ordre de fréquence d'isolement, les principales espèces fusariennes identifiées sur les blés Européens. Sont aussi reportées les familles de toxines potentiellement produites par les différentes espèces. Les données à l'origine de cette figure sont celles issues des enquêtes européennes compilées par (Logrieco, Visconti *et al.* 2004) complétées par des données du laboratoire MycSA.

Certaines espèces de *Fusarium* ont la capacité de produire des mycotoxines. Ces mycotoxines sont un problème supplémentaire pour les filières touchées par la fusariose. En effet, aux pertes de rendement s'ajoute une dimension sanitaire, un problème de santé publique lié à la contamination des grains. Ces molécules toxiques, issues du métabolisme secondaire fongique, sont nocives pour l'homme comme pour les animaux d'élevage.

Les champignons du genre *Fusarium* produisent une large gamme de mycotoxines. Les plus connues sont la famille des trichothécènes, divisée en 4 groupes A, B, C et D. Le groupe des trichothécènes A est produit principalement par *F. sporotrichoides* et *F. langsethiae*. Le groupe des trichothécènes B est produit principalement par *F. graminearum* et *F. culmorum*. Les trichothécènes de type C et D sont produits par des champignons n'appartenant pas au genre *Fusarium* (Bennett and Klich, 2003, Sweeney and Dobson, 1999).

Sur blé et orge

<i>F. graminearum</i> (discolor)	TCTB, ZEA
<i>F. avenaceum</i> (roseum)	MON, BEA ENNS
<i>F. culmorum</i> (discolor)	TCTB, ZEA
<i>F. poae</i> (sporotrichiella)	TCTB (NIV)
<i>F. tricinatum</i> (sporotrichiella)	MON, BEA
<i>F. sambucinum</i> (discolor)	TCTA, ZEA BEA
<i>F. sporotrichoides</i> (sporotrichiella)	TCTA
<i>F. equiseti</i> (gibbosum)	TCTA et B, ZEA
<i>F. acuminatum</i> (gibbosum)	TCTA
<i>F. crookwellense = cerealis</i> (discolor)	TCTB, ZEA
<i>F. pseudograminearum</i> (discolor)	TCTB
<i>F. heterosporum</i> (reticulatum)	ZEA
<i>F. oxysporum</i> (elegans)	Fumonisine C
<i>F. verticilloides</i> (liseola)	Fumonisines B
<i>F. subglutinans</i> (liseola)	
<i>F. langsethiae</i> (sporotrichiella)	TCTA

Source : Logrieco et al., 2002, 2004

Figure 8: Principales espèces fusariennes toxigènes sur blé et orge en Europe

TCTB : Trichothécènes type B (DON, 3et 15-ADON, NIV, FX) ; **MON:** moniliformine
BEA: Beauvericine

TCTA : trichothécènes type A (T-2; HT-2; DAS, MAS, NEO) ; **ZEA :** Zearalenone
ENNS : Enniatins

3.1. Les trichothécènes

Les trichothécènes sont des métabolites secondaires toxiques produits par plusieurs genres de champignons, incluant *Trichoderma*, *Stachybotrys*, *Cephalosporium*, et *Fusarium*. Les trichothécènes (TCT) constituent une famille de métabolites secondaires caractérisées par une structure sesquiterpènes qui inhibe la synthèse de protéines (Kimura et al., 2006), et génotoxique (Bensassi et al., 2009). Ueno (1985) a classé les trichothécènes en quatre groupes, en fonction de leurs structures chimiques. Les TCT C (type C) ; Les TCT D (type D) et Les TCT A (type A).

Les trichothécènes du groupe B sont les plus souvent isolés à partir des substrats contaminés par les *Fusarium*. En fonction de la nature des TCTB synthétisés, *Fusarium* est de chémotype DON lorsqu'il est producteur de DON et /ou de ses formes 3 et 15 acétylées, ou de chémotype NIV lorsqu'il est producteur de NIV et/ ou de FX (Kim et al., 2003; Li et al., 2005; Quarta et al., 2005).

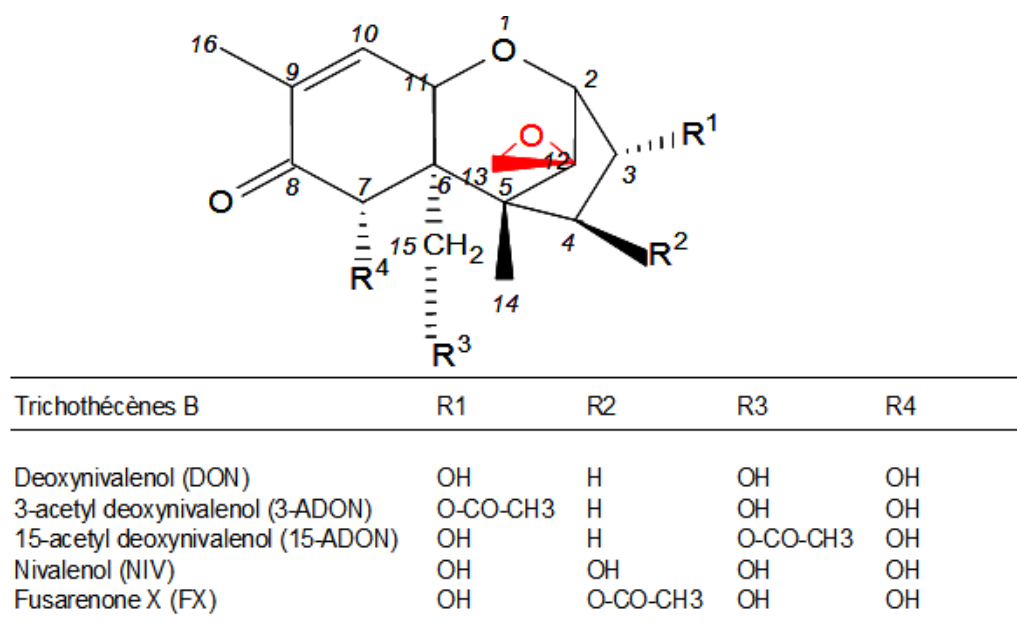


Figure 9 : Structure chimique des trichothécènes de types B (Cole et Cox, 1981)

3.2. Toxicité et réglementation

Les trichothécènes sont produits et s'accumulent au cours du développement des grains avant la récolte et ne peuvent pas être éliminés par les processus de transformation classiques des aliments. Ces molécules sont stables d'un point de vue chimique et thermique. Elles se retrouvent dans les produits bruts comme les grains mais peuvent aussi se retrouver dans les produits transformés comme la farine, la semoule, les pâtes ou les céréales pour petit-déjeuner (Champeil et *al.*, 2004).

Historiquement, les trichothécènes ont été reconnus responsables d'intoxications humaines, et en particulier de l'aleucie toxique alimentaire, survenue en Russie dans les années 1942-1947 (Joffe, 1983). Par la suite, d'autres cas d'intoxications alimentaires humaines associées aux trichothécènes ont été rapportés en Chine, en Inde et au Japon (Eriksen, 2003). Une étude réalisée par Hsia *et al.*, (1988) a montré qu'il y a une corrélation positive entre le niveau des trichothécènes et le développement du cancer de l'œsophage chez l'homme.

Plus généralement, les trichothécènes sont toxiques envers toutes les espèces animales testées. Ce sont de petites molécules qui peuvent passivement passer à travers la membrane cellulaire. Leurs effets sur le système immunitaire et gastro-intestinal sont largement documentés dans la littérature (D'Mello et *al.*, 1999 ; Bennett et Klich, 2003 ; Eriksen, 2003).

Au niveau moléculaire, les trichothécènes et en particulier le DON ont des conséquences variables liées à un effet dose. Ainsi pour des doses dites faibles à modérées le DON induit également la transcription de gènes liés à l'immunité et l'inflammation (Pestka, 2010). Les trichothécènes affectent également la synthèse de l'ADN et de l'ARN. A des concentrations élevées capables d'inhiber totalement la synthèse protéique, les trichothécènes peuvent activer les voies des MAP kinases et peuvent entraîner la mort cellulaire (Pestka, 2010, Rocha et *al.*, 2005).

En Algérie, les teneurs en mycotoxines dans les aliments ne sont pas encore réglementées. En revanche, dans différents pays européens, il existe des normes prescrites pour veiller à la sécurité alimentaire. La consommation quotidienne de céréales et de produits dérivés faiblement contaminés en mycotoxines entraîne un risque de toxicité chronique pour le consommateur, risque non maîtrisé à l'heure actuelle.

Pour pallier ce risque, l'Union Européenne a établi une réglementation rigoureuse à partir des doses journalières tolérables définies pour les mycotoxines les plus fréquemment retrouvées. En effet, le règlement (CE) n° 1126/2007 détermine les concentrations maximales en DON autorisées dans les denrées destinées à l'alimentation humaine (Tab. 3)

Denrées	Mycotoxines	Valeur seuil en µg/kg
Céréales brutes autres que le blé dur, l'avoine et le ma	DON	1250
Blé dur et avoine brute	DON	1750
Maïs brut	DON	1750
Farine de céréales et pâtes	DON	750
Pain, pâtisseries et biscuits	DON	500
Préparations à base de céréales pour nourrissons	DON	200

Tableau 3 : Concentrations maximales autorisées en DON dans les denrées destinées à l'alimentation humaine, d'après le règlement (CE) n°1126/2007 (Touati-Hattab, 2018)

4. Moyens de lutte contre la fusariose de l'épi

4.1. Les pratiques culturales

Plusieurs facteurs peuvent moduler l'apparition et le développement de la maladie notamment au champ. La rotation des cultures permet de limiter la présence de céréales sensibles à l'infection et la survie du champignon (McMullen et *al.*, 1997).

Cependant La rotation des cultures n'affecte pas beaucoup le taux d'inoculum parce que *Microdochium* et *Fusarium* sont des champignons qui possèdent des formes de résistance. Mais il est à noter que des taux d'inoculum élevés ont été enregistrés dans les systèmes à monoculture (Lenc, 2015).

Certaines cultures, comme le maïs et le blé, sont plus sensibles aux attaques de fusariose ; les résidus issus de ces cultures sont des sources d'inoculum pour l'année suivante (Parry et *al.*, 1995).

4.2. Résistance des variétés

La mise au point de variétés résistantes à la fusariose ainsi qu'à l'accumulation de mycotoxines représente la voie la plus prometteuse pour limiter le risque déoxynivalénol, bien que, jusqu'à présent, la majorité des génotypes soit assez sensibles.

La résistance à la fusariose incluant la variable toxines est une résistance à plusieurs composantes, décrite chez le blé (Miller *et al.*, 1985 ; Mesterházy, 2002). Ces composantes sont au nombre de cinq et sont résumées dans le tableau 4. En 1963, Schroeder et Christensen ont fait la distinction entre deux types de résistance à la fusariose du blé. La résistance de type I est la résistance à l'infection initiale, dont la composition du grain est déterminante dans cette composante.

4.3. Lutte biologique

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

4.4. La lutte chimique

Une fois la culture installée, le recours à la lutte chimique est toujours possible, mais avec une efficacité limitée. Les fongicides utilisés montrent une capacité à réduire la maladie jusqu'à 70 % et diminuer l'accumulation des toxines dans les graines. Les travaux de Simpson *et al.* (2001) confirment la sensibilité des champignons du genre *Fusarium* aux triazoles (Bromuconazole, Propiconazole et le Tebuconazole) (Homdork *et al.*, 2000; Scherm *et al.*, 2013). Pour *Microdochium* spp. les fongicides les plus utilisés appartient aux difénoconazole, le tébuconazole, prothioconazole, bitertanole (Glynn *et al.*, 2005; Walker *et al.*, 2009; Jørgensen *et al.*, 2011).

4.5. La lutte intégrée

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

Matériels et méthodes

II. Matériels et méthodes

2.1. Matériel

2.1.1. Matériel végétal

Pour les isolements 36 échantillons de grains de blé ont été collectés dans différents services agricoles des régions céréalières de l'Algérie, et de diverses variétés voir tableau .4 (Annexe 2).

La variété de blé dur Vitron a été utilisée pour évaluer l'agressivité des isolats de *F.culmorum*, *F.pseudograminearum*, *F.graminearum*, *F. avenaceum* et *F. sporotrichioides* de Vitron est la variété de blé dur la plus cultivée en Algérie et présente une sensibilité à la fusariose du blé

Pour les testes pathogénie et agressivité des espèces de *Fusarium* spp, quatre variété de blé dur et tendre ont été utilisé pour l'inoculation artificielles au champ (voir tableau. A)

Tableau A : Les cultivars utilisés aux champs.

Variété	Espèce	Année de récolte	Région
Vitron	Blé dur	2017-2018	Oued semar
Amar6	Blé dur	2017-2018	Oued semar
Anza	Blé tendre	2017-2018	Oued semar
Mahouna	Blé tendre	2017-2018	Oued semar

2.1.2. Matériel fongique

Au cours de notre étude 14 isolats de *Fusarium*, d'espèces différentes ont été utilisées pour tester l'effet de la température sur le taux de croissance mycélienne des espèces de *Fusarium* ssp.

Les isolats ont été obtenus à partir des épis de plants de blé montrant les symptômes typiques de la fusariose récoltés au cours des années 2012, 2013 et 2014 par Touati-Hattab. Les informations concernant les isolats sont mentionnées au niveau du (Tab. 5)

Tableau 5: Les isolats des différentes espèces de *Fusarium* testés

Isolat N°	Code d'isolat	Espèce de <i>Fusarium</i>	Année d'isolement
Iso 1	FC.01	<i>F. culmorum</i>	2013
Iso 2	FPS.02	<i>F. pseudogramineraum</i>	2013
Iso 3	FC.03	<i>F. culmorum</i>	2013
1Iso 4	FG.04	<i>F. graminearum</i>	2014
Iso 5	FC.05	<i>F. culmorum</i>	2013
Iso 6	FC.06	<i>F. culmorum</i>	2014
Iso 7	FC.07	<i>F. culmorum</i>	2014
Iso 8	FG.08	<i>F. graminearum</i>	2012
Iso 9	FC.09	<i>F. pseudogramineraum</i>	2014
Iso 10	FC.10	<i>F. culmorum</i>	2012
Iso 11	FC.11	<i>F. culmorum</i>	2014
Iso 12	FA.12	<i>F. avenaceum</i>	2014
Iso 13	FS.13	<i>F. sporotrichioides</i>	2013
Iso 14	FP.14	<i>F. poae</i>	2013

2.2. Méthodes

2.2.1. Isolement et identification morphologique des champignons associés à la fusariose de l'épi

2.2.2.1. Isolement et Purification par culture monospore

Pour l'isolement et l'identification des espèces fongiques, des sous échantillons de 100 grains de blé ont été préparés à partir de 500 g de chaque échantillon de blé.

