

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE -ENSA-
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Agronomiques

Option : Phytopathologie: Amélioration génétique de la résistance des plantes aux
maladies.

Thème

**La fusariose de l'épi du blé: Caractérisation de quelques espèces
de *Fusarium* spp, et essai de comportement de quelques
variétés et lignées de blé tendre algériennes et françaises.**

Réalisé par DOUICI-KHALFI Assia

Président de thèse M^{me} MEKLIHE.L. Professeur. ENSA - El Harrach (Alger).

Directeur de thèse Mr BOUZNAD. Z. Professeur. ENSA- El Harrach (Alger).

Examineurs M^{elle} BOUREGHDA .H. Maître de conférences. ENSA- El Harrach (Alger)

M^F GUEZLANE .A. Maître de conférences. ENSA-El Harrach (Alger)

Année Universitaire 2010/2011

Dédicaces

A LA MEMOIRE DE MES GRANDS PARENTS

A TOUTE MA FAMILLE

A TOUTES MES AMIES

A TOUS CEUX QUI M'ONT AIDEE ET ENCOURAGEE

Ce travail est dédié

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier Mr BOUZNAD. Z, Professeur à l'ENSA El Harrach pour m'avoir soutenue et guidée tout au long de ce travail.

J'exprime ma gratitude à Mme MEKLICHE. L, Professeur à l'ENSA El Harrach de me faire l'honneur d'assurer la présidence du Jury. Je la remercie pour tout l'intérêt qu'elle a porté à mon travail.

Je tiens à remercier vivement Melle BOUREGHDA.H, Maître de conférences à l'ENSA El Harrach pour l'intérêt qu'elle a bien voulu accorder à mon travail en acceptant de l'examiner. Aussi, je souhaite lui exprimer toute ma reconnaissance pour son soutien pédagogique, ses conseils et ses critiques avisés qui ont contribué fortement à éclairer mon chemin.

Je tiens à remercier vivement Mr GUEZLANE. A, Maître de conférences à l'ENSA El Harrach pour l'intérêt qu'il a bien voulu accorder à mon travail en acceptant de l'examiner. Aussi, je souhaite lui exprimer toute ma reconnaissance.

Mes vifs remerciements s'adressent à Mr TROTTEY. M, chargé de recherche à l'INRA de Rennes (France) pour l'encadrement de mon travail. Je souhaite lui exprimer aussi ma profonde reconnaissance pour son grand soutien et pour m'avoir facilité les choses en toutes circonstances.

Je remercie également Mme BOUCHEK. K, Mr BERNARD. R, chercheurs à l'INRA de Rennes pour l'aide et le soutien qu'ils m'ont apporté durant mon travail.

J'adresse mes remerciements et ma reconnaissance à tous ceux qui n'ont pas été cités et que je porte dans mon cœur pour toute l'aide et les bonnes choses qu'ils m'ont apportées dans les moments de joie comme dans les moments de doute. Merci à tous!!!

SOMMAIRE

| | Page |
|---|-------------|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| I DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES | 3 |
| I.1. La culture des céréales | 3 |
| I.1.1. Répartition et importance économique des céréales | 3 |
| I.1.2. Principales maladies des céréales | 5 |
| I.2. La fusariose de l'épi | 5 |
| I.2.1. Importance de la maladie | 5 |
| I.2.2. Agents pathogènes responsables de la maladie | 6 |
| I.2.3. Symptômes de la maladie | 8 |
| I.2.4. Epidémiologie de la maladie | 9 |
| I.2.5. Production de mycotoxines | 10 |
| I.2.5.1. Effet des trichothécènes sur les plantes | 11 |
| I.2.5.2. Effet des trichothécènes sur l'homme et les animaux | 11 |
| I.2.6. Réglementation | 12 |
| I.2.7. Contrôle des fusarioses de blé | 12 |
| II MATERIEL ET METHODES | 16 |
| II.1. Matériel biologique | 16 |
| II.1.1. Matériel fongique | 16 |
| II.1.1.1. Isolats utilisés pour la caractérisation morphologique des espèces de <i>Fusarium</i> spp | 16 |
| II.1.1.2. Isolats utilisés pour l'étude de l'agressivité de <i>F. culmorum</i> sur deux variétés algériennes | 16 |
| II.1.1.3. Isolats utilisés pour l'étude du comportement des variétés françaises | 17 |
| II.1.1.4. Isolats utilisés pour l'étude du comportement des lignées recombinantes françaises | 17 |
| II.1.2. Matériel végétal | 20 |
| II.1.2.1. Matériel végétal pour l'étude de l'agressivité de <i>F. culmorum</i> (variétés algériennes) | 20 |
| II.1.2.2. Matériel végétal utilisé pour l'étude de comportement variétal (variétés françaises) | 20 |
| II.1.2.3. Matériel végétal utilisé pour l'étude du comportement des lignées recombinantes (lignées françaises) | 20 |
| II.2. Dispositif expérimental | 21 |
| II.2.1. Dispositif expérimental pour l'étude de l'agressivité de <i>F. culmorum</i> (variétés algériennes) | 21 |
| II.2.2. Dispositif expérimental pour l'étude du comportement variétal (variétés françaises) | 21 |
| II.2.3. Dispositif expérimental pour l'étude du comportement des lignées recombinantes (lignées françaises) | 21 |
| II.3. Méthode de caractérisation morphologique des espèces de <i>Fusarium</i> spp. | 21 |
| II.3.1. Préparation des isolats | 22 |
| II.3.2. Observation des spores | 22 |
| II.3.3. Critères d'identification des isolats | 22 |
| II.4. Techniques d'inoculation utilisées dans l'étude de l'agressivité de <i>F. culmorum</i> sur deux variétés algériennes et dans les études de comportement | 22 |

| | | |
|---------------|---|-----------|
| | des variétés et des lignées recombinantes françaises | |
| II.4.1. | Préparation de l'inoculum | 22 |
| II.4.2. | Inoculation artificielle des variétés et des lignées recombinantes | 23 |
| II.4.2.1. | Inoculation artificielle des variétés algériennes de l'étude de l'agressivité de <i>F. culmorum</i> | 23 |
| II.4.2.2. | Inoculation artificielle des variétés et des lignées françaises des études de comportement | 24 |
| II.5. | Notations et estimation des symptômes des variétés et lignées des différentes études | 25 |
| II.6. | Analyse de la récolte | 26 |
| II.6.1. | Comptage et pesée des grains | 26 |
| II.7. | Analyse statistique | 26 |
| III. | RESULTATS ET DISCUSSION | 27 |
| III.1. | Caractérisation morphologique des différents <i>Fusarium</i> spp de l'épi et du collet | 27 |
| III.1.1. | Description des isolats obtenus des épis | 27 |
| III.1.1.1. | <i>Fusarium culmorum</i> (FCe) | 27 |
| III.1.1.2. | <i>Fusarium verticilloides</i> (FVe) | 27 |
| III.1.1.3. | <i>Fusarium avenaceum</i> (FAe) | 27 |
| III.1.2. | Description des isolats obtenus du collet | 28 |
| III.1.2.1. | <i>Fusarium graminearum</i> (FGc) | 28 |
| III.1.2.2. | <i>Microdochium nivale</i> (MNc) | 28 |
| III.1.2.3. | <i>Fusarium culmorum</i> (FCc) | 28 |
| III.1.3. | Discussion | 31 |
| III.2. | Etude de l'agressivité de <i>F.culmorum</i> sur deux variétés algériennes | 32 |
| III.2.1. | Caractérisation pathologique | 32 |
| III.2.2. | Discussion | 33 |
| III.3. | Etude de Comportement variétal des variétés françaises | 35 |
| III.3.1. | Evaluation du comportement des variétés suivant leurs incubations | 35 |
| III.3.2. | Evaluation du comportement des variétés selon l'évolution des symptômes | 38 |
| III.3.3. | Evaluation du comportement des variétés selon les différents traitements | 39 |
| III.3.4. | Discussion | 42 |
| III.3.5. | Evaluation du comportement des variétés selon la diminution des composantes du rendement | 44 |
| III.3.5.1. | Effets des différents traitements sur la diminution des composantes de rendements. | 44 |
| III.3.5.2. | Relation entre les symptômes et la diminution des composantes de rendement | 47 |
| III.3.6. | Discussion | 48 |
| III.4. | Etude de comportement des lignées recombinantes françaises | 49 |
| | Discussion | 52 |
| V | CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES | 54 |
| | Références bibliographiques | 57 |
| | Annexes | |

LISTE DES FIGURES

pages

| | |
|---|-----|
| Figure 01: Importance des céréales dans SAU et l'évolution de leur production..... | p04 |
| Figure 02 : Spores de <i>F. graminearum</i> (A) , <i>F. culmorum</i> (B) et <i>F. avenaceum</i> (C).... | p07 |
| Figure 03 : Symptômes d'attaques sur épi de blé..... | p08 |
| Figure 04 : Le cycle de développement de <i>Fusarium graminearum</i> | p09 |
| Figure 05: Symptômes d'attaques de fusariose du collet et de l'épi..... | p16 |
| Figure 06 : Mise en culture des espèces de <i>Fusarium</i> spp en Erlenmeyer..... | p23 |
| Figure 07 : Echelle de notation visuelle de 0 à 9 utilisée par le GEVES (France)..... | p25 |
| Figure 08: Aspect cultural et observation microscopique des conidies des isolats de <i>Fusarium</i> de l'épi..... | p29 |
| Figure 09: Aspect cultural et observation microscopique des conidies des isolats de <i>Fusarium</i> du collet..... | p30 |
| Figure 10: Blanchiment des épis attaqués par le <i>Fusarium culmorum</i> | p32 |
| Figure 11: Symptômes de fusariose de l'épi sur la variété Virtuose..... | p35 |
| Figure 12 : Variation du temps de l'incubation des variétés en fonction des isolats de <i>Fusarium</i> sp..... | p36 |
| Figure13: Relation entre l'incubation et les symptômes estimés par l'AUDPC nombre d'épillets fusariés dans 25 épis et l'AUDPC notes/9..... | p38 |
| Figure 14: Evolution des symptômes selon les variétés..... | p39 |
| Figure 15: Evolution des symptômes en fonction des isolats ou mélanges d'isolats utilisés..... | p40 |
| Figure16 : Effet des différents traitements sur la diminution du nombre des grains dans 100 épis..... | p46 |
| Figure17: Effet des différents traitements sur la diminution du poids des grains dans 100 épis..... | p46 |
| Figure 18 : Effet des différents traitements sur la diminution du poids de mille grains..... | p46 |
| Figure19: Relation entre les symptômes observés et la diminution du nombre des grains dans 100 épis..... | p47 |
| Figure20: Relation entre les symptômes observés et la diminution du poids de mille grains..... | p48 |
| Figure 21: Symptômes sur les lignées recombinantes..... | p49 |
| Figure 22: Distribution des lignées recombinantes selon le temps d'incubation..... | p50 |
| Figure 23: Relation entre l'incubation et le développement des symptômes..... | p5& |
| Figure24: Répartition des lignées recombinantes sur deux années selon la quantité de symptômes..... | p52 |

LISTE DES TABLEAUX

Pages

| | |
|---|-----|
| Tableau 01 : Mycotoxines produites par les principaux champignons responsables de la fusariose de l'épi chez le blé tendre..... | p10 |
| Tableau 02 : Teneurs maximales autorisées en DON dans les produits destinés à l'alimentation humaine dans quelques pays..... | p12 |
| Tableau 03 : Listes des isolats de <i>Fusarium spp</i> utilisés lors des différentes études..... | p18 |
| Tableau 04 : Tableau récapitulatif du matériel végétal utilisé lors des différentes études..... | p20 |
| Tableau 05 : Test de Duncan de classement des variétés selon leurs incubations..... | p36 |
| Tableau 06 : Effets des différents isolats sur le développement des symptômes appréciés par la note et le nombre d'épillets fusariés dans 25 épis..... | p41 |
| Tableau 07 : Effets des différents isolats sur la diminution des composantes du rendement..... | p45 |

LISTE DES ANNEXES

Annexe 01 : Définition de l'AUDPC

Annexe02: Analyse de variance de l'essai agressivité des espèces de *Fusarium culmorum* sur deux variétés algériennes

Annexe03: Analyse de variance de l'essai agressivité des espèces de *Fusarium culmorum* sur deux variétés algériennes.

Annexe04: tableau des temps d'incubation des variétés selon les différents traitements.

Annexe05: Tableau de l'analyse de variance de l'effet des différents isolats sur le développement des symptômes apprécié par la note et le nombre d'épillets fusariés dans 25 épis.

Annexe06: analyse de variance de la diminution des paramètres du rendement.

