

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Amar TELIDJI - Laghouat -  
Faculté des Sciences  
Département des Sciences Agronomiques

جامعة عمار ثليجي - الاغواط -  
كلية العلوم  
قسم العلوم الفلاحية



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Agronomie  
Option : Protection Des Végétaux et d'Environnement

### *Thème*

Comparaison entre différentes espèces de *Fusarium* responsables de la pourriture racinaire et la gal de l'épi.

Présentée par : *Sahli Aroua*

Devant le Jury :

Mr Ait Saleh B.  
Mm Ameer .D  
Mm Touati S

Président.  
Examinatrice  
Promotrice

## *Dédicaces*

*Je voudrais dédier ce modeste travail à :  
A la mémoire de mon très cher père que dieu l'accepte dans ces vastes paradis.*

*Ma très chère mère qui a tant sacrifié pour nous, que DIEU la garde et la protège*

*Mes très chères sœurs : Rabab, Hasna Nour el Imen*

*Mes très cher frères : Mohamed el Habib , Ahmed abd el Madjid*

*Qui m'a toujours soutenu, encouragé et aidé dand ma vie et dans mes études.*

*A ma belle famille*

*A tous mes amis*

*A tous mes collègues de la promotion .pour ces années de fac inoubliables et tous les bons moments passés ensemble*

*A tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.*

*A tous mes enseignants tout au long de mes études.*

*A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# *Aroua*

## ***Remerciements***

*On remercie ' Dieu' de m'avoir donné la force et la patience et le courage pour mener à bien ce modeste travail.*

*Au terme de cette étude, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à ma promotrice*

*M me Touati Sihem. Pour m'avoir accepté de m'encadrer pour sa patience, sa disponibilité et ces conseils m'ayant permis d'améliorer mon travail ; pour l'accueil, la gentillesse dont j'ai bénéficié durant mon expérimentation.*

*J'exprime mon grand respect et mes remerciement à :*

*-Mr .Ait Saleh Boubakeur pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury*

*-M elle Aneur Djamila pour m'avoir m'avoir fait l'honneur d'examiner mon travail*

*J'exprime mes grands remerciement aussi à :*

*- Tous le personnel du département d'agronomie*

*-Tous ceux qui ont contribué à ma formation*

*-Tous mes enseignants*

*- Le personnel technique du laboratoire du département de Biologie et d'Agronomie*

*A tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

*En fin ,je tien à remercier ceux et celles qui ont apporté leur aide ou contribution de pré ou de loi*

***Aroua***

## TABLE DE MATIERE

Liste des tableaux.....	I
Liste des figures .....	II
Introduction Générale.....	1
<b>Partie I:Synthèse bibliographique</b>	
<b>Chapitre I : le blé</b>	
<b>I.1.Données sur la culture du le blé.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1.Historique.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2.Description et classification botanique .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.3.culture .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.4. Les différents stades de développement de blé .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.5. Importance économique de la culture.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.6. Les principales contraintes de la culture de blé en Algérie .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.6.1 .Les contraintes abiotiques .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.6.2. Les contraintes biotiques .....</b>	<b>8</b>
 <b>CHAPITRE II : LA FUSARIOSE</b>	
<b>II .1. Données sur la fusariose du blé :.....</b>	<b>11</b>
<b>II.2.1 : les différents types de fusariose : :.....</b>	<b>11</b>
<b>II.2.la symptomatologie .....</b>	<b>12</b>
<b>II .2.1.la Fonte de semis :.....</b>	<b>12</b>
<b>II.2.2.Fusarioses des épis, des graines « Gal de l'épi ».....</b>	<b>13</b>
<b>II.2.3.Fusarioses du pied, de la tige et des nœuds .....</b>	<b>14</b>
<b>II.2.4.Pourriture racinaire .....</b>	<b>15</b>
 <b>II.3. Agent causal <i>Fusarium spp</i> .....</b>	<b>15</b>
<b>II.3.1.Etiologie .....</b>	<b>15</b>

<b>II.3.2. Classification classique .....</b>	<b>16</b>
L'anamorphe .....	16
Les téléomorphes.....	16
<b>II.3.3 .Identification et caractérisation morphologique du genre Fusarium .</b>	<b>17</b>
<b>II.3.3.1. Identification morphologique .....</b>	<b>17</b>
II.3.3.1.1.. Caractères culturaux généraux.....	17
II.3.3.1.2. Morphologie microscopique.....	18
<b>II.3.4. Cycle biologique .....</b>	<b>21</b>
II.3.4.1. sources de contamination .....	21
II.3.4.2. La dissémination .....	21
II.3.4.3. Infection et développement des champignons.....	22
<b>II.3.4. Conditions favorables au développement de la maladie.....</b>	<b>23</b>
<b>II.3.5. Conditions favorables au développement de la maladie.....</b>	<b>23</b>
II.3.5.1. Les facteurs climatiques .....	23
II.3.5.2. Les facteurs agronomiques.....	24
II.3.5.3. Les facteurs physiologiques.....	24
<b>II.3.6. La notion de résistance contre la fusariose.....</b>	<b>24</b>
<b>II.3.7. Méthodes de lutte.....</b>	<b>25</b>
II.3.7.1. Les pratiques culturales.....	25
II.3.7.2. La lutte génétique .....	25
II.3.7.3 La lutte biologique .....	25
II.3.7.4. La lutte chimique.....	26
II.3.7.5. La lutte intégrée .....	26
<b>CHAPITRE III</b>	
<b>III.1. Les Mycotoxines.....</b>	<b>27</b>
III.1.1. Généralités.....	27
III.1.2. Le rôle des mycotoxines.....	27
III.1.3. Les Fusariotoxine .....	28
III.1.3.1. Les trichothécènes.....	28

III.1.3.2. Les zéaralénone.....	29
III.1.3.3. Rôle des TCTB dans le développement de la fusariose.....	29

## Partie II :Matériel et méthodes

1 :materiel.....	31
------------------	----

Prospections et échantillonnage :.....	31
--	----

1.1 Matériel végétal... ..	31
----------------------------	----

1.2. Matériel fongique.....	32
-----------------------------	----

### 2. Méthodes :

2.1. Isolement et identification morphologique des champignons associés à la Fusariose de l'épi.....	33
--	----

2.2. Méthode de purification .....	34
------------------------------------	----

2.2.1. Repiquage successif :.....	34
-----------------------------------	----

2.2.2. Purification des isolats par la culture monospore (single spore) par scarification .....	34
---	----

2.3. Méthode d'identification et caractérisation .....	35
--	----

2.4. Pathogénie et agressivité des espèces de <i>Fusarium</i> associées à la fusariose de l'épi .....	36
---	----

2.4.1. Inoculation par fragments mycéliens .....	36
--	----

2.4.2. Notation des symptômes.....	37
------------------------------------	----

2.4.3. Analyse des données.....	39
---------------------------------	----

## Partie III. Résultat Et Discussion

III.1.importance de la fusariose du blé dans la région de Laghouat .....	40
--	----

III.2 Résultat des isolements .....	40
-------------------------------------	----

III.3.Résultat de purification .....	42
--------------------------------------	----

III.4. Identification des isolats .....	42
---	----

<b>III.4.1 Description et identification morphologique des isolats .....</b>	<b>42</b>
<b>III.3.1. Résultat de la purification.....</b>	<b>42</b>
III.3.1. 1. Repiquage successif.....	42
III.3.1.2. Culture monospore .....	<b>42</b>
<b>III.4. Identification des isolats.....</b>	<b>43</b>
III.4.1 Description et identification morphologique des isolats.....	<b>43</b>
<b>III.5. Etude de la pathogénie des isolats et de la sensibilité des variétés.....</b>	<b>47</b>
III.5.1. l'agressivité des isolats sur les différentes variétés.....	47
<b>III.6. la sensibilité des variétés vis-à-vis le <i>Fusarium</i> .....</b>	<b>50</b>
<b>Discussion .....</b>	<b>51</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>52</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>54</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>60</b>

سهلي اروي  
مقارنة بين مختلف عزلات الفيزاريوم المسؤولة عن مرض الغفن الجذري و لفح السنابل.

## ملخص

يعتبر مرض لفح السنابل من بين الأمراض الأكثر ضراوة للقمح في العالم بسبب فطر الفيزاريوم. هذا المرض يضر بجودة الحبوب المنتجة من خلال الإفرازات السامة المعروفة بالميكوتوكسين و هذا ما يشكل خطرا على صحة الإنسان و الحيوان . و قد لوحظ هذا المرض بأوروبا و أمريكا و آسيا وفي السنوات الأخيرة تفشى هذا المرض بمزارع القمح في الجزائر.

يهدف هذا العمل إلى دراسة المرض, تحديد الفطريات المسببة له مع تقويم المقدرة الإمراضية لهذه الفطريات. بينت النتائج أن جميع العزلات المستعملة لها قدرة أمراضية وضراوة مع وجود قدرة أقوى لعزلات *F.culmorum* و *F.grominearum* مقارنة بالعزلات الأخرى.

كما وقع تقييم مدى حساسية خمسة (5) أصناف من القمح لمرض لفح السنابل وذلك بالاعتماد على الإعداد الاصطناعي للسنابل باستعمال العزلات الأكثر ضراوة من فطر *F.culmorum* أثبتت النتائج حساسية كل أصناف المدروسة لهذا المرض.

تدل هذه النتائج أن أهم أصناف القمح المزروعة في الجزائر حساسة لمرض الفيزاريوم و أن عزلات فطر *F.culmorum* التي تصيب الحبوب ذات ضراوة و مفرزة لمادة الميكوتوكسين . لذلك يجب الاهتمام بهذا المرض بسبب تأثيراته على مردود الحبوب وصحة المستهلك.

كلمات مفتاحيه : قمح / لفح السنابل / فيزاريوم ضراوة المرض.

Sahli Aroua

Comparaison entre différentes espèces du *Fusarium* responsable de la pourriture racinaire et la gale du collet

## RESUME

La fusariose de l'épi des céréales ou *Fusarium Head Blight* (FHB) est une maladie fongique qui sévit à travers le monde, et qui est responsable de pertes considérables de production. Les espèces impliquées peuvent conduire à la contamination des grains par diverses mycotoxines, qui sont dangereuses pour la santé humaine et animale.

Cette maladie est connue dans les régions tempérées d'Europe, d'Amérique du Nord et de l'Asie. Au cours de ces dernières années, la maladie a émergé surtout sur blé en Algérie.

L'objectif de ce travail est d'une part l'identification des espèces impliquées dans la fusariose du blé et la connaissance de leur pathogénie et de leur agressivité.

L'étude de la pathogénie et de l'agressivité des espèces isolées a montré que *F. culmorum* et *F. graminearum* sont plus agressives que les autres espèces.

La sensibilité de 5 variétés de blé à la fusariose de l'épi a été aussi évaluée par inoculation avec des isolats de *F. culmorum* les plus agressifs. Les résultats ont révélé que toutes les variétés testées sont sensibles à la fusariose.

Ces résultats montrent que les principales variétés de blé cultivées en Algérie sont sensibles à la fusariose de l'épi, et que les populations de *F. culmorum* infectant les céréales sont dotées d'une variabilité pathogénique et d'un pouvoir toxigène. D'où l'importance qu'il faut accorder à cette émergente maladie en raison des effets néfastes sur les rendements des céréales et la santé des consommateurs.

**Mots clés :** Blé, fusariose de l'épi, *Fusarium*, agressivité.

**ABSTRACT**

The *Fusarium* ear blight in cereal or *Fusarium* Head Blight (FHB) is a worldwide fungal disease, which is responsible for considerable loss of production. The *Fusarium* species that causes this disease lead to the contamination of grains by diverse mycotoxins, which are dangerous for human and animal health. This disease is found in the moderate regions of Europe, North America and Asia. In the last few years the disease outbreaks in Algeria, notably in wheat.

The objective of this work is to study this disease, The identification of the implied species, and the knowledge of their pathogeny and their aggressiveness.

The study of the pathogeny and aggressiveness of the species showed that *F. culmorum* and *F. graminearum* are more aggressive than the other species

The behavior of 5 varieties of wheat to head blight was also estimated by inoculation with the most aggressive isolates of *F. culmorum*. The results revealed that all varieties are sensitive to *Fusarium* head blight.

These results showed that the main varieties of wheat cultivated in Algeria are sensitive to *Fusarium head blight*, and that the populations of *F. culmorum* infecting cereal are endowed with a variability pathogeny and are toxinogenic. This highlights the necessity of acknowledging the potential impact of this emerging disease due to the fatal effects on cereal returns and consumer health.

..

**Keywords** : wheat, *Fusarium head blight* , *Fusarium* , aggressiveness

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Les superficies, la production et le rendement du blé dur et blé tendre en Algérie dans les années 2009 et 2010.....	7
<b>Tableau 2</b> : les principales maladies fongiques du blé en Algérie .....	9
<b>Tableau 3</b> : Le matériel végétal utilisé dans ce travail.....	31
<b>Tableau 4</b> : Les différents isolats fusariens utilisés.....	32
<b>Tableau 5</b> : résultats d'identification des espèces.....	42
<b>Tableau 6</b> : indice moyen de sévérité (%)des différents isolats sur les cinq variétés testées.....	47
<b>Tableau 7</b> : listes des différents isolats testés .....	48
<b>Tableau 8</b> : Analyse hiérarchique de correspondances .....	50
<b>Tableau 9</b> : Degrés de résistance des variétés testées.....	51

## Listes des figures

<b>Figure1</b> : le cycle de développement du blé .....	6
<b>Figure 2</b> : Types de fusariose.....	11
<b>Figure 3</b> : fonte de semis, formation d'une boucle caractéristique de fonte de semis provoquée par le fusariose.....	12
<b>Figure 4</b> : les symptômes (A) : Fusariose sur blé de printemps, (B) organes fructifères noirs sur orge, (C).....	13
<b>Figure 05</b> : les symptômes sur pied, tige et nœud.....	14
<b>Figure 06</b> : symptômes des pourritures racinaires.....	15
<b>Figure 7</b> :Morphologie des espèces de <i>Fusarium</i> sur PDA (Sumerell et al., 2003) (La boîte du haut de chaque paire correspond au mycélium aérien, celle du bas à la vue de dessous) A, <i>F. poae</i> . B, <i>F. oxysporum</i> . C, <i>F. acuminatum</i> . D, <i>F. nelsonii</i> . E, <i>F. subglutinans</i> . F, <i>F. nygamai</i> . G, <i>F. pseudonygamai</i> . H, <i>F. lateritium</i> . I, <i>F. thapsinum</i> . J, <i>F. decemcellulare</i> . K, <i>F. verticillioides</i> . L, <i>F. culmorum</i> .....	18
<b>Figure 8</b> : Caractères morphologiques du <i>Fusarium culmorum</i> , a: macrophialides et macroconidies;b: macroconidies; c: chlamydozspores.....	19
<b>Figure 9</b> : Caractères morphologiques du <i>Fusarium graminearum</i> , a: macrophialides et macroconidies; b: macroconidies; c: asque octosporé.....	19
<b>Figure 10</b> : morphologie de : (1) les macroconidies ;(2) microconodidies ;(3) clamydospores.....	20
<b>Figure 11</b> : Spores de <i>F.avenaceum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. graminearum</i> et <i>F. poae</i> ... ..	21
<b>Figure 12</b> : Cycle de vie de <i>F. graminearum</i> , principal agent responsable de la fusariose des épis de blé.....	22
<b>Figure 13</b> : Micrographie de l'infection d'une cellule de l'épiderme du lemme par un hyphe de <i>Fusarium culmorum</i> .....	23
<b>Figure 14</b> : Effet inhibiteur de 20ppm de DON (A) appliqué sur des grains de blé, et grains de blés traités avec de l'eau.....	29

<b>Figure 15:</b> Plants de blé portent des symptômes de pourriture de collet utilisés pour l'isolement .....	33
<b>Figure 16 :</b> Inoculation par fragments mycéliens.....	37
<b>Figure 17:</b> Indice de sévérité de <i>Fusarium</i> sur des plantules des variétés de blé dur montrant les quatre niveaux d'attaque (1-5) comparés au témoin.....	38
<b>Figure 18 :</b> Résultat des isolement des champignons de différentes parties de l'épi de blé sur milieu PDA.....	41
<b>Figure 19 :</b> caractères macroscopique et microscopique des espèces de <i>Fusarium</i> obtenu.....	43
<b>Figure 20 :</b> caractères macroscopique et microscopique des espèces de <i>Fusarium</i> obtenu.....	44
<b>Figure 21 :</b> illustration de la sensibilité de la variété Ain Abid vis-à-vis les différentes isolats.....	48
<b>Figure 22 :</b> illustration de la sensibilité de la variété Ain Abid vis-à-vis les différentes isolats.....	48
<b>Figure23 :</b> Dendrogramme de l'Analyse hiérarchique de correspondances .....	50

Les graines de céréales constituent depuis toujours la principale ressource alimentaire de l'homme et des animaux domestiques et possèdent un pouvoir nutritionnel important parce qu'elles servent d'aliment de base pour une grande proportion de la population mondiale. La superficie mondiale consacrée aux céréales se situe autour de 700 millions d'hectars soit la moitié environ des superficies des terres consacrées aux cultures dans le monde (FAO,2011)

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La production des céréales occupe environ 80% de la superficie agricole utile du pays. Les terres emblavées annuellement en céréales se situent entre 3 et 3.5 millions d'hectars et celles annuellement récoltées représentent 63% des emblavures, la consommation des produits céréaliers se situe à un niveau d'environ 205kg/hab/an (Chehat,2007).