Après désinfection superficielle dans une solution d'hypochlorite de sodium à 2% pendant 3min, puis rinçage 2 fois à l'eau distillée stérile, les grains ainsi désinfectés ont été séchés sur papier filtre stérile. Ils sont ensuite placés sur un milieu de culture Dichloran-Chloramphenicol-Peptone-Agar (DCPA, Annexe 1) (Cromey *et al.*, 2002).

Le milieu DCPA est utilisé pour la détection spécifique des *Fusarium* spp et les boîtes de pétri sont incubées pendant 10-12 jours dans une enceinte climatisée, thermostatée à 22°C (+/- 3°C) avec une photopériode d'éclairage et d'obscurité alternant toutes les 12 heures.

Le milieu DCPA étant semi sélectif, seuls les espèces du genre *Fusarium* vont se développer de manière conséquente sur le milieu (vitesse de croissance radiale >2 mm / jour mycélium aérien abondant). Ce milieu ne permet pratiquement aucune pigmentation du thalle des champignons qui s'y développent, les cultures apparaissent donc généralement blanche à rose très pâle. De plus, il a été montré que ce milieu était significativement plus efficace que le milieu PDA pour la détection des *Fusarium* spp.(Ioos, 2001a).

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

2.2.3. Identification morphologique des isolats

Sur PDA, la morphologie des colonies à savoir la densité, la pigmentation du mycélium, ainsi que l'extension de la colonie ont été notées. Les caractéristiques microscopiques ont été déterminées aussi. Il s'agit de l'observation des types de spores développées, de la forme, de la taille et de la septation des macroconidies, ainsi que de la présence ou de l'absence des chlamydospores et peritheces.

Les espèces appartenant au genre *Fusarium* ont été identifiées morphologiquement en utilisant les clés d'identification Leslie et Summerell, (2006) ; Mady et *al.*, (2005). Les macroconidies de *F. culmorum* et *F. graminearum* sont directement identifiées sur le milieu DCPA (Hocking and Andrews, 1987). Les autres isolats de *Fusarium* spp. sont transférés du milieu DCPA vers un milieu PDA. Après 6 à 10 jours d'incubation à 22°C, deux prélèvements pour observation sont effectués systématiquement.

Le premier prélèvement consiste à récolter du mycélium aérien en plusieurs endroits de la culture, puis le transférer dans une goutte de colorant : bleu coton ou acide fuchsine pour observation au microscope, ces prélèvements permettent d'observer les microconidies produites sur le mycélium aérien. Le second prélèvement consiste à recueillir des *sporodochia* repérées, sur lesquels sont produites des macroconidies de taille et de forme relativement homogène et typique de l'espèce.

Ensuite, le taux d'infestation des grains de blé analysés a été évalué par le pourcentage de grains à partir desquels le complexe fongique associé à la fusariose s'est développé.

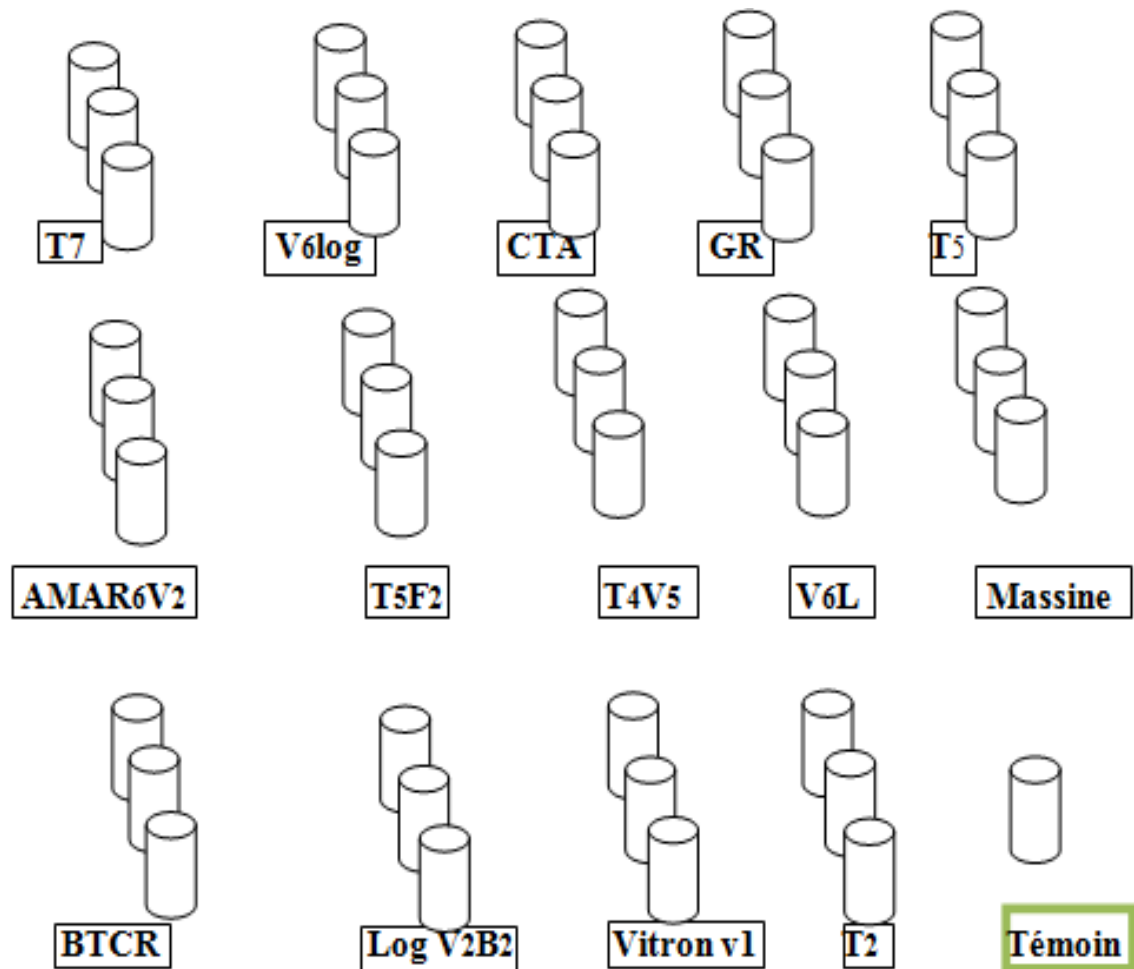


Figure 10: schéma du dispositif aléatoire complet du test de l'inoculation par fragment mycélien

2.3. Effet de la température sur la croissance mycélienne des isolats d'espèces de *Fusarium* ssp sur milieu PDA

Cette étude a été réalisée suivant le protocole établi par Brenan et *al.*, (2003) dans le but de déterminer le taux de croissance ainsi que la température optimale de croissance. Des explants mycéliens (6 mm de diamètre) provenant de cultures âgées de 7 jours de chaque isolat ont été déposés dans des boîtes contenant le milieu PDA et incubés aux températures 15°C, 20°C, 25°C et 30°C à l'obscurité.

Deux répétitions ont été réalisées pour chaque isolat et chaque température. Des mesures quotidiennes de la croissance mycélienne ont été prises après 24 h, 48 h, 72 h et 96 h d'incubation.

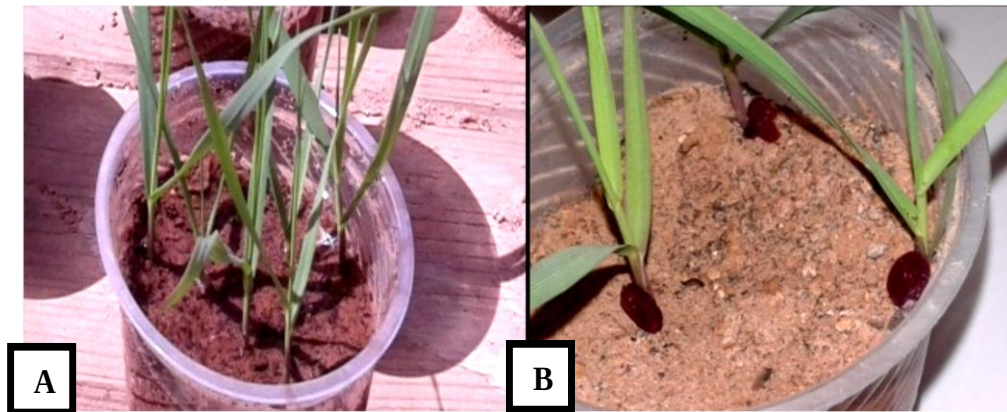
2.4. Évaluation de l'agressivité des isolats de *F.culmorum*, *F.pseudograminearum*, *F.graminearum*, *F. avenaceum* et *F. sporotrichioides* sur la partie basale des plants de blé

La variété de blé dur Vitron, la plus cultivée en Algérie a été utilisée pour ce test. Les semences ont été placées à une profondeur de 2 cm, dans des pots en plastiques (6 cm de diamètre), remplis avec un mélange stérile de terre agricole et de terreau (1 :1 v/v), à raison de 3 semences par pot. Fernandez et chen, 2005

L'essai a été réalisé dans un phytotron sous une photopériode de 16 h et une température de 24 °C. L'irrigation a été faite régulièrement suivant les besoins des plantes. L'inoculation a été réalisée sur des plantules au stade de 2 à 3 feuilles correspondant respectivement à ZGS 12 et ZGS 13 selon l'échelle de Zadoks et *al.* (1974).

2.4.1. Inoculation par fragments mycéliens

L'inoculum a été préparé à partir de cultures pures développées sur milieu PDA à l'obscurité et à 25°C. Après 8 jours d'incubation, un fragment de 1cm² a été découpé à partir des colonies de champignons développés, et déposé adjacent à la plantule au niveau du collet. Des plantules inoculées par des fragments de PDA, ne contenant pas de champignon, ont été utilisées comme témoin négatif.



Original 2019

Figure 11: Technique d'inoculation par fragments mycéliens

(A) : Témoin ; (B) : inoculation par fragment mycéliens

2.4.1. Notion des symptômes

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

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

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

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

2.4.2.Évaluation de l'agressivité des isolats des espèces de *Fusarium* spp sur épis, ainsi que la sensibilité de quatre variétés de blé à la fusariose de l'épi :

Cet essai a été réalisé en bloc aléatoire complet. Après le travail du sol et la préparation du lit de semence, Nous avons réalisé neuf essais espacés de 25cm et plus loin à 4 mètres le 10^{ème} essai constitué des variétés témoins. Dans chaque essai il y a trois blocs avec un écartement de 15cm entre les blocs, soit 12 micro-parcelles par bloc d'une seule ligne

Le semis avait été réalisé le 26 Novembre 2018. L'essai a été suivi quotidiennement, deux désherbages manuels avaient été effectués. L'irrigation a été faite régulièrement suivant les besoins des plantes. Pour l'inoculation, nous avons utilisé seulement neuf isolats de *Fusarium* spp (Tab.B). une suspension de spores de chaque isolat a été préparée et ajustée à 10⁵ conidie/ml.

Tableau B: liste des différents isolats utilisé dans l'essai en plein champ

Isolats N°	espèce de fusarium
01	<i>F.pseudogramineraum</i>
02	<i>F.graminearum</i>
03	<i>F. culmorum</i>
04	<i>F. culmorum</i>
05	<i>F. sporotrichioides</i>
06	<i>F. avenaceum</i>
07	<i>F. poae</i>
08	<i>F. culmorum</i>
09	<i>F. culmorum</i>

Au stade floraison, les épis ont été inoculés en introduisant une seringue entre épillets jusqu'au ruissellement de l'inoculum sur les épis. Ainsi le mycélium de *F.graminearum* et *F.culmorum*, *F. pseudogramineraum*, *F.poa* , *F. sporotrichioides*, *F. avenaceum* dans la fleur selon le protocole adapté de Hart et *al.* , 1982 et modifié sur blé. Compte tenu de la précocité échelonnée des variétés, les inoculations n'ont pas été réalisées le même jour mais à un intervalle de 15 jours entre les variétés (Kleijer et Michel., 2001); 5 épis par micro-parcelle ont été marqués avant l'inoculation.

Le témoin est pulvérisé par 200 ml de l'eau distillée stérile. Une irrigation a été assurée 15 mn avant l'inoculation et pendant les 72 h qui suivent l'inoculation afin de maintenir une humidité relative maximale qu'est indispensable aux premières étapes de développement du champignon.

Notation des symptômes

Deux systèmes de notation ont été utilisés pour analyser les données. Pour le premier système de notation utilisé, le nombre d'épillets déverdis a été noté avant le déverdissement physiologique (20 jours après l'inoculation, sur les 10 épis pré-identifiés est basé sur une échelle de 1 à 9) (1 = sans symptômes et 9 = épi mort) (Tab.6 ; Fig. 13)

(Mascher *et al.*, 2005). L'incidence de la fusariose sur les différentes variétés testées, est estimée en calculant l'indice d'attaque en % des épis fusariés selon la formule suivante:

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

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

Concernant le deuxième système de notation l'incidence de la fusariose sur les différentes variétés testées, a été estimée chaque période de 7 jours (7, 14, 21, et 28 jours après l'inoculation des épis) par le nombre des épillets infestés par épi (quatre épis par pot, trois pots par variété).