LISTE DES ABREVIATIONS

| | |
|---------------------|---|
| AUDPC | <i>Area Under Disease Progress Curve</i> : Aire sous la courbe de progression de la maladie |
| SAU | Superficie Agricole Utile |
| °C | Degré Celsius |
| CIMMYT | Centre International pour L'amélioration du Mais et du Blé |
| DJ | Degré jour |
| D nb g 100 E | Diminution du nombre de grains dans 100 épis |
| DON | Déoxynivalénol |
| D pmg | Diminution du poids de mille grains |
| Dpg 100 E | Diminution du poids des grains dans 100 épis |
| F. | <i>Fusarium</i> |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| FDPS | Ferme de Démonstration et de Production de Semences |
| GEVES | Groupement d'Étude des Variétés Et des Semences |
| G. | <i>Giberella</i> |
| INRA | Institut National de la Recherche Agronomique |
| Mha | Millions d'hectares |
| MON | Moniliformine |
| NIV | Nivalénol |
| PDA | Potato Dextrose Agar |
| PMG | Poids de Mille Grains |
| q/ha | Quintaux par hectares |
| T | Traitement |
| T2 | T2= Trichothécène2 |
| ZEA | Zéaralénone |

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les céréales telles que le blé, l'orge, l'avoine et le seigle sont des graminées cultivées pour la consommation humaine et animale (Rapilly *et al.*, 1971). La plupart de ces espèces dérivent des graminées prairiales dont les hommes ont dû longtemps récolter les grains avant de penser à les cultiver traditionnellement (Bonjean, 1990).

A travers le monde, les céréales occupent une place importante dans l'alimentation des différentes populations à cause de leur richesse en protéines. L'insuffisance de ces produits de base suivant les pays, provoque des pressions au niveau des marchés internationaux aggravées par la démographie d'une part et la stagnation de la production d'autre part. (Benbelkacem, 1993).

Dans les pays du Maghreb, la consommation moyenne des céréales par habitant est l'une des plus élevée dans le monde (Chebbi *et al.*, 2005). En Algérie, elle est évaluée à 224 kg/an (statistiques du ministère de l'agriculture et du développement rural, 2009).

À l'échelle nationale, la production des céréales n'est pas stable dans le temps et connaît des fluctuations d'une année à une autre dues principalement aux aléas climatiques et en particulier à la sécheresse. En effet, la céréaliculture algérienne est conduite en mode pluvial qui, ajouté aux problèmes d'itinéraire technique inadéquat, à la faible mécanisation et à la non application des facteurs d'intensification (semences de qualité, engrais et produits phytosanitaires), la production est souvent en dessous des objectifs fixés dans les programmes de développement des céréales. (Ait Abdallah *et al.*, 2010).

Les travaux de sélection se sont donc orientés ces dernières années vers l'amélioration des rendements du point de vue qualitatif et quantitatif, afin de répondre aux besoins nationaux et diminuer ainsi la forte facture des importations.

Les résultats d'essais montrent par ailleurs que le travail du sol, le désherbage, la date de semis et la fertilisation ont une influence plus ou moins importante, mettant en second ordre un autre facteur non moins important qui est celui des maladies (Sayoud *et al.*, 1996). En effet et malgré l'importance des cultures des céréales, ces dernières se trouvent sujettes à de nombreux problèmes d'ordre phytosanitaire principalement les maladies fongiques qui regroupent plusieurs maladies notamment la fusariose de l'épi. Cette pathologie qui prend de plus en plus de l'ampleur occupe une place particulière car elle diminue les rendements de façon quantitative et qualitative.

La fusariose de l'épi a été appelée d'abord la brûlure de l'épi (*head blight*) puis la maladie des grains momifiés à cause de l'aspect crayeux et inanimé des grains infectés. Cette maladie est causée par plusieurs espèces appartenant au genre *Fusarium* qui en plus des

pertes directes du rendement, peuvent synthétiser dans les grains des mycotoxines qui sont des molécules issues du métabolisme secondaire du champignon et ayant des effets néfastes sur la santé humaine et animale. La maladie reste cependant difficile à contrôler vu la complexité des agents pathogènes qui la provoquent.

Aujourd'hui, et devant la difficulté de maîtriser la maladie, ainsi que la prise de conscience des effets néfastes des mycotoxines, les travaux de sélection se sont orientés vers l'amélioration génétique par l'obtention de variétés productives, plus tolérantes à la maladie, et plus respectueuses de l'environnement. Cette lutte génétique s'avère donc être le meilleur moyen pour réaliser ces objectifs complémentaires.

Le présent travail entre dans un contexte global d'amélioration variétale, Il est réalisé en deux principales parties, une première effectuée en Algérie et ayant deux objectifs spécifiques à savoir:

1. La caractérisation morphologique de quelques espèces de *Fusarium* spp. issues de plants de blés fusariés d'une parcelle de l'ENSA El Harrach et de la station de l'ITGC de Oued Smar (El Harrach).
2. L'étude de l'agressivité de *Fusarium culmorum* issu du collet et de l'épi sur deux variétés de blé tendre cultivées en Algérie.

La seconde partie du travail est réalisée en France et ayant deux objectifs spécifiques à savoir:

1. L'étude de comportement de cinq variétés de blé tendre à l'égard de la fusariose de l'épi par l'emploi de deux différentes méthodes de notations ; l'une globale basée sur l'évaluation symptomatologique sur une échelle de notation allant de 0 à 9 et la seconde plus spécifique basée sur l'estimation du nombre d'épillets fusariés dans 25 épis afin d'améliorer la précision des notes accordées aux variétés.
2. L'étude pluriannuelle du comportement de 232 lignées recombinantes issues du croisement de deux variétés françaises de blé tendre, Apache et Ornicar à l'égard de la fusariose de l'épi.

CHAPITRE I

DONNES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE I : DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

I.1. La culture des céréales

I.1.1. Répartition et importance économique

En Algérie la céréaliculture est pratiquée à travers quatre principales zones de production à savoir:

- Une zone potentielle située essentiellement dans les plaines littorales, intérieures et sublittorales, ainsi que le nord des hauts plateaux.
- Une zone intermédiaire, localisée au sud des hauts plateaux.
- Une zone steppique dans laquelle la céréaliculture est pratiquée de manière irrégulière selon les années climatiques.
- Une zone du sud du pays où la céréaliculture est pratiquée sous irrigation.

Selon les statistiques agricoles de l'année 2009, la céréaliculture occupe une place importante dans l'agriculture algérienne. Elle couvre environ 3 millions d'hectares soit 60% de la SAU (Fig01a). Elle est pratiquée par près de 60.000 agriculteurs répartis à travers 46 wilaya (Zaghouane, 2010).

Par ailleurs, la production nationale reste fortement tributaire des conditions climatiques, l'analyse des données de cette dernière décennie montre que la production été très faible lors des campagnes agricoles 1999-2000, 2001-2002 et 2007-2008 à cause de la sécheresse. Elle s'est relativement stabilisée à partir de la campagne 2002-2003 avec une moyenne de 40 millions de quintaux (Fig01b) suite aux conditions climatiques favorables ainsi qu'aux différents efforts de l'état fournis pour l'amélioration de cette filière.

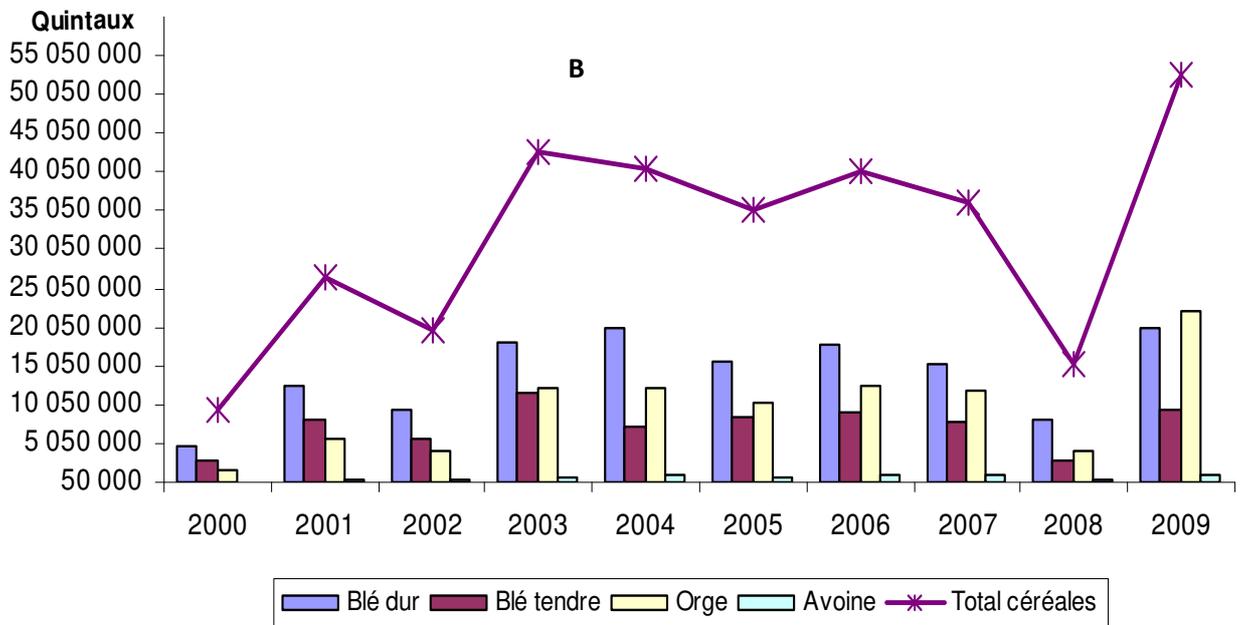
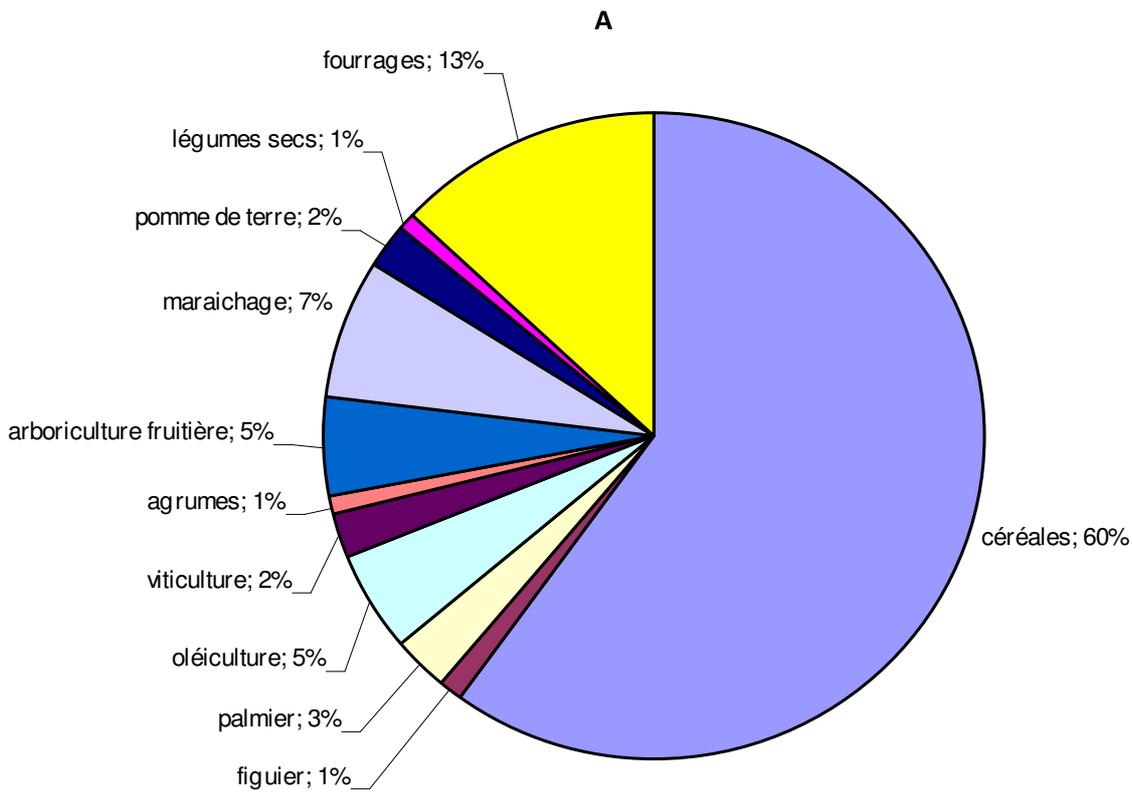


Figure 01: Importance des céréales dans SAU (A) et l'évolution de leur production (B)

I.1.2. Principales maladies des céréales

En Algérie comme en France, les céréales sont atteintes de plusieurs maladies principalement fongiques qui affectent les rendements dont les plus importantes sont:

- 1- les septorioses: causées par *Septoria tritici* et *Septoria nodorum*
- 2- la tache auréolée: causée par *Helminthosporium tritici-repentis*
- 3- les rouilles: causées par *Puccinia recondita* et *Puccinia striiformis*
- 4: l'oïdium: *Erysiphe graminis*

I.2. La fusariose de l'épi

I.2.1. Importance de la maladie

Identifiée et décrite pour la première fois en Angleterre en 1884, la fusariose de l'épi appelée aussi gale (*Scab*) ou brûlure de l'épi (*head blight*) reste la plus préjudiciable des fusarioses. Elle entraîne une réduction du rendement, une diminution de la qualité semencière ainsi qu'une production de mycotoxines dans les grains (Parry *et al.* 1985), notamment les trichothécènes (NIV, DON, T2, HT2) et les zéralénones.