Le blé constitue une céréale d'importance primordiale à travers le monde, notamment en Algérie. D'un point de vue économique et en tant que denrées alimentaires pour l'homme et vue la place très importante qu'occupe le blé dans le régime alimentaire des algériens, l'Etat déploie beaucoup d'efforts pour améliorer cette culture. Cependant, la production nationale reste faible et elle ne couvre que 20 à 25% des besoins d'une population sans cesse croissante (Kellou,2008).

Malheureusement, la production agricole céréalière mondiale tant que nationale est menacée chaque année par de nombreux agents de détérioration notamment facteurs biotiques et abiotiques qui sont les causes de la perte d'une grande partie de récolte des céréales.

La culture du blé est soumise à une intense pression parasitaire. Les maladies, actuellement les plus dommageables, sont d'origine fongique (septoriose, fusarioses et rouilles). De plus, les problèmes de rendement et de qualité engendrés par ces maladies se doublent d'un risque sanitaire, résultant de la contamination des épis et des grains par des mycotoxines produites par plusieurs espèces de champignons phytopathogènes.

Les champignons pathogènes du genre *Fusarium* sont responsables de contaminations majeures des blés induisant la fusariose, cette maladie entraîne des

pertes dramatiques des productions céréalières ainsi qu'une détérioration de la qualité des grains.

Cette maladie endémique, est provoquée par un complexe d'espèces de champignons phytopathogènes, le « complexe fusarien », à large spectre d'hôtes. Il regroupe les genres *Microdochium* et *Fusarium*.

*Le 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 (Boutigny,2007).

la diversité d'espèces ayant des caractéristiques épidémiologiques différentes pourrait être la source de différences de niveau d'infection avec par exemple des espèces plus agressives ou produisant d'avantage de toxines que d'autres (Brennan et al., 2003)

Comprendre la relation entre la contamination de l'épi et la production de toxines, dans le cadre d'un complexe d'espèces interagissant entre elles, apparaît également essentiel à la compréhension du développement épidémiologique de la maladie et de son impact sur la qualité des récoltes.

Objectif :

Ce travail a pour objectif de réaliser une étude comparative de l'agressivité entre différentes isolats de *Fusarium*, une comparaison dans la réaction de cinq variétés de blé vis-à-vis de ces espèces fusariennes.

Pour cela les principaux objectifs visés dans ce travail sont :

### **Objectif 1 :**

- isolements des agents fongiques à partir des plants de blé présentant les symptômes typiques de la fusariose de l'épi ou la pourriture racinaire.
- purification de notre gamme d'isolats obtenus par la réalisation de la technique monosporale.
- la caractérisation morphologique de notre gamme d'isolats et l'identification des différentes espèces de *Fusarium* en se basant sur le clé d'identification de Leslie et al(2006).

### **Objectif 2 :**

- Etude du pouvoir pathogène des isolats obtenus :

pour cela, une technique est réalisée *in vitro* ; c'est l'évaluation de la pathogénicité de ces derniers sur la partie basale de blé (le collet, les racines) par inoculation artificielle.

## I.1. Données sur la culture du blé

### I. 1. 1. Historique :

Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. La saga du blé accompagne celle de l'homme et de l'agriculture; sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique, née en Europe il y a 8000 ans. La plus ancienne culture semble être le blé dur dans le croissant fertile de la Mésopotamie (Feillet, 2000).

### I.1.2. Description et classification botanique

Parmi toutes les céréales, le blé est le plus cultivée et le plus consommé à travers le monde. Le blé appartient à la famille des poaceae (*Gramineae*), sous famille des Festucoideae, genre *Triticum* (Moule, 1971). Il existe plusieurs espèces de blé, dont deux ont une grande importance économiques, le blé dur (*Triticum durum*) est très riche en gluten, et utilisé pour produire des semoules et la pâtes alimentaires.

Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est cultivé pour produire la farine utilisée pour la fabrication du pain (Gustafson et al., 2009)

Le blé comme toutes les céréales dispose de deux systèmes racinaires successifs : le système racinaire primaire ou séminal, fonctionnel dès la germination et le système racinaire secondaire ou racines adventives de type fasciculé, qui apparaît au tallage et se substitue progressivement au précédent. Le blé possède une tige principale appelée le maître brin et des tiges secondaires appelées talles. La feuille se compose de 4 parties : la gaine, les stipules ou oreillettes, la ligule et le limbe. L'inflorescence est un épi constitué d'un ensemble d'unités appelées épillets. Chaque épillet est une petite grappe d'une à cinq fleurs, le nombre des fleurs fertiles par épillet varie selon les espèces; le grain est un caryopse, ovoïde, nu, constitué des téguments, le germe et d'albumen (Boulal et al., 2007)

### I.1.3. culture :

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

## PARTIE I : synthèse bibliographique

---

la mise au point de variétés adaptées au besoin du marché, en fonction de leur future utilisation et leur résistance à certains maladies .

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

-la température : elle doit être comprise entre  $-6^{\circ}\text{C}$  et  $+20^{\circ}\text{C}$ , idéal étant un temps chaud avant la croissance et des conditions d'ensoleillement au cours des étapes ultimes.

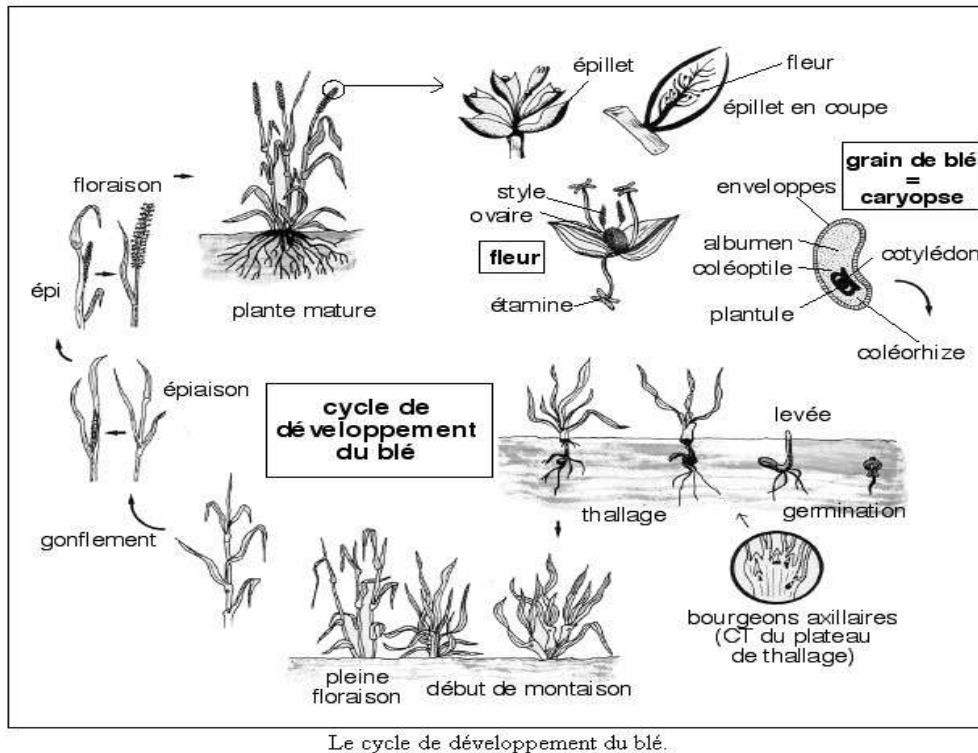
-l'humidité :les précipitations peuvent varier entre 300 et 1000 millimètres par an, répartis de manière à fournir beaucoup d'eau à la plante durant sa période de croissance et de fines pluies vers la fin de manière à faire gonfler les grains (Zeitoun,2011)

### **I.1.4.Les différents stades de développement de blé :**

En générale, les graminées ont un cycle annuel, ayant des étapes séparées par les stades repères et qui permettent la division de leur vie en deux périodes (Soltner, 1990).

□ **Stade végétatif** : cette période comporte plusieurs stades dont les plus importants sont : la germination, la levée et tallage.

□ **Stade reproducteur** : est caractérisé par l'apparition de l'épi et la formation des graine s'étend jusqu'à leur maturité



**Figure 1** : le cycle de développement du blé (Trail,2009)

## I.1.5. Importance de blé

### ➤ dans le monde

La céréaliculture est considérée comme l'une des premières activités agricoles dans le monde. C'est une culture stratégique d'intérêt économique mondiale. Les céréales contribuent aujourd'hui pour une grande part dans l'alimentation humaine grâce à leurs teneurs en protéines et en calories soient assimilées directement ou transformées en protéines animales.

Le blé fait partie des trois grandes "céréales" avec le maïs et le riz. C'est la troisième par l'importance de la production mondiale, et, avec le riz, la plus consommée par l'homme.

Le blé est, avec 220 millions d'hectares, la céréale la plus cultivée dans le monde. Le blé joue un rôle essentiel dans alimentation directe et également indirecte d'une très large fraction de humanité avec une production annuelle dépassant 716,1 million de tonne.( FAO,2014)

## PARTIE I : synthèse bibliographique

Parmi les pays producteurs de blé dans le monde, la Chine, les Etats Unis, la France, l'Inde, la Turquie, le Canada et l'Ukraine (Clement-Grandcourt et Prat, 1970. 1970; Pastre et Roa , 1993).

### ➤ En l'Algérie :

Le blé est cultivée a travers l'ensemble des zones agro-écologique de l'Algérie, mais il est essentiellement localisé dans les régions semi –aride et même arides et donc ,soumis aux aléas climatiques qui pénalisent fortement les niveaux de productivité et par la même occasion la production (Boulal et al .,2007).la superficie occupé par le blé dur en 2010 avoisine 1.1 millions d'hectares et le rendement moyen est de 15.3 qx/ha ,tandis que le blé tendre occupe une superficie réduite qui avoisine 0.5millions d'hectares et le rendement moyen est de 13.9qx/ha (MADR ,2010).

**Tableau 1:** Les superficies, la production et le rendement du blé dur et blé tendre en Algérie dans les années 2009 et 2010 (MADR, 2010)

Année	Culture	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
2009	Blé dur	1 262 842	20 010 378	15.8
	Blé tendre	585 733	9 520 791	16.3
2010	Blé dur	1 181 774	18 089 739	15.3
	Blé tendre	573 954	7 962 041	13.9
Taux d'accroissement 2009/2010	Blé dur	-6	-10	-3
	Blé tendre	-2	-16	-15

### I.1.6. Les principales contraintes de la culture de blé en Algérie :

#### I.1.6.1 : Les contraintes abiotiques :

La céréaliculture en Algérie est confronte a des aléas climatique importants :

- l'insuffisance et irrégularité des précipitations durant le cycle végétatif de la culture
- gelées tardives et siroccos précoces affectent la culture aux stades critique de son développement (floraison et formation du grain).notant aussi d'autres contraintes contribuant à la baisse des rendements :

- perturbation dans la réalisation de l'itinéraire technique.
- le niveau bas de technécicité de l'exploitant agricole.
- semis mal effectués.
- façons culturales non appropriées (Feliachi.2002)

### **I.1.6.2. Les contraintes biotiques :**

Le blé peut être attaqué par de nombreuses maladies à différents stades de son développement. Ces attaques peuvent occasionner des pertes importantes lorsque les variétés utilisées sont sensibles et les conditions de l'environnement sont favorables à l'expansion des maladies .Celles-ci ont des conditions de développement qui leur sont particulières.

Selon Feliachi (2002) une estimation sur les pertes causées par les ennemis du blé que soit lors de la récolte ou lors du stockage est voisine de 30%.cette dépréciation est le résultat de l'existence de plusieurs agent tels que les champignons, les virus, les bactéries, les nématodes et les adventices. Ces différentes maladies sont présentées dans les tableaux 2 et 3 ou le tableau 2 représente les principales maladies fongiques du blé en Algérie et le tableau 3 résume les autres principaux bio agresseurs ;les bactéries ,virus, les nématodes ,les adventices et les ravageurs.

## PARTIE I : synthèse bibliographique

Tableau 2: les principales maladies fongiques du blé en Algérie

Maladie/ organes attaqués	Nom de la maladie	Agent causaux	Transm ise par semenc e	Sources
Fontes de semis	Fonte de semis ( <i>damping-off</i> )	<i>Septoria nodorum</i> (Berk.)Berk.	Oui	(Aouali et Douici- khalfi,2009) (Zillinsky,198 3) (Weise,1987) (Simon et <i>al</i> ,,1989)
		<i>Fusarium spp.</i>	Oui	
		<i>Michrodochium nivale</i> (Fr.) <i>samuels et Halett</i>	oui	
Le pied du blé	Piétin verse ( <i>eyespot</i> )	<i>Pseudoscercospella</i> <i>herpotrichoides</i> (Fron) Deighton	-	(Zillinsky,198 3)  (Simon et <i>al</i> ,,1989)  (Aouali et Douici- khalfi,2009)  (Weise,1987) (Smiley et <i>al.</i> ,2009)
		Piétin échaudage ( <i>take-All</i> )	<i>Gaeumannomyces</i> <i>graminis</i> (Sacc)Arx et Oliver var. <i>tritici</i> Walker	
	Fusariose du pied ( <i>common</i> <i>fooot rot</i> )	<i>Fusarium spp.</i> <i>Cochlioblus sativus</i> (S.itu et Kurib .) Dreschler ex Dastur <i>Michrodochium nivale</i>	Oui Oui  oui	

## PARTIE I : synthèse bibliographique

Tableau 2: les principales maladies fongiques du blé en Algérie (suite)				
Maladie/ organes attaqués	Nom de la maladie	Agent causaux	Transm ise par semenc e	Sources
Les feuilles et épi	Rouille brune ( <i>leaf rust</i> )	<i>Puccinia recondita</i> Dietel et Holw	Non	(Kolmer et <i>al.</i> ,2009) (Aouali et Douici- khalfi,2009)
	Rouille noir ( <i>stem rust</i> )	<i>Puccinia graminis</i> subsp. <i>graminis</i> Pers	Non	
	Rouille jaune ( <i>stripe rust</i> )	<i>Puccinia striiformis</i> Westend f.sp. <i>tritici</i> Erikss	Non	
	Septorioses Tache des glumes ( <i>glume blotch</i> )	<i>Stagonospora nodorum</i> (Berk.)E.castellani et E.G.Germano	Oui	(Weise,1987) (Aouali et Douici- khalfi,2009)
	Tache septorienne du blé ( <i>Septoria laef blotch</i> )	<i>Septoria tritici</i> roberge in Desmaz	non	
	Tache helminthosporie ne (tan spot)	<i>Pyrenophra tritici</i> – <i>repentis</i>	faible	(Weise,1987) (Aouali et Douici- khalfi,2009)
Charbon foliaire (flug smut)	<i>Urocystis agropyri</i>	Oui		
Odium (powdery mildew)	<i>Blumeria graminis</i>	Néant		
L'épi	Carie commune ( <i>Common Bunt</i> )	<i>Tilletia caries</i> <i>Tilleia laevis kuhn</i>	Oui	(Weise,1987) (Simon et <i>al</i> <i>.</i> ,1989) (Aouali et Douici- khalfi,2009) (Marshall,200 9)
	Charbon nu ( <i>loose smut</i> )	<i>Ustilago tritici (pers)</i>	Oui	
	Gale de l'épi ( <i>headblight,head scab</i> )	<i>Fusarium spp.</i> <i>Microdochium nivale</i>	Oui Oui	

## CHAPITRE II : LA FUSARIOSE

### II .1. Données sur la fusariose du blé :

#### II.2.1 : les différents types de fusariose :

Les céréales sont contaminées avant la récolte par une microflore dite « du champ » qui comprend un grand nombre d'espèces appartenant notamment au genre *Alternaria*, *Fusarium*, *Helminthosporium*,...etc.