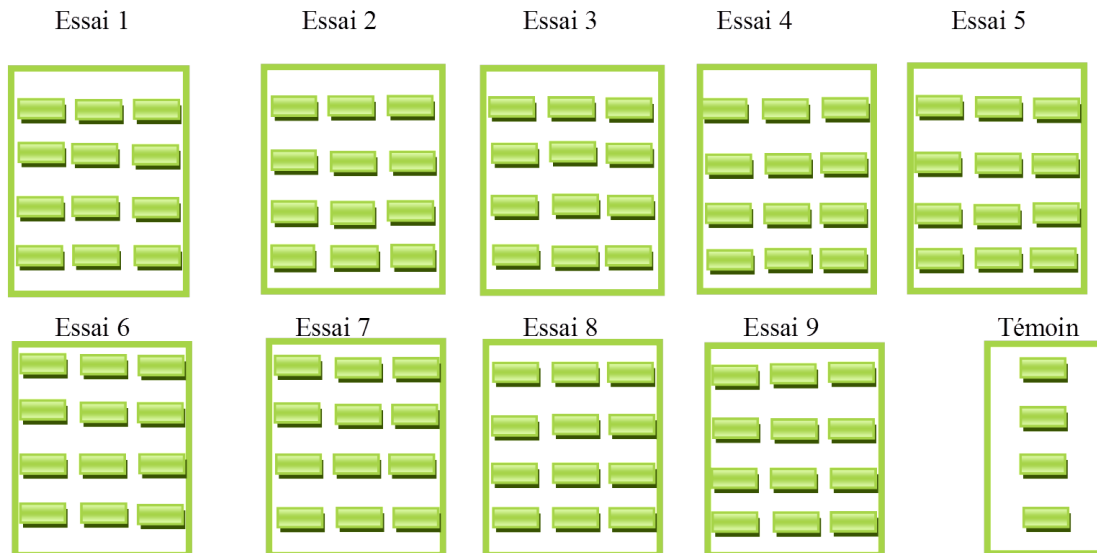


Figure 12 : Dispositif expérimental pour l'inoculation en plein champ

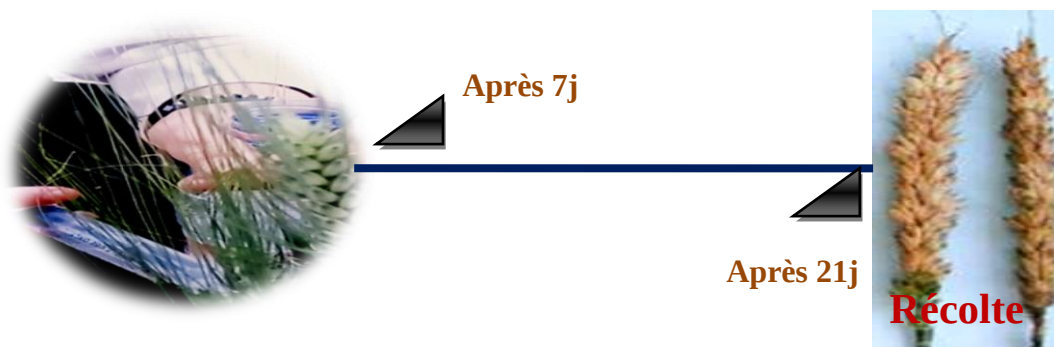


Figure13 : Technique d'inoculation par suspension sporale



Figure 14: Echelle d'évaluation de l'INRA, (Anonyme, 2009)

Tableau 6: échelle d'évaluation utilisée pour l'estimation de la sévérité de l'infection par *Fusarium* sur épi, Michel, 2001, (Lamari, 2014).

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

Puis, ces mesures ont été transformées en surface sous la courbe de progression de la maladie (AUDPC, Area Under Disease Progress Curve). Des valeurs faibles de l'AUDPC suggèrent une tolérance/résistance élevée. L'AUDPC a été définie par Shaner et Finney (1977), et il est utilisé pour résumer la progression de la maladie.

L'AUDPC standardisée est calculée suivant la formule suivante :

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

Avec n = nombre total d'observations = 4 ; y_i = nombre d'épillets infestés à chaque observation; $(x_{i+1} - x_i)$ = durée séparant deux observations consécutives = 7 jours.

Analyse des données

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

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

Résultats et discussion

III. Résultats et Discussion

3.1. Partie 1 :

3.1.1. Recherche de la flore fusarienne au niveau de grains de blé

Les résultats des isollements réalisés à partir des grains de blé nous ont permis d'obtenir une collection de 30 isolats du genre *Fusarium* et *Microdochium*. Cette dernière a été purifiée et exploitée pour l'identification morphologique.

Les identifications morphologiques basées sur les critères culturels (la coloration du mycélium, la présence ou l'absence de pigment dans le milieu ainsi que sa couleur) et microscopiques (la présence ou absence des micro conidies présence des cellules conidiogènes annélidiques, la forme et la taille des conidies) (Fig.17) établis par Leslie et *al.*, (2006) ; Ismail et *al.*, (2015) et par Samuel et Hallet, (1983) ; ont permis de confirmer l'appartenance de nos isolats au genre *Fusarium* et *Microdochium*.

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

L'identification morphologique a permis de montrer l'implication de six espèces à savoir: *F. culmorum*, *F. pseudograminearum*, *F. graminearum*, *F. tricinctum*, *F. avenaceum* et *Microdochium* spp.

Les résultats des isollements réalisés sur les différents échantillons (36) de grains de blé récoltés durant les années 2012-2013 et 2014-2016-2018 ont montré que les deux genres *Fusarium* et *Microdochium* responsables de la Fusariose sont présents sur les grains de blé avec des pourcentages respectivement de 23.61% ,21.91% (Tab ,Annexe 2)(Fig.16)

Aussi nos résultats ont montré que *F. culmorum* et *pseudograminearum* sont les espèces prédominantes observées sur le blé, suivi par le *Microdochium* spp. qui a été observé également assez fréquemment. Des espèces plus minoritaires comme *F. graminearum*, *F. tricinctum* et *F. avenaceum* sont également recensées.

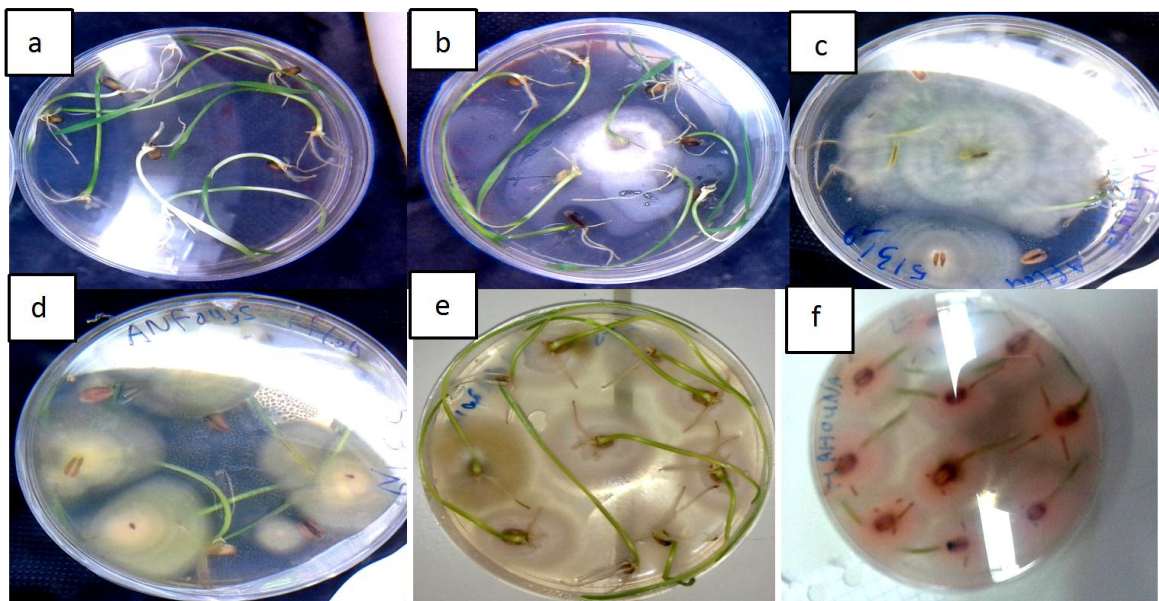


Figure15: Variation dans le taux de contamination des grains de blé sur DCPA

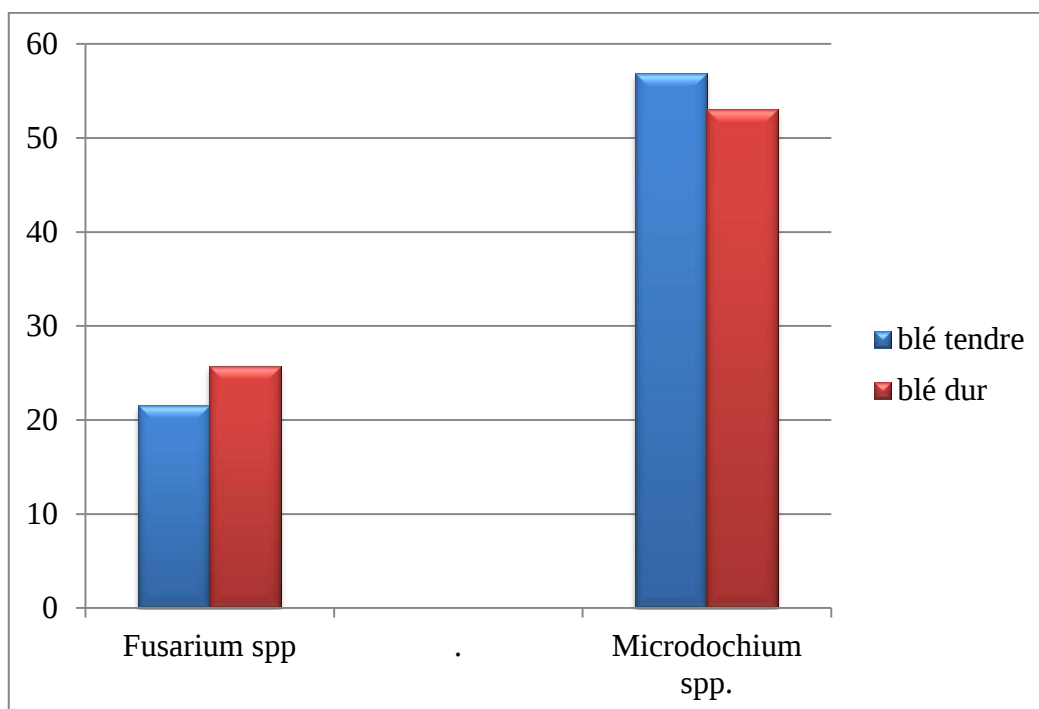


Figure 16: Taux de contamination des grains par les deux genres responsables de la fusariose du blé, *Microdochium* et *Fusarium*

Tableau 07: Taux de contamination des variétés de blé par région

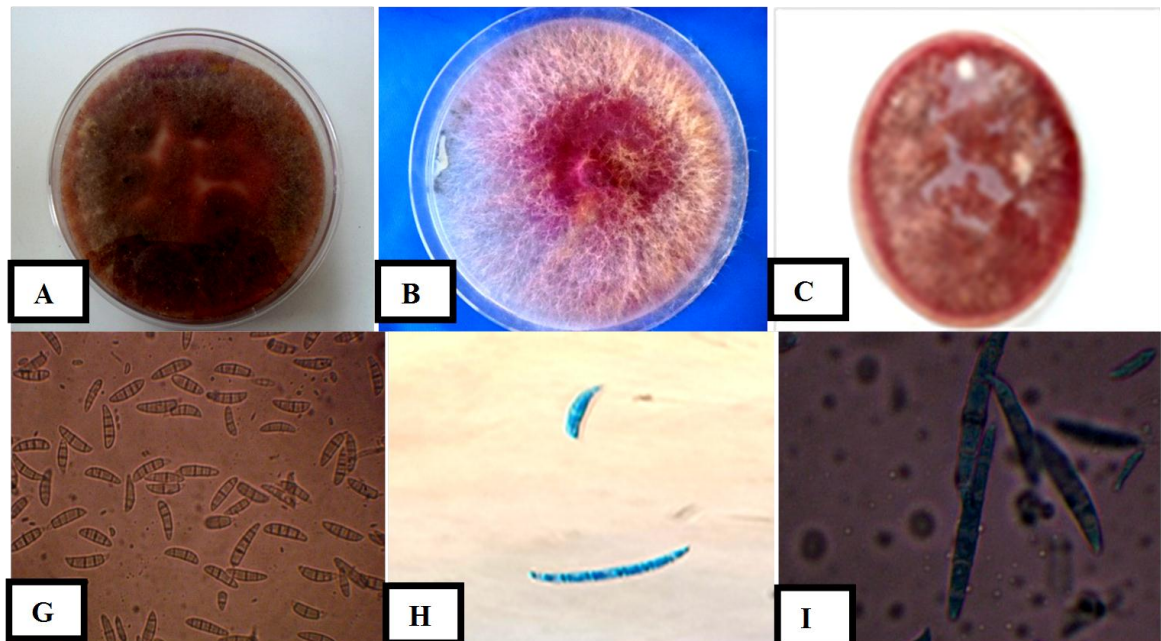
Région géographique	Année de récolte	Blé dur	Blé tendre	>0% à <15%	15% >à <30%	>30% à <50%	>50 %
Oud semar	2013	4	2	5			1
El-kehmis	2014		1			1	
Bouredjbouariridj	2014		2		2		
Berrouaghia	2014		1			1	2
Alger	2016		1			1	
Ghylizane	2015	3	1	4			
El-Menia	2015	1		1		1	
Sétif	2015	5	4	2	1	6	
Laghouat	2015	1		1			
Adrar	2018	1	1	2			
Aflou		3			3		

Ainsi, l'identification biologique a permis de montrer que pour les variétés analysées, la variété Mahouna a présenté un taux de contamination le plus élevé par *Fusarium* spp de l'ordre de 72% quelque soit la région.

Les espèces de *Fusarium* et *Microdochium* ont été observées avec des pourcentages importants de >50% sur les échantillons récoltés dans les zones littorales centre d'Alger. Et dans les plaines intérieures de la région Est, le pourcentage noté est de >30% à <50% 64%. Cependant dans la région saharienne la contamination des grains de blé a été estimée entre >0% à <15% et 15% à <30%.

En effet, le climat a une incidence majeure sur le développement de la maladie, notamment au moment de la floraison où le climat humide conditionne le développement de l'inoculum (Champeil et al., 2004). (Tab.7)

Nous avons constaté d'après les résultats que le taux de contaminations des grains de blé dur par le *Fusarium* spp. est de 21,55%, alors que les variétés de blé tendre ont montré un taux de contamination plus élevé de l'ordre de 25,66 % (Fig.16) (Annexe 2). Les champignons trouvés dans les différents lots de semences analysés sont comparables à ceux identifiés dans les semences depuis des années par plusieurs notamment les analyses de (Renata, 2011).