Les grains issus des épis fusariés se trouvent échaudés et la contamination par les mycotoxines produites notamment les zéralénones et trichothécènes (NIV, DON, T2, TH2) affecte la santé humaine et animale. Ces groupes et particulièrement le DON, sont les mycotoxines les plus fréquentes dans les grains fusariés à travers le monde (Placinta *et al.*, 1999 *in* Gosman *et al.*, 2005).

La maladie a provoqué à travers plusieurs épidémies d'importants dégâts notamment en Chine où plus de sept millions d'hectares ont été infectés provoquant ainsi des pertes de rendements de plus d'un million de tonnes (Bai *et al.* 2003, Leonard *et al.* 2003, Lu *et al.*, 2001 ; Yang *et al.*, 1987 *in* Bai.et Shaner., 2004).

Entre 1991 et 1997, les attaques sur blé et sur orge aux USA ont provoqué des pertes directes de l'ordre de 1,3 milliard de dollars américains. Les pertes indirectes avoisinaient quant à elles les 4,6 milliards de dollars américains (Johnson *et al.*, 2003 *in* Bai et Shaner., 2004).

Entre 1999-2000 la maladie était très présente dans le sud ouest de la France qui a connu des conditions climatiques qui lui étaient très favorables (Le Henaff *et al.*, 2000).

En Algérie, et malgré la recrudescence de cette maladie notamment au centre et à l'est du pays (Sayoud., 2012, communication personnelle), il n'existe à présent aucune étude relative à l'impact économique de cette pathologie sur la céréaliculture nationale.

I.2.2. Agents pathogènes responsables de la maladie

Les espèces de *Fusarium* spp. peuvent provoquer sur les céréales trois sortes de maladies : des fontes de semis ou manques à la levée des semences fusariées, des fusarioses du collet correspondant à des nécroses des tiges et du collet, et celle qui nous intéresse dans ce travail à savoir la fusariose de l'épi.

Environ dix sept espèces de *Fusarium* spp. ont été isolées et décrites à travers le monde à partir de blés et d'orges infectés naturellement (Parry *et al.*, 1995). *Fusarium graminearum* (téléomorphe *Gibberella zeae*) ; *Fusarium culmorum* ; *Fusarium avenaceum* (téléomorphe *Gibberella avenacea*) et *Fusarium poae* sont les plus communément associés à la fusariose de l'épi (Parry *et al.*, 1995). *Microdochium nivale* (téléomorphe *Monographella nivalis*) est aussi un agent de la fusariose de l'épi, cependant, *F. graminearum* et *F. culmorum* sont les espèces les plus pathogènes (Oswald ,1949. Puhalla ,1981 in Gervais, 2003).

A travers le monde, il existe deux populations de *F.graminearum* morphologiquement similaires (Burgess *et al.*, 1975 in Aoki et O'Donnell 1999). Il s'agit de :

- **Groupe 01:** provoque la pourriture du collet, ne forme pas de périthèces en culture *in vitro* mais peut les former occasionnellement dans la nature. Récemment ces isolats ont été classés à l'aide de marqueurs moléculaires dans une nouvelle espèce appelée *F.pseudograminearum* (Aoki *et al.*, 1999 in Gervais, 2003). Ce sont des pathogènes du sol qui provoquent des pourritures du collet du blé, d'orge et d'avoine en Australie, en Afrique du sud et dans le nord ouest des USA.
- **Groupe 02:** les souches de ce groupe forment *in vitro* d'abondants périthèces homothaliques (Glenn, 2007). Elles causent les fusarioses de l'épi du maïs, du blé, de l'orge et de l'avoine dans les zones tempérées nord de l'hémisphère nord (Glenn, 2007).

Les deux groupes dont la forme parfaite est *Gibberella zeae* pour *F. graminearum* et *Gibberella coronicola* pour *F. pseudograminearum* (Xu et Nicholson, 2009), provoquent de sévères épidémies de fusariose de l'épi en Australie (Burgess *et al.*,1987 ; Southwell *et al.*, 2003 in Akinsanmi *et al.*,2008).

De récentes études ont montré que les deux groupes sont génétiquement distincts et doivent être considérés comme deux espèces à part entière (Monds *et al.*, 2005).

Il existe en plus des espèces de *Fusarium* spp. associées à la maladie, une espèce appartenant à un second genre qui joue un rôle quoique inconnu mais assez important dans plusieurs régions particulièrement les zones tempérées et maritimes. Il s'agit de *Microdochium nivale* qui a été originellement nommé *Fusarium nivale*, cependant sa forme parfaite n'est pas un *Gibberella* spp. mais un *Monographella nivalis* (Xu et Nicholson., 2009).

Il est connu que la répartition géographique des agents de la fusariose est tributaire des conditions climatiques notamment la température. *F. graminearum* prédomine dans les régions aux étés chauds et humides (USA, Canada, Europe centrale, Chine et Japon) , *F. culmorum* est majoritaire dans les régions maritimes plus fraîches du nord de l'Europe (Parry *et al.*.,1995) et *F. avenaceum* a été isolé sous différents climats mais représente toujours une faible part des isolats de *Fusarium*.

En France, seules trois espèces de *Fusarium* spp. sont rencontrées fréquemment et causent des dégâts sur blé. *F. graminearum*, *F. culmorum* et *F. avenaceum* ; *F. graminearum* était prépondérant dans la moitié sud de la France alors que *F. culmorum* et *F. avenaceum* le sont dans la moitié nord où les attaques sont régulièrement fortes (Trottet et Doussinault., 2001). *F. graminearum* semble maintenant dominer sur l'ensemble du territoire.

La figure 02 montre les conidies de quelques agents responsables de la fusariose de l'épi.

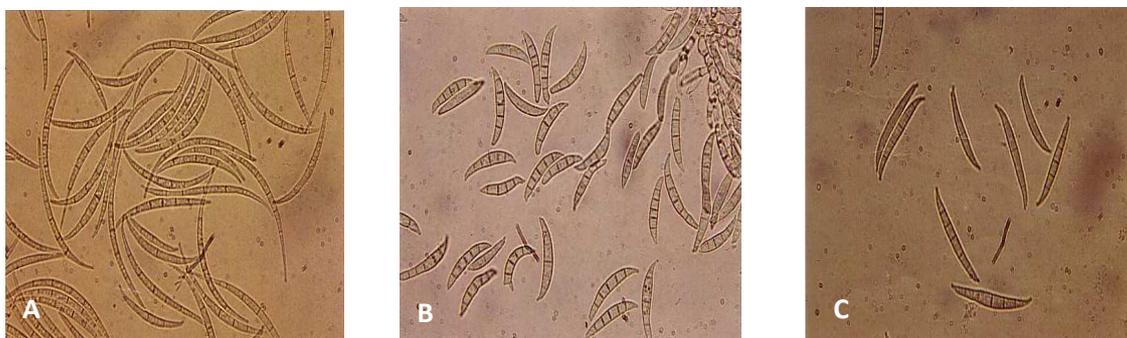


Figure 02 : Spores de *F. avenaceum* (A) , *F. culmorum* (B) et *F. graminearum* (C) (Zillinsky, 1983)

I.2.3. Symptômes de la maladie

En cas de fortes attaques durant la période allant de la floraison jusqu'au début du remplissage du grain, la maladie se manifeste par un dessèchement précoce de certains épillets (Saur *et al.*, 1993). La décoloration observée passe d'épillet en épillet à travers les rachis. Les hyphes se développent ainsi de manière inter et intra cellulaire dans les glumes, les grains et les rachis (Pugh *et al.*, 1933 *in* Kang *et al.*, 2000). Le blanchiment prématuré d'une partie ou de la totalité de l'épi est très visible il passe généralement du centre de l'épi vers les extrémités. En plein champ, l'attaque se manifeste sous forme de plages blanchâtres à aspect de maturité précoce. En absence de moyens de lutte elles se généralisent d'année en année et finissent par envahir toute la parcelle (Fig 03).

En période humide prolongée, ce blanchiment peut devenir rose à orange saumoné (Martin ., 2004). Les grains issus des épillets contaminés sont envahis par le pathogène et prennent une coloration blanche ou rosâtre (Saur *et al.*, 1993).

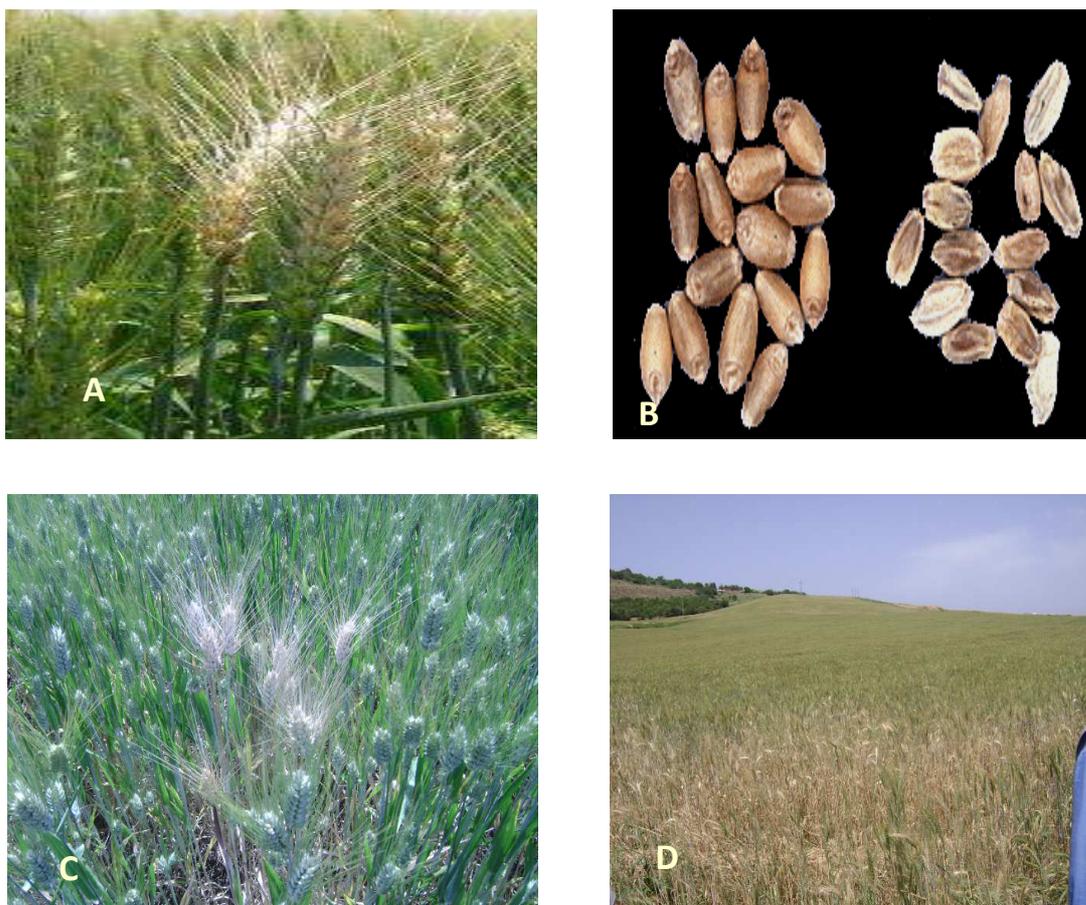


Figure 03: Symptômes d'attaques sur épi. (A: De villier, 2009) ; sur grains. Fusariés à droite et sains à gauche (B: Gervais, 2003); en plein champs. (Cet D : photos personnelles).