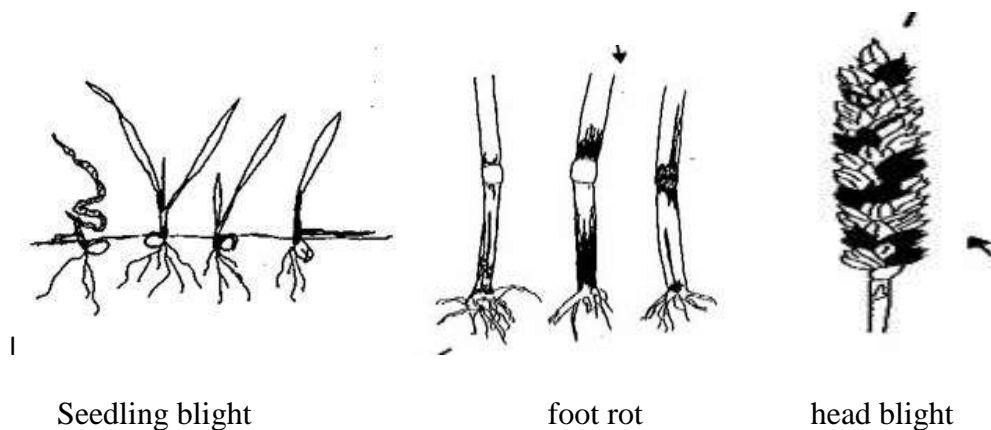
Cette flore de champs rassemble les moisissures à tendance phytopathogène qui s'implante sur le grain avant la récolte .Parmi les maladies mycologiques des céréales ,la fusariose de l'épi provoqué par diverse espèces du *Fusarium* ,est une maladie très importante des céréales dans le monde.les agent pathogène de la brûlure de l'épi ( *Fusarium spp.*) produisent des trichotécènes dont le rôle dans la pathogénèse a été démontré (Parry et *al.*, 1995)

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

### II.2.la symptomatologie :

#### II .2.1.la Fonte de semis :

Les agents de fusariose peuvent provoquer un manque à la levée ou une fonte de semis les semences infectées germent mais les pousses et les racines se nécrosent et meurent les plantules infectées présentent un coléoptile et des racines altérées. Dans les cas d'infection par *Fusarium spp* une coloration lie de vin peut apparaître au niveau du collet (F.R.E.D.E.C.2002). Ces plants peuvent être entièrement détruits et s'il survivent ils demeurent nains et le symptôme le plus caractéristique est la présence de tache brunes suivies d'un brunissement sur les racines et à la base de la tige (Lacroix,2002).

Par la suite, les symptômes d'attaque par les *Fusarium Spp* .sont surtout visibles sur les feuilles situées au niveau de la bas de la tige . *Microdochium nivale* est de plus capable de provoquer de sévères attaques sur feuille. (F.R.E.D.E.C.2002)



**Figure 3:** fonte de semis, formation d'une boucle caractéristique de fonte de semis provoquée par le fusariose (INPV ,2008)

### II.2.2. Fusarioses des épis, des graines « Gal de l'épi »

Les symptômes sont très visibles dans le champ car ils se manifestent par un blanchiment prématuré d'une partie ou de la totalité 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. La maladie se développe et se propage parfois très rapidement et peut affecter la totalité de l'épi (F.R.E.D.E.C.2002).

Une coloration allant de rose à orange saumoné peut apparaître sur les épillets infectés, surtout lors de périodes d'humidité prolongées, mais chez l'orge l'infection peut donner aux épillets une coloration foncée et être confinée à quelques groupes d'épillets sur certains épis. Les grains mûrs peuvent être ratatinés, légers, blanc crayeux ou parfois roses (on parle alors de grains momifiés ou endommagés par le *Fusarium*), chez l'orge le grossissement du grain n'est pas aussi sérieusement affecté que chez le blé. Les grains momifiés sont souvent plus lourdement contaminés par les mycotoxines (Rachard, 2004).

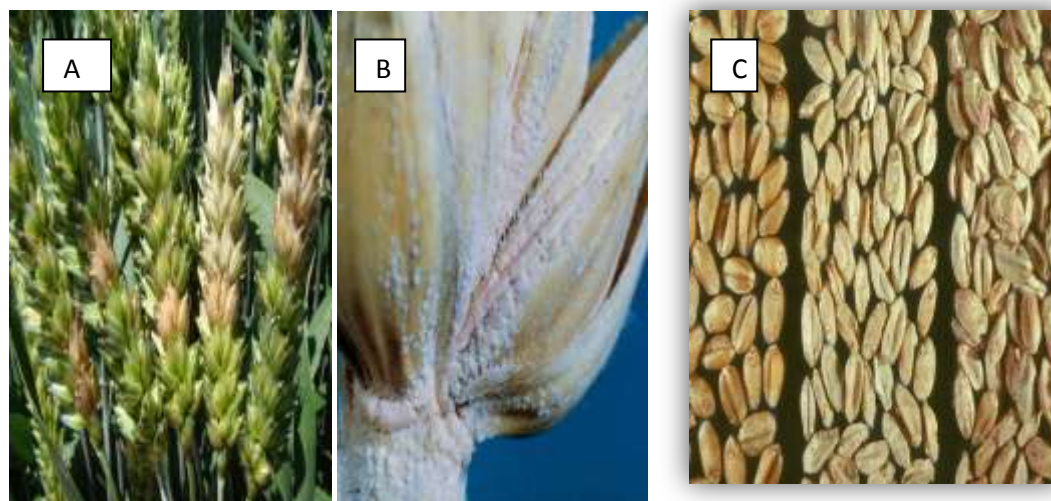


Figure 4 : les symptômes (A) : Fusariose sur du blé printemps, (B) organes fructifères noirs sur orge, (C)

Grains de blé endommagés par le *Fusarium* ; à gauche –grains sains ; au centre grains momifiés ; à droite grains infectés teints .

- L'épi contaminé présente un dessèchement précoce et un échaudage de tout ou d'une partie des épillets selon le point de contamination.

Dans le cas d'une infection par *Microdochium nivale*, un liseré elliptique brunâtre peut apparaître sur le dos des glumes.

- Les graines fusariées peuvent présenter une coloration blanchâtre à rose, ils peuvent aussi conserver un aspect de graine saine ou de simple graine échaudée (F.R.E.D.E.C.2002).

### II.2.3. Fusarioses du pied, de la tige et des nœuds :

La fusariose peut attaquer les premiers centimètres de racine et la base de la tige (fusariose du plateau de tallage et des racines) et provoquant l'échaudage de la plante. Cette maladie se développe préférentiellement sur des blés stressés, suite à des à-coups climatique et des sécheresses au printemps. Le blé dur y est particulièrement sensible. (Bouas et al., 2012) la fusariose de la tige et des nœuds présente un brunissement diffus qui peut progressivement se généraliser sur une grande partie de la tige. Absence de stroma ou de plaque mycélienne. Le plus souvent, un anneau violacés est observé sur les nœuds.

Les symptômes restent cantonnés aux niveaux superficiels de la tige et présentent donc peu de nuisibilité.



(Bouas, et al .2012)

Figure 05 : les symptômes sur pied, tige nœud

### II.2.4. Pourriture racinaire :

Les symptômes pouvant s'observer au champ sont les pertes à la levée, le dessèchement des jeunes plantules et enfin l'apparition des épis blancs prématurés et improductifs. Cette maladie est aussi caractérisée par la présence des taches nécrotiques ou noirâtres sur le collet, le rhizome ou les racines, avec une étendue. Dans les cas graves, la pourriture peut être généralisée à toute la partie basale de la plante (Sayoud *et al.*, 1999)



(Origine,2014).

Figure 06: symptômes de la pourriture racinaire.

### II.3. Agent causal *Fusarium spp* :

#### II.3.1. Etiologie :

C'est en 1809 que Link décrit le genre *Fusarium* pour la première fois. Le genre *Fusarium* tient son nom du latin *Fusus*, car ses spores sont en forme de fuseau.

La fusariose de l'épi peut être causée par une vingtaine d'espèces du genre *Fusarium* et une espèce du genre *Microdochium*. Parmi ces espèces, cinq sont principalement responsables de la fusariose, il s'agit de *F.avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. poae* et *Microdochium nivale* (Parry *et al.*, 1995). 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. Il est toutefois assez commun de trouver un mélange de plusieurs espèces et de différentes souches sur le même épi (Doohan *et al.*,2003 in Boutigny 2007)

En Europe les espèces *F.graminearum*, *F.avenaceum* et *F.poa* sont prédominantes. Puis, les espèces *F. culmorum*, *F.sambucinum* sont également importantes.

### II.3.2. Classification classique :

#### a. L'anamorphe

C'est la forme imparfaite des champignons dont la reproduction asexuée est inconnue. La multiplication asexuée fait intervenir des conidies de formes et d'organisations très variées dans la classification conservant la division des Deuteromycota, le genre *Fusarium* doit être placé dans :

**Classe** : Hyphomycètes, thalle filamenteux septé.

**Ordre** : Tuberculariales, présence de sporochies.

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

#### b. Les téléomorphes

C'est la forme parfaite des champignons dont la reproduction sexuée est connue. Les téléomorphes de *Fusarium* sont des Hypocréales appartenant à la sous-division des Ascomycotina.

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

**Ordre** : Hypocréales.

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

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

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

*Saccio Nectria* (Fr.)

### **II.3.3 .Identification et caractérisation morphologique du genre *Fusarium* :**

L'identification des espèces fongiques responsables de la fusariose du blé constituée une première étape pour entreprendre toute méthode de lutte contre une maladie. Cette identification, a pendant longtemps été exclusivement basée sur l'observation des caractères culturaux et morphologiques des espèces.

Actuellement, les principales techniques d'identification de *Fusarium* sont basées sur l'isolement à partir de grains et la mise en culture du microorganisme sur des milieux sélectifs dans le but de visualiser les caractères phénotypiques qui permettent son identification (Wagacha et Muthomi,2007).

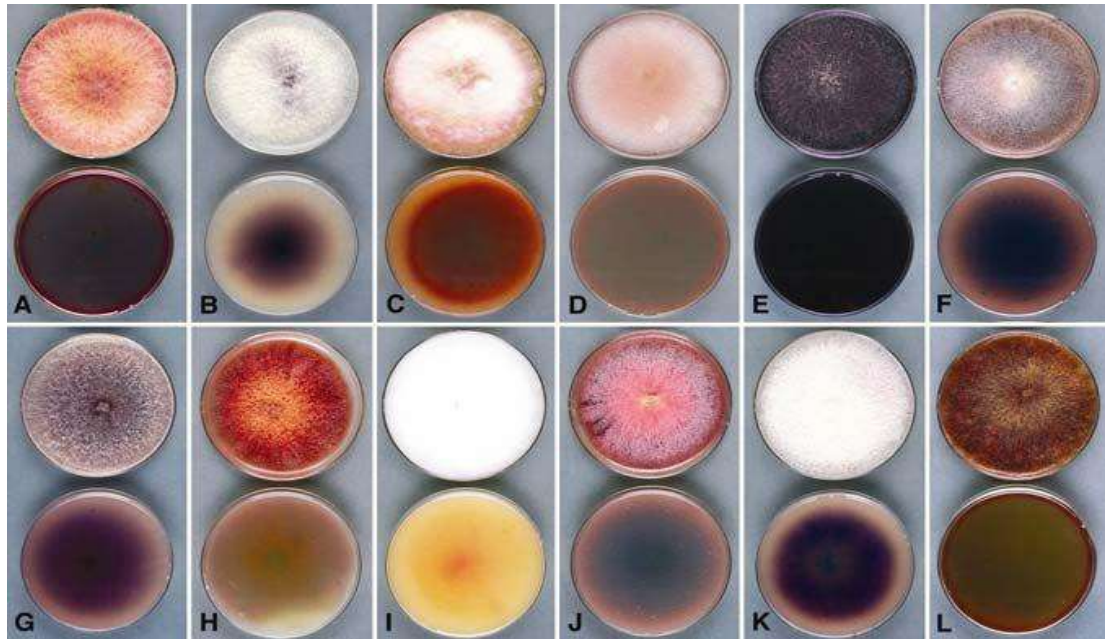
#### **II.3.3.1.Identification morphologique :**

##### **II.3.3.1.1.. Caractères culturaux généraux**

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

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

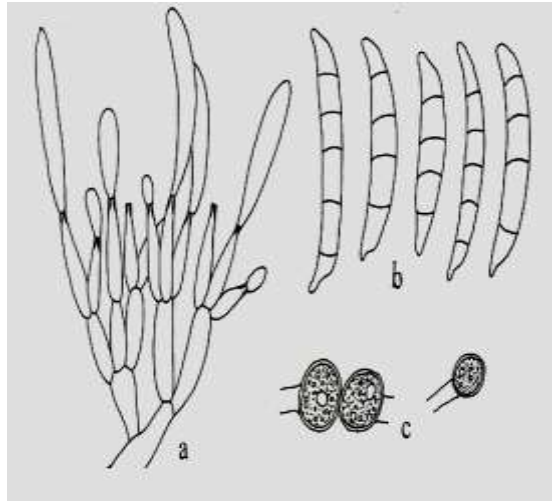
Les différentes espèces de *Fusarium* présentent une morphologie commune. Ce sont des champignons filamenteux dont le mycélium cloisonné et ramifié est de couleur rouge. Blanc à crème, jaune brunâtre, Rose, rouge, violet. Les conidies (pluricellulaires, arquées et hyalines) ont une forme caractéristique .Il peut parasiter une gamme d'hôtes très divers, le blé, avoine, maïs, seigle, orge...). En plus de sa capacité de parasitisme, il est aussi saprophyte et peut se développer sur des débris végétaux(Chermette et Bussieras, 1993).



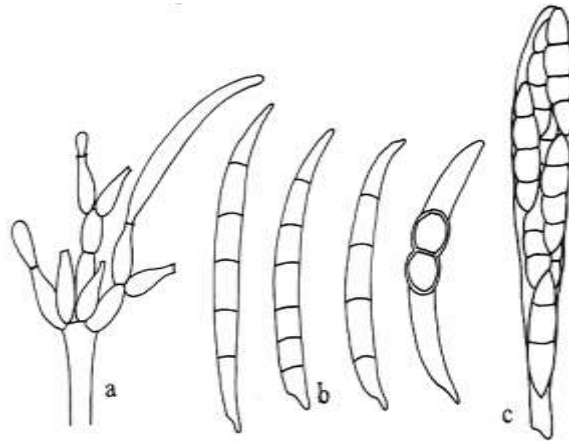
**Figure 7** :Morphologie d'espèces de *Fusarium* sur PDA (Sumerell et al., 2003)  
 (La boîte du haut de chaque paire correspond au mycélium aérien, celle du bas à la vue de dessous) A, *F. poae*. B, *F. oxysporum*. C, *F. acuminatum*. D, *F. nelsonii*. E, *F. subglutinans*. F, *F. nygamai*. G, *F. pseudonygamai*. H, *F. lateritium*. I, *F. thapsinum*. J, *F. decemcellulare*. K, *F. verticillioides*. L, *F. culmorum*.

### II.3.3.1.2. Morphologie microscopique

Le principal caractère morphologique des *Fusarium* est la présence de macroconidies fusiformes et cloisonnées. Généralement, les conidiophores sont isolés ou regroupés en sporodochium, Les macroconidies sont septées et les microconidies sont le plus souvent unicellulaires. Les cultures sont d'aspects et de couleurs très variés (Larone ,1995); la plupart des *Fusarium* ont une forme de faucille pour ces macroconidies. Les Microconidies sont moins de la moitié de la taille des macroconidies, et ont tendance à croître dans des chaînes ( Larone, 1995).



**Figure 8 :** Caractères morphologiques du *Fusarium culmorum*, a: macrospores et macroconidies;b: macroconidies; c: chlamydospores (Trail ,2002).



**Figure 9 :** Caractères morphologiques du *Fusarium graminearum*, a: macrospores et macroconidies; b: macroconidies; c: asque octosporé (Trail ,2002).

Différents types de propagules sont formés (Bottalico et Perrone,2002 ) en fonction des espèces et permettent leur identification :

**a-Les ascospores** sont contenues dans des asques, formés eux-mêmes dans des périthèces ovoïdes de couleur violette à noire. Chaque asque contient 8 ascospores. Les ascospores sont considérées comme des formes de conservation et donc d'infection primaire.

### **b- Les macroconidies**

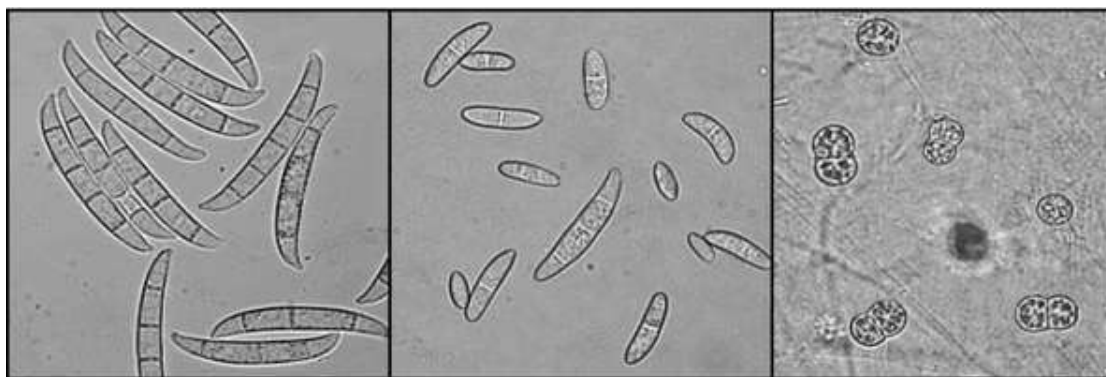
Elles aussi hyalines sont produites sur des conidiophores .ces dernière possèdent une forme fusiformes, souvent courbées, pluriseptées, avec une cellule basale Pédicellée, portant une sorte de talon, caractéristique de *Fusarium* et sont considérées comme les propagules le plus couramment produites chez les *fusarium*

### **c- Les microconidies**

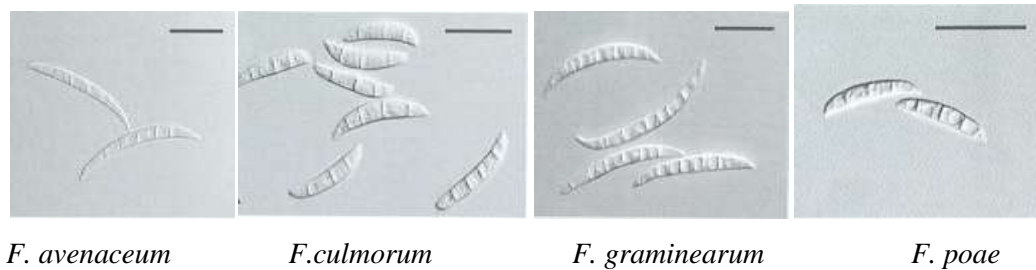
Elles sont petites, généralement septées, piriformes, fusiformes ou ovoïdes. Hyalines, et unicellulaire sont formées directement sur le mycélium, Certaines espèces produisent les deux types de spores, d'autres ne forment que des Macroconidies.