Chlamydospores en chaine

Figure 17: Aspects morphologiques et microscopiques des espèces de *F.culmorum*; *F.graminearum* ;*F.pseudograminearum* isolées à partir des épis de blé (G x 20) et (G x 40)

(A) :colonies de *F. culmorum* ; (B) Mycélium assez abondant rose, *F. graminearum*

(C) : Colonie floconneuse de *F.pseudograminearum* rouge à brun vineu ; (G) : Macroconidies de *F.culmorum* : (H) :Macroconidies de *F. graminearum* Schwabe en forme de faucille ;(I) Macroconidies de *F.pseudograminearum*, dont la cellule terminale est longue et pointue

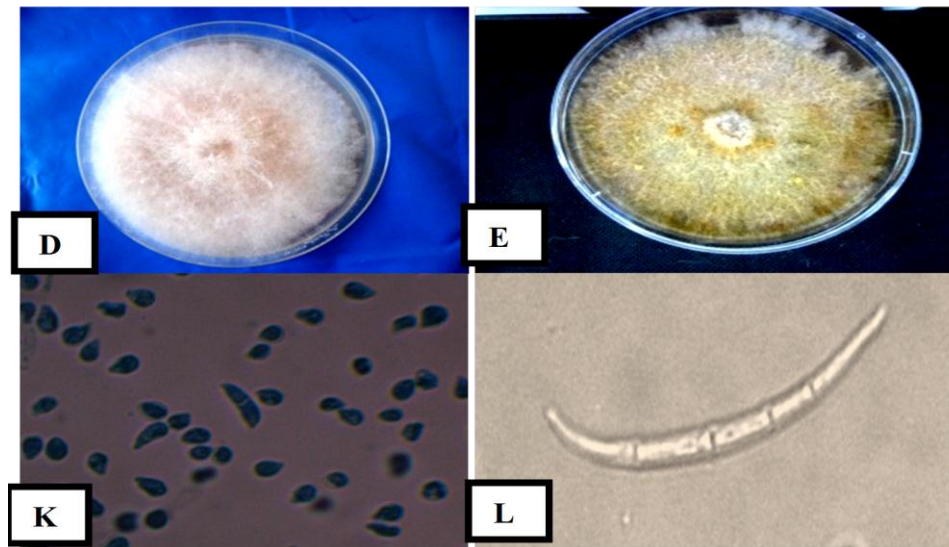


Figure 18: Aspects morphologiques et microscopiques des espèces de *Fusarium tricinctum* ; *F. avenaceum* isolées à partir de grains de blé (G x 40) et (G x 100)

(D) : *Fusarium tricinctum* développe un mycélium peu abondant blanc rosé ; (E) Colonies marron avec une marge blanche de *F. avenaceum* ; (k) Macroconidies distinctement en forme de faucille et les microconidies extrêmement abondantes, mélange de napiforme, citriforme et en forme de virgule de *Fusarium tricinctum* ; (L) macroconidies forme de faucille



Figure 19: Aspect cultural et microscopique de *Microdochium* spp.

3.1.1.2 Identification des isolats sur milieu PDA

Les isollements effectués à partir des grains de blé contaminés naturellement la fusariose de l'épi FHB ont abouti à l'obtention d'isolats qui appartient au genre *Fusarium* spp et *Microdochium* spp.

Identification (**7 isolats**): correspond à l'espèce *Fusarium culmorum*, selon la description de Tousson et Nelson (1976), Zillinsky (1983) et leslie Summerell (2006).

Sur milieu PDA *F.culmorum* donne des colonies de couleur qui vire du blanc vers le rose, il est aérien abondant, un pigment rouge se forme au contact de l'agar (A Fig.17). Les macroconidies sont épaisses et faiblement arquées, la cellule apicale est arrondie et la cellule basale est cranté et pas nettement pédicellée.

Les conidies comportent en générale 3 à 5 cloisons. La présence de chlamydospores portées par les macroconidies est également observée, les microconidies sont absentes (G Fig.17).

Sont identifiés (**4isolats**) comme *Fusarium graminearum*, sur milieu PDA, le mycélium est dense de couleur qui varie du blanc, rose, orange au marron et devient rouge au contact de l'agar avec des reflets plus au moins jaunes dans sa partie aérienne (B Fig 17). Les macroconidies sont droites ou légèrement arquées, la cellule apicale est faiblement allongée et fortement courbée près du bout, la cellule basale est nettement pédicellée. elles présentent 5 à 6 cloisons. Les microconidies sont absentes, les chlamydospores sont rares (H Fig. 17).

Sont identifiés (**4 isolats**) *F. pseudograminearum* présente des colonies floconeuse de *F.pseudograminearum* rouge à brun vineu. Les macroconidies sont fusiformes, courbées et septées de *F.pseudograminearum*, dont la cellule terminale est longue et pointue. (C.Fig.17)

Trois isolats identifié comme *F. avenaceum*, présente un mycélium abondant, aérien et très dense généralement blanc, couleur sous culture rouge carmin à ocre avec une marge blanche. Les macroconidies de *F. avenaceum* sont en forme de fuseau, longues et effilées très caractéristique à paroi épaisse (Fig.E.18).

F.tricinctum : **trois isolats** ont été identifiés comme appartenant à l'espèce *Fusarium tricinctum*. Le mycélium est peu abondant blanc, la texture du thalle est duveteuse, les macroconidies sont distinctement en forme de faucille (Fig.D.18)

Sont identifiés (**10 isolats**) comme *Microdochium* spp, les colonies présentent souvent un mycélium ras et parfois légèrement aérien dense et feutré. Les cultures sont de couleur blanche à rose saumon, des nappes de sporodochies de couleur orange vif sont présentes très souvent à la périphérie de la culture (Fig.19), mais parfois dispersées sur la culture ou en nappes concentriques Hoshino *et al.*, (2009).

Les *Microdochium* spp. sont caractérisés par la présence des cellules conidiogènes annélidiques, la forme et la taille des conidies établis par Samuel et Hallet, (1983).

3.2 Partie 2

3.2.1. Effet de la température sur la croissance mycélienne des isolats de *Fusarium*spp. sur milieu PDA

Les 14 isolats appartenant aux différentes espèces de *Fusarium* spp ont été incubées à différentes températures (15°C, 20°C, 25°C et 30°C) afin de déterminer la température optimale pour chaque espèce. Il s'agit des espèces de *F.culmorum* ; *F.graminearum* ; *F.pseudogramineraum* ; *F.poa*e ; *F.sporotrichioides* ; *F.avenaceum*.

Les résultats de ce test ont révélé une variabilité entre les espèces de *Fusarium* spp. et entre les isolats de la même espèce. Les diamètres moyens de la croissance des isolats de *Fusarium*spp.obtenus après 4 jours d'incubation à différentes températures sont illustrés au niveau du (Tab 08) et (fig.20 et 21).

Espèces	La température optimale des espèces (°C)			
	15°C	20°C	25°C	30°C
<i>F.graminearum</i>	42	56	70	43
<i>F.culmorum</i>	41.75	51.625	67.75	46
<i>F.pseudogramineraum</i>	14	62	50	18
<i>F. avenaceum</i>	76	50	40	40
<i>F.sporotrichioides</i>	28	82	78	30
<i>F.poa</i> e	38	40	32	24

Tableau 8 : La température optimale de chaque espèce de *Fusarium* spp.

L'optimum de la croissance mycélienne pour les espèces de *F.culmorum* ; *F. graminearum* a été enregistré à 25°C, les diamètres mesurés pour chaque espèce sont respectivement de 67.75 mm, 70 mm. Pour *F.poa* et *F. pseudogramineraum* et *F. sporotrichioides* la température de croissance optimale a été notée à 20°C avec des diamètres respectivement de 82 mm, 62 mm et 82mm. A l'exception de l'espèce *F.avenaceum* la température de croissance optimale était à 15°C avec un diamètre de 76 mm (Fig.20)

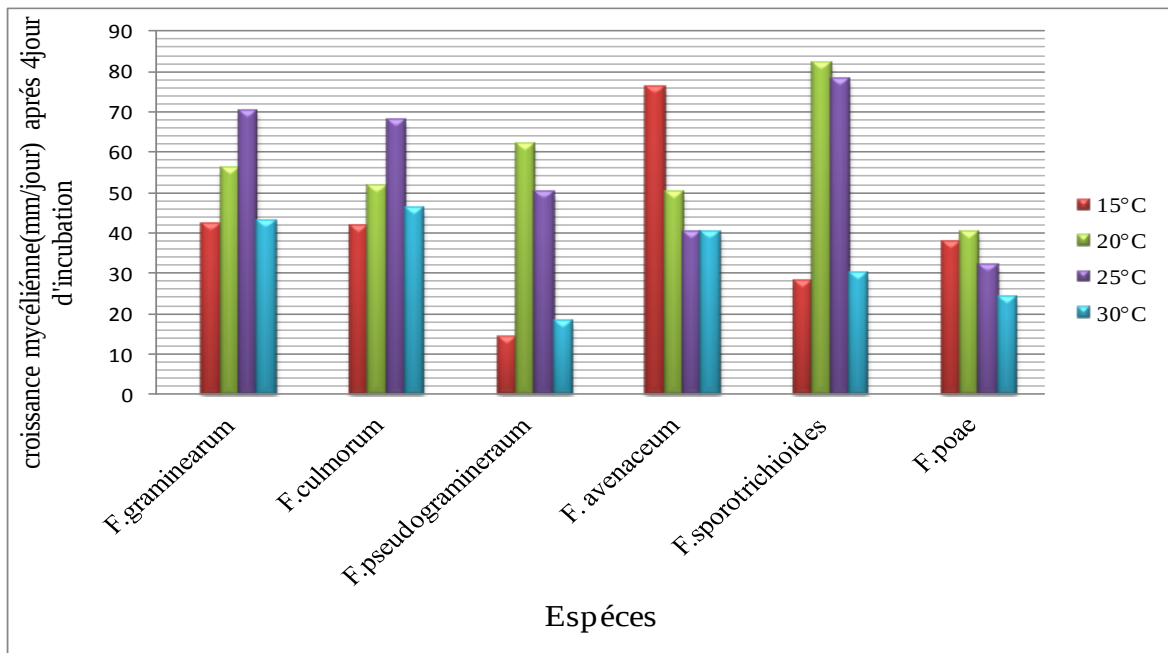


Figure 20 : Diamètre moyen (mm) des espèces de *Fusarium*spp. après 4 jours d'incubation à 15, 20,25 ,30°C

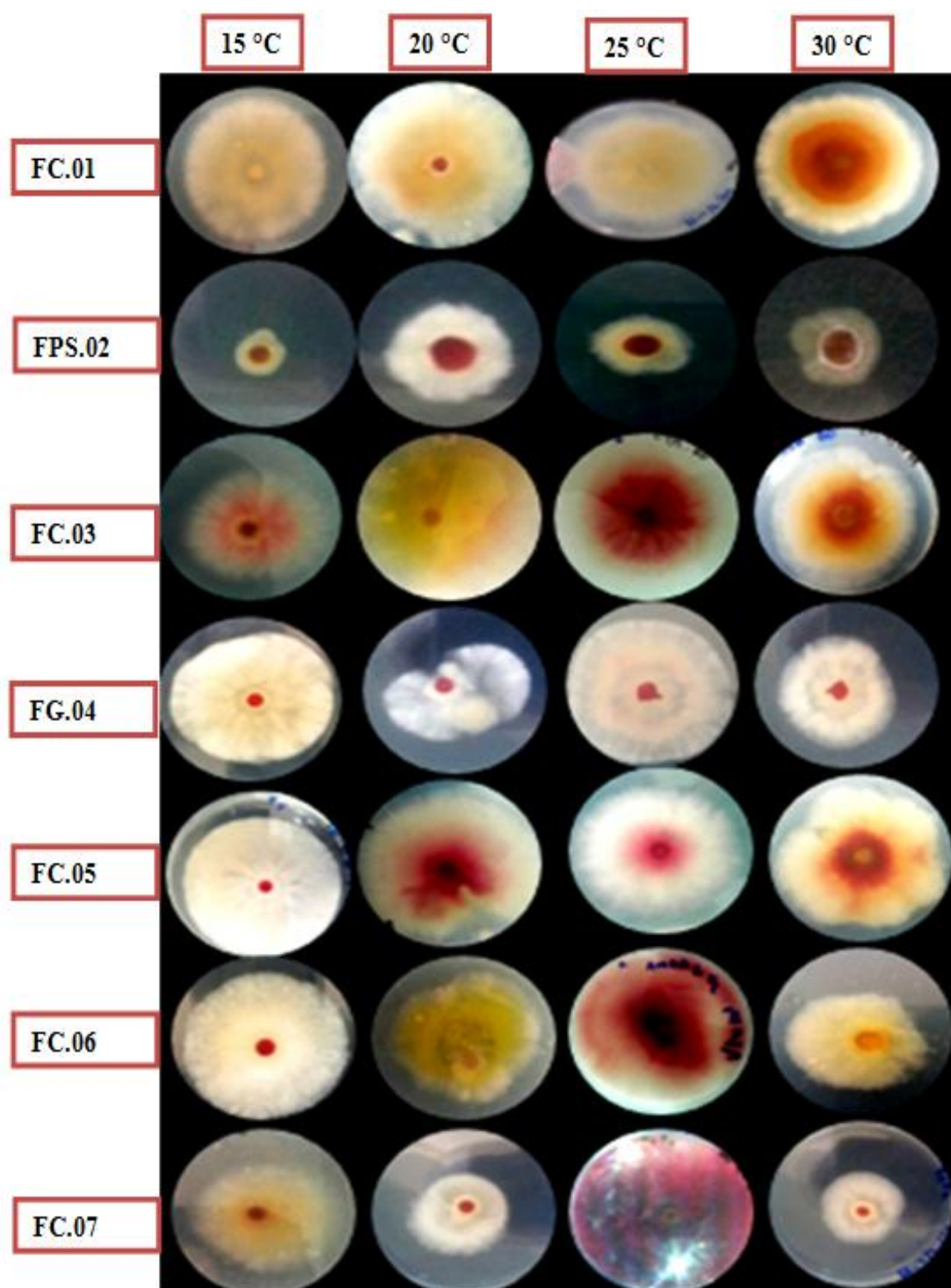
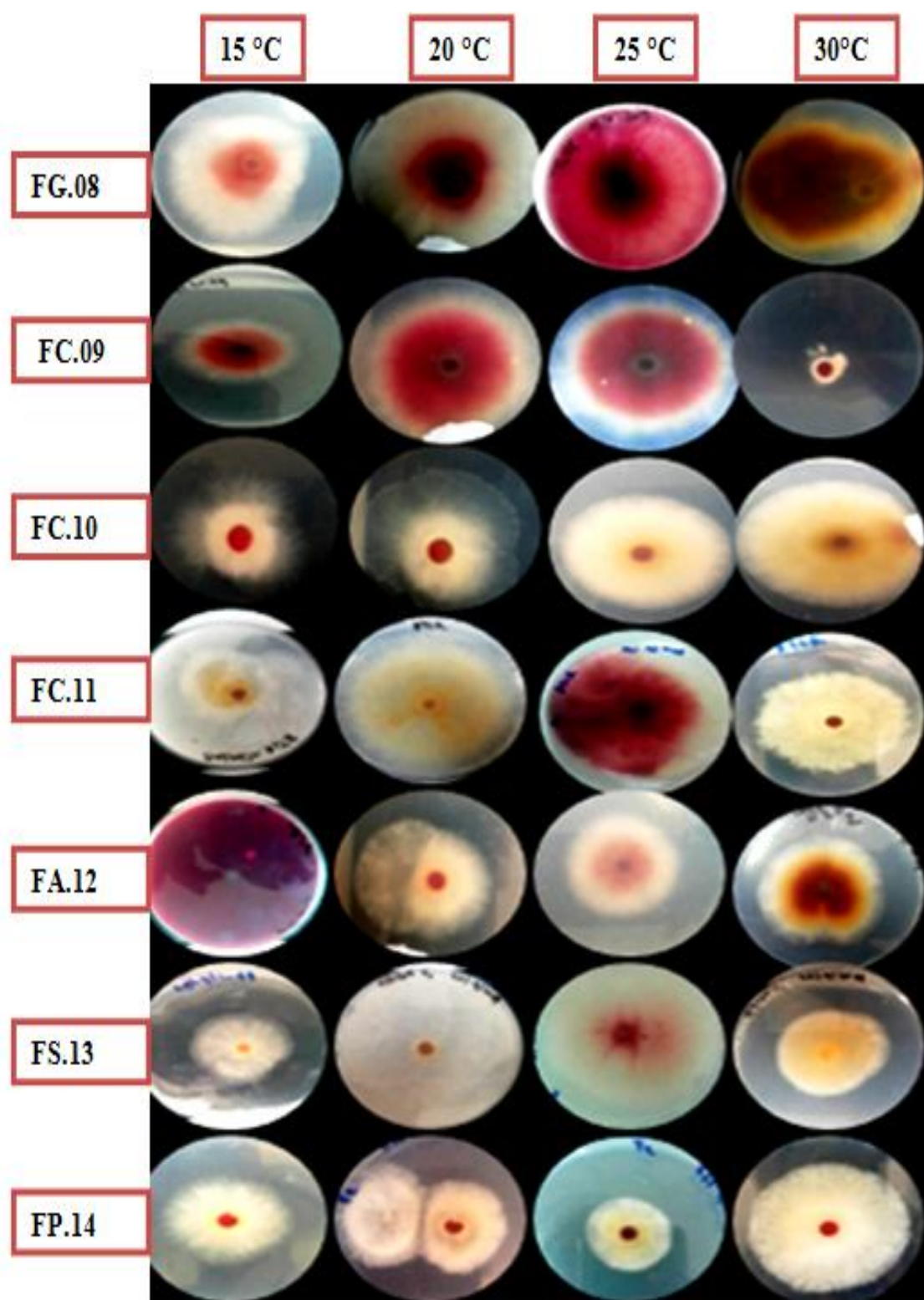