I.2.4. Epidémiologie de la maladie

Selon Parry *et al.*, (1995), la maladie se développe essentiellement au cours d'une période de forte humidité relative allant de 92 à 94% durant 48 à 72h, et à une température qui avoisine les 15°C. Plusieurs études sont venues par la suite montrer que même des températures au dessus de 25°C et des périodes humides de plus de 24h favorisent l'infection par les deux pathogènes *F. culmorum* et *F. graminearum* (Campbell & Lipps, 1998; Mentewab *et al.*, 2000 in Brennan *et al.*, 2005).

En absence de plantes hôtes (céréales), les espèces de *Fusarium* spp. notamment *F. graminearum* passent l'hiver sur les chaumes de blé et les cannes de maïs (Parry *et al.*, 1995). Elles peuvent se propager par les ascospores, les macroconidies, les chlamydoconidies et les fragments d'hyphes. Toutes ces formes de propagations peuvent constituer l'inoculum primaire de la maladie.

Le pic de sensibilité des épis de blé la période de la floraison. En conditions favorables, l'inoculum se disperse essentiellement par voie aérienne où les ascospores sont considérées comme la principale source d'inoculum primaire. Par ailleurs des macroconidies peuvent se former à partir des chlamydoconidies et attaquer directement les épis (Fig04).

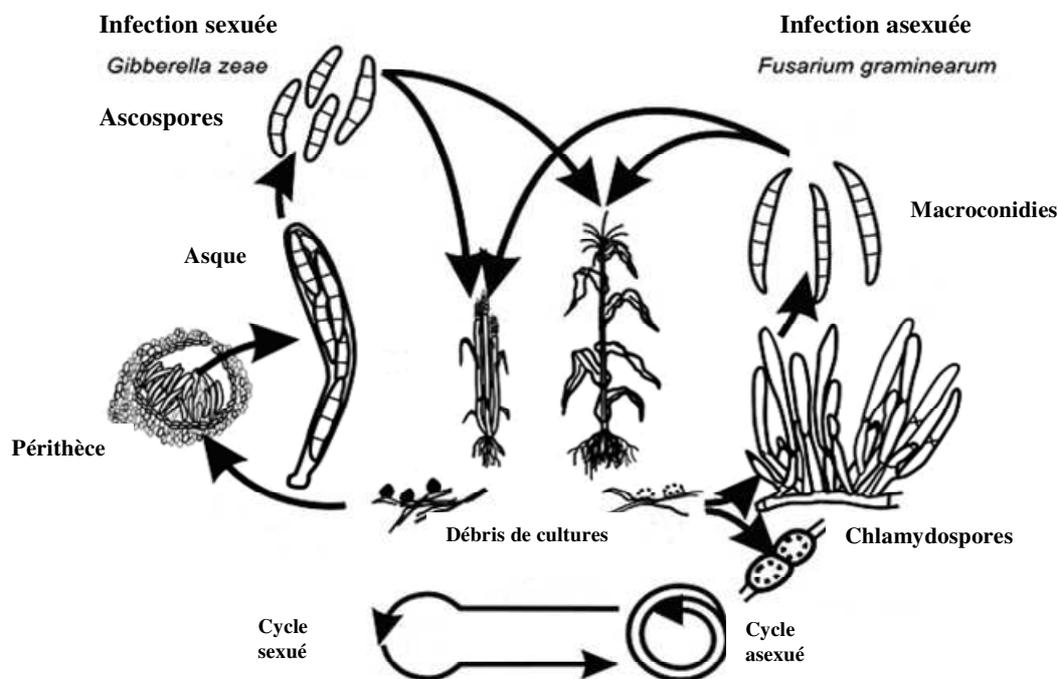


Figure 04 : Cycle de développement de *Fusarium graminearum*(Gervais.,2003).

A la suite de l'infection des épis, des spores se forment de façon rapide et se disséminent par le vent et l'eau des pluies et propagent ainsi la maladie. En général, les symptômes sont d'autant plus importants que les conditions climatiques sont humides et chaudes à la floraison, quoique que ces pathogènes peuvent s'attaquer aux épis de la floraison jusqu'aux stades tardifs de la formation des graines (Badea *et al.*, 2008).

Selon Agrios (2005), la fusariose de l'épi est soit accompagnée ou précédée par des attaques sur le collet et les racines, car il est connu que les espèces responsables de la fusariose de l'épi peuvent aussi causer la brûlure des plantules et les pourritures racinaires (Parry *et al.*,1995; Agrios,2005). Par ailleurs les connaissances de la relation entre la fusariose du collet et celle de l'épi restent limitées et nécessitent plus de recherches (Parry *et al.*,1995).

I.2.5. Production de mycotoxines

En plus de la perte directe du rendement, l'impact de la maladie résulte aussi dans la production de mycotoxines qui sont des métabolites secondaires produits par plusieurs espèces du genre *Fusarium*. Même à de très faibles concentrations ces substances présentent une toxicité pour l'homme et l'animal lorsqu'elles sont introduites dans l'organisme (par voie orale le plus souvent).

Les espèces de *Fusarium* spp. liées à la maladie produisent plusieurs mycotoxines (Tabl.01) dont les effets néfastes sont clairement mis en évidence.

Tableau 01 : Mycotoxines produites par les principaux champignons responsables de la fusariose de l'épi chez le blé tendre (A. Bottalico, 1998 in Gervais., 2003)

| Espèces de <i>Fusarium</i> spp. | Trichothécènes | | | | ZEA | MON |
|---------------------------------|----------------|-----|----|-----|-----|-----|
| | DON | NIV | T2 | TH2 | | |
| <i>F. graminearum</i> | + | + | + | + | + | - |
| <i>F. culmorum</i> | + | + | + | + | + | - |
| <i>F. avenaceum</i> | - | - | - | - | - | + |
| <i>F. poae</i> | - | + | + | + | - | - |
| <i>M. nivale</i> | - | - | - | - | - | - |

DON= Déoxynivaléol, MON= Moniliformine, NIV= Nivaléol, T2= Trichothécène2, ZEA= Zéaralénone,

I.2.5.1. Effet des trichothécènes sur les plantes

Les trichothécènes agissent généralement comme des inhibiteurs de la synthèse des protéines et des acides nucléiques. Ils présentent également une toxicité pour les parois cellulaires (Balzer *et al.* 2004), inhibent la germination des grains, diminuent la masse foliaire des jeunes plants de blé et l'indice de la mitose des racines des plants en germination (Packa, 1991).

Certains trichothécènes comme le DON par exemple, exercent un effet phytotoxique. Ils sont indiqués comme facteurs de virulence et contribuent à la pathogénie de *F. culmorum* et *F. graminearum* (Miller, 1989 ; Snijders *et al.*, 1992 *in* Kang et Buchenauer 2002; Mesterhazy, 2002 ; Aleandri *et al.*, 2007; Xu, 2009). Ils inhiberaient fortement la synthèse protéique et augmenteraient linéairement la réaction d'apoptose (Shefrin *et al.* , 1999 *in* Gervais, 2003) ;

I.2.5.2. Effet des trichothécènes sur l'homme et les animaux

La quasi-totalité des céréales se révèle contaminée par de faibles concentrations de trichothécènes (Blazer *et al.*, 2004).L'entrée dans la chaîne alimentaire s'effectue soit par les denrées brutes (céréales, farines, semoule...), ou par les produits élaborés (pain, gâteaux...).

D'importantes intoxications alimentaires humaines ont été observées après une consommation de riz infecté par *G. zae* et ceci dans plusieurs pays du monde comme l'Inde, le Japon et l'Afrique du Sud. (Marasas *et al.*, 1984 ; Rheeder *et al.*, 1992 ; Nelson *et al.*, 1993 ; Beardall et Miller, 1994 *in* Beyer *et al.*, 2005).

La consommation de grains contaminés par des trichothécènes peut déclencher des anémies, des immunodépressions, des hémorragies et des refus de nourriture chez les moutons. D'autres expériences ont montré que les trichothécènes avaient des propriétés tératogènes et carcinogènes (Desjardins *et al.*, 1993 ; Berek *et al.*, 2001).D'une manière générale, les mycotoxines des espèces de *Fusarium* spp. des céréales ingérées par des animaux ou par l'homme, peuvent provoquer de graves intoxications alimentaires, éventuellement mortelles, avec un risque cancérigène. Ces toxines peuvent affecter les systèmes circulatoire, digestif, cutané et nerveux. (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Fusarium:2010>).

I.2.6. Réglementation

Il existe au niveau européen une réglementation spécifique établie pour les principales mycotoxines associées à la fusariose de l'épi du blé.

Certains pays ont cependant fixé des doses maximales spécifiques à eux établies en fonction de la destination de la production céréalière en distinguant l'alimentation humaine et animale (Tabl. 02).

Tableau 02 : Teneurs maximales autorisées en DON dans les produits destinés à l'alimentation humaine dans quelques pays (données FAO 2006 ; Codex Alimentarius).

| Pays | Type de produit | Recommandations (mg/kg) |
|------------------|--|--------------------------------|
| Belgique | ✓ Produits alimentaires, céréaliers | 0.5 |
| | ✓ Farines | 0.75 |
| Pays -Bas | ✓ Produits alimentaires, céréaliers | 0.5 |
| | ✓ Farines | 0.75 |
| Allemagne | ✓ Produits finis | 0.5 |
| | ✓ Produits finis avec >30% céréales | 0.35 |
| | ✓ Aliments pour bébés | 0.1 |
| Autriche | ✓ Farine | 0.5 |
| Canada | ✓ Farines (pour production de biscuits, cake...) | 1.2 |
| | ✓ Farines (alimentation pour bébés) | 0.6 |
| USA | ✓ Produits finis à base de céréales | 1 |

I.2.7. Contrôle des fusarioses de blé

La lutte contre les agents de la fusariose entre dans une stratégie globale regroupant plusieurs approches complémentaires à savoir :

- **Rotation culturale**

Elle reste l'un des meilleurs moyens de contrôle de la maladie. Des études récentes sur l'effet des résidus de cultures, ont montré que l'incidence et la sévérité de la maladie sont plus importantes quand il s'agit d'un précédent maïs. Les risques sont cependant faibles

quand le blé est précédé par une culture de soja (Dill-Macky et Jones, 2000). Il est donc préconisé d'opter pour des rotations alternant différentes familles botaniques.

En particulier, la concentration de DON dans les grains d'une culture de blé précédée d'un maïs grain était de l'ordre de 0.5 mg/kg, alors que la concentration était de 0.3 mg/kg en cas de précédant maïs fourrage; ceci pourrait être dû à la faible quantité de résidus laissés après le maïs fourrage (Obst *et al.* 1997 *in* Stoyan *et al.* 2003). Il est intéressant d'enfouir les débris des cultures précédentes par un labour profond.

● **Lutte chimique**

L'emploi de fongicides à titre préventif participe à la gestion de la maladie, cependant un fongicide qui a une bonne action sur certaines espèces de *Fusarium* spp. ne sera pas forcément efficace sur d'autres. Étant donné que la maladie est produite par un complexe de d'espèces de *Fusarium* spp. , il est nécessaire de choisir un bon fongicide et de l'appliquer à la bonne période soit deux à trois jours après la floraison (Pirgozliev *et al.* 2001). Les différentes espèces de *Fusarium* spp. produisant des mycotoxines sont contrôlées par des substances de la famille des triazoles, dont les plus efficaces étant le metconazole et le tébuconazole. Cependant *M. nivale* est contrôlé par certaines substances de la famille des strobilurines, la plus efficace étant l'azoxystrobine.

Par ailleurs, plusieurs études ont montré que des doses sub-létales de certains fongicides peuvent augmenter la production de mycotoxines chez les espèces de *Fusarium* spp. (Milus *et al.*, 1994 ; D'Mello *et al.*, 1998b *in* Simpson *et al.*, 2001). Ces effets ont été aussi observés dans plusieurs études effectuées *in vitro* avec certains composants inhibiteurs du développement des *Fusarium* spp, mais provoquent l'augmentation de la production de trichothécènes (Moss *et al.* , 1985 ; D'Mello *et al.*, 1998a ; Matthies *et al.*, 1999 *in* Simpson *et al.*, 2001).

● **Lutte biologique**

Conçue pour une meilleure maîtrise de la maladie avec de moindres effets sur l'environnement, la lutte biologique regagne de l'intérêt; en particulier les espèces de *Trichoderma* spp. connues pour être de potentiels antagonistes pour plusieurs agents phytopathogènes notamment les espèces de *Fusarium* spp. Ainsi *T. harzianum* a considérablement réduit l'incidence de *F. graminearum* par son effet colonisateur sur le blé infecté (Fernandez, 1992). Ce procédé reste cependant à l'état expérimental et difficile à mettre en œuvre au champ.