### **d-Les chlamydo spores**

Sont présentes ou absentes, terminales ou intercalaires, différenciées par le mycélium ou par les conidies (Botton *et al.*, 1985). Sont des structures généralement à 2 cellules provenant directement du mycélium mais s'étant spécialisées Leur rôle dans la nature n'a pas encore été réellement déterminé mais il a été prouvé qu'elles étaient capables de survivre à des conditions défavorables et d'induire une infection (Boutigny ,2007)



**Figure 10:** morphologie de : (1) les macroconidies ;(2) microconidies ;(3) chlamydo spores (Leslie et Summerell, 2006)



**Figure 11:** Spores de *F.avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum* et *F. poae* (Leslie et Summerell, 2006). (Échelle : 25 µm)

### II.3.4.Cycle biologique :

#### II.3.4.1. sources de contamination

La contamination se fait par les propagules qui se trouvent sur le sol , dans les débris végétaux Où le champignon se conserve. Toutes les espèces de *Fusarium* sont capables de survivre en saprophytes sur les débris végétaux (Parry et al., 1995).

L'innoculum est formé principalement de macroconidies ou de microconidies et d'ascospore (Xu et al., 2005 ; Champeil et al., 2004 ; Bai et Shaner, 1994).

Trois sources d'innoculum peuvent être à l'origine du développement de fusarioses :

-Les résidus de culture infectés l'année précédente (source principale) (Champeil et al., 2004 ; Osborne et Stein, 2007) et les chlamydoconidies 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 (Xu et Nicholson, 2009).

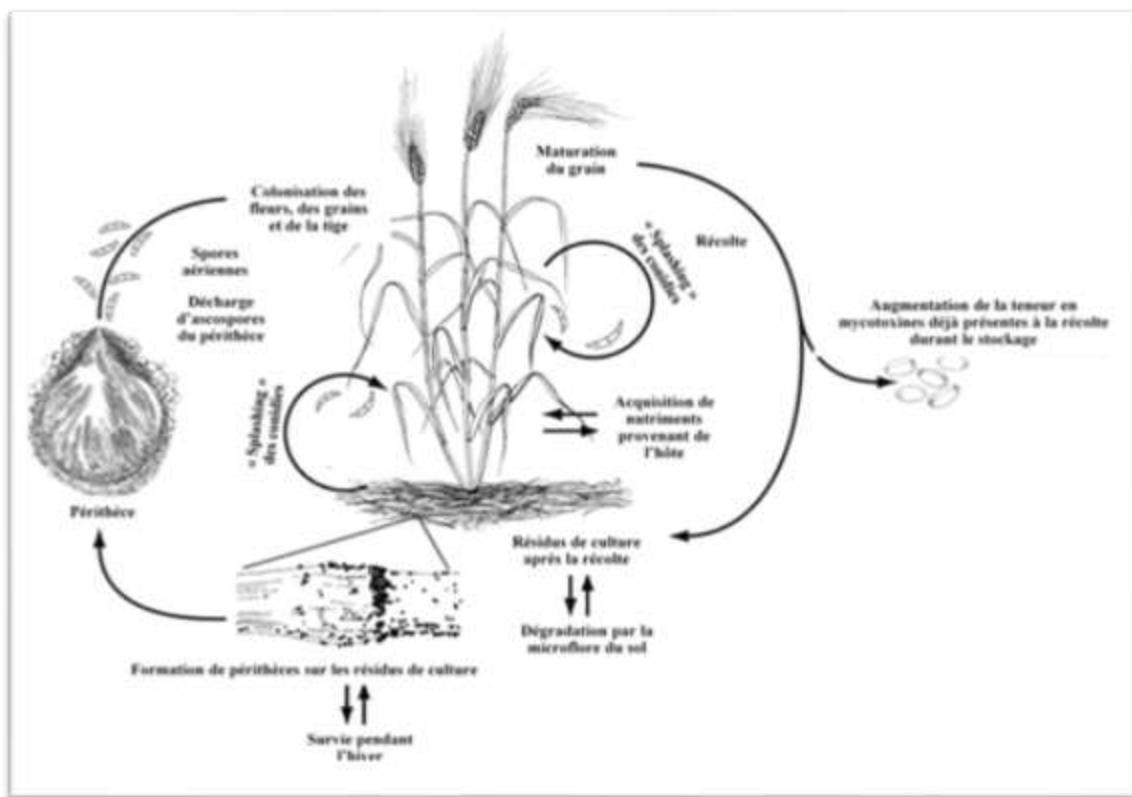
-Les plantes hôtes (Agrostis, Bromus, Medicago, Festuca...), peuvent également jouer le rôle de réservoir de *Fusarium* sans présenter de symptômes visibles (Leonard et Bushnell, 2003 ; Champeil et al., 2004).

#### II.3.4.2. La dissémination

Les spores sont principalement dispersées par temps de pluie par les éclaboussures qui projettent les conidies ou les ascospores sur les plants de céréales et leurs épis. Les hauteurs et distances maximales de dispersion sont pour *Fusarium culmorum* et *Fusarium poae* de 60 cm et 70 cm, respectivement (Horberg , 2002).

Cependant lorsque les ascospores sont entraînées par le vent, elles peuvent être dispersées sur de plus longues distances. Un élément contaminant peut être détecté à plusieurs kilomètres de distance de sa source de production (Bergstrom et Shields, 2002 ; Fracl *et al.*, 1999).

Les insectes et larves d'insectes peuvent également être une source de dissémination, ils endommagent l'enveloppe des grains, ce qui favorise la pénétration de l'inoculum à l'intérieur de la graine. Plusieurs types d'insectes attaquent la plante et prédisposent celle-ci à une infection par des champignons avant que l'épi ne se forme. C'est le cas des pucerons et des asticots (Widstrom, 1992).



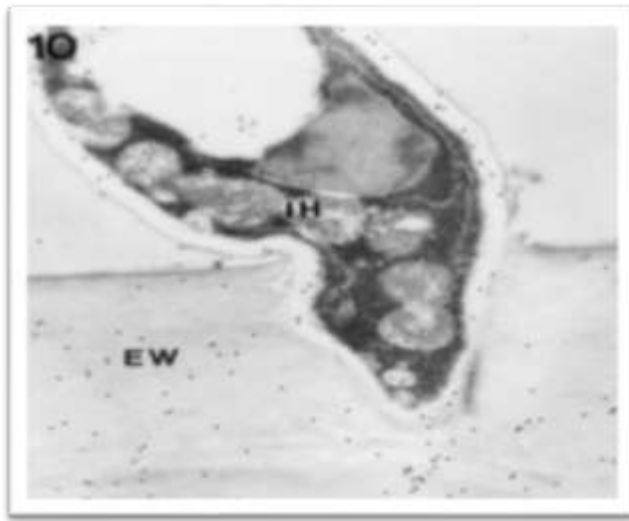
**Figure 12** : Cycle de vie de *F. graminearum*, principal agent responsable de la fusariose des épis de blé (Trail, 2009).

### II.3.4.3. Infection et développement des champignons

La fusariose de l'épi de blé est donc initiée par le dépôt de spores matures sur des épis de blé en fleur. Ces spores germent, colonisent les anthères extrudées, généralement dans la partie médiane de l'épi, où commence la floraison et où l'humidité est supérieure à celle des autres épillets (Walter *et al.*, 2010 ; Leonard et

Bushnell, 2003). Ils entrent dans la fleur et se développent afin de rejoindre la graine en formation, les bractées florales et le rachis.

Dans un premier temps, les tubes germinatifs se développent en surface et forment un réseau dense de mycélium à l'intérieur de l'épillet et autour de l'ovaire 24 à 26 heures après l'inoculation (Brown *et al.*, 2010). Ensuite, sur le front de l'infection, le champignon se développe de façon intercellulaire et se nourrit des exsudats extracellulaires mais n'induit pas encore de symptômes visibles (Guenther et Trail, 2005).



**Figure 13** : Micrographie de l'infection d'une cellule de l'épiderme du lemme par un hyphé de *Fusarium culmorum* (Kang et Buchenauer, 2002).

EW : Paroi de la cellule de l'épiderme : IH : Hyphe du parasite.

### II.3.5. Conditions favorables au développement de la maladie

La sévérité de la fusariose est conditionnée par trois facteurs indépendants des champignons : les facteurs climatiques, les facteurs agronomiques et les facteurs physiologiques de la plante hôte (Bai et Shaner, 1994 ; Sutton, 1982 ; Walter *et al.*, 2009 ; Alvarez *et al.*, 2010).

#### II.3.5.1. Les facteurs climatiques

Les facteurs climatiques, en particulier l'humidité et la température, jouent un rôle primordial puisqu'ils conditionnent la germination et l'infection des champignons. Chaque espèce responsable de la fusariose a un optimum de température et d'humidité différents. Des individus de la même espèce mais ayant des origines géographiques différentes vont également avoir des optima différents, en référence avec le climat de leur région d'origine

(Xu et Nicholson, 2009 ; Doohan *et al.*, 2003), et d'après Kang et Buchenauer, 2002, les ascospores des champignons responsable de la fusariose germent si l'humidité relative (HR) est supérieure à 85% et la température avoisine les 25-30°C.

### **II.3.5.2. Les facteurs agronomiques**

Ils jouent un rôle principalement dans la conservation de l'inoculum primaire. Par exemple, un précédent cultural sensible à la fusariose (maïs, blé, orge), c'est-à-dire potentiellement infecté lors de son cycle, est une source potentielle d'inoculum pour la culture suivante via ses résidus. Egalement, un travail du sol augmenterait la dégradation des résidus en favorisant l'activité microbienne et donc limiterait la colonisation des résidus par *F. graminearum* (Pereyra *et al.*, 2004)

### **II.3.5.3. Les facteurs physiologiques**

Les facteurs physiologiques de la plante hôte sont nombreux et influencent plus ou moins le développement de la fusariose. L'intensité de la maladie dépend non seulement de la quantité d'inoculum initial et de la virulence des souches pathogènes, mais aussi des caractéristiques physiologiques de la plante (taille, densité d'épillets...), son état de stress, son stade de développement, la date et la durée de la floraison et le niveau de résistance de la variété (Xu *et al.*, 2005 ; Champeil *et al.*, 2004 ; Bai et Shaner, 1994 ; Audenaert *et al.*, 2009).

### **II.3.6. La notion de résistance contre la fusariose**

Mesterhazy *et al.* (1999) ont décrit 5 types différents de résistance de l'hôte vis-à-vis de la fusariose.

Le type I correspond à une résistance à l'infection.

le type II à une résistance à la progression du champignon dans l'épi.

le type III se réfère à la capacité de l'hôte à empêcher la synthèse de mycotoxines ou promouvoir leur dégradation.

le type IV à la résistance de la plante à l'infection des grains et le type VI à la tolérance à l'infection.

### II.3.7. Méthodes de lutte

#### II.3.7.1. Les pratiques culturales

L'inoculum principal étant conservé dans les résidus de culture, un travail du sol permet l'enfouissement des résidus et donc limite les risques d'apparition de la maladie (Champeil *et al.*, 2004). 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.

Il est donc nécessaire d'intégrer cette sensibilité dans la rotation des cultures, en évitant la

succession de cultures sensibles (Parry *et al.*, 1995). L'irrigation, la fertilisation azotée et le contrôle des adventices jouent également un rôle dans le développement de la fusariose (Wagacha et Muthomi, 2007) mais ils restent mineurs par rapport aux deux leviers présentés précédemment.

Au contraire, certaines pratiques culturales telle l'irrigation intensive augmenteraient l'incidence des blés fusariés (Teich *et al.*, 1987). Des études ont observé qu'un apport d'azote à 100 kg/ha pouvait réduire la fusariose du blé mais qu'un apport à 200 kg/ha l'augmentait (Teich et Nelson, 1984). Divers fongicides existent, cependant leur efficacité aux champs contre la fusariose et la mycotoxinogénèse est controversée (Pirzgoiev *et al.*, 2003 ; Champeil *et al.*, 2004). L'utilisation des fongicides est délicate et le moment d'application est important.

#### II.3.7.2. La lutte génétique (utilisation des variétés résistantes)

Aujourd'hui, peu de variétés de blé sont résistantes à la fusariose. Cependant, il existe des variétés tolérantes, possédant des niveaux de résistance partiels permettant de limiter les pertes de rendements et l'accumulation des toxines dans la récolte.

#### II.3.7.3 La lutte biologique

La lutte biologique est une méthode prometteuse contre la fusariose (Schisler *et al.*, 2002). Par exemple, au cours d'études menées en serre, l'inoculation des épis de blé à l'anthèse avec le champignon *Phoma betae* réduit de 60% la sévérité des symptômes de fusariose causé par *F. culmorum* (Diamond et Cooke, 2003). Au cours d'essais aux champs, Khan *et al.* (2004) rapportent que les levures *Cryptococcus* sont capables de diminuer la sévérité de la fusariose, l'antagoniste le plus efficace réduisant la sévérité de la fusariose de 50-60 %.

### **II.3.7.4. La lutte chimique**

Une fois la culture installée, le recours à la lutte chimique est toujours possible mais avec une efficacité limitée. Toutefois, appliqué à la bonne dose et au bon stade, un traitement à l'aide d'un produit spécifique est un levier supplémentaire pour lutter contre la fusariose. La diversité des agents pathogènes ainsi que les différences d'efficacité des matières actives d'une espèce à l'autre complexifient cette lutte. En effet, les travaux de Simpson *et al.* (2001) soulignent la sensibilité des champignons du genre *Fusarium* aux triazoles et ceux du genre *Microdochium* aux strobilurines. Depuis, des résistances sont apparues limitant l'intérêt des strobilurines dans cette lutte. De nouvelles solutions ont été récemment développées couplant par exemple plusieurs familles chimiques comme les triazolinthione et triazole pouvant réduire jusqu'à 70% de la maladie au champ.

### **II.3.7.5. La lutte intégrée**

La meilleure approche permettant de lutter efficacement contre la fusariose serait donc une approche intégrée combinant de bonnes pratiques culturales, l'utilisation de variétés tolérantes ainsi qu'une application fongicide à la bonne dose et au bon stade de développement de la plante (Wagacha et Muthomi, 2007). Toutefois, l'amélioration des pratiques culturales reste le levier de lutte le plus efficace contre la fusariose de l'épi.

### CHAPITRE III :

#### III.1. Les Mycotoxines

##### III.1.1. Généralités

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires toxiques produits par certaines souches de champignons dans les milieux où elles se développent, principalement dans les matières premières d'origine végétales (céréales, légumes, fruits). Plusieurs centaines de mycotoxines ont pu être identifiées et environ une trentaine de ces molécules a une véritable importance en termes de santé animale et humaine (Castegnaro et Pfohl-Leszkowicz, 2002).

Les mycotoxines diffusent dans le substrat qu'elles contaminent même après la destruction du champignon responsable de leur production. Peu labiles, elles sont souvent actives à très faibles doses, thermostables, stables dans le temps et résistantes aux traitements biologiques et aux processus de transformation. Ainsi, lorsqu'elles sont présentes dans le grain, on les retrouve tout au long de la chaîne alimentaire. (Prandini *et al.*, 2007)

Les fusariotoxines produites par les *Fusarium* sont principalement des Trichothécènes. Ce sont des inhibiteurs de synthèse protéique des cellules eucaryotes (Cumagun *et al.*, 2004) et de l'activation des gènes de défense de la plante (Wagacha et Muthomi, 2007). (fusariose epid) elles sont responsables d'effets indésirables sur la santé humaine ou animale en cas de consommation d'aliments contaminés et peuvent ainsi provoquer une grande variabilité de symptômes comme des altérations du foie, des reins, du système nerveux central, des dérèglements hormonaux ou encore une réduction des défenses immunitaires (Prandini *et al.*, 2007).

##### III.1.2. Le rôle des mycotoxines

La production de métabolites par un organisme a un coût non négligeable, ce qui suppose une utilité de chacun de ces métabolites. Un avantage probable pour un organisme à produire des métabolites secondaires est la survie dans son environnement, tant pour se protéger contre les événements négatifs de cet environnement, que pour assurer sa nutrition (Fox et Howlett, 2008). Etant donné leur phytotoxicité et la pathogénicité des *Fusarium* vis-à-vis des plantes, les trichothécènes pourraient également être impliquées en tant que facteur de pathogénicité (ou pouvoir pathogène), c'est-à-dire dans le développement des champignons dans l'épi. En effet,

une agressivité plus importante sur épi a été observée pour les souches productrices de ces molécules par rapport à des souches mutantes, non productrices (Proctor *et al.*, 2002 ; Desjardins *et al.*, 1996, Nicholson *et al.*, 1998). Cependant, d'après les travaux d'Arseniuk *et al.* (1999), même si une perturbation par mutation de la voie de biosynthèse des trichothécènes diminue la pathogénicité de *F. graminearum*, celle-ci n'est pas supprimée.