Figure 21: la croissance mycélienne moyenne (mm) de différents isolats après 4 jours d'incubation à 15°C, 20°C, 25°C et 30°C

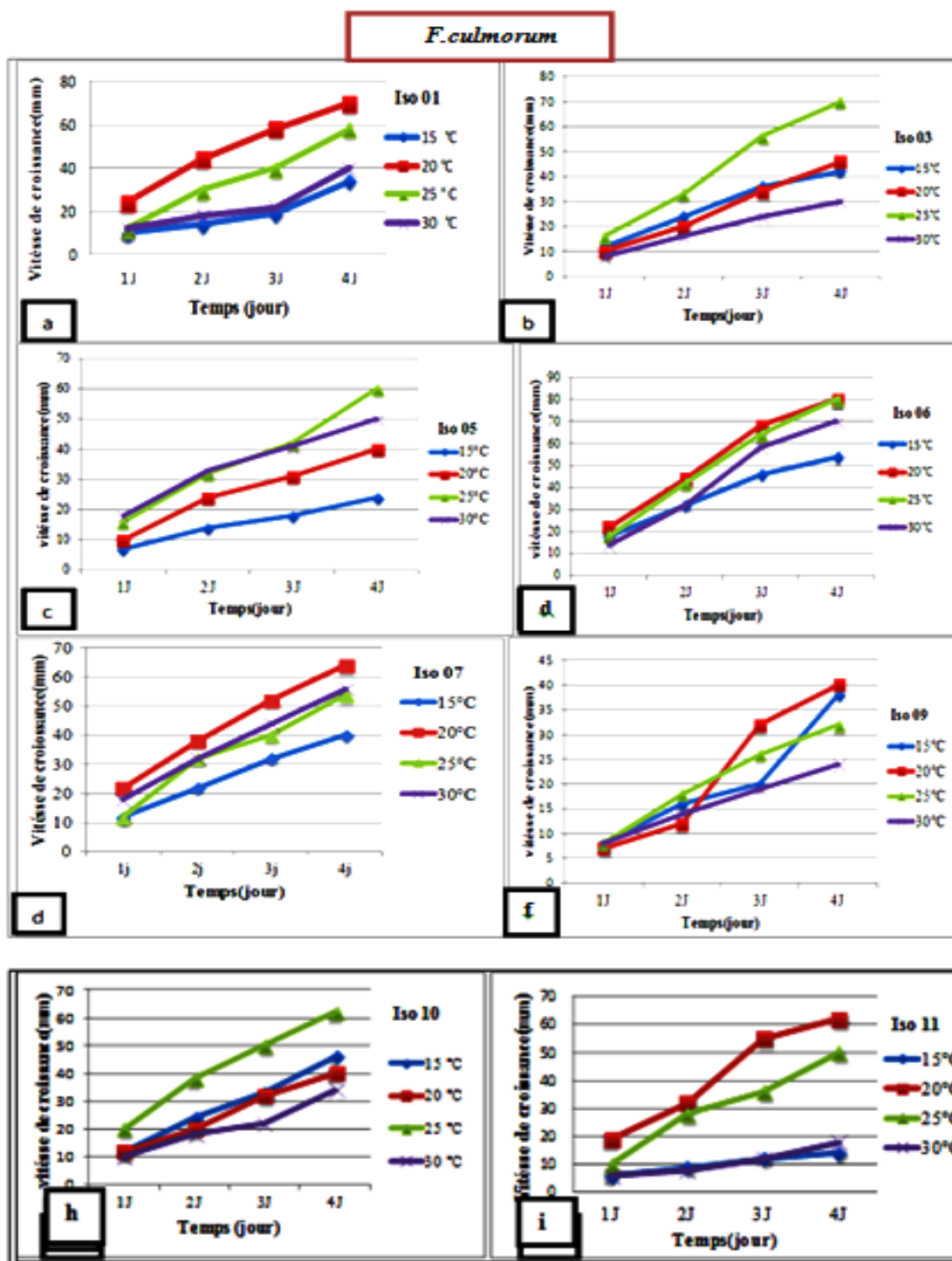


Original 2019

Figure 21 : la croissance mycélienne moyenne (mm) de différents isolats après 4 jours d'incubation à 15°C, 20°C, 25°C et 30°C

Nous avons aussi constaté qu'après quatre jours d'incubation les espèces *F.culmorum*, *F. graminearum*, *F. pseudogramineraum* et *F. sporotrichiode* se sont bien développées à 20°C et 25°C, tandis que les deux espèces *F.avenaceum* et *F.poa* ont montré un taux de croissance important à 15°C et 20°C (Fig.21)

Tous les isolats se sont marqués par une augmentation de la croissance mycélienne entre 15°C et 30°C dès 24h d'incubation, avec une grande diversité dans la vitesse de la croissance radiale et la potentialité du développement mycélien entre espèces et même entre isolats de la même espèce (Fig.22)



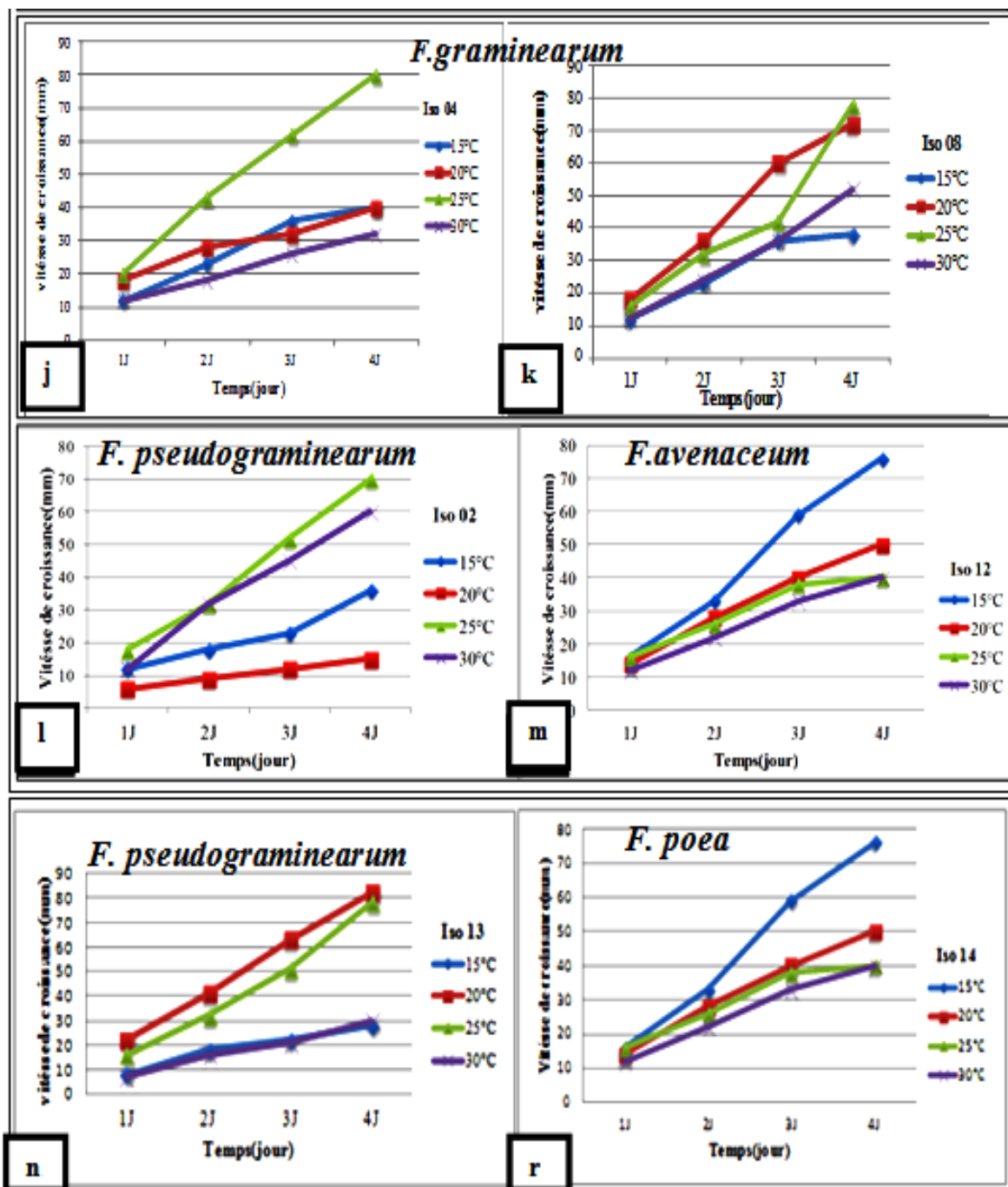


Figure 22: Cinétique de croissance du mycélium des isolats de *F.graminearum* ; *F. pseudograminearum* ; *F.sporotrichioides* ; *F. poae* et *F.avenaceum* cultivés sur milieu PDA à 15°C, 20°C, 25°C, 30°C.

Discussion :

L'étude de la croissance mycélienne de 14 isolats à différentes températures (15°C, 20°C, 25°C, 30°C) a montré que l'intervalle de croissance des espèces de *Fusarium* spp. est situé entre 15°C et 30°C et qu'il existe une différence dans l'optimum de croissance entre les isolats. Il s'est avéré que l'optimum de la croissance mycélienne de l'espèce est situé à 20°C et 25°C pour tous les isolats à l'exception de *F.avenaceum* qui est enregistré à 15°C.

Les résultats obtenus dans cette étude sont en accord avec ceux obtenus par Brennan et al. (2003) qui ont trouvé que la température optimale de croissance de *F.culmorum* et *F. graminearum* est 25°C. Wagacha et Mulhomi (2007) ont signalé que la croissance mycélienne de *F.culmorum* augmente entre 25 et 30°C. Egalement Campbell et Lipps (1998) rapportent que *F. graminearum* isolé aux Etats Unis est doté d'un optimum de croissance de 25°C.

Pettitt et al. (1996) ont trouvé que la température optimale de *F.culmorum* est comprise entre 20 et 25°C.

Les résultats obtenus dans cette étude sont en accord avec ceux obtenus par Nekeche (2013) qui ont trouvé que la température optimale de croissance *F. poae* est à 20°C et à 15°C pour *F.avenaceum*.

3.3. Partie 3

3.3.1. Étude de l'agressivité des espèces *Fusarium* spp. différent au niveau de collet

Dans ce premier essai d'inoculation par fragments mycéliens sur le collet de blé dur (Vitron) 14 espèces de *Fusarium* spp. 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 (Fig.23).

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 16.66% à 85% pour l'espèce *F. culmorum*, de 41% pour l'espèce *F. pseudograminearum*, *F. avenaceum* s'est montré très agressif avec un indice d'attaque de 68.33% pour l'espèce de *F. graminearum* nous avons noté le même indice d'attaque pour les deux isolats de l'ordre de $\approx 30.67\%$, et enfin pour les deux espèces de *F. poae*, *F. sporotrichioides* l'indice d'attaque est respectivement de 35% 23.33% (Tab. 9).