● **Lutte génétique**

L'emploi de variétés résistantes ou tolérantes aux maladies reste le moyen de lutte le plus durable. En combinaison avec les techniques culturales, l'emploi de variétés résistantes permet de réduire considérablement l'impact des fusarioses.

Cependant la résistance à la fusariose du blé complexe et pas entièrement connue, comporte plusieurs mécanismes:

● **Mécanismes physiologiques**

Selon Mesterhazy, 2002, cinq mécanismes physiologiques de résistance à la fusariose de l'épi ont été décrits à savoir:

- Résistance à l'installation de la maladie, type I.
- Résistance à la progression du champignon dans l'épi, type II.
- Résistance à l'infection des grains, type III.
- Tolérance à la baisse du rendement, type IV.
- Résistance à l'accumulation de mycotoxines dans le grain, type V.

Ce sont le premier, le deuxième et cinquième type de résistance qui sont les plus étudiés.

● **Mécanismes morphologiques**

En plus des mécanismes de résistance physiologique chez la plante hôte, des mécanismes d'ordre morphologique peuvent affecter l'expression de la résistance au cours d'épidémies naturelles. Par exemple, les génotypes nains (< 70 cm) sont plus exposés à la dispersion de l'inoculum du sol par les éclaboussures. De la même façon, les génotypes barbus ont une plus grande surface de capture des spores, conservent plus longtemps l'humidité et favorisent ainsi la contamination de l'épi (Mesterhazy, 1995).

Des différences de sensibilité à la fusariose de l'épi entre cultivars ont été observées pour la première fois par Arthur en 1891. Il nota que les cultivars à maturité précoce avaient tendance à être plus résistants que les cultivars à maturité tardive. Ce qui pourrait être dû à des périodes pluvieuses concordant avec la floraison des variétés tardives (Parry *et al.*, 1995).

Les variétés disponibles aujourd'hui n'offrent pas une protection suffisante contre la maladie (Anderson, 2007), et la majorité écrasante des cultivars commercialisés est soit

sensible soit fortement sensible à la fusariose de l'épi (Mesterhazy *et al.*, 2003 ; Slicova *et al.*, 2009).

Actuellement, les travaux s'intéressent à la recherche de QTL associés aux gènes de résistances. En effet, une récente étude de recherche de QTL dans le cultivar chinois Sumai 3, suggère que la résistance est oligogénique et conditionnée par l'effet additif d'un QTL majeur dans une courte zone du chromosome 3B en plus de l'effet additionnel de QTL à effet moindre (Anderson *et al.*, 2001 ; Buerstmayr *et al.*, 2003 in Gosman *et al.*, 2005).

Par ailleurs ; de plus récentes études de sélection assistée par marqueurs montrent que les QTL de résistance à la fusariose de l'épi sont présents dans tous les chromosomes sauf le chromosome 7D, (Buerstmayr *et al.* 2009). Certains QTL de résistances qui se révèlent intéressants, ont été retrouvés à travers différents programmes de sélections (Buerstmayr *et al.*, 2009).

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES

II.1. Matériel biologique

II.1.1. Matériel fongique

Lors de ce travail et à travers les différentes études ; nous avons utilisé plusieurs espèces de *Fusarium* spp. responsables des fusarioses de l'épi et du collet (Tabl.03).

II.1.1.1. Isolats utilisés pour la caractérisation morphologique des espèces de *Fusarium* spp.

Le matériel fongique utilisé est issu de l'ENSA El Harrach, dont les isolats ont été obtenus à partir des épis (03 isolats) et des collets de blés (03 isolats) présentant les symptômes de la fusariose (Figure 05), à partir de la ferme de démonstration et de production de semences de l'ITGC de Oued Smar et des parcelles expérimentale de l'ENSA El Harrach en 2007 et en 2008. Il s'agit de 06 isolats appartenant au genre *Fusarium*.



Figure 05: Symptômes d'attaques de fusariose du collet (A: www.visualunlimited.com), et de l'épi (B: INRA de Rennes)

II.1.1.2. Isolats utilisés pour l'étude de l'agressivité de *F. culmorum* sur deux variétés algériennes

Les isolats de *F. culmorum* utilisés pour cet essai (Tabl.03) sont issus de la collection de la l'ENSA El Harrach. Ils sont isolés à partir d'échantillons frais de l'épi et du collet de blés semés à la station ITGC de Oued Smar et atteints par la fusariose, les isolats une fois purifiés par culture monospore, sont conservés dans des tubes inclinés sur milieu PDA à 4°C.

II.1.1.3. Isolats utilisés pour l'étude du comportement des variétés françaises

Lors de cette étude, les variétés de blé tendre ont subi plusieurs traitements constitués soit d'un seul isolat de *F. culmorum*, d'un mélange d'isolats de *F. culmorum* ou bien d'un mélange constitué d'isolats de *F. culmorum* et de *F.graminearum* (Tabl.03).

Les isolats utilisés appartiennent à des collections de différents laboratoires français conservés à 4°C après culture monospore.

- ✓ **T01**: Eau du robinet.
- ✓ **T02** : Isolat 712 fortement producteur de DON de provenance de l'INRA de Versailles.
- ✓ **T03** : Isolat 432 fortement producteur de NIV de provenance de l'INRA de Versailles.
- ✓ **T04** : mélange des isolats 712 et 432.
- ✓ **T05** : Isolat R964 très agressif et fortement producteur de DON.
- ✓ **T06** : Isolat Fché1 fortement producteur de NIV.
- ✓ **T07** : Mélange des isolats R964 et Fché1.
- ✓ **T08** : Mélange des isolats 712 et Fché1.
- ✓ **T09** : Mélange des isolats 432 et R964.
- ✓ **T10** : Isolat G7 G5 fortement producteur de DON originaire de l'INRA de Bordeaux.
- ✓ **T11** : Isolat F6 G10 de *F. graminearum* productrice de DON et de 15 DON originaire de Bordeaux.
- ✓ **T12** : Mélange des isolats G7 G5 et F6 G10.

II.1.1.4. Isolats utilisés pour l'étude du comportement des lignées recombinantes françaises

La contamination des lignées recombinantes issues d'un croisement entre les variétés Apache et Ornicar a été réalisée par un isolat de *F. culmorum* à savoir le R964 (Tabl.03) qui est un isolat de référence connu pour sa grande agressivité et sa forte production de DON.

Tableau 03 : Listes des isolats de *Fusarium* spp. utilisés lors des différentes études

| Etude | Isolat/Espèce | Code | Organes d'isolement | Origine | Observation |
|--|-----------------------------------|------|---------------------|--|-------------|
| Caractérisation morphologique des espèces de <i>Fusarium</i> spp. | Isolat1/ <i>F. culmorum</i> | FCe | Epi | Collection du laboratoire de mycologie de l'ENSA El Harrach | |
| | Isolat2/ <i>F. verticilloides</i> | FVe | | | |
| | Isolat3/ <i>F. avenaceum</i> | FAe | | | |
| | Isolat4/ <i>F. graminearum</i> | FGc | Collet | | |
| | Isolat5/ <i>M. nivale</i> | MNc | | | |
| | Isolat6/ <i>F. culmorum</i> | FCc | | | |
| Agressivité de <i>F. culmorum</i> sur deux variétés algériennes | Isolat1/ <i>F. culmorum</i> | FCe | Epi | Collection du laboratoire de mycologie de l'ENSA El Harrach. | |
| | Isolat6/ <i>F. culmorum</i> | FCc | Collet | | |

| | Isolat/Espèce | Code | Organe source | Origine | Observation |
|--|-----------------------|------------|---------------|--------------------|--|
| Comportement des variétés françaises | <i>F. culmorum</i> | S712 | Epi | INRA de Versailles | Fortement productrice de DON |
| | | S432 | | | Fortement productrice de NIV |
| | | S712+S432 | | | |
| | | R964 | Epi | INRA de Rennes | Très agressive et fortement productrice de DON |
| | | Fché1 | | | Fortement productrice de NIV |
| | | R964+Fché1 | | | |
| | <i>F. culmorum</i> | S712+Fché1 | Epi | | |
| | | S432+R964 | | | |
| | | G7G5 | Epi | INRA de Bordeaux | Fortement productrice de DON |
| | <i>F. graminearum</i> | F6G10 | Epi | INRA de Bordeaux | Productrice de DON et de 15 DON |
| G7G5+ F6G10 | | | | | |
| Comportement des lignées recombinantes françaises | <i>F. culmorum</i> | R964 | | INRA de Rennes | Très agressive et fortement productrice de DON |

II.1.2. Matériel végétal

Lors de ce travail et à travers les différentes études ; nous avons utilisé plusieurs types de matériel végétal constitués de 05 variétés françaises, de 02 variétés algériennes et de 232 lignées recombinantes françaises issues du croisement de deux blés tendres français. (Tabl.04).

II.1.2.1. Matériel végétal pour l'étude de l'agressivité de *F. culmorum* (variétés algériennes)

L'essai a été réalisé sur deux variétés de blé tendre inscrites au catalogue algérien; Hiddab (HD1220) et Arz issues d'un matériel végétal semi-sélectionné du CIMMYT (Mexique) et sélectionnées au niveau national dans la station expérimentale de l'ITGC du Khroub. Ce sont des variétés les plus cultivées par les céréaliers algériens et les plus testées dans les essais d'amélioration variétale des différentes FDPS de l'ITGC, elles sont connues par leur bon rendement. Par ailleurs, ces variétés ont la même précocité ce qui suppose une date de floraison relativement proche.

II.1.2.2. Matériel végétal pour l'étude du comportement variétal (variétés françaises)

Cet essai a été réalisé sur cinq variétés de blé tendre inscrites au catalogue européen à savoir : Camp Rémy, Charger, Frelon, Renan et Virtuose.

II.1.2.3. Matériel végétal pour l'étude du comportement des lignées recombinantes (lignées françaises)

L'essai est effectué sur 232 lignées recombinantes (sous forme de poquets) créées par haplodiploïdisation à partir de la F1 d'un croisement entre les variétés Apache et Ornicar connues pour leur bonne qualité boulangère et leur comportement intéressant vis-à-vis de la fusariose de l'épi.

Tableau 04 : Tableau récapitulatif du matériel végétal utilisé lors des différentes études.

| Etude | Variété/lignée | Origine |
|---|---|----------------|
| Agressivité de <i>F. culmorum</i> | Hiddab (HD1220) et Arz | ITGC de Khroub |
| Comportement variétal | Camp Rémy, Charger, Frelon, Renan et Virtuose | INRA de Rennes |
| Comportement des lignées recombinantes | 232 lignées recombinantes | INRA de Rennes |

II.2. Dispositif expérimental

II.2.1. Dispositif expérimental pour l'étude de l'agressivité de *F. culmorum* (variétés algériennes)

L'essai est réalisé en Split-plot à quatre répétitions dont les facteurs étudiés sont les isolats de *F. culmorum*, et les variétés de blé tendre. La parcelle élémentaire est composée de cinq lignes de trois mètres de long, espacées de 30 cm.

Le facteur isolat avec deux niveaux *F. culmorum* issus de l'épi et du collet de blé fusarié est affecté aux sous blocs alors que facteur variété avec 4 niveaux (les deux variétés et leurs témoins) est affecté aux petites parcelles.

L'essai a été réalisé à l'ENSA El Harrach au cours de la campagne 2008/2009 sur une parcelle précédée par une culture de pois fourrager.

II.2.2. Dispositif expérimental pour l'étude du comportement variétal (variétés françaises)

L'essai est réalisé en Split-plot à quatre répétitions pour chacun des traitements, dont chaque répétition comporte les cinq variétés étudiées. Les traitements quant à eux sont disposés de manière aléatoire.

L'essai est mené sur une parcelle précédée par une jachère de trèfle durant la campagne 2004-2005 à la station expérimentale du Rheu de l'INRA de Rennes (France).

II.2.3. Dispositif expérimental pour l'étude du comportement des lignées recombinantes (lignées françaises)

L'expérience est réalisée selon un dispositif en blocs de Fisher avec deux répétitions, la parcelle élémentaire est un poquet de 25 épis en moyenne distants d'environ 45 cm entre lignes et 50 cm sur la ligne (par rapport au centre du poquet).

L'essai est mené à la station expérimentale du Rheu de l'INRA de Rennes (France), sur une parcelle précédée par une jachère de trèfle, durant la campagne 2004-2005.

II.3. Méthode de caractérisation morphologique des espèces de *Fusarium* spp.

La caractérisation morphologique des différentes espèces de *Fusarium* spp. a été réalisée à partir de plusieurs isolats issus du blé présentant les symptômes de la fusariose de l'épi et celle du collet.