Gosman *et al.* (2010) ont également mis en évidence la relation entre la résistance à la colonisation de l'épi (résistance de type II) et la production de DON et, d'après Bai *et al.* (2001), des mutants non producteurs de toxines ne s'étendent pas aux épillets adjacents. La production de DON ne serait donc pas nécessaire à la pathogénicité mais jouerait un rôle dans la virulence du champignon ; les trichothécènes seraient donc des facteurs de virulence essentiels à la colonisation des épis et grains de blé par *Fusarium*. L'expression des gènes de biosynthèse des toxines commence immédiatement après l'infection. Ces toxines produites en avant du front de l'infection ne seraient donc pas indispensables à l'initiation de la maladie mais faciliteraient la colonisation de leur hôte. Ceci suppose que d'autres facteurs interviennent dans le pouvoir pathogène de la fusariose tels que les enzymes de dégradation des parois, par exemple (Schwarz *et al.*, 2002).

### **III.1.3. Les Fusariotoxine**

Les espèces de *Fusarium* produisent différents types de mycotoxines parmi lesquelles les plus fréquentes sont les trichothécènes, les fumonisines et la zéaralénone (Placinta *et al.*, 1999). Ces mycotoxines sont connues pour être produites au champ, mais également lors du stockage du grain si de l'eau est disponible (Langseth *et al.*, 1997).

#### **III.1.3.1. Les trichothécènes**

Les trichothécènes constituent le groupe de mycotoxines produites par *Fusarium* le plus important avec près de 150 trichothécènes isolés chimiquement. Toutefois, seuls les trichothécènes de type A et B semblent avoir une réelle importance sur les cultures de céréales (Smith *et al.*, 1994).

Les trichothécènes du groupe B sont produites, principalement, par *Fusarium graminearum*, et *F. culmorum*. Les principales mycotoxine du groupe B sont le nivalénol (NIV) et le déoxynivalénol (DON). Le déoxynivalénol (encore appelé vomitoxine est reconnu comme la mycotoxine la plus répandue (DiMello *et al.*, 1997).

### III.1.3.2. Les zéaralénone

La zéaralénone (ZEA) produite par *F. graminearum*, *F. culmorum* ou encore *F. equiseti* majoritairement trouvées sur les céréales. La ZEA est une mycotoxine à effet oestrogénique qui provoque des perturbations endocriniennes à la puberté (Rapport Final de l'Afssa, 2009).

### III.1.3.3. Rôle des TCTB dans le développement de la fusariose

Le DON inhibe la germination du blé comme le montre la figure 9 avec un témoin.

traité à 20ppm de DON (A) et un témoin traité avec de l'eau (B) (Rocha *et al.*, 2005). Ce phénomène s'expliquerait par l'action inhibitrice du DON sur l'activité du facteur d'élongation EF-1 $\alpha$  impliqué dans la croissance cellulaire. traités avec de l'eau (B) (Rocha *et al.*, 2005).

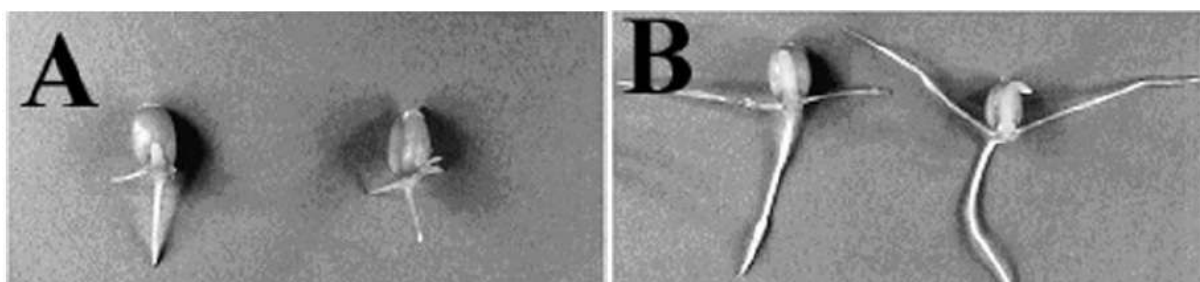


Figure 14 : Effet inhibiteur de 20ppm de DON (A) appliqué sur des grains de blé, et grains de blés traités avec de l'eau (B) (Rocha *et al.*, 2005)

Parmi les nombreux effets cellulaires des trichothécènes, et en particulier des trichothécènes B, citons l'inhibition des synthèses protéiques qui a lieu dans les grains et les gaines foliaires de blé ainsi que dans les grains de maïs. Ces mycotoxines interfèrent avec le

site actif de la peptidyl-transférase des ribosomes, ce qui inhibe l'initiation, l'élongation ou la terminaison des synthèses protéiques (Rocha *et al.*, 2005).

Les trichothécènes sont phytotoxiques même à de très faibles concentrations, ils perturbent la germination des graines et entraînent le flétrissement, des chloroses, des nécroses et autres symptômes sur de nombreuses variétés de plantes (Rocha *et al.*, 2005).

**.Matériel et méthodes****1. Prospections et échantillonnage :****1.1 Matériel végétal**

Des prospections ont été réalisées dans 3 champs de blé durant la campagne 2013/2014. Ces champs, situés dans la région céréalière (EL-Assafia), appartenaient aux étages bioclimatiques semi-aride. Les parcelles prospectées ont été choisies au hasard. Pour identifier les espèces responsables de la fusariose de l'épi, plusieurs épis montrant les symptômes de la maladie ont été prélevés d'une manière représentative à la parcelle en question.

Les échantillons ont été par la suite conservés dans des sacs en papier jusqu'à utilisation.

Des échantillons de semences de diverses variétés de blé ont été utilisés dans le test d'inoculation sont fournis par des structures spécialisées

Il s'agit de l'ITGC de Sétif (tableau .3)

**Tableau 3** : Le matériel végétal utilisé dans ce travail.

Code expérimental	Espèce	Nom de la variété	Région géographique	Année de récolte
BT1	blé tendre	Arz	ITGC. Sétif	2013
BT2		AIN ABID	ITGC. Sétif	2013
BT5		Cirta	ITGC. Sétif	2013
Variété de blé				
BD8	Blé dur	Waha	ITGC. Sétif	2013
BD11		GTA/DUR		

## 1.2. Matériel fongique

**L'agent pathogène :** Les isolats *Fusarium* utilisés dans cette étude ont été obtenus à partir des racines et des tiges de plantes identifiés et conservés dans la mycothèque sur milieu PDA au laboratoire de mycologie, département d'Agronomie (UATL) Laghouat (tableau.4).

En outre Le matériel fongique pathogène utilisé est obtenu par isolement à partir de l'épi et du collet du blé présentant des symptômes typiques de la maladie. Ces symptômes se manifestent sur épi par une coloration allant du rose à l'orange due à la présence d'une masse de spores, et à la présence de nécroses sur le collet et brunissement de la partie supérieure des racines.

**Tableau 4:** Les différents isolats fusariens utilisés.

N° d'isolat	Isolat	Année d'isolement	Organe d'isolement	Variété de blé	Origine	Espèce
1	BD11	2011	épi	ANZA	Blida	<i>F.culmorum</i>
2	R <sub>2</sub> 14	2013	semence	Lignée 1	ITGC Sétif	F. <i>graminearum</i>
3	BD14	2014	racine	Vitron	Sidi makhlouf	Non-Identifié
4	BD13	2013	semence	Vitron	ITGC SETIF	Non-Identifié
5	BDA13	2013	épi	Vitron	El-Assafia	- Non-Identifié
6	BDb13	2013	épi	Vitron	El-Assafia	- Non-Identifié

## 2. Méthodes :

### 2.1. Isolement et identification morphologique des champignons associés à la Fusariose de l'épi.



(Origine,2014).

**Figure 15:** Plants de blé portent des symptômes de pourriture de collet utilisés pour l'isolement

Pour l'isolement et l'identification des agents fongiques, les échantillons sont pris au laboratoire les parties qui présentent les symptômes de la maladie (collet, racines et épi) sont découpés en fragments, ces derniers ont été d'abord désinfectés superficiellement dans une solution d'hypochlorite de sodium 2% pendant 10 min (pour éliminer les organismes saprophytes) puis rincés 3 fois à l'eau distillée stérile pendant 5 minutes chacun, les fragments ainsi désinfectés ont été séchés sur papier filtre stérile et repiqués dans des boîtes de Pétri contenant du milieu PDA (Potato Dextrose Agar ; composé de 200 g de pomme de terre, 20 g de glucose et 20 g d'agar) et incubés pendant 5 à 7 jours  $\pm$  25 °C.

### **2.2. Méthode de purification**

#### **2.2.1. Repiquage successif :**

Consiste à réaliser plusieurs repiquages successifs des isolats sur milieu PDA jusqu'à l'obtention de cultures pures. L'utilisation des milieux sélectifs est possible pour la purification (Botton et al., 1990).

#### **2.2.2. Purification des isolats par la culture monospore (single spore) par scarification :**

Cette technique a pour objectif d'isoler une seule spore.

Le mode opératoire consiste à mettre un morceau d'implant de l'échantillon dans un flacon contenant 6 ml d'eau distillée ; après agitation au vortex, à l'aide d'une anse nous avons prélevé un peu de milieu puis nous l'avons étalé sur un côté de la boîte en faisant des allées et retour <scarification> .Après avoir flambé l'anse, nous avons prélevé à nouveau et scarifié une autre boîte .Les boîtes sont ensuite incubées à une température  $\pm$ 25°C.

Après 24 heures d'incubation, lorsque les spores commencent à émettre des tubes germinatifs, un prélèvement monosporal repiqués en boîte pétri contenant du PDA. Après 7 à 10 ours d'incubation, les colonies sont pures.

### 2.3. Méthode d'identification et caractérisation :

La détermination morphologique de l'espèce d'un *Fusarium Sp* repose sur l'observation de nombreuses caractéristiques anamorphiques sur des milieux de culture bien définis. Lorsque toutes les informations présentées ci-dessous sont recueillies. L'identification pourra être réalisée en utilisant la clé de Leslie et *al.* (2006).

#### Caractérisation macroscopique microscopique des isolats sur milieu PDA :

La culture de l'isolat sur PDA est étudiée pour l'appréciation de critères macroscopiques et plus tard microscopiques. On repique des explants de 5 mm de l'isolat dans des boîtes de pétri coulées avec du milieu PDA. On incube à température ambiante dans l'étuve. Après incubation, la caractérisation des espèces de *Fusarium* est basée sur les critères établis par Botton et *al.*, (1990) macroscopiques à savoir la densité, l'aspect, la pigmentation du mycélium, vitesse de croissance ainsi que microscopiques 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 périthèces. Les espèces appartenant au genre *Fusarium* ont été identifiées en utilisant les clés d'identification.

La description des espèces du genre *Fusarium* établie par, Lesslie et Summerell (2006) est également utilisée dans l'identification.

#### La conservation :

Les espèces identifiées ont été conservées comme suit: Des morceaux d'agar de 6 mm de diamètre découpés à partir de cultures fraîches sur milieu PDA de chaque isolat, ont été transférés aseptiquement dans des tubes à essai contenant PDA ; après incubation les isolats sont mis à 4°C. Les cultures conservées ont servi pour l'établissement d'une collection servant pour des études ultérieures (Botton et *al.*, 1990)

#### **2.4. Pathogénie et agressivité des espèces de *Fusarium* associées à la fusariose de l'épi.**

Un test d'inoculation *in vivo* a été effectué dans le but de comparer la pathogénie des principales espèces isolées entre elles, et d'étudier l'agressivité d'une collection d'isolats de *Fusarium* d'origines différentes (épi et collet). Avant de démarrer le test proprement dit

Les semences de diverses variétés de blé utilisées ont été préalablement désinfectées comme suit : lavées avec de l'eau distillée pendant 5 mn, désinfectées avec de l'éthanol (75%) pendant 30 s et puis dans une solution d'hypochlorite de sodium 1% pendant 1mn, suivi de deux rinçage à l'eau distillée stérile et séchées sur du papier filtre stérile. Par la suite, 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 sable, tourbe et de terreau (1 :1 :1 v/v/v), à raison de 3 semences par pot.

L'essai a été réalisé *In vivo* sous une photopériode de 16 h et une température de 21 à 25 °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. La pathogénicité des isolats est évaluée *in vivo* selon la méthode suivante :

##### **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 5 jours d'incubation, un fragment de 6 mm 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,2014)

**Figure 16** : Inoculation par fragments mycéliens.

#### **2.4.2. Notation des symptômes**

Les plants sont observés régulièrement pour suivre l'évolution et l'apparition des Symptômes l'évaluation de la sévérité des symptômes est exprimée selon une échelle de Notation..

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

- 0 : 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 morte.



(Kemoun ,2010)

**Figure 17:** Indice de sévérité de *Fusarium* sur des plantules des variétés de blé dur montrant les quatre niveaux d'attaque (1-5) comparés au témoin.

La réaction moyenne est estimée par le rapport suivant :

$$IS = (0 \times F_0 + 1 \times F_1 + 2 \times F_2 + 3 \times F_3 + 4 \times F_4 + 5 \times F_5) / N$$

Où IS : l'indice de sévérité de la maladie

F : nombre de plant pour chaque degré de l'échelle de notation de 0 à 5.

N : nombre total de plant utilisés

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  $\geq 4$

### 2.4.3. Analyse des données

L'expérience a été arrangée en bloc aléatoire complet avec trois répétitions au sein du bloc ;Tous les résultats ont subit des analyses statistiques en utilisant le logiciel Minitab 17.

-Un test ANOVA au seuil de 5% .

-une analyse hiérarchique des correspondances a deus facteurs

(Variétés / isolat) ;(5/6)+temoin

1- La comparaison des indices de la sévérité de la maladie (IS) a été estimée par :

\*L'analyse de la variance.

\* L'effet de la techniques d'inoculation et des isolats sur l'agressivité .

### III. Résultat Et Discussion

#### III.1. importance de la fusariose du blé dans la région de Laghouat :

Des prospections ont été réalisées durant la campagne 2013/2014 dans la région céréalière (El\_Assafia) de la wilaya de Laghouat durant les mois d'Avril/Mai nous avons constaté que la fusariose était très fréquente dans la région visitée.

Dans la région de El -Assafia nous avons pu noter l'apparition de l'épi rose, ce symptôme qui est typique dans les régions humides, et qui n'a jamais été identifié dans nos régions à un climat sec.

#### III.2 Résultats des isolements :

Les symptômes de la fusariose de l'épi observés ont été confirmés par l'isolement des champignons et leur identification.

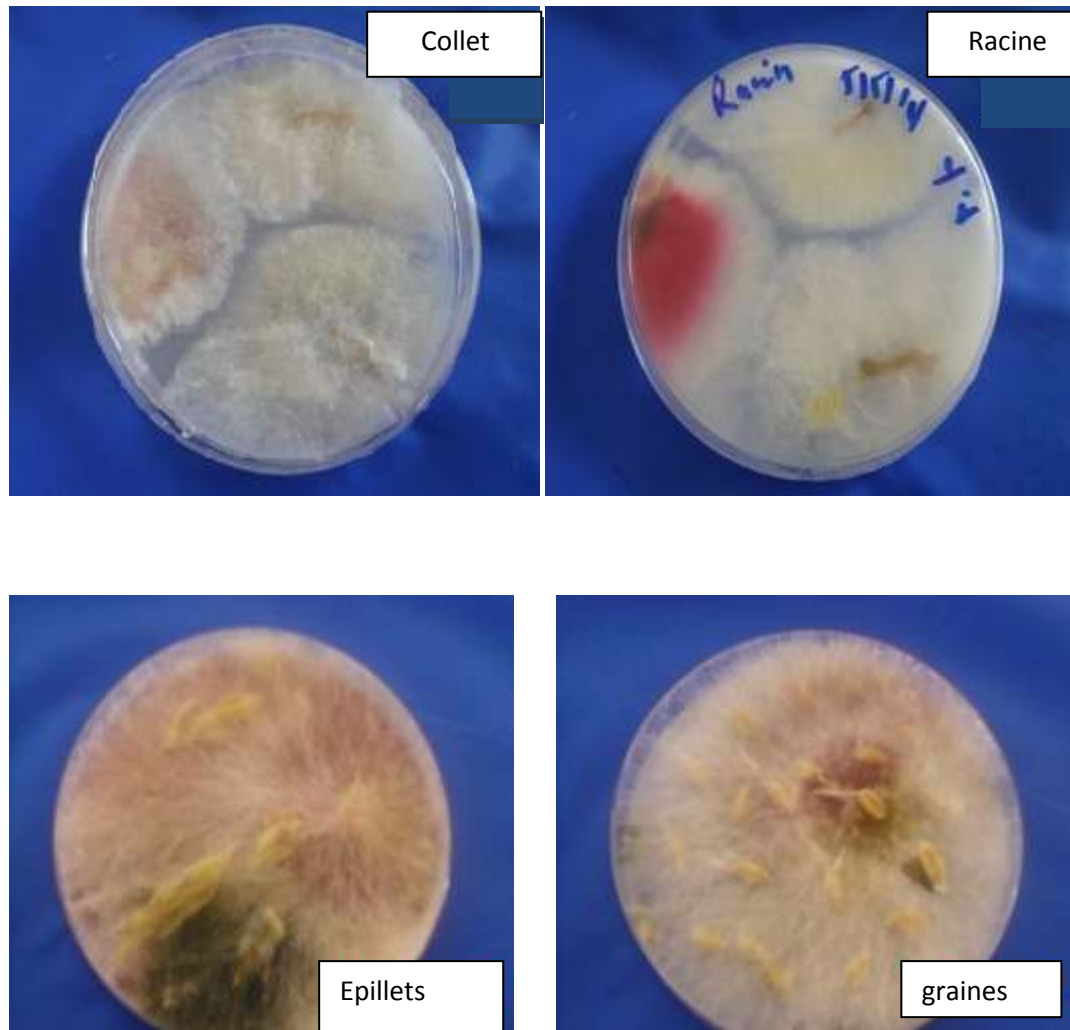
Grâce à cette méthode d'isolement nous avons obtenu une gamme d'isolats de *Fusarium*.