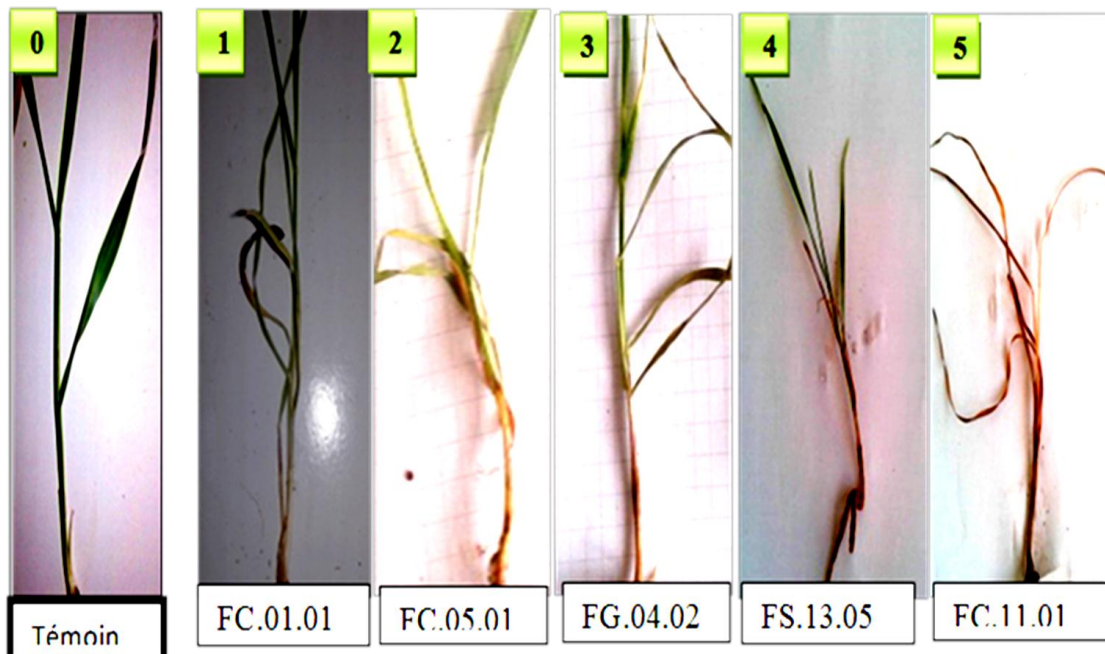


Figure 23 : Indice de sévérité de *Fusarium* spp. sur des plantules de blé cultivar « Vitron » montrant les quatre niveaux d'attaque (1-5) comparés au témoin.

Original 2019

Tableau 9: Les pourcentages des indices d'attaque des différentes espèces de *Fusarium* spp.

Espèces	Isolat	Indice d'attaque (%)
<i>F.culmorum</i>	FC.01.01	16.66
	FC.03.01	55
	FC.05.01	50.67
	FC.06.01	43.33
	FC.07.01	30
	FC.09.01	29
	FC.10.01	32
	FC.11.01	85
<i>F.graminearum</i>	FG.04.02	30.67
	FG.08.02	30.33
<i>F.pseudogramineraum</i>	FPS.02.03	41
<i>F. avenaceum</i>	FA.12.04	68.33
<i>F.sporotrichioides</i>	FS.13.05	23.33
<i>F.poa</i>	FP.14.06	35
Témoin		00

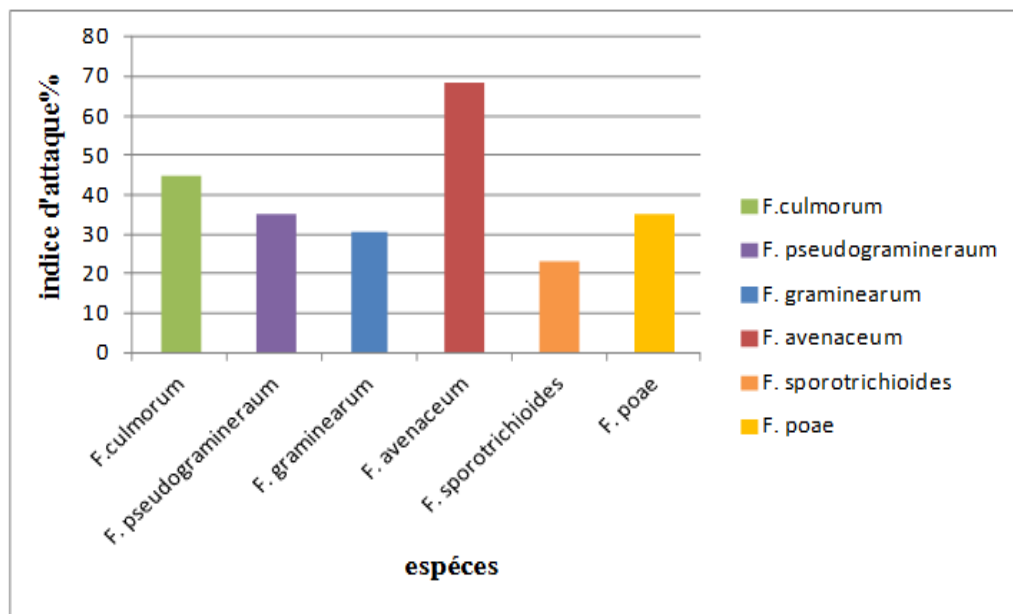


Figure 24 : Variation dans l'agressivité des différentes espèces de *Fusarium*spp.

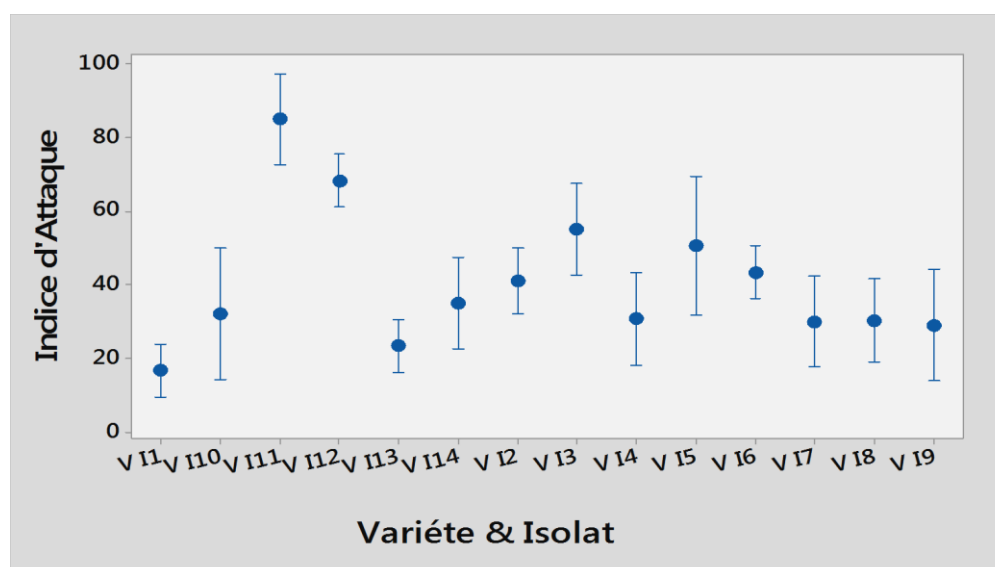


Figure 25 : Interactions entre la variété de blé dur Vitron et les espèces de *Fusarium* spp. (estimée par l'indice d'attaque fongique). Chaque point correspond à la moyenne des trois répétitions biologiques.

Les interactions variétés x isolats ont été exploitées par une analyse de variance ANOVA réalisée avec le logiciel XLSTAT-PLS software 2008.7.03 (Addinsoft, Paris, France). Les analyses de la variance ont montré que les résultats sont hautement significatifs pour le facteur 2 (isolat) et l'interaction F1 * F2 ($p < 0.0001$).

Les résultats de l'interaction F1 * F2 analysés par les tests de comparaison de Tukey Pairwise à un intervalle de confiance de 95%, ont classé les isolats dans 8 groupes.

L'isolat 11 est le plus agressif sur la variété vitron avec une moyenne d'indice d'attaque de 79,5%, représenté dans le groupe A, par contre l'isolat 1 a enregistré la plus faible moyenne d'indice d'attaque de 16,67%, représenté dans le groupe F (Tab.10). Ces tests ont permis aussi de représenter ces données par un model « Interval Plot » illustré dans la figure (Fig.25).

Tableau 10: Répartition des isolats en groupes homogènes selon l'analyse de comparaison de Tukey Pairwise à un interval de confiance de 95%.

Isolate/variété	Moyennes	Groupes homogènes
V /Iso11	85,00	A
V/ Iso12	68,33	B
V /Iso3	55,00	B C
V/ Iso5	50,67	C
V /Iso6	43,33	C D
V /Iso2	41,00	C D
V /Iso14	35,00	D E
V /Iso10	32,00	D E
V /Iso4	30,67	D E F
V /Iso8	30,33	D E F
V /Iso7	30,00	D E F
V/ Iso9	29,00	D E F
V /Iso13	23,33	E F
V /Iso1	16,67	F

Discussion :

Au cours de cette étude, la technique d'inoculation par fragment mycélien a été adoptée pour tester la pathogénicité et l'agressivité des espèces de *Fusarium* spp. sachant que cette méthode d'inoculation a été précédemment utilisée par Fernandez et Chen (2005) et Tunali et *al.* (2006).

Les résultats ont montré que tous les isolats ont induit une décoloration au niveau du collet engendrant des indices de sévérités différentes. L'étude de l'agressivité des espèces de *Fusarium* spp. a montré que les espèces *F. culmorum* et *F. avenaceum* sont les plus agressives suivi par *F. pseudograminearum*, *F. poea*, *F. graminearum*. Alors que l'espèce *F. sporotrichioides* est la moins agressive.

Plusieurs études sont en accord avec nos résultats, sauf dans quelques cas. Il à noter que nos résultats reste préliminaires vu le nombre limité des isolats pour chaque espèce testée. 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*. Les résultats trouvés au cours de cette étude sont en accord avec les travaux de Smiley et *al.* (2005) qui ont rapporté que sous serre, les espèces *F. culmorum* et *F. pseudograminearum* peuvent engendrer des niveaux d'attaques élevés.

De plus Tunali et *al.* (2006) 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*.

3.4. Partie 4

3.4.1. Etude de l'agressivité des isolats de *Fusarium* spp sur les épis

Au cours de cet essai, la sensibilité de quatre variétés de blé dur et tendre à la fusariose de l'épi a été étudiée, ainsi que l'agressivité des 09 isolats de *Fusarium* spp.

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

L'évaluation de la maladie avec les deux méthodes de notation ont montré que l'agressivité des isolats testés diffère significativement. les valeurs notées pour les isolats les plus agressifs et les moins agressifs sont similaires par les deux méthodes de notation.

Une semaine après l'inoculation des épis, des symptômes de la fusariose sur épillets, ont commencé à apparaître sur les épis inoculés. A la fin de l'essai (28 jours après l'inoculation), tous les épillets inoculés ont été complètement attaqués (Fig. 27). Les épis témoins, n'ont pas montré de symptômes d'attaques. Les résultats obtenus montrent que les variétés testées ont des niveaux d'infection différents, indiquant que ces variétés n'ont pas le même niveau de résistance.

En se basant sur les notations de l'indice d'attaque pour les neuf isolats, l'indice d'attaque varie entre 28,66% et 83,33% pour Anza respectivement avec les deux isolats (Iso5) et (Iso9). voir (Tab.11) (Fig. 26). La variété de blé tendre Mahouna a l'indice de sévérité le plus élevé.

Tableau 11: Moyennes des indices d'attaques sur les quatre variétés obtenus avec les neuf isolats de *Fusarium* spp.

	1(iso1)	2(iso2)	3(iso3)	4(iso4)	5(iso5)	6(iso6)	7(iso7)	8(iso8)	9(iso9)
1(var1)	35,000	60,000	53,333	37,667	60,000	65,000	60,000	63,333	66,667
2(var2)	45,000	47,667	45,000	55,000	65,000	60,000	61,667	66,667	68,333
3(var3)	60,000	45,000	50,000	65,000	28,667	55,000	60,000	55,000	83,333
4(var4)	51,000	55,000	75,000	56,667	56,667	76,667	55,000	65,000	75,000

Les analyses de la variance ont montré des résultats hautement significatifs pour le facteur 1 (variété), facteur 2 (isolat) et l'interaction F1 * F2 ($p < 0.0001$).

La variabilité entre blocs n'est pas significative, ce qui laisse suggérer que les blocs sont homogènes. Chaque isolat et variété ont un effet significatif sur l'indice d'attaque.

Les tests de Newman-Keuls ont classé la variété V4 (Mahouna) comme la variété la plus sensible à l'infection à l'égard de la fusariose de l'épi avec une moyenne d'indice d'attaque de 62, 88%, suivie des variétés V2 ;V3 et V1 tableau

Tableau12: Répartition des variétés en groupes homogènes selon l'analyse CM de l'indice d'attaque (test de Keuls à 5%)

Id	Modalité	Moyenne	Groupes homogènes
4	var4	62,889	A
2	var2	57,148	B
3	var3	55,778	B
1	var1	55,667	B

Ainsi, si on se réfère aux symptômes visuels de l'indice d'attaque, l'analyse des échantillons issus des trois répétitions biologiques pour chaque essai, montre des différences conséquentes dans l'agressivité des isolats (voir Tableau.13) et indice d'attaque). montre que les isolats différents significativement ($p < 0.0001$) (HSD) dans leur capacité de causer la fusariose de l'épi.

Tableau 13 : Répartition des isolats en groupes homogènes selon l'analyse CM de l'indice d'attaque (test de Keuls à 5%).