II.3.1. Préparation des isolats

A partir des isolats (issus de cultures monospores), 5 explantats d'hyphes ont été mis en culture sur milieu PDA, dans des boîtes de Pétri. Ces dernières sont incubées à 25°C sous lumière continue pendant 7 jours, puis mises en obscurité totale pendant 7 jours.

II.3.2. Observation des spores

Les mensurations sont réalisées sur les conidies obtenues à partir de cultures âgées de 15 jours sur milieu PDA. Pour chaque isolat, la longueur et la largeur de 100 spores sont mesurées. Les spores prélevées à partir des cultures solides sont mises dans de l'eau distillée stérile. Une goutte de cette suspension colorée au Bleu de coton est déposée entre lame et lamelle puis observée à l'aide d'un microscope photonique (marque Zeiss) préalablement étalonné et muni d'un oculaire possédant un micromètre.

II.3.3. Critères d'identification des isolats

La caractérisation des espèces responsables des symptômes de fusariose de l'épi et du collet est basée principalement sur les critères établis par Tousson et Nelson (1976) à savoir:

- L'aspect et la coloration des colonies mycéliennes sur milieu PDA.
- La taille et la forme des macroconidies.
- La présence ou l'absence de microconidies
- La présence ou l'absence de chlamydo-spores.

A partir de ces critères plusieurs clefs d'identification établies par Tousson et Nelson (1976), Zillinski (1983), Burgess *et al* (1994) et Leslie et Summerell (2006) ont été utilisées pour l'identification des différents isolats.

II.4. Techniques d'inoculation artificielle utilisées dans l'étude de l'agressivité de *F. culmorum*, sur deux variétés algériennes et dans les études de comportement des variétés et des lignées recombinantes françaises

II.4.1. Préparation de l'inoculum

Les souches de *Fusarium* spp. sont séparément ensemencées en Erlenmeyer (Fig. 06) sur des grains d'orge humides et préalablement stérilisés.



Figure 06 : Mise en culture des Espèces de *Fusarium* spp. en Erlenmeyer.

Après environ un mois d'incubation à température ambiante et à la lumière du jour, on peut récupérer les conidies par lavage et filtration sur mousseline.

La suspension de conidies peut être soit utilisée immédiatement comme inoculum après dilution à la concentration voulue (dénombrement par cellule de Malassez), soit congelée en suspension très concentrée ($>10^8$ spores/ml) qui pourra être conservée au moins 3 mois à -20°C , afin d'être utilisée pour les contaminations futures. L'inoculum est conditionné en tubes en plastiques correspondant aux quantités pouvant être utilisées en une journée en fonction du nombre de parcelles à contaminer. Ceci concerne les essais des variétés et des lignées recombinantes françaises.

Pour l'essai d'agressivité de *F. culmorum* sur deux variétés algériennes, l'inoculum est préparé à partir de cultures en boîtes de Pétri où un explant est ensemencé au milieu d'une autre boîte de Pétri sur milieu PDA. Après environ une semaine à 10 jours d'incubation à température ambiante et 2 à 3 jours depuis la colonisation entière de la boîte de Pétri, une couche d'eau de 1 à 2 mm est déposée sur la colonie. On frotte un peu avec une aiguille courbe pour détacher les spores, puis l'eau est coulée dans un récipient et des dilutions sont effectuées après comptage à la cellule de Malassez.

II.4.2. Inoculation artificielle des variétés et des lignées recombinantes

II.4.2.1. Inoculation artificielle des variétés algériennes de l'étude de l'agressivité de *F. culmorum*

Au stade floraison, les variétés Hiddab et Arz sont inoculées par pulvérisation de solutions de deux isolats de *F.culmorum*, concentrées à 5×10^4 spores/ml. L'essai est réalisé durant la campagne 2008/2009.

Les variétés sont irriguées pendant 20mn avant la pulvérisation puis 10 minutes après. Les parcelles sont par la suite irriguées régulièrement chaque deux à trois jours.

II.4.2.2. Inoculation artificielle des variétés et des lignées (françaises) des études de comportement.

Pour l'essai comportement variétal et ayant des degrés de précocité très proches, les variétés sont inoculées au stade floraison durant la campagne 2004-2005 par une suspension de conidies d'une gamme de souches de *F. culmorum* et une souche de *F. graminearum*, concentrée à 5×10^4 spores/ml.

La période d'inoculation des lignées recombinantes est définie par la date de floraison de chaque poquet. L'inoculation est faite par la souche R964 de *F. culmorum* concentrée à 5×10^4 spores/ml.

Sur le plan pratique l'inoculation des deux essais est réalisée de la même manière, à savoir :

- Repérer dans la journée les parcelles au stade floraison (minimum 10 % des épis ayant des étamines sorties par parcelle) et les maquer par un cello twist (ruban plastique) de couleur différente pour chaque jour de contamination.
- Sortir du congélateur les tubes d'inoculum concentré correspondant à la quantité d'inoculum nécessaire pour les parcelles à contaminer dans la journée et les laisser à température ambiante jusqu'à décongélation.
- Ajouter la quantité d'eau nécessaire pour avoir la concentration finale voulue. Un litre d'inoculum final permet de contaminer environ 5 à 6 m².
- Irriguer pendant 20 mn avec un débit d'environ 6 mm /heure avant de contaminer et après la contamination pendant 10 mn si le temps est desséchant, puis tous les deux jours s'il ne pleut pas.
- Pulvériser l'inoculum sur les génotypes repérés dans la journée de préférence le soir si le climat est sec. la quantité apportée de 200 ml/ m² correspond au début du ruissellement ceci est nécessaire pour que les spores s'adhèrent aux épis puis arrivent à germer.

II.5. Notations et estimation des symptômes des variétés et des lignées des différentes études

Les méthodes de notation permettent de relier les symptômes et dégâts de la maladie observés sur le champ et ainsi de prédire les pertes. Elles se font à 250 degrés jours (un cumul de températures journalières pendant une période donnée) après l'inoculation période nécessaire pour le développement de suffisamment de symptômes, à 350°C et à 450°C jours pour voir l'évolution de ces derniers. Les dernières notes ont été réalisées avant le dessèchement des épis induit par la maturité.

Les premiers symptômes apparaissent au champ sur les épis, par une décoloration de certains épillets et parfois des traces noirâtres ou blanches correspondant au mycélium du pathogène.

Les notations de la maladie sont faites selon deux méthodes différentes. La première est celle utilisée par le GEVES, elle est dite globale et estimée selon une échelle de notation visuelle allant de 0 à 9 (Fig07), sachant que 9 correspond à un épi totalement attaqué et 0 correspond à l'absence totale de symptôme de flétrissement. Elle a concerné uniquement l'essai de comportement des variétés françaises.



Figure 07 : Echelle de notation visuelle de 0 à 9 utilisée par le GEVES (France).

La deuxième notation est celle utilisée dans les essais d'amélioration de la fusariose de l'épi de l'unité de recherche "Amélioration des plantes et biotechnologies végétales" de l'INRA de Rennes. Il s'agit d'estimer le nombre d'épillets fusariés dans 25 épis, pris au hasard, et ceci pour les variétés françaises de l'essai de comportement variétal et pour les variétés algériennes de l'essai d'agressivité des espèces de *F.culmorum*. L'essai du comportement des lignées recombinantes françaises est noté quant à lui par le nombre d'épillets fusariés dans 10 épis pris par hasard.

Une estimation de la période d'incubation de la maladie qui correspond à la période séparant l'inoculation artificielle et l'apparition d'un épillet fusarié dans la parcelle est réalisée pour l'ensemble des variétés et des lignées des différentes études.

Les notations des variétés et des lignées réalisées à différents stades de l'évolution des symptômes, nous ont permis d'établir des AUDPC "Aire Sous la Courbe de Progression de la Maladie". Elle est calculée à partir de la première date de notation en cumulant la surface des différents trapèzes délimités par l'axe des abscisses (axe du temps), la courbe et les droites parallèles à l'axe des ordonnées passant par les différentes dates de notations (annexe 01). Son avantage est de donner une vue générale de l'ensemble des notations. Elle explique la progression de la maladie mieux qu'une seule notation faite à une date fixe. A l'origine définie par Shaner et Finney (1977), l'AUDPC standardisée est calculée selon la formule suivante :

$$\text{AUDPC standardisée} = \sum_{i=1}^n [(x_{i+n1} + x_i)/2] (t_{i+1} - t_i)$$

Avec : n= Nombre total d'observations, x_{i+n1} = nombre d'épillets fusariés dans 25 épis à chaque observation, $(t_{i+1} - t_i)$ = Temps séparant deux observations consécutives.

II.6. Analyse de la récolte

Pour évaluer l'effet de la maladie sur le rendement des variétés françaises de l'étude du comportement variétal, les épis fusariés ainsi que les épis témoins sont récoltés en évitant les tardillons.

Après la récolte, 100 épis sont pris par hasard et ceci pour chaque variété et chaque témoin, ils sont par la suite battu à l'aide d'une batteuse de laboratoire à faible ventilation afin d'éviter au maximum la perte des grains fusariés, souvent plus légers.

II.6.1. Comptage et pesée des grains

Après battage, les grains sont comptés grâce à un compteur automatique puis pesés, pour déterminer le nombre et le poids de grains dans 100 épis ; ceci permet aussi de calculer le poids de 1000 grains, la plus importante composante affectée par la maladie.

II.7. Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats de tous les essais est réalisée à l'aide du logiciel SASTM où l'analyse de variance (ANOVA) a été réalisée avec le module GLM; la normalité des résidus est contrôlée avec la procédure Univariate.

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Caractérisation morphologique des différents *Fusarium* spp. de l'épi et du collet

Les isolats de *Fusarium* spp obtenus de la mycothèque de l'ENSA ont été collectés à partir d'épis et de collets de blé présentant les symptômes de la fusariose de l'épi pour les trois premiers isolats ainsi que les symptômes de la fusariose du collet pour les trois derniers.

Les différentes observations d'identification de ces isolats de *Fusarium* spp. ont porté sur la couleur, la forme des colonies, l'aspect du mycélium ainsi que sur la forme et les mensurations de 100 conidies.

III.1.1. Description des isolats obtenus des épis

III.1.1.1. *Fusarium culmorum* (FCe)

Les colonies mycéliennes de cet isolat sont de couleur blanche qui vire au rose; le mycélium est aérien, abondant et devient rouge au contact de l'agar en obscurité et sporule très abondamment (Fig. 08a). Les macroconidies sont hyalines, épaisses et faiblement arquées avec une cellule apicale pointue et nettement pédicellée à la base; les conidies comportent en général trois à cinq cloisons et mesurent en moyenne $44.91\mu\text{m} \times 4,6\mu\text{m}$ (Fig. 08b). La présence de chlamydozoospores est également observée alors que les microconidies sont absentes. Cette description correspond à l'espèce *Fusarium culmorum* selon Tousson et Nelson (1976), Zillinsky (1983), Burgess *et al* (1994) et Leslie et Summerell (2006).

III.1.1.2. *Fusarium verticillioides* (FVe)

La couleur des colonies vire du blanc au marron clair présentant un mycélium aérien et abondant (Fig. 08c). Les macroconidies sont effilées, longues, droites ou légèrement arquées dont la cellule basale est nettement pédicellée. Contrairement à la précédente espèce, dans ce cas les macroconidies présentent généralement 3-7 septa et mesurent $43\mu\text{m} \times 3.2\mu\text{m}$, (Fig. 08d). Les microconidies sont abondantes et les chlamydozoospores sont absentes. Cette description correspond à l'espèce *Fusarium verticillioides* Tousson et Nelson (1976).

III.1.1.3. *Fusarium avenaceum* (FAe)

Cet isolat se caractérise par des colonies de couleur blanche qui vire vers le marron clair (Fig. 08e). Le mycélium est aérien et abondant avec la production d'un pigment marron dans l'agar. Les conidies sont effilées, étroites et arquées, munies de 4 à 7 cloisons et mesurent $68\mu\text{m} \times 3.25\mu\text{m}$ (Fig. 08f) et les microconidies sont absentes.

Selon la clé de Tousson et Nelson (1976), Zillinsky (1983) et Leslie et Summerell (2006), ces caractéristiques correspondent à l'espèce *Fusarium avenaceum*.

III.1.2. Description des isolats obtenus du collet

III.1.2.1. *Fusarium graminearum* (FGc)

Les colonies mycéliennes s'étalent rapidement sur le milieu de culture présentant un mycélium dense blanchâtre à jaunâtre qui devient rouge au contact de l'agar (Fig. 09a). Les macroconidies sont hyalines, droites ou faiblement arquées dont la cellule apicale est faiblement allongée et fortement courbée à l'extrémité; elles ont 3 à 7 cloisons et mesurent 26,8-47,08 μm x 2,8-4,6 μm . (Fig. 09b).