Les résultats ont montré que les épis collectés sont infestés principalement par le *Fusarium culmorum* . D'autres champignons saprophytes ont été aussi isolés à savoir *Alternaria* spp. Et *Penicillium* spp.....

#### A . Evaluation des techniques :

. La technique d'isolement à partir de plant avec désinfection superficielle sur PDA a donné de bons résultats.

Le PDA, étant un milieu riche et non sélectif, il favorise le développement d'un large spectre de moisissures envahissantes. qui vont gêner la sporulation du mycélium de certains *Fusarium*. Toutefois l'aspect cultural peut bien mieux être apprécié sur ce milieu .



**Figure 18** : Résultat des isolements des champignons de différentes parties de l'épi de blé sur milieu PDA

### III.3.Résultat de purification

#### III.3.1. Résultat de la purification

Les deux techniques de purification ont donné de bons résultats.

##### III.3.1. 1. Repiquage successif

Après incubation des boîtes de pétri, nous avons observé l'apparition et le développement des mycéliums (colonie de *Fusarium*) de couleur blanche à rose et parfois jaune, et des aspects qui diffèrent d'un isolat à une autre

##### III.3.1.2. Culture monospore

En culture monospore tous les isolats ont développé un aspect duveteux ressemblant à la culture initiale.

### III.4. Identification des isolats :

#### III.4.1 Description et identification morphologique des isolats :

Les isollements effectués à partir des épis et du collet, et des racines des plants de blé présentant les symptômes typiques de la fusariose de l'épi ainsi que la pourriture racinaire ont abouti à des isolats qui appartiennent au genre *Fusarium* (voir fig. 19 ;20)

Tableau 5 : résultats d'identification des espèces.

Isolat	Espèces
1	<i>F.culmorum</i>
2	<i>F.graminearum</i>
3	<i>F.pseudograminearum</i>
4	<i>Michrodochium nival</i>
5	<i>F.verticiloides</i>
6	<i>F. sambucinum</i>



Colonie de *Fusarium culmorum*

Gx400.zoomx5.6



Colonie de *Fusarium graminearum*

Gx400.zoomx9



Colonie de *Microdochium nival*

Gx400.zoomx4.3



Colonie de *Fusarium pseudograminearum*

Gx400 zoom x8.2

Figure 19 : caractères macroscopique et microscopique des espèces de *Fusarium* obtenu



Colonie de *Fusarium sambucinum*

Gx400 zoom x4.3



Colonie de *Fusarium Verticilloides*

Gx400.zoomx4.3

Figure 20 : caractères macroscopique et microscopique des espèces de *Fusarium* obtenu

### **Classification :**

Classe : Adenomycets

Ordre : Monilale

Famille : Tuberculariacées

Genre : *Fusarium*

**L'isolat N°3 :** cultivé sur PDA, cet isolat donne des colonies de couleur blanche et qui vire vers le marron. Le mycélium est aérien, abondant. La production d'un pigment marron dans l'agar est également observée. Les préparations microscopiques montrent la présence des macroconidies effilées, longues, étroites et arquées sur toute la longueur (fig.35). Elles mesurent (50-80) x (2.5-4) µm, et possèdent jusqu'à 7 cloisons alors que les microconidies sont absentes. Ces caractéristiques correspondent à l'espèce *Fusarium pseudograminearum* selon la clé de Leslie et Summerell (2006).

### **L'isolat N°4 :**

Sur PDA, les colonies sont de couleur rose, crème ; le mycélium est peu abondant, a un aspect duveteux, les macroconidies sont de taille petite en forme de faucille à paroi épaisse nettement pédicellées, cependant les microconidies sont absentes, les chlamydospores sont présentes et parfois abondantes formées solitairement en chaîne ou en amas. Ces caractéristiques correspondent au *Microdochium nival* selon la clé de Leslie et Summerell (2006).

**L'isolat N°5 :** cet isolat donne des colonies de couleur blanc à pêche ou rose saumon, devient violet. Le mycélium est aérien et dense, avec un aspect poudreux. Le revers peut être violet foncé, crème. Les microconidies ellipsoïdales sont disposées en chaîne elles ont un aspect fusiformes unicellulaire ou parfois uniseptées, leur taille est d'environ (5-12) x (1.5-2.5) µm. Les macroconidies sont rares, en fuseau allongé, avec 3 à 7 cloisons. Les chlamydospores sont absentes. Ces caractéristiques correspondent à l'espèce *Fusarium verticelloides* selon la clé de Leslie et Summerell (2006).

### L'isolat N°6 :

sur PDA les colonies sont duveteuse, d'abors blanche à jaunâtre ou rose ,le revers est rouge à pourpres ,le mycélium abondant ,le revers de la colonies est rose ,les macroconidies sont de taille petite à moyenne ont un aspect de faucille a paroi épaisse ,les microconodies sont absentes ,les chlamydozspores sont présentes et parfois abondantes formées solitairement en chaine ou an amas. ces caractéristiques correspondent à l'espèce *Fusarium sambucinum* selon la clé de Lesli e et Summerell (2006).

### Discussion

L' étude qui a porté sur l'observation macroscopique (aspect cultural, la coloration du mycélium, présence ou absence du pigment dans le milieu ainsi que a couleur) et microscopique (la forme et la taille des macroconidies, la présence ou l'absence des microconidies ou de chlamydozspores), ont abouti à la détermination des espèces .il s'agit de *Fusarium culmorum*, *F.pseudograminearum* , *F.Verticiloides* *F.sambucinum*. *Michrodochium nival*. L'identification des espèces fongiques étudiées a été basée principalement sur la clé de Leslie et Summerell (2006)., Dont La dominance de l'espèce *F.culmorum* est notée.

Plusieurs travaux sont en accords avec ces résultats : Parry et *al* .,(1995) ont conclu que *F.culmorum* et *F .graminearum* sont les espèce les plus dominantes sur le blé. Ces mêmes auteurs expliquent que la dominance de chaque espèce dans une région donnée est influencée par les conditions climatiques de cette dernière, surtout la température.

### III.5. Etude de la pathogénie des isolats et de la sensibilité des variétés :

#### III.5.1. L'agressivité des isolats sur les différentes variétés :

Afin d'évaluer l'agressivité des espèces de *Fusarium spp.* Un suivi est réalisé quotidiennement jusqu'à 15 jours après le semis, et des notations sont faites après arrachage des plants de blé. Ces dernières sont faites avec une échelle de notation de 0 à 5.

Pour le témoin non inoculée, durant la période de l'essai, aucun symptôme n'a été observé pour les plants inoculés, le début de l'apparition des symptômes est observée aux 7<sup>ème</sup> jours après le semis par un brunissement au niveau du collet, un rétrécissement des racines. La taille de la nécrose évolue avec le temps.

Un indice d'agressivité moyen est calculé pour chaque isolat, une variabilité dans l'indice d'agressivité moyen est notée pour les différents isolats sur les différentes variétés.

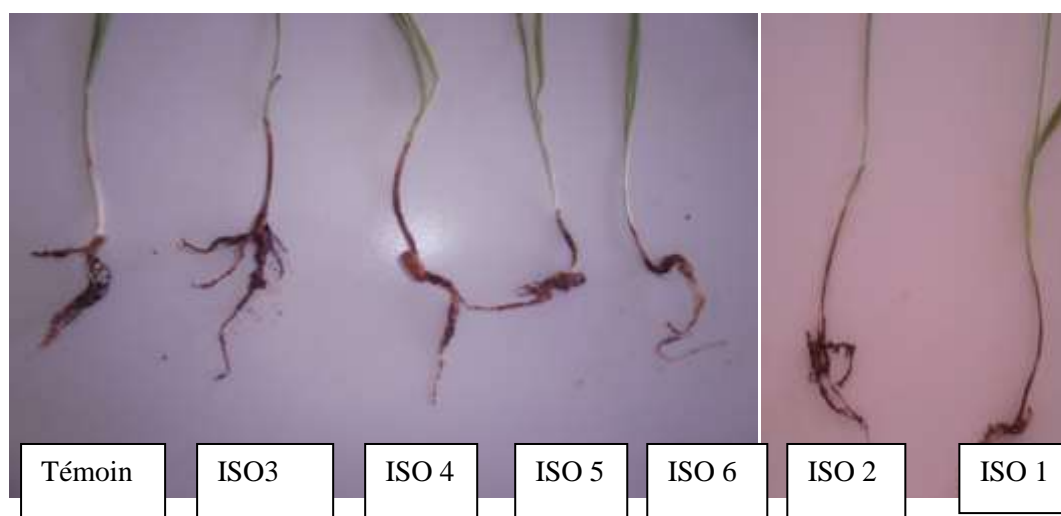
Les résultats obtenus ont montré aussi que l'agressivité des isolats testés sont hautement significatifs

**Tableau 6:** indice moyen de sévérité (%) des différents isolats sur les cinq variétés testées.

Isolat \ Variétés	Variétés				
	GTA/Dur	WAHA	CIRTA	ARZ	A.ABID
1	3.30	1.80	1.70	2.20	1.35
2	2.65	1.39	1.60	2	1.25
3	1.05	0.50	0.49	0.81	0.71
4	0.77	0.59	0.49	0.68	0.57
5	0.62	0.51	0.42	0.60	0.52
6	0.55	0.39	0.36	0.57	0.48
<b>Moyenne</b>	<b>1.49</b>	<b>0.863</b>	<b>0.84</b>	<b>1.14</b>	<b>0.81</b>

**Tableau 7** : listes des différentes isolats à testées .

N° d'isolat	Isolat	Espèce
1	BD11	<i>F.culmorum</i>
2	R <sub>2</sub> 14	<i>F.graminearum</i>
3	BD14	<i>F.pseudograminearum</i>
4	BD13	<i>Michrodochium nival</i>
5	BDA13	<i>F.verticiloides</i>
6	BDB13	<i>F. sambucinum</i>



**Figure 21** : illustration de la sensibilité de la variété Ain Abid vis-à-vis les différents isolats.



**Figure 22** : illustration de la sensibilité de la variété GTA vis-à-vis les différents isolats.

Le test ANOVA montre une différence hautement significative de l'effet de tous les isolats sur toutes les variétés (annexe.1)

L'études de l'agressivité des espèces de *Fusarium* a montré que les espèces *F.culmorum* et *F.graminearum* et *pseudograminearum* sont les plus agressives que le *Michrodochium nival*, *F.verticiloides* et *F.sambucinum*.

Les résultats ont montré aussi que l'indice de sévérité de la maladie est variable selon l'espèce. En effet, l'indice de sévérité varie de 1,35 à 3,30 pour l'espèce *F.culmorum*, de 1.25 à 2.65 pour l'espèce *F.graminearum*, de 0.50 à 1.05 pour l'espèce *F.pseudograminearum*. De 0.49 à 0.77 pour l'espèce *Le Michrodochium nival* Et pour toutes les autres espèces comprises entre 0.36 à 0.77 (tableau.6)

Le test d'inoculation du collet par fragment myceliens, a induit des indices de sévérité d'attaque variable selon les variétés. D'après l'analyse de la variance (ANOVA), les résultats obtenus sont hautement significatifs car :

la PROBA est  $< 0.01$  (annexe.1)

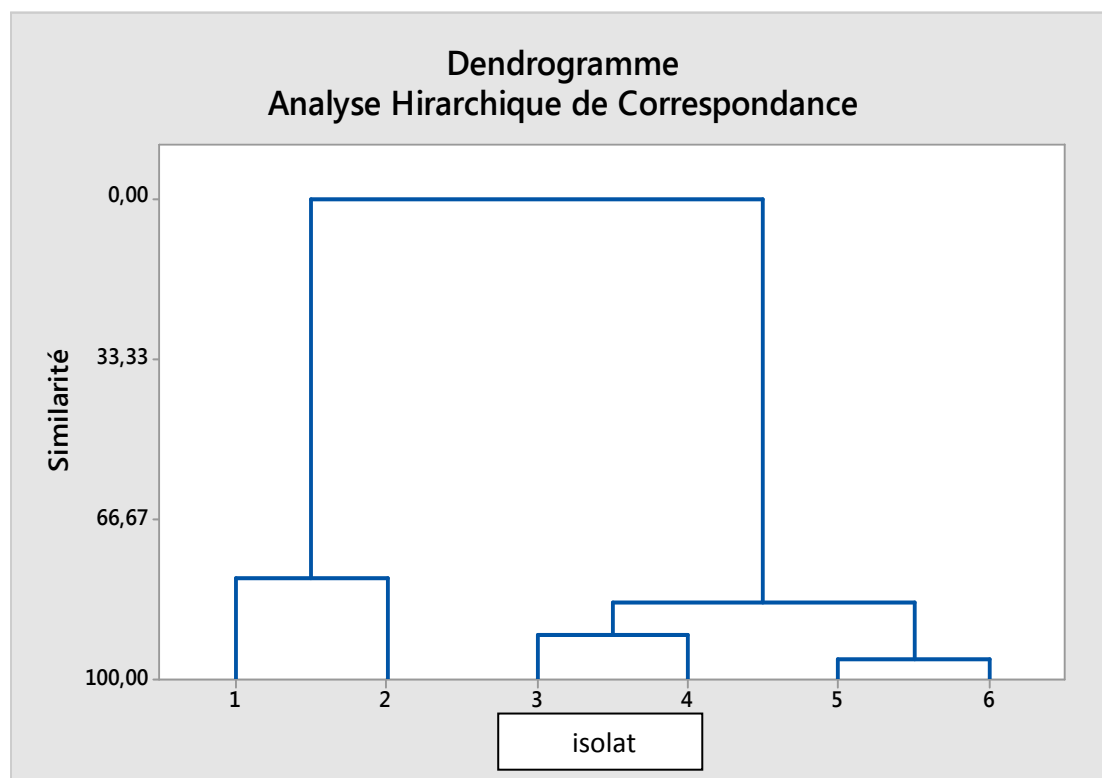
d'après l'analyse de ces résultats (degré d'agressivité des isolat sur les différentes variétés) par le test de Fischer, sont classées dans un ordre décroissant, avec un classement de traitement en 6 groupes hétérogènes A,B,C,D,E,F (annexe.2)

la comparaison des moyennes des isolats montre que pour toutes les variétés, l'isolat 1 présente un degré d'agressivité le plus élevé suivi par les isolat I2, I3, I4, I5, I6, à l'exception de la variétés Waha ou l'isolat 4 se range dans la troisième position d'agressivité (annexe.3).

L'analyse hiérarchique des correspondances montre la formation des 5 groupes à différents degrés de similarité, le premier groupe formé par l'isolat 5,6 présentent la plus forte similarité de 95.85%, suivi par le 2ème groupe formé par l'isolat 3 et 4 à 90% de similarité, ces deux groupes forment un troisième groupe à 83% de similarité, ce dernier présente 0% de similarité avec un quatrième groupe formé par l'isolat 1,2 qui présente 79% de similarité entre eux (Tab.8)

**Tableau 08** : Analyse hiérarchique de correspondances

Etape	Niveau de similarité	Nombre des isolats dans le nouveau groupe
1	95.85	2
2	90.87	2
3	83.75	4
4	79.00	2
5	0.000	6

**Figure 23** :Dendrogramme de l'Analyse hiérarchique de correspondances

### III.6. la sensibilité des variétés vis-à-vis le *Fusarium* :

Les variétés de blé ne se comportent pas de la même façon. Les moyennes des indices d'agressivité pour un même isolat permettent de classer les variétés en fonction de leur degré de résistance ou de sensibilité. La variété GTA DUR est plus sensible à tous les isolats testés avec un indice d'attaque de 1.49% en moyenne. La variété AIN ABID est moins sensible avec un indice d'attaque de 0.81 % en moyenne (tableau.9)

**Tableau 9** : Degrés de résistance des variétés testées.

Espèces	Variété	Sensibilité a la fusariose
BT	Arz	++++
	Ain Abid	+
	Cirta	++
BD	Waha	+++
	Gta Dur	+++++

**Discussion :**

D'après les résultats obtenus du test d'inoculation par fragment de mycélien les résultats montrent que l'isolat 1 est plus agressif que les autres isolats qui ont une agressivité réduite, ceci peut être expliqué par l'existence d'une corrélation entre la quantité des toxines produites et l'agressivité des isolats, par le rôle que jouent les (Trichothécènes B) dans l'agressivité des *Fusarium*.

beaucoup de travaux confirment nos résultats nous citons les résultats obtenus par les travaux de Kammoun-gargouri (2010) a montré que les espèces *F.culmorum* et *F.pseudograminearum* sont les plus agressives et que le *Microdochium nivale* moins agressif. Chakraborty et al.,(2010) ont inoculé les plantules de blé avec des isolats de *F.graminearum* et de *F.pseudograminearum*. les résultats obtenus ont montré que les isolats de *F.pseudograminearum* sont les plus agressifs. En étudiant l'agressivité de plusieurs espèces de *Fusarium*, vis-à-vis de la pourriture des racines, Fernandez et Chen (2005) ont rapporté que les deux espèces *F.culmorum* et *F.graminearum* sont plus agressives que l'espèce *F.avenaceum*. De plus, Smiley et al.,(2005) ont rapporté que les espèces *F.culmorum* et *F.pseudograminearum* peuvent engendrer des niveaux d'attaques élevés.