Id	Modalité	Moyenne	Groupes homogènes
9	iso9	73,333	A
6	iso6	64,167	B
8	iso8	62,500	B C
7	iso7	59,167	C D
3	iso3	55,833	D E
4	iso4	53,583	E
5	iso5	52,583	E F
2	iso2	51,917	E F
1	iso1	47,750	F

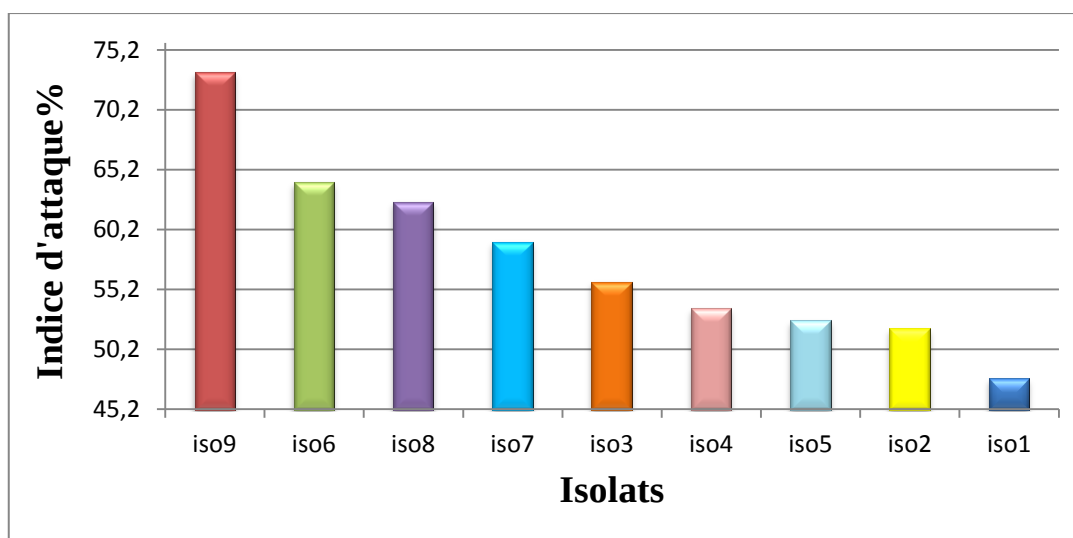


Figure 26: la classification des isolats des moins sensibles aux plus sensibles

Le classement des indices d'attaque par le test de Newman-keuls a permis de distinguer six groupes homogènes pour la technique de l'inoculation par suspension sporale. Ce dernier a montré que le groupe (A) représente l'isolat le plus agressif (Iso9) alors que le groupe F représente l'isolat le moins agressif (Iso1) (Tab.13).



Original 2019

Figure 27 : Echelle de notation

Les résultats obtenus ont montré que pour les différentes variétés testées, les moyennes des aires situées sous la courbe d'évolution de la maladie (AUDPC) ne sont pas similaires (Tableau 12), la variété de blé tendre Mahounaa enregistré une moyenne et un intervalle d'AUDPC plus élevée de l'ordre de (479).

Tableau 14 : Moyennes de confiance des surfaces sous la courbe de progression de la maladie (AUDPC, Area Under Disease Progress Curve).

Variété	AUDPC								
	Isolats								
	Iso 1	Iso 2	Iso 3	Iso 4	Iso 5	Iso 6	Iso 7	Iso 8	Iso 9
Vitron	374.5	304.5	385	364	353.5	336	427	399	367.5
AMAR₆V₂	367.5	336	367.5	402.5	385	367.5	367.5	378	395.5
Mahouna	441	371	469	437.5	462	406	458.5	479	465.5
ANZA	392	332.5	395.5	402.5	353.5	451.5	445.5	455	451.5

Toutefois les variétés testées présentent généralement le même classement des variétés en se basant sur les deux méthodes de notation, que ça soit l'indice d'attaque ou AUDPC.

De plus, les résultats ont montré qu'indépendamment des méthodes de notation, l'évaluation de la sévérité des symptômes sur épis a pu être calculer. Ainsi, pour évaluer la pathogénie et l'agressivité des espèces de *Fusarium* les deux systèmes de notation peuvent être utilisées. Cependant, l'estimation de l'indice d'attaque semble être plus facile et demande moins de temps, mais l'AUDPC est plus précise.

Discussion :

L'agressivité d'une collection de 9 isolats de *Fusarium.spp.* sur épi avait été réalisée par pulvérisation d'une suspension de spores. Les résultats de cet essai ont indiqué que tous les isolats testés ont induit des symptômes typiques de la fusariose de l'épi mais avec des degrés d'attaque différents. Les indices d'attaques enregistrés varient selon l'isolat.

Les pourcentages d'infections de nos isolats varient entre 47,75% et 73,33 %. Plusieurs études ont été conduites sur la pathogénie et l'agressivité des espèces de *Fusarium* sur blé par Brennan et *al.*, (2003) ; Mishra et *al.*, (2003) ; Smily et *al.*, (2005) ; Kamoun et *al.*, (2010) ont noté une sévérité élevée de leurs isolats sur les plants de blé après 25 jours de l'inoculation. Sur des collections Algériennes Touati –Hattab et *al.*, (2016); Laraba et *al.*, (2017) et Abdallah et *al.*, (2019) ont rapporté une grande diversité dans l'agressivité de leurs isolats.

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

En considérant nos résultats dans les conditions climatiques de la région de Laghouat, la classification des variétés des moins sensibles aux plus sensibles peut s'établir comme suit:

Anza (BT)>Amar+Vitron(BD)>Mahouna(BD).

Conclusion

Conclusion :

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

La fusariose de l'épi est une maladie dévastatrice causée par un complexe d'espèces du genre *Fusarium* et *Microdochium*. L'espèce de *F. culmorum* représente le premier agent causal de cette maladie en Algérie. Lors de cette étude, nous avons réalisé une caractérisation morphologique culturale, pathologique et une identification moléculaire des espèces de *Fusarium* spp.

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

Parmi les espèces isolées *F. culmorum* est le plus dominant (7 isolats), et *Microdochium* spp (10 isolats), suivi de *F.graminearum* (4 isolats) et *F.pseudograminearum* (4 isolats), pour les deux espèces *F. avenaceum* (3isolats) et *F.triticeum* (2 isolats). En effet, plusieurs travaux ont rapporté que l'espèce *F. culmorum* est la plus dominante les pays de l'Afrique du Nord.

Le test de l'effet d'une gamme de température sur la croissance mycélienne *in vitro* des isolats de *Fusarium* spp. a montré que l'optimum de croissance est de 25°C pour *F.culmorum* et *F. graminearum* et de 20°C pour les isolats *F.sporotrichiide*, *F.pseudograminearum*, *F.poa*, tandis que l'isolat *F. avenaceum* a une croissance plus élevée à 15°C. Ces résultats sont en accorde avec ceux trouvés par plusieurs auteurs.

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

En conclusion, la présente étude a permis de confirmer l'identité morphologique des isolats de *Fusarium* spp présents au niveau des grains de blé. Ainsi que la pathogénie et de l'agressivité des isolats impliqués dans la fusariose du blé. Ce qui va permettre à mieux comprendre l'épidémiologie du complexe fongique associé à cette maladie afin d'entreprendre des stratégies de lutte appropriées

En perspective, notre travail a porté sur une petite collection (14 isolats) de *Fusarium* spp. Ainsi, il serait intéressant d'élargir la collection par des prospections dans d'autres régions céréalières dans l'Est, le Centre et l'Ouest du pays.

Il est également recommandé de confirmer l'identification morphologique par une identification moléculaire des différentes espèces de *Fusarium* spp. ou la distinction est très difficile, parfois impossible sur le plan morphologique et microscopique dans le but d'établir une meilleur gestion de la maladie.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdallah, N. 2013.** Complexe fongique pourriture racinaire et fusariose de l'épi: Étude pathologique et lutte biologique avec *Trichoderma atroviride* P. Karsten. Mém. Mag. Agr.
- Alvarez et al., 2010.** Aggressiveness of *Fusarium graminearum* sensu stricto isolates in wheat kernels in Argentina. J. Phytopathol. 158, 173–181.
- Aoki et O'Donnel, 1999.** Morphological and molecular characterization of *Fusarium pseudograminearum* sp. nov., formerly recognized as the Group 1 population of *F.graminearum*. Mycologia 91: 597-609.
- Arsan et al., 2011.** Aggressiveness of certain *Fusarium graminearum* isolates on wheat seedlings and relation with their trichothecene production. Plant Pathology 10(1), 36-41.
- Arseniuk et al., 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.
- Audenaert et al., 2009.** *Fusarium* head blight (FHB) in Flanders: population diversity, inter-species associations and DON contamination in commercial winter wheat varieties. Eur. J. Plant Pathol. 125, 445–458.
- Bechtel et al., 1985.** Effects of *Fusarium graminearum* infection on kernels from scabby wheat. Cereal Chem 62: 191-197.
- Bennet and Klich, 2003.** Mycotoxins. Clinical Microbiology Reviews 16: 497-516.
- Bensassi et al., 2009.** Occurrence of deoxynivalenol in durum wheat in Tunisia. Food Control 21: 281-285.
- Belaid, D. 1990.** Eléments de phytotechnie générale. Ed. O.P.U, Alger. pp: 154-157.
- Bonjean et Picard, 1990.** les céréales apaille : Les céréales à paille : origine histoire économie et sélection. Softword-Groupe ITM, Paris, 208p.
- Bouregghda et al., 2010.** Study of in vitro growth and pathogenicity of some isolates of *Fusarium* spp.: causal agent of *Fusarium* Head Scab and Root Rot of wheat (poster). Le proceeding du congrès MPU Rome.
- Boutigny, A.L., 2007.** Etude de l'effet de composés du grain de blé dur sur la régulation de la voie de biosynthèse des trichothécènes B: purification de composés inhibiteurs, analyse des mécanismes impliqués. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux, France.

Boussac *et al.*, 2012. Les marchés de FranceAgriMer : Bilan céréalier & oléo-protéagineux / Campagne 2011-2012 - Perspectives 2012-2013. Montreuil-sous-Bois, France : FranceAgriMer : Établissement national des produits de l'agriculture et de la mer.

Bozzini, 1998. Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. Dans Fabiani G. et C. Lintas (éd). Durum: Chemistry and Technology. AACCC (Minnesota), Etats-Unis, p. 1-16.

Brennan *et al.*, (2003). Studies on in vitro growth and pathogenicity of European Fusarium fungi. European Journal of Plant Pathology 109: 577-587

Burgess *et al.*, 1991. An evaluation of several media for use in identification of some Fusarium species. Australasian Plant Pathology 20: 86-88.

Burlakoti *et al.*, 2007. Real-time PCR quantification and mycotoxin production of Fusarium graminearum in wheat inoculated with isolates collected from potato, sugar beet, and wheat. Phytopathology 97, 835-841.

Cahagnier *et al.*, 1995. Growth of Fusarium moniliforme and its biosynthesis of fumonisin B1 on maize grain as a function of different water activities. Letters in Applied Microbiology 20: 247-251.

Cahagnier, 2001. Céréales et mycotoxines. Généralités, présences, dosage. Industries des céréales 122 : 22-29.

Campbell et Lipps 1998. Identification of pathogenic fungi, Public Health Laboratory Service

Caron, 1993. Fusarioses des épis. Sait-on prévoir leur développement? Perspect. Agricoles 253: 56-62.

Champeil *et al.*, 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.

Cole et Cox, 1981. The trichothecenes. In: Cole RJ, Cox RH. Handbook of Toxic Fungal Metabolites. New York, NY: Academic Press 152-263.

Cook, 1981. Fusarium diseases of wheat and other small grains in North America. In: Fusarium: Diseases, biology and taxonomy. (Eds Nelson, P.E., Tousson, T.A., et Cook, R.J.) (The Pennsylvania State University Press, University Park), pp 39-52.

Cromey et al., 2002. Cultivar and crop management influences on Fusarium head blight and mycotoxins in spring wheat (*Triticum aestivum*) in New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 30: 235-247.

D'Mello et Mc Donald, 1997. Mycotoxins. *Animal Feed Science Technology* 69: 155-166.

Da Luz et al., 2003 . Biological control of *Fusarium graminearum*. In: K.J. Leonard, et W.R. Bushnell, Editors, 2003. *Fusarium Head Blight of Wheat and Barley*, American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, p 381-394.

Edwards et al., 2002. PCR based detection and quantification of mycotoxigenic fungi. *Mycological Research* 106: 1005-1025.

Eriksen, 2003. Metabolism and toxicity of trichothecenes. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, Sweden, p 38.

Feillet, 2000. Le grain de blé composition et utilisation. In: INRA EDITIONS, Paris, France, p. 308.

Feliachi, (2002). Programme de développement de la céréaliculture en Algérie. ITGC. El Harrach. Alger

Fernandez et chen, 2005. Pathogenicity of *Fusarium* species on different plant parts of spring wheat under controlled conditions. *Plant Disease* 89: 164-169.

Gargaouri et al., 2001. Identification des espèces fongiques associées à la pourriture du pied du blé et leur répartition selon les étages bioclimatiques. *EPPO/OEPP Bulletin* 31: 499-503.

Gosman et al., 2010. Srinivasachary, Steed A, Chandler E, Thomsett M, Nicholson P, 2010. Evaluation of type I *Fusarium* head blight resistance of wheat using non-deoxynivalenol-producing fungi. *Plant Pathology* 59, 147-157.

Goswami and Kistler, 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology* 5: 515-525.

Gutzwiller et al., 2005. Efficacité d'adsorbants contre les mycotoxines de *Fusarium* chez le porc. *Revue suisse d'Agriculture* 37: 121-129.

Hamadache et al., (2002). Facteurs agrotechniques d'amélioration de la productivité du blé dur en Algérie. Cas de la zone sub-humide. *Revue Semestrielle* 10 :5-18.

Hamadache, 2013. Elément de phytotechnie générale-Grandes cultures- Principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du Nord (agriculture conventionnelle) Tome I: Le blé, p.230.

Harlan, 1971. Agricultural origins: Centers and non Centers. *Science* 174: 468-474

Hocking and Andrews, 1987. Dichloran chloramphenicol peptone agar as an identification medium for *Fusarium* species and some dematiaceous hyphomycetes. Trans. Br. Mycol. Soc. 89 (2). 239-244.

Horberg, 2002 . 2002. Patterns of splash dispersed conidia of *Fusarium poae* and *Fusarium culmorum* . European Journal of Plant Pathology 108: 73-80.

Hsia et al.,1988. Natural occurrence and clastogenic effects of nivalenol, deoxynivalenol, 3-acetyl-nivalenol, 15-acetyl-deoxynivalenol, and zearalenone in corn from a high-risk area of oesophageal cancer. Cancer Detection and Prevention 13: 79-86.

Hsu et al., 2003. Species identification of medically important fungi by use of real-time Light Cycler PCR. Journal of Medical Microbiology 52: 1071-1076.

Ioos, 2001. Les *Fusarium* et *Microdochium* sur grains de céréales en France. Phytoma 539: 52-55.

Ismail et al., 2015. Nemmat A. Hussein,; Nivien A. Abdel-Hameed Contributions to the genus *Fusarium* in Egypt. With dichotomous keys For identification of species; Suchy Las, Poland 2015. PP175

Joergensen, 2000 . Ergosterol and microbial biomass in the rhizosphere of grassland soils. Soil Biology et Biochemistry 32: 647-652.