Les microconidies sont absentes et les chlamydo-spores rares. Ces caractéristiques correspondent à l'espèce *Fusarium graminearum* (Tousson et Nelson, 1976; Zillinsky, 1983; Leslie et Summerell, 2006).

III.1.2.2. *Microdochium nivale* (MNC)

Cet isolat forme un mycélium cotonneux blanc-crème (Fig. 09c). Les macroconidies sont hyalines, courtes, courbées, amincies aux deux extrémités et pas nettement pédicellées à la base; les cellules apicales sont plus pointues que les cellules basales. Les conidies mesurent 24-26,7 μm x 2,9-4,2 μm avec 1-3 cloisons (Fig. 09d) et les chlamydo-spores sont absentes. Cette description correspond au *Microdochium nivale* Zillinsky (1983).

III.1.2.3. *Fusarium culmorum* (FCc)

Les colonies mycéliennes de cet isolat sont de couleur blanche qui vire au rose (Fig. 09e); le mycélium est aérien, abondant et devient rouge au contact de l'agar et sporulant abondamment à l'obscurité. Les macroconidies sont hyalines, épaisses et faiblement arquées avec une cellule apicale pointue et nettement pédicellée à la base; les conidies comportent en général trois à cinq cloisons et mesurent 34-56,3 μm x 5,2-6,8 μm . (Fig. 09f). La présence de chlamydo-spores portées par les macroconidies est également observée alors que les microconidies sont absentes. Cette description correspond à l'espèce *Fusarium culmorum* (Tousson et Nelson, 1976; Zillinsky, 1983; Burgess *et al*, 1994; Leslie et Summerell, 2006).

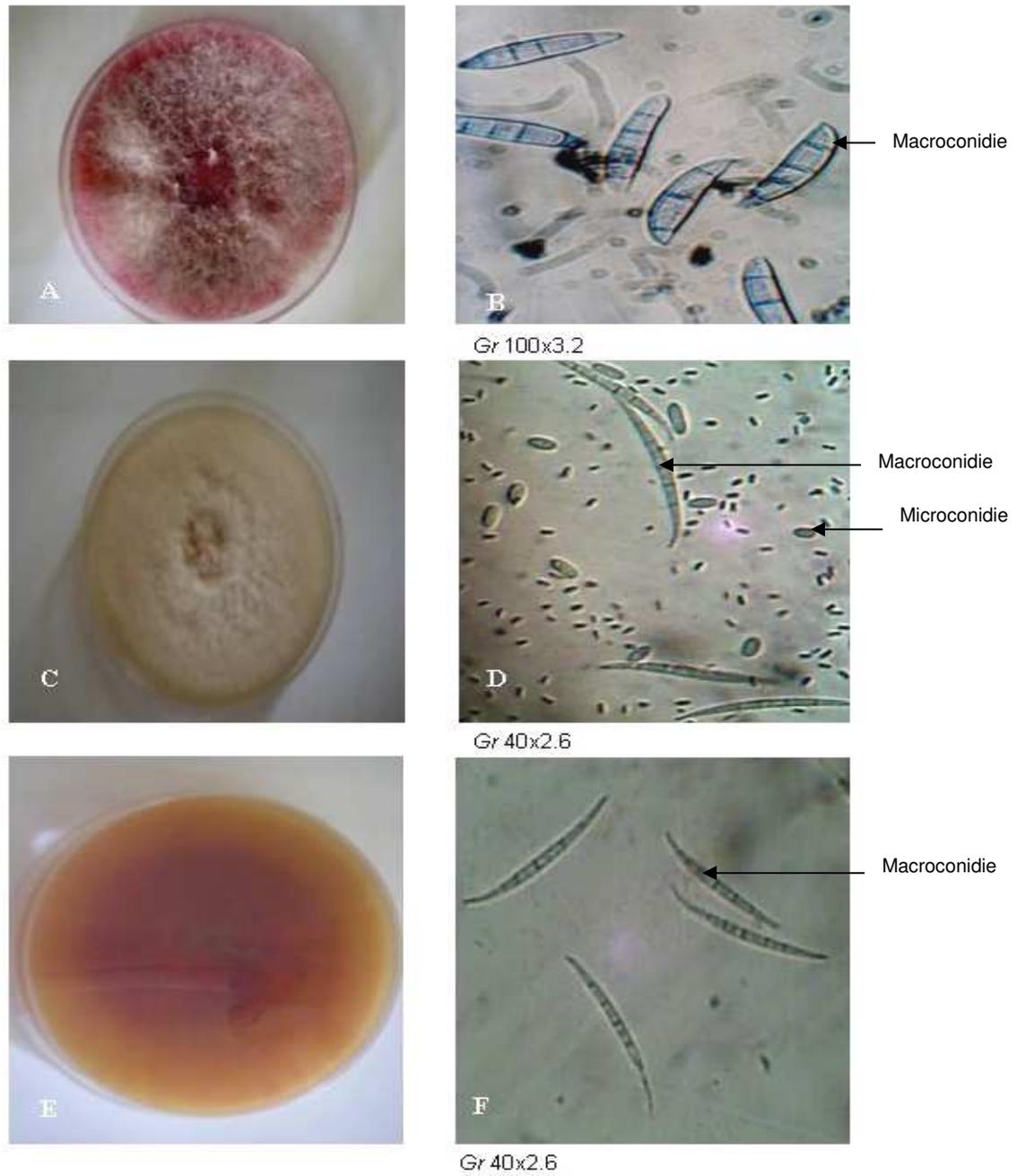
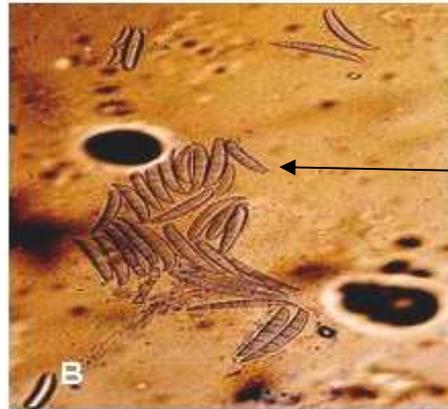
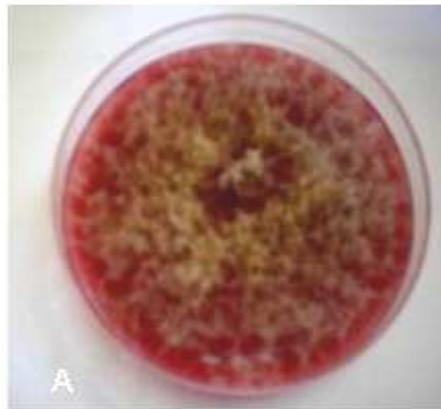


Figure08 : Aspect cultural et observations microscopiques des isolats de *Fusarium* de l'épi

A et B : *Fusarium culmorum*

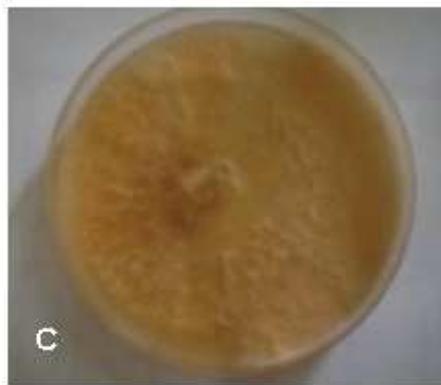
C et D : *Fusarium verticillioides*

E et F : *Fusarium avenaceum*



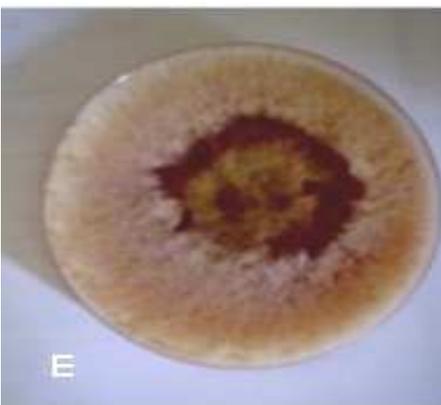
Macroconidie

Gr 25x3.2



Macroconidie

Gr 25x3.2



Macroconidie

Gr 100x3.2

Figure09 : Aspect cultural et observations microscopiques des espèces de *Fusarium* du collet

A et B : *Fusarium graminearum*

C et D : *Microdochium nivale*

E et F : *Fusarium culmorum*

III.1.3. Discussion

Ce travail a porté sur l'étude d'espèces de *Fusarium* spp isolées à partir d'épi et du collet de blés présentant des symptômes de fusariose de l'épi et de fusariose du collet.

La caractérisation morphologique de ces espèces s'est basée d'une part sur l'observation macroscopique (l'aspect cultural, coloration et aspect du mycélium, présence de pigment dans le milieu) et d'autre part sur l'observation microscopique (taille et forme des macroconidies, nombre de cloisons, présence ou absence des microconidies et des chlamydozoospores). Cette approche a permis l'identification de plusieurs espèces appartenant au genre *Fusarium* et au genre *Microdochium*. Il s'agit de : *Fusarium culmorum*, *Fusarium verticillioides*, *Fusarium avenaceum*, *Fusarium graminearum* et *Microdochium nivale*. La description morphologique des colonies mycéliennes ainsi que les macroconidies de chacune des espèces identifiées, correspond aux descriptions de plusieurs auteurs notamment Tousson et Nelson (1976), Zillinsky (1983), Burgess et al (1994) et Leslie et Summerell (2006).

Les espèces de *F.culmorum*, *F.avenaceum* et *F.verticillioides* identifiés au cours de cette étude sont aussi considérés par plusieurs auteurs comme les principales espèces associées à la fusariose de l'épi (Parry., 1995, Trottet et Doussinault., 2001, Gennings et al.,2004, Xu et al., 2005, Jurado et al 2005., Miedaner et Voss., 2008, Saharan et Naef.,2008, Chehri et al., 2010).

Les espèces *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* et *Microdochium nivale* retrouvées au niveau du collet, sont aussi considérées selon plusieurs auteurs parmi les principaux agents de la fusariose du collet ou piétin fusarien (Brenan et al., 2003, Boughalleb et al., 2006, Dayer et al., 2009).

Des études récentes notamment celle de Xu et al., (2009) ont montré que les isolats du groupe 1 et du groupe 2 de l'espèce *F. graminearum* sont capables de produire les symptômes typiques de la fusariose de l'épi, mais les isolats du groupe 1 appelés *F. pseudograminearum* peuvent provoquer en plus les symptômes de la fusariose du collet.

Au stade de notre étude, l'isolat obtenu du collet présentant les symptômes de la maladie, peut être soit un *F.pseudograminearum*, soit un *F.graminearum* qui accompagne le complexe fusarien lié au collet. Les critères que nous avons retenus basés uniquement sur les caractères morphologiques des isolats du collet, ne nous permettent pas de trancher quant au groupe du *F.graminearum* étudié. Il faudrait

approfondir la caractérisation de ces isolats en passant par la production *in vitro* d'organes fructifères qui sont les périthèces typiquement caractéristiques au *F.graminearum*.

La caractérisation morphologique des isolats nous a permis de mettre en évidence un complexe fusarien diversifié responsable des symptômes des fusarioses observées sur épi et sur collet du blé tendre en Algérie. Quoique que nécessaire, cette caractérisation reste cependant insuffisante. Il est important de la compléter par une étude moléculaire afin d'observer d'une part les différences entre les isolats des différents groupes de *F. graminearum* étudiés et d'autre part d'examiner les différences éventuelles entre le *Fusarium culmorum* de l'épi et celui du collet.

III.2. Etude de l'agressivité de *F.culmorum* sur deux variétés algériennes

III.2.1. Caractérisation pathologique

L'inoculation artificielle des variétés Hiddab (HD1220) et Arz par des isolats de *Fusarium culmorum* issus du collet et de l'épi nous a permis de reproduire les symptômes relatifs à la maladie. Cette dernière s'est exprimée uniquement sur la variété Hiddab (HD1220) et ceci pour les deux isolats étudiés.

Sur épis, les symptômes obtenus par le *Fusarium culmorum* isolé du collet sont identiques à ceux obtenus par *Fusarium culmorum* isolé de l'épi. Pour les deux isolats, les symptômes exprimés commencent par un dessèchement précoce d'un épillet et finissent par un blanchiment total de l'épi. (Fig10).



Figure 10: Blanchiment des épis atteints par le *Fusarium culmorum* (à gauche: du collet, à droite de l'épi).

Les épis atteints présentent un important échaudage des grains. A la récolte, ces derniers demeurent chétifs, légers et fortement déformés.