Tunali et al.,(2006) ont noté une pathogénicité élevée causée par les espèces. *F.culmorum* et *F.pseudograminearum* sur des plantules de blé.

Selon Smiley et al.,(2005), la pourriture racinaire du blé est causée par un complexe d'espèces fongiques comportant *F.pseudograminearum*, *F.culmorum*, *F.avenaceum* et *Microdochium nivale*. la dominance de chaque espèce dans ce complexe diffère selon les régions géographiques. Cependant les deux espèces majeures sont *F.pseudograminearum* et *F.culmorum*. *F.pseudograminearum* est l'espèce

dominante responsable de la pourriture racinaire du blé aux Etats unis et en Australie (Smiley et *al.*,2005 ;Burgess et *al.*,2001),tandis que *F.culmorum* est le principale agent causal de cette maladies en Afrique du nord (Chekali et *al.*,2010 ;Boughaleb et *al.*,2006 ;Gargouri,2003 ;Mergoum,1997).

Selon Chekali et *al.*,(2010), *F.culmorum* est considérée comme le principale espèce qui cause la pourriture racinaire en Afrique du nord.

### **Conclusion :**

**La première partie** de cette étude a visé l'isolement et l'identification des espèces pathogènes qui lui sont associés. Il s'agit d'une étape indispensable pour lutter contre cette maladie, surtout que les espèces associées à la fusariose de l'épi sont susceptibles de coloniser les grains de blé et d'en altérer la qualité par la production des mycotoxines. Suite à des prospections, la fusariose de l'épi du blé.

on peut en déduire l'ampleur de cette maladie sur la céréaliculture en Algérie

En se basant sur les caractéristiques morphologiques des agents pathogènes

l'agent responsable de la fusariose de l'épi . Toutefois, la dominance d'une espèce donnée varie d'une année à une autre, ainsi le développement de la fusariose de l'épi devrait être évalué régulièrement dans la région céréalière où les conditions climatiques peuvent être favorables à son apparition

La deuxième partie de ce travail a porté sur l'étude de la pathogénie et de l'agressivité des principales espèces fongiques isolées sur des plantules de blé.

Toutefois la technique d'inoculation par fragment mycélien semble être plus simple et demande moins de temps. Les résultats obtenus montrent l'uniformité de la technique d'inoculation par fragments mycéliens. Cette dernière a été adoptée pour réaliser les tests de pathogénie. Cette étude a montré aussi que l'agressivité des isolats testés a varié entre les espèces.

. Les résultats obtenus ont montré aussi qu'il ya des différences entre l'agressivité des isolats ; Plusieurs études sont en accord avec ses résultats.

Suite à ces essais, six isolats de *Fusarium* , ayant montré une différence des indices de sévérité, ont été utilisés pour étudier la sensibilité variétal de cinq cultivars locaux de blé dur et blé tendre à la fusariose de l'épi.

Les résultats ont montré que toutes les variétés testées sont sensibles à cette maladie., la culture de ces variétés dans les zones favorables au développement de la fusariose favorise la contamination des grains par ces champignons toxigènes.

Notre travail offre des perspectives dans différentes directions :

- ✓ il est intéressant de pousser les études pour une connaissance globale des différentes espèces responsable de la fusariose de l'épi en Algérie.
  
- ✓ Il serait souhaitable d'étudier le développement et la distribution de la fusariose de l'épi du blé sur plusieurs années. De plus, pour évaluer l'ampleur de cette maladie sur le rendement, il serait préférable d'estimer les pertes de production de la maladie dans les principales régions céréalières;
  
- ✓ Approfondir les recherches sur la sensibilité variétal du blé à la fusariose de l'épi dans le but de déterminer la resistance variétale à la maladie. C'est une tâche est très utile en matière de lutte contre cette maladie.
  
- ✓ Mettre en place un système de contrôle et de surveillance de la contamination du blé par les mycotoxines. Cela permet sans doute de garantir la qualité et l'innocuité des produits céréaliers largement consommés en Algérie.
  
- ✓ En dernier lieu ,la prévention contre le développement de ces champignons phytopathogène et toxinoène ,qui nécessite le formation et sensibilisation appropriés aux agriculteurs .

## Annexes

### Annexe 1 : analyse de la variance de différentes variétés testé en fonction de isolats

Analyse de variance. De la variété GTA Dur en fonction de 6 Isolats

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	20.9226	5	4.18452	20.01	0.000

Analyse de variance. De la variété Waha en fonction de 6 Isolats

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	5.1310	5	1.0265	17.59	0.004

Analyse de variance de la variété Cirta en fonction de 6 Isolats

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	5.90680	5	1.18136	19.02	0.001

Analyse de variance: de la variété ARZ en fonction de 6 Isolats

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	8.40040	5	1.68008	14.79	0.000

Analyse de variance de la variété Ain. Abid en fonction de 6 Isolats

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	2.23720	5	0.447440	15.67	0.0036

## Annexe 2 :

La répartition des groupes des isolats selon le test de Fischer sur les différentes variétés :

### 1-GTA DUR

Isolat	Moyenne	Groupement
I1	3.30	A
I2	2.65	B
I3	1.05	C
I4	0.77	D
I5	0.62	E
I6	0.55	F

### 2-Waha.

Isolat	Moyenne	Groupement
I1	1.80	A
I2	1.39	B
I4	0.59	C
I5	0.51	D
I3	0.50	E
I6	0.39	F

### 3-CIRTA

Isolat	Moyenne	Groupement
I1	1.70	A
I2	1.60	B
I4	0.49	C
I3	0.49	D
I5	0.42	E
I6	0.36	F

## Annexe 2 (suite)

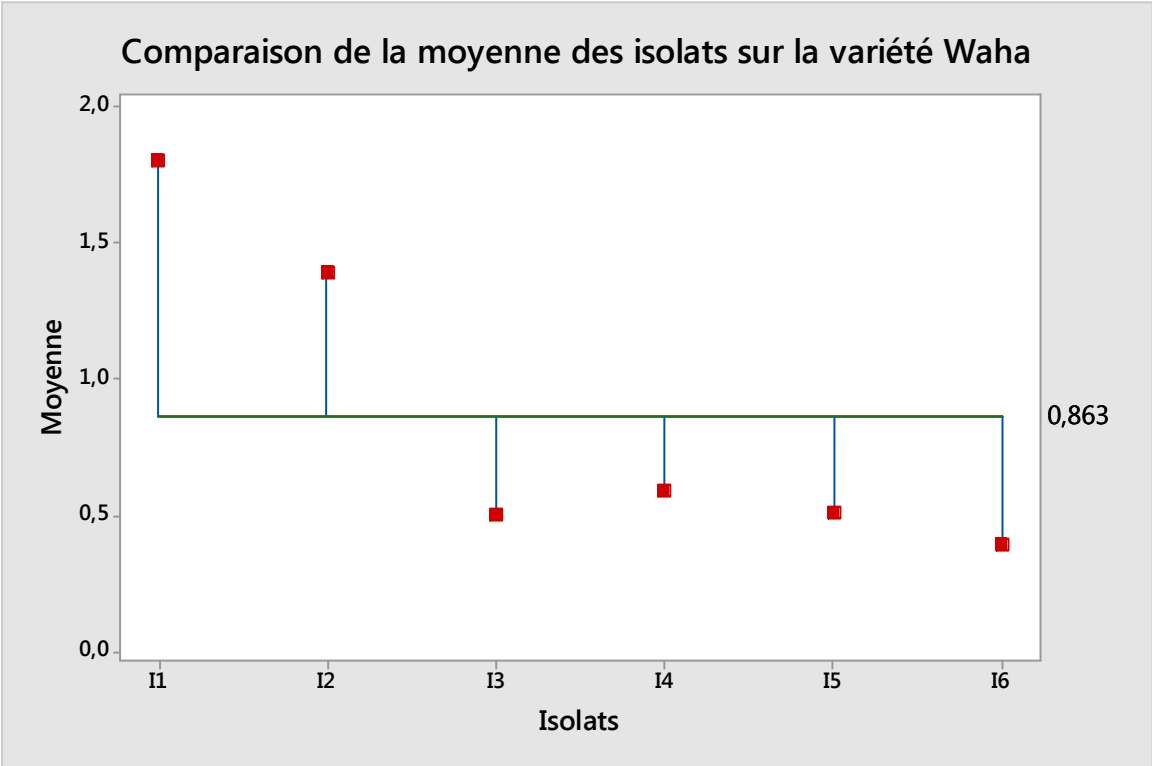
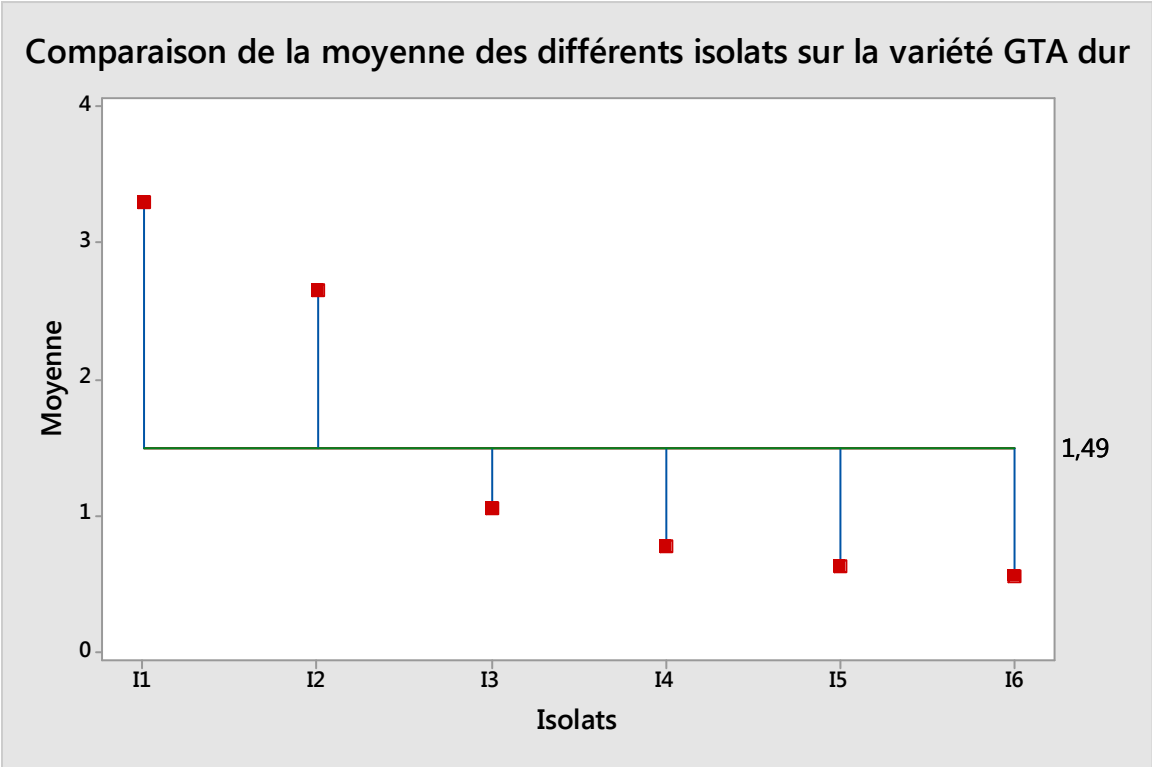
### 4-ARZ

Isolat	Moyenne	Groupe ment
I1	2.20	A
I2	2	B
I3	0.81	C
I4	0.68	D
I5	0.60	E
I6	0.57	F

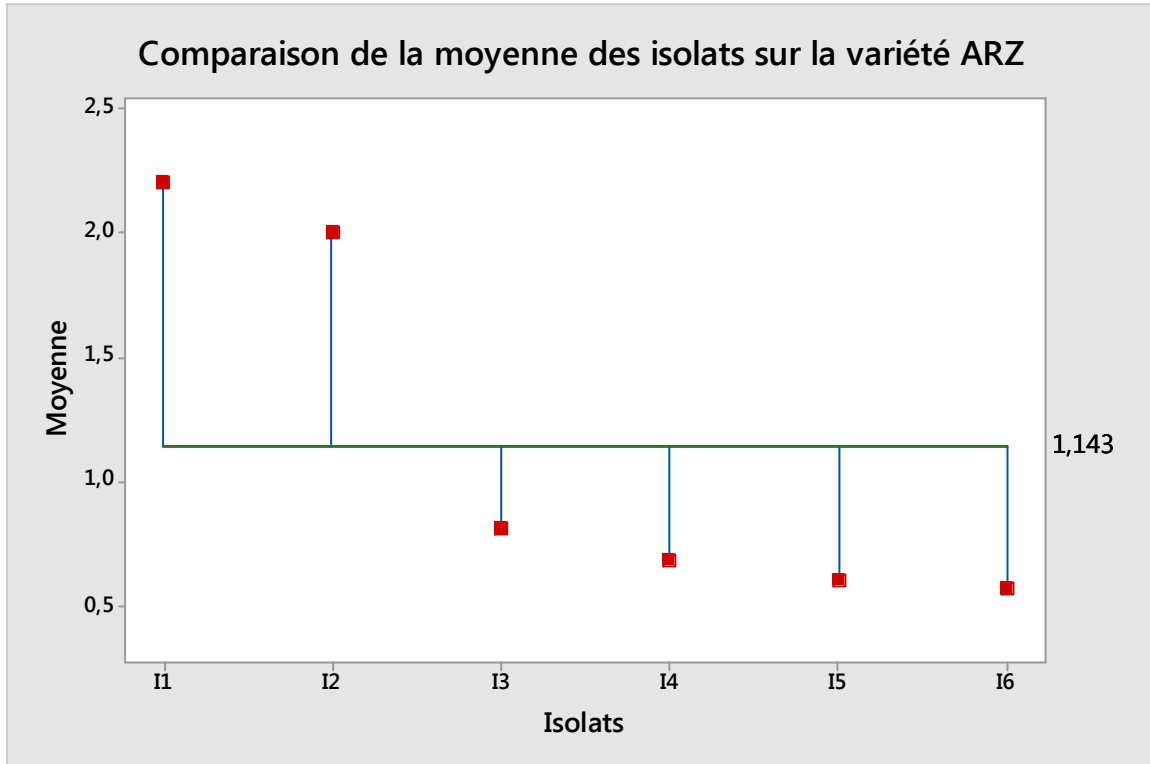
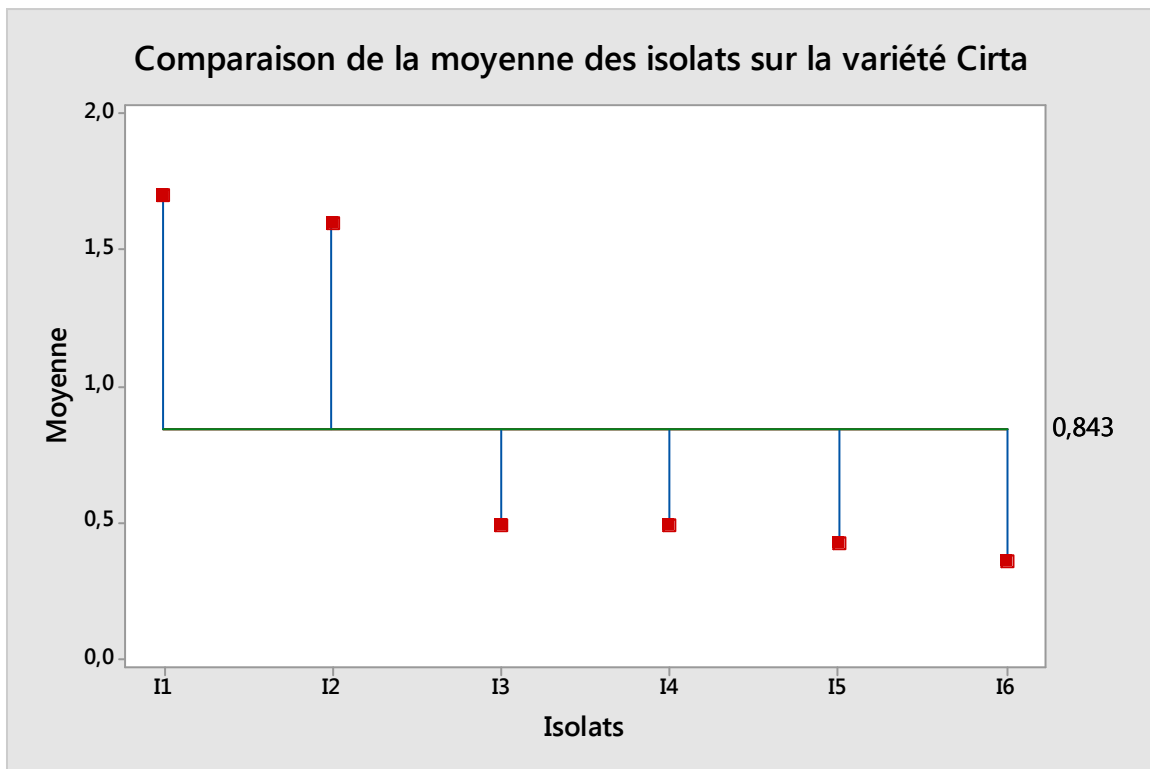
### 5-A.ABID