Jørgensen, L.N., Nielsen, L.K. et Nielsen, B.J. 2011. Control of seedling blight in winter wheat by seed treatments -impact on emergence, crop stand, yield and deoxynivalenol. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science. 62: 431-440.

Joffe, 1983. Environmental conditions conducive to *Fusarium* toxin formation causing serious outbreaks in animals and man. Veterinary Research Communications 7: 187-193.

Kammoun et al., 2009. Occurrence and distribution of *Microdochium* and *Fusarium* species isolated from durum wheat in northern Tunisia and detection of mycotoxins in naturally infested grain. Journal of Phytopathology 157: 546-551.

Kamoun et al., 2010. Tricothecenes chemotypes of *Fusarium culmorum* infecting wheat in Tunisia. International Journal of Food Microbiology 140: 84-89..

Khan et al., 2004. Incidence of shisham (*Dalbergia sissoo* Roxb.) decline and In vitro response of isolated fungus spp., to various fungicides. International Journal of Agriculture and Biology 6: 611-614

Kim et al., 2003. Recovery of fish bone from hoki (*Johnius belengeri*) frame using a proteolytic enzyme isolated from mackerel intestine. *Journal of Food Biochemistry* 27: 255-

Kimura et al., 2006. Molecular biology and biotechnology for reduction of *Fusarium* mycotoxin contamination. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 86: 117-123.

Kleijer et Michel., 2001. Observations sur la résistance du triticales et du blé à la fusariose sur épi. *Revue suisse d'Agriculture* 33: 271-274.

Laraba et al., (2017). Population genetic structure and mycotoxin potential of the wheat crown rot and head blight pathogen *Fusarium culmorum* in Algeria. *Fungal Genet Biol* 103:34-41.

Lenc, 2015. *Fusarium* head blight (FHB) and *Fusarium* populations in grain of winter wheat grown in different cultivation systems. *Journal of Plant Protection Research* 55(1): 94-109.

Leonard et Bushnell, 2003. *Fusarium* head blight of wheat and barley, St. Paul, Minn., APS Press, pp 120-143.

Leslie et Summerell, 2006 .The *Fusarium* Laboratory Manual. In: Blackwell publishing, 388p

Liggitt, 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.

LNPV, 2002. Détection et identification des espèces de *Fusarium* spp. et *Microdochium nivale* sur grains de céréales par isolement mycologique semi sélectif et étude microbiologique ». LNPV. Malzeville. MH/03/16 version a. 26p.

Logrieco et al., 2002. oxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *European Journal of Plant Pathology* 108: 597-609

Logrieco, Visconti et al.2004. An overview on toxigenic fungi and mycotoxins in Europe, Kluwer Academic Publ.247p.

lori et al. ,2009. *Fusarium* Head Blight in wheat : impact of tillage and other agronomic practices under natural infection. *Crop Protection* 28: 495-502.

Mady et al., 2005. Mady A. Ismail; Sobhy I. I. Abdel-Hafez ; Nemmat A. Hussein,; Nivien A. Abdel-Hameed Contributions to the genus *Fusarium* in Egypt. With dichotomous keys For identification of species; Suchy Las, Poland 2015. PP175

Mascher et al., 2005. Sélection de variétés de blé et de triticales résistantes à la fusariose sur épi . *Agroscope*. 375: 189-194 p

McMullen et al., 1997. Scab of Wheat and Barley: A Re-emerging Disease of Devastating Impact. *Plant Disease*, 81, 1340-1348.

Mesterházy, 2002. Role of deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in resistance to *Fusarium* Head Blight. *Eur. J. Plant Pathol.* 108, 675–

Miller et al., 1985 . Deoxynivalenol and *Fusarium* Head Blight Resistance in Spring Cereals. *Journal of Phytopathology*, 113, 359-367. Mishra et al., (2003)

Montibus, 2013. Fgap1-mediated response to oxidative stress in trichothecene-producing *Fusarium graminearum*. *Fungal Genetics Reports*, 60, 410

Nelson et al., 1983. *Fusarium* species, an illustrated manual for identification. The Pennsylvania University Press, London.

Nora Abdallah-Nekache et Imane Laraba et Christine Ducos et Christian Barreau et Zouaoui Bouznad et Houda Bouregghda .2019. Occurrence of *Fusarium* head blight and *Fusarium* crown rot in Algerian wheat: identification of associated species and assessment of aggressiveness. *Eur J Plant Pathol* <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01673-7>

O'Donnell et al., 2008. Multilocus genotyping and molecular phylogenetics resolve a novel head blight pathogen within the *Fusarium graminearum* species complex from Ethiopia. *Fungal Genet. Biol.* 45, 1514–1522.

Osborne et Stein, 2007. Epidemiology of *Fusarium* head blight on small-grain cereals. *International Journal of Food Microbiology* 119: 103-108.

Parry et al., 1995 . *Fusarium* Ear Blight (scab) in small grain cereals-a review. *Plant pathology*, 44, 207-238.

Paul et al., 2004. Rain splash dispersal of *Gibberella zeae* within wheat canopies in Ohio. *Phytopathology* 94: 1342-1349.

Pereyra et al., 2004. Survival and inoculum production of *Gibberella zeae* in wheat residue. *Plant Disease* 88: 724-730.

Pestka, 2010, Rocha et al., 2005. Deoxynivalenol: mechanisms of action, human exposure, and toxicological relevance. *Arch Toxicol*, 84, 663-79.

Pettitt et al. , 1996. Effect of temperature on the incidence of nodal foot rot symptoms in winter wheat crops in England and Wales caused by *Fusarium culmorum* and *Microdochium nivale*. *Agricultural and Forest Meteorology* 79:233-242.

Pfohl-Leszkowicz et al., 2002. Balkan endemic nephropathy and associated urinary tract tumors: a review on etiological causes and the potential role of mycotoxins. *Food Additives and Contaminants* 19: 282-302.

- Prandini et al., 2009.** Review of predictive models for Fusarium head blight and related mycotoxin contamination in wheat. *Food and Chemical Toxicology* 47: 927-931.
- Quarta et al., 2005.** Assessment of trichothecene chemotypes of *Fusarium culmorum* occurring in Europe. *Food Additives and Contaminants* 22: 309-315.
- Scherm et al., 2013.** *Fusarium culmorum*: Causal agent of foot and root rot and head blight on wheat. *Molecular Plant Pathology*, 14, 323-341.
- Schisler et al., 2002 .** Greenhouse and field evaluation of biological control of Fusarium head blight on durum wheat. *Plant Disease* 86: 1350-1356.
- Shaner et Finney 1977.** Real time detection of the tri5 gene in *Fusarium* species by LightCycler(TM)-PCR using SYBR®Green I for continuous fluorescence monitoring. *International Journal of Food Microbiology* 71(1): 53-61.
- Smiley et al., 2005.** Soilborne crop pathogens under direct seeding: *Fusarium*. Northwest direct seed conference proceedings, p 70-88.
- Sweeney and Dobson, 1999.** Molecular biology of mycotoxin biosynthesis. *FEMS Microbiology Letters*, 175, 149-163.
- Touati-Hattab et al., 2016.** Pathogenicity and trichothecenes production of *Fusarium culmorum* strains causing head blight on wheat and evaluation of resistance of the varieties cultivated in Algeria.
- Touati-Hattab, 2018.** Recherche sur les fusariotoxines des blés: Identification des espèces toxigènes et facteur de production des trichothécènes B chez le *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. agent de la fusariose de l'épi
- Tousson et Nelson 1976.** *Fusarium* a pictorial guide to the identification of *Fusarium* species according to the taxonomic system of synder and Hansen. Second edition the persel perselvanian University press. University Park and London. 43p.
- Tunali et al., 2006.** Pathogenicity of Turkish crown and head scab isolates on stem bases on winter wheat under greenhouse conditions. *Journal of Plant Pathology* 5: 143-149
- Ueno 1985 .** The toxicology of mycotoxins. *Critical Reviews in Toxicology*, 14, 99-132.
- Waalwijk et al., 2003.** Major changes in *Fusarium* spp. in wheat in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology*, 109, 743-754.
- Wagacha et Muthomi, 2007.** *Fusarium culmorum*: infection process, mechanisms of mycotoxin production and their role in pathogenesis in wheat. *Crop Protection* 26: 877-885.

Walter *et al.*, 2009. Action and reaction of host and pathogen during Fusarium head blight disease. *New Phytol*, 185, 54-66

Wang *et al.*, 2011. Analysis of mycotoxin fumonisins in corn products by high-performance liquid chromatography coupled with evaporative light scattering detection. *Food Chemistry* 107: 970-976.

Windels, 1991. Current status of Fusarium taxonomy. *Phytopathology* 81:1048-1051.

Wood, 2002. Gene jockey fight Fusarium head blight. *Agricultural Research*, 50, 12-13.

Xu et Berrie, 2005. Epidemiology of mycotoxigenic fungi associated with Fusarium ear blight and apple blue mould: a review. *Food Addit Contam*, 22, 290-301.

Xu et Nicholson, 2009. Community ecology of fungal pathogens causing wheat head blight. *Annu Rev Phytopathol*, 47, 83-103.

yekkour *et al.*, 2015. Deoxynivalenol-producing ability of Fusarium culmorum strains and their impact on infecting barley in Algeria. *World J Microbiol Biotechnol*, 31:875–881

Yli-Mattila *et al.*, 2008. Real-time PCR detection and quantification of Fusarium poae, F. graminearum, F. sporotrichioides and F. langsethiae in cereal grains in Finland and Russia. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 41(4):243-260.

Zadoks *et al.*, 1974. Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. *Weed Research* 14, 415-421.

Zillinsky 1983. Maladies communes des céréales il paille: Guide d'identification. centre international pour l'amélioration du maïs et du blé. México.

Annexes

Annexe 1

Les deux milieux de culture sont stérilisés à l'autoclave à 120°C pendant 20min.

DCPA : Dichloran chloramphénicol Peptone Agar g/l

Eau distillée	1000ml
Peptone bactériologies	15g
K ₂ HPO ₄	01g
MgSO ₄ 7 H ₂ O	0,5g
Chloramphénicol	02g
Crystal violet en solution aqueuse	1ml
Agar	15g

PDA: potato Dextrose Agar g/l

Agar-agar	20g
Pomme de terre	200g
Glucose	20g
Eau distillée	1000ml

Annexe 2

Partie 01

Tableau 4 : liste des lots de grains de blé analysés (36 variétés)

Espèce	Variétés	Région géographique	Année de récolte
Blé dur	Rimada	Sétif	2013-2014
	Vitron	Laghouat	2011-2012
	Boussellem	Aflou	2017-2018
	Bousselem	Sétif	2011-2012
	Vitron	OuedSemar	2017-2018
	Boussellem	Adrar	2018-2019
	Chanèse	Bouredj-bouariridj	2014-2015
	R2	Setif	2013-2014
	Semito R1	Ghilizane	2014-2015
	Amar6	OuedSemar	2017-2018
	Elarabia	Laghouat	2012-2013
	Djamila	Sétif	2013-2014
	Waha	Sétif	2013-2014
	Mahon	Ouedsemar	2015-2016
	GTA	Ouedsemar	2015-2016
	Chen's	Sétif	2013- 2014
Blé dur	R1	Aflou	2014-2015
	GTA	Bouredj-bouariridj	2014-2015
	MBB	Sétif	2013-2014
Blé tender	R1	Sétif	2013-2014
	Mahouna	Oudsemar	2017-2018
	Massine	Berrouaghia	2013- 2014
	Anza	Sétif	2013-2014
	HD1220	Sétif	2013-2014
	Hxd1220	Ghilizane	2014-2015
	AR2	Setif	2013-2014
	AR2	Oudsemar	2014-2015
	AinAbid R1	Ghilizane	2014- 2015
	Wifak	Sétif	2013- 2014
	Anza	Adrar	2017-2018
	Mimouni	Algje	2017-2018
	Simito	El-Menia	2014-2015
	Belikh 02	El- El-kehmis	2015-2016
	Chanz	Sétif	2017-2018
	Simito	Ghilizane	2014-2015
	Vitron	Aflou	2013-2014

Partié 01 : Effet de la température sur la croissance mycélienne des isolats d'espèces de *Fusarium* spp sur milieu PDA

Espèces	Isolat	Croissance mycélienne (mm/jour) après 4 jours d'incubation			
		15°C	20°C	25°C	30°C
<i>F.culmorum</i>	FC.01.01	34	58	70	40
	FC.03.01	40	64	54	56
	FC.05.01	48	70	52	48
	FC.06.01	42	46	76	30
	FC.07.01	40	40	80	30
	FC.09.01	36	15	70	60
	FC.10.01	24	40	60	50
	FC.11.01	70	80	80	54
<i>F.graminearum</i>	FG.04.02	46	40	62	34
	FG.08.02	3	72	78	52

		8			
<i>F.pseudogramineraum</i>	FPS.02.03	14	62	50	18
<i>F. avenaceum</i>	FA.12.04	76	50	40	40
<i>F.sporotrichioides</i>	FS.13.05	28	82	78	30
<i>F.poa</i>	FP.14.06	38	40	32	24

Partie 02 : Étude de l'agressivité des espèces *Fusarium* spp.différent au niveau de collet

Espèces	Isolat	Indice de la maladie %
<i>F.culmorum</i>	FC.01.01	16.66
	FC.03.01	55
	FC.05.01	50.67
	FC.06.01	43.33
	FC.07.01	30
	FC.09.01	29
	FC.10.01	32
	FC.11.01	85
	FG.04.02	30.67

<i>F.graminearum</i>	FG.08.02	30.33
<i>F.pseudogramineraum</i>	FPS.02.03	41
<i>F. avenaceum</i>	FA.12.04	68.33
<i>F.sporotrichioides</i>	FS.13.05	23.33
<i>F.poae</i>	FP.14.06	35
Témoin		00

Partié 03 : Etude de l'agressivité des isolats de *Fusarium* spp sur les épis

Espèces	Isolat	Indice d'attaque %
<i>F.culmorum</i>	FC.03.01	55.83
	FC.04.01	53.58
	FC.08.01	62.50
	FC.09.01	73.33
<i>F.graminearum</i>	FG.02.02	51.91
<i>F.pseudogramineraum</i>	FPS.01.03	47.75
<i>F. avenaceum</i>	FA.06.04	64.16
<i>F.sporotrichioides</i>	FS.05.05	52.58
<i>F.poae</i>	FP.07.06	59.16
Témoin		00