Isolat	Moyenne	Groupe ment
I1	1.35	A
I2	1.25	B
I3	0.71	C
I4	0.57	D
I5	0.52	E
I6	0.48	F

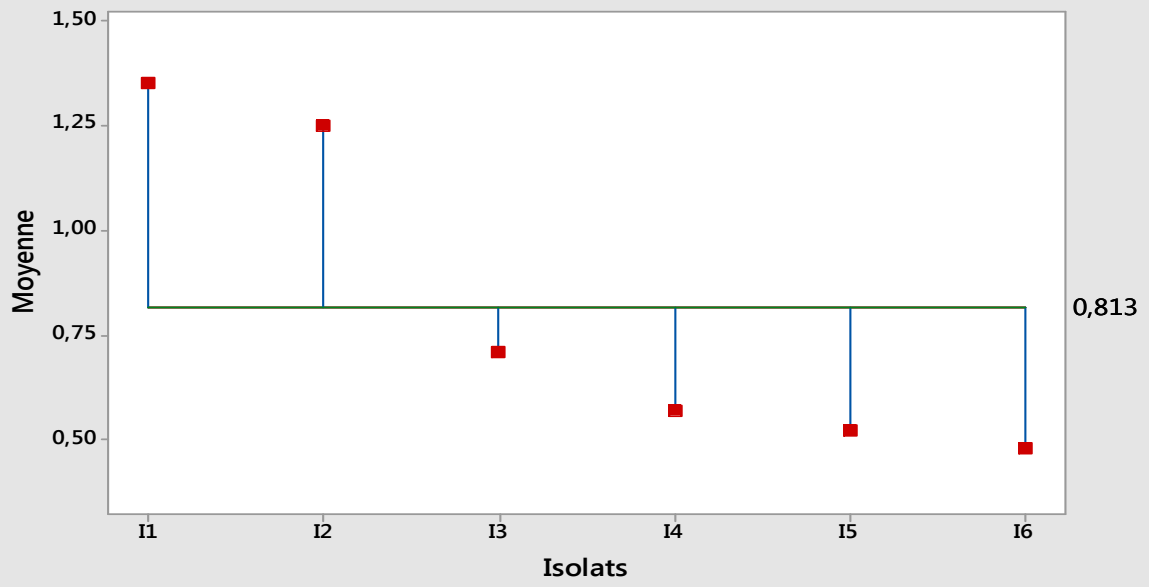
**Annexe 3 : comparaison de la moyenne des différents isolats sur les 5 variétés.**



### Annexe 3(suite)



### Comparaison de la moyenne sur la variété Ain Abid



**Aouli,S.et Douici-Khalfi A.**2009.Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie .ITGC.pp.10-15

**Arseniuk E., Goral G. & Czembor H.J.** 1993. Reaction of triticale, wheat and rye accessions to graminaceous *Fusarium* spp. infection at the seedling and adult plant growth stages. *Euphytica* 70, 175-183p.

**Arsan MR., Eraky Amal MI** . 2011. Aggressiveness of certain *Fusarium graminearum* isolates on wheat seedlings and relation with their trichothecene production. *Plant Pathology* ,36-41

**AFSSA, 2009**, “Evaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale. Rapport synthétique.

**Audenaert K, Van Broeck R, Bekaert B, De Witte F, Heremans B, Messens K, Höfte M, Haesaert G.** (2009). *Fusarium* head blight (FHB) in Flanders: population diversity, inter-species associations and DON contamination in commercial winter wheat varieties. *European Journal of Plant Pathology* 125, 445–458.

**Bai GH, Desjardins AE, Plattner RD,** 2001. Deoxynivalenol-nonproducing *Fusarium graminearum* causes initial infection, but does not cause disease spread in wheat spikes. *Mycopathologia* 153, 91–98.

**Bergstrom G.C. et Shields E.J.,** (2002). Atmospheric spore dispersal and regional epidemiology of the *Fusarium* head blight fungus. *Phytopathology* pp 92-93

**Bouas ,A.,Hallias ,R.,Vallade ,S.,Verdierv , J.,**2012.céréales :symptômes de piétin échaudage et présence de fusariose du plateau de tallage .ARVALIS-Institut DU Végétal.

**Botton R, Breton A, Fevre M., Guy PH., Larpent J.P. et Veau P.**1985. Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle. Biotechnologies. Masson, p139 à 145.

**Botton.B., Bretton.A., Fevre M., Guy P., Larpent JP et Veau P.** (1990). « Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle ». 2eme éd, Paris : Masson. 512 p.

**BOTTALICO A., PERRONE G.** 2002 .« Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe ». *European Journal of Plant Pathology*. Vol. 108, n° 7, p. 611–624

**Boutigny ,A.**2007. «Etude de l’effet de composés du grain de blé dur sur la régulation de la voie de biosynthèse des trichotécenes B:purification de composés inhibiteurs ,analyse des mécanismes impliqués »Thèse de doctorat .Université Bordeaux1.202p.

- Boughaleb ,N.,Souli,M.,Karbous ,B et Mahdjoub,M.E.L.**2006.Identification et repartition géographique des fusariose affectant l'épi et le pied du blé dans certains regions du Nord de la Tunisie .EPPO Bulletin 36,51.
- Burgess,L.W.,Summerell ,B.A.et al** .2001.laboratory manuel for *Fusarium* research ,3<sup>rd</sup> edn.Sedney ,Australia,University of Sedney and Botanical Garden ,pp133
- Brennan JM, Fagan B, Van Maanen A, Cooke BM, Doohan FM.** (2003). Studies on *in vitro* growth and pathogenicity of European *Fusarium* fungi. *European Journal of Plant Pathology* 109, 577–587.
- Brown NA, Urban M, Van De Meene AML, Hammond-Kosack KE.** 2010. The infection biology of *Fusarium graminearum*: Defining the pathways of spikelet to spikelet colonisation in wheat spikes. *Fungal biology* 114, 555-571.
- Castegnaro M., Pfohl-Leszkowicz A.,** (2002), Les mycotoxines : contaminants omniprésents
- Champeil A., Dore T. & Fourbet J.F.** 2000 *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, 1389-1415p.
- Chermette. R., Bussieras.J.** (1993). *Parasitologie vétérinaire : Mycologie*. Edité par le Service de Parasitologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Maisons-Alfort. chez le blé tendre ». *Agronomie* 13, 829-833.
- Chekali,S.,Gargouri,S.,Paulitz,T.et al** .2010.effects of *fusarium culmorum* and water stress on durum wheat in Tunisia ,p718-725.
- Chakraborty ,S.,Obanor ,F.,Westcott,R et Abeywickrama,K.**2010.wheat crown rot pathogens *Fusarium graminearum* and *F.pseudograminearum* lack specialization .*phytopathology*,p1065-1075
- Clement.G., PRAT.** (1970). *Les céréales*. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. p. 351-360.
- Cook, R.J.** 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.

- Diamond H. & Cooke B.M.** (2003) Preliminary studies on biological control of the *Fusarium* ear blight complex of wheat. *Crop Protection*, 22, 99-107.
- DiMello J.P.F., Parker J.K., MacDonald A.M.C., Placinta C.M.**, (1997), *Fusarium*, Diplôme de Magister. Constantine. Université de Mentouri. 166 p.
- Doohan F.M., Brennan J., Cooke B.M.** 2003. Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. *European Journal of Plant Pathology* 109, 755–768.
- F.R.E.D.E.C.** 2002. les principales maladies du blé transmises par les semences station d'étude sur la lutte biologique, intégrée et raisonnée .ed. Décembre 2002. Loos-En-Gohelle. 4p.
- Fermendez, M.R et Chen ,Y.** 2005. pathogenicity of *Fusarium* species of different plant parts of spring wheat under controlled conditions . *Plant Diseases* , p164-169.
- Fox E.M., Howlett B.J.** (2008). Secondary metabolism: regulation and role in fungal biology. *Current Opinion in Microbiology* 11, 481–487.
- Fraaij L., Shaner G., Bergstrom G., Gilbert J., Pedersen W., Dill-Macky R, Corwin B.**, *Fusarium* head blight and related mycotoxin contamination in wheat. *Food and Chemical*
- Gargouri, S.**, 2003. Evaluation de l'incidence de la pourriture du pied et étude de la diversité génétique de la populations des espèces de *Fusarium* associées à la maladie .these de Doctorat , Université de Tunis El Manar, faculté des sciences de Tunis Département De Biologie .Tunis, 108pp
- Gosman N, 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.
- Guenther J., Trail F.** (2005). The development and differentiation of *Gibberella zeae* (anamorph: *Fusarium graminearum*) during colonization of wheat. *Mycologia*, 97(1), 229-237.

**Horberg H.M.**, (2002). *Patterns of splash dispersed conidia of Fusarium poae et Fusarium culmorum*. European Journal of Plant Pathology, 108: 73-80.

**Kammoun-Gargouri,L.**2010.la fusariose de l'épi de blé en tunisis :Identification ,pathogénie et chémotypage des espèces toxigène .thèse de doctorat ,université de tunis El Manar ,faculté des sciences de Tunis Département De Biologie.Tunis,124pp.

**Kellou,R.k.**2008.Annalyse du marché algerien du blé dur en Tunisie : identification ,pathogénie et Chémotypage des espèces toxigènes .Thèse de Doctorat,université de Tunisie El Manar ,faculté des sciences de Tunis Département de Biologie.Tunisie ,124pp.

**Kolmer ,J.,Chen,X.et Jin,Y.**2009.Diseases which challenge global wheat production –the wheat rusts .,wheat science and trade .pp.89-124.

**Larone, D. H.**1995. *Medically Important Fungi - A Guide to Identification*, 3rd ed. ASM Press, Washington,500p.

**Langseth W., Rudberget T.**, (1999), The occurrence of HT-2 toxin and other trichothecenes in Norwegian cereals, Mycopathologia, 147 (3), 157-165

**Leslie J. F., Summerell B. A., Bullock S.** The Fusarium Laboratory Manual. First edition. Blackwell Publishing, 2006. 414 p.

**Leonard.KJ., Bushnell.WR.** (2003). *Fusarium* head blight of wheat and barley. St. Paul, U.S.A.: APS Press

**Marshall,D.**,2009.Diseases which challenge gobal Wheat production-powedery mildew and leaf and head blights.,Wheat science and trade .pp.155-169

**Mergoum,M.** 1997.evaluation of durum wheat germplasm to root (*Fusarium culmorum* and *Cochliobolus sativus*)in Morocco.plant Research Newsletter 109:11-14

**Osborne L. E., Stein J. M.** 2007. « Epidemiology of Fusarium head blight on small-grain cereals ». International journal of food microbiology Vol. 119, n° 1-2, 103-108p.

**Parry .D., Jenkinson. P., Mcleod. L.** 1995.« *Fusarium* Ear Blight (scab) in Small-Grain Cereals - a Review ». Plant Pathology. avril 1995. Vol. 44, n° 2, p. 207-238.

**Pereyra S, Dill-Macky R, Sims AI.**2004. Survival and Inoculum Production of *Gibberella zeae* in Wheat Residue. *Plant Disease* 88, 724-730.

**Pirgozliev S.R., Edwards S.G., Hare M.C. & Jenkinson P.** (2003) Strategies for the control of *Fusarium* head blight in cereals. *European Journal of Plant Pathology*, 109, 731-742.

**Placinta C.M., D’Mello J.P.F., MacDonald A.M.C.,** 1999, A review of worldwide contamination of cereal grain and animal feed with *Fusarium* mycotoxins, *Anim. Feed Sci.*

**Prandini A., Sigolo S., Filippi L., Battilani P., Piva G.,** 2009. Review of predictive models for *Fusarium* head blight and related mycotoxin contamination in wheat. *Food and Chemical Toxicology* 47(5), 927–931.

**Proctor RH., Desjardins AE., McCormick SP., Plattner RD., Alexander NJ., Brown DW,** 2002. Genetic analysis of the role of trichothecene and fumonisin mycotoxins in the virulence of *Fusarium*. *European Journal of Plant*.

**Rocha, O., Ansari, K & Doohan, FM** (2005) Effects of trichothecene mycotoxins on eukaryotic cells: a review. *Food Additives and Contaminants* 22: 369-378.

**Richard, M.**2004.santé de l’environnement .la fusariose chez les céréales dans le Canada atlantique agriculture et agroalimentaire canada. Centre de recherche sur les cultures et les bestiaux .440.université AVE ., CHARLOTTETOWN.MARS 2004

**Sayoud ,R .,El zzahiri,B. ,Bouznad,Z.**1999.les maladies des céréales et des légumineuses alimentaire au maghreb. itgc alger,63p.

**Schisler D.A., Khan N.I., Boehm M.J. & Slininger P.J.** (2002) Greenhouse and field evaluation of biological control of *Fusarium* head blight on durum wheat. *Plant Disease*, 86, 1350-1356.

**Schwarz PB., Jones BL., Steffenson BJ.,** 2002. Enzymes associated with *Fusarium* infection of barley. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 60(3), 130-134.

**Simon,H.,Codaccioni,P.et Lecoeur X.,**1989.produire des céréales à paille .Agriculture d'aujourd'hui,sciences,techniques ,application.pp.168-200.

**Simpson DR., Weston GE., Turner JA., Jennings P., Nicholson P.,** 2001. Differential control of head blight pathogens of wheat by fungicides and consequences for mycotoxin contamination of grain. *European Journal of Plant Pathology* 107, 421-431.

**Smiley ,R .W.,Gourlie ,J.A.,Easley,S.A.,et Patterson ,L.M.**2005.Pathogenicity Of Fungi Associated with the crown rot complex in Oregon and Washington.*Plant Diseases* ,949-957.

**Smith J.F., di Menna M.E., McGowan L.T.,** (1990), Reproductive performance of coopworth ewes following oral doses of zeralenone before and after mating, *J. Reprod. Fert.*, 89, 99-106.

**Teich A.H., Shugar L. & Smid A.** (1987) *Soft white winter wheat cultivar field-resistance to scab and deoxynivalenol accumulation. Cereal Research Communications.* 15, 109-114.

**Trail F., Xu H., Loranger R., Gadoury D.,** Physiological and environmental aspects of ascospore discharge in *Gibberella zeae* (anamorph *Fusarium graminearum*), *Mycologia*, Volume 94, Issue 2, 2002, Pages 181-189. .

**Trail F.(2009).** For blighted waves of grain: *Fusarium graminearum* in the postgenomics era. *Plant Physiology* **149**(1), 103-110.

**Tunali,B.,NICOL.,Yelda Erol ,F et altiparmak ,G.**2006.pathogenicity of Turkish crown and hesd scab isolates on stem bases on winter wheat under greenhouse conditions. *journal of plant pathology* 5: 143-149.

**Wagacha,J.MetMuthomi,J.W.** 2007. *Fusarium culmorum*.infectionprocess,mechanismsof mycotoxin production and their role in pathogenesis in wheah.crop protection 26:877-855.

**Walter S, Nicholson P, Doohan FM.** (2010). Research review: Action and reaction of host and pathogen during *Fusarium* head blight disease. *New Phytologist* 185, 54–66.

**Weise ,M.V.**1987.compendium of wheat diseases.Third printing1998,APS Press:42-43.

**Widstrom N.W.,** (1992). Aflatoxin in developing maize: interaction among involved biota and pertinent econiche factors. Handbook of Appl. *Mycology* : mycotoxins in ecological systems, 5,23-58.

**Xu XM, Nicholson P.** 2009. Community ecology of fungal pathogens causing wheat head blight. *Annual Review of Phytopathology* 47, 83–103.

**Zaatri.M. (1987).** Contribution à l'étude de l'arthracnose du pois-chiche : Aspect de la résistance et race physiologique. Thèse Ing.Agro.Inst.Nat.Agro. El-Harrach.

**Zillinsky,F.J.**1983.Maladies communes des céréales à paille .Guide d'identification CIMMYT.141p.