La variété Arz n'a développé aucun symptôme, malgré que l'inoculation artificielle a été réalisée avec les mêmes isolats aux mêmes concentrations et sous les mêmes conditions climatiques. Cinq jours environ après l'inoculation la variété HD1220 a commencé à exprimer les premiers symptômes, ces derniers nous ont permis d'estimer le nombre d'épillets fusariés dans 25 épis à 250, 350 et 450°C jours après l'inoculation et de calculer ainsi l'aire définie par la courbe de progression de la maladie qui est l'AUDPC.

L'attaque par la fusariose a été assez forte à 250°jours avec une moyenne de 24 épillets fusariés dans 25 épis. La maladie a continué à progresser par la suite pour atteindre 59 à 350°jours puis 91 épillets fusariés à 450°jours. A la fin des notations les épillets attaqués présentaient de forts symptômes de dessèchement. Le nombre d'épillets fusariés à chaque notation est représenté en annexe 02

D'après l'analyse de variance (annexe03), nous constatons que le modèle est globalement significatif, et que l'effet isolat sur le nombre d'épillets fusariés sur 25 épis n'est pas significatif, ($P= 0.57$) donc qu'il n'y a pas de différence entre les deux isolats quant à la quantité de symptômes produite.

III.2.2. Discussion

En culture, le passage des espèces de *Fusarium* spp. du collet vers l'épi est très fréquent, d'où on peut facilement observer les deux maladies sur un même plant. Les deux pathologies peuvent exister aussi dans un même champ sur différents plants. Selon Agrios (2005), la fusariose de l'épi est soit accompagnée, soit précédée par des attaques sur le collet et les racines.

A travers cette étude et conformément à l'étiologie de la maladie, nous avons pu vérifier *in vivo* l'agressivité du *Fusarium culmorum* du collet sur l'épi.

Par inoculation artificielle, les deux isolats de *Fusarium culmorum* isolés du collet et de l'épi fusariés de blé ont permis de reproduire les symptômes relatifs à la fusariose de l'épi. Ce même résultat a été obtenu par plusieurs travaux à travers le monde (Mesterhazy *et al.*, 2003; Akinsamni *et al.*, 2008). Les symptômes observés varient du blanchiment partiel au blanchiment total des épillets qui perdent donc leur chlorophylle et prennent la couleur de la paille mûre Agrios (2005). Un fort échaudage des grains est aussi observé suite à l'attaque des fleurs.

Au cours de notre travail, nous avons pu reproduire les symptômes de la maladie et ceci indépendamment de l'origine de l'isolat de *Fusarium culmorum*, autrement les deux isolats

provoquent pratiquement la même quantité de symptômes estimée par le nombre d'épillets fusariés sur 25 épis.

Les travaux d'Akinsamni *et al*(2004) et de Mesterhazy *et al*(2005) ont démontré *in vivo* que les symptômes de la fusariose de l'épi peuvent être reproduits par inoculation artificielle indépendamment que l'isolat que *Fusarium culmorum* soit isolé de l'épi ou du collet. Selon l'agressivité des isolats, les symptômes varient du blanchiment des trois quarts des épillets jusqu'à l'échaudage complet de l'épi. Cela signifie que les deux isolats ont des agressivités très voisines sur épi de blé. Selon l'épidémiologie des espèces de *Fusarium spp.* du blé, les espèces de *Fusarium culmorum* peuvent se maintenir pendant l'intersaison entre deux blés sur de la matière organique à la surface du sol qu'elles contribuent à décomposer. Pendant le développement des plants de blé, les conidies peuvent être transportées par les éclaboussures des gouttes de pluie soit vers le collet, soit vers les parties supérieures (où le champignon pourra se multiplier en saprophyte et produire de nouvelles conidies qui pourront être transportées vers les épis par la pluie suivante), ou encore directement sur l'épi. Un seul système épidémique pour les espèces de *Fusarium spp.* se développant sur les épis et sur le collet n'est pas à exclure.

Néanmoins, nous avons pu révéler un écart de résistance entre les deux variétés de blé tendre. Une résistance observée en faveur de la variété Arz. La variété Hiddab (HD 1220) fortement sensible aux rouilles (notamment la rouille jaune), au Tan spot et à la septoriose; se révèle aussi à travers cette étude sensible à la fusariose de l'épi. La variété Arz relativement tolérante aux maladies fongiques foliaires (rouille jaune notamment) s'est montrée également tolérante à la fusariose de l'épi. Cette dernière variété peut constituer une source de résistance à cette maladie. Par ailleurs, Mesterhazy *et al* (2005) ont trouvé ce même écart entre plusieurs génotypes.

Pour les variétés à résistance de type I et de type II importantes comme le montre la variété Arz, il serait intéressant de confirmer ce résultat sur plusieurs années d'essais et de mener des études sur les autres types de résistance notamment la résistance de type IV liée à l'accumulation des mycotoxines dans les grains.

III.3. Etude de comportement des variétés françaises

Les résultats d'inoculation artificielle des cinq variétés de blé tendre avec 12 isolats et mélange d'isolats des différentes espèces de *Fusarium* spp., montrent que la maladie s' est exprimée par des degrés plus ou moins élevés sur toutes les variétés. En particulier elle s'est manifestée par un dessèchement partiel puis total des épis (Fig. 11) entraînant un fort échaudage des graines.



Figure11: Symptômes de fusariose de l'épi sur la variété Virtuose (Source INRA de Rennes)

III.3.1. Evaluation du comportement des variétés suivant leurs incubations

L'analyse de l'histogramme pour la période d'incubation des variétés (Fig. 12) montre que la variété Charger exprime les symptômes plus tôt que le reste des variétés, seulement 12 jours après la contamination. La variété Frelon les exprime plus tard, soit après 18 jours. Quelque soit le traitement utilisé, les variétés Camp Rémy, Renan et Virtuose se regroupent dans une même catégorie, avec une incubation moyenne très proche qui varie entre 14 et 15 jours. (Les période d'incubations des variétés sont représentée en annexe 04

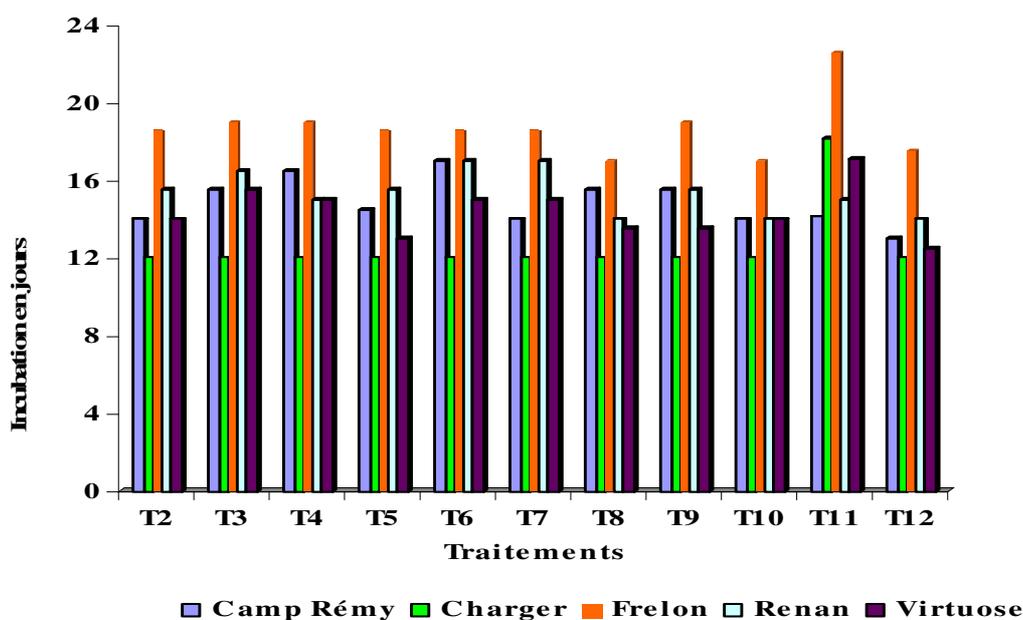


Figure 12 : Variation du temps d'incubation des variétés en fonction des isolats de *Fusarium* spp.

L'analyse de variance de l'essai montre que le test est très hautement significatif et explique 90% de la variation totale. L'effet variété est hautement significatif, l'interaction variété/ traitement par contre est non significative, c'est à dire que quelque soit le traitement, le classement des variétés reste le même.

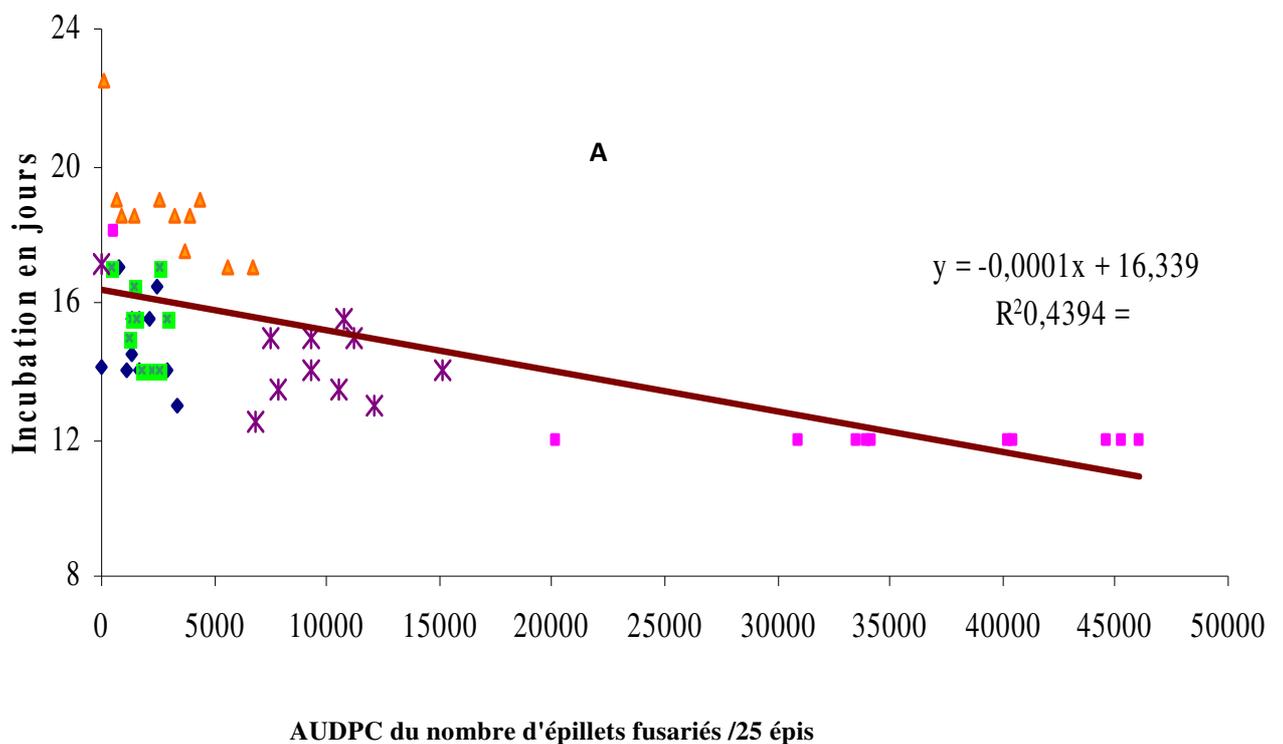
Le test de Duncan (Tabl.05) nous a permis de classer les variétés en groupes homogènes du groupe exprimant les symptômes le plus tôt, au groupe les exprimant le plus tard.

Tableau 05: Test de Duncan de classement des variétés selon leurs incubations

| Variété | Période d'incubation (jours) | Groupe |
|-----------|------------------------------|--------|
| Frelon | 18 | A |
| Renan | 15 | B |
| Camp Rémy | 15 | B |
| Virtuose | 14 | B |
| Charger | 12 | C |

Nous constatons que la variété Charger exprime les symptômes plus tôt, seulement 12 jours après la contamination et la variété Frelon les exprime plus tard, soit 18 après 18 jours. Quel que soit le traitement utilisé, les variétés Camp Rémy, Renan et Virtuose sont dans un même groupe avec une incubation moyenne très proche et qui varie entre 14 et 15 jours.

L'examen de la figure 13 montre qu'il existe une forte corrélation entre le temps de l'incubation et les symptômes développés estimés par les deux méthodes de notations utilisées. En effet, plus l'incubation est courte, plus les symptômes sont importants, autrement dit les variétés qui ont extériorisé la maladie plus tôt ont développé le plus de symptômes. Toutefois les deux méthodes de notations utilisées ont donné des résultats analogues quant à l'interaction des symptômes avec l'incubation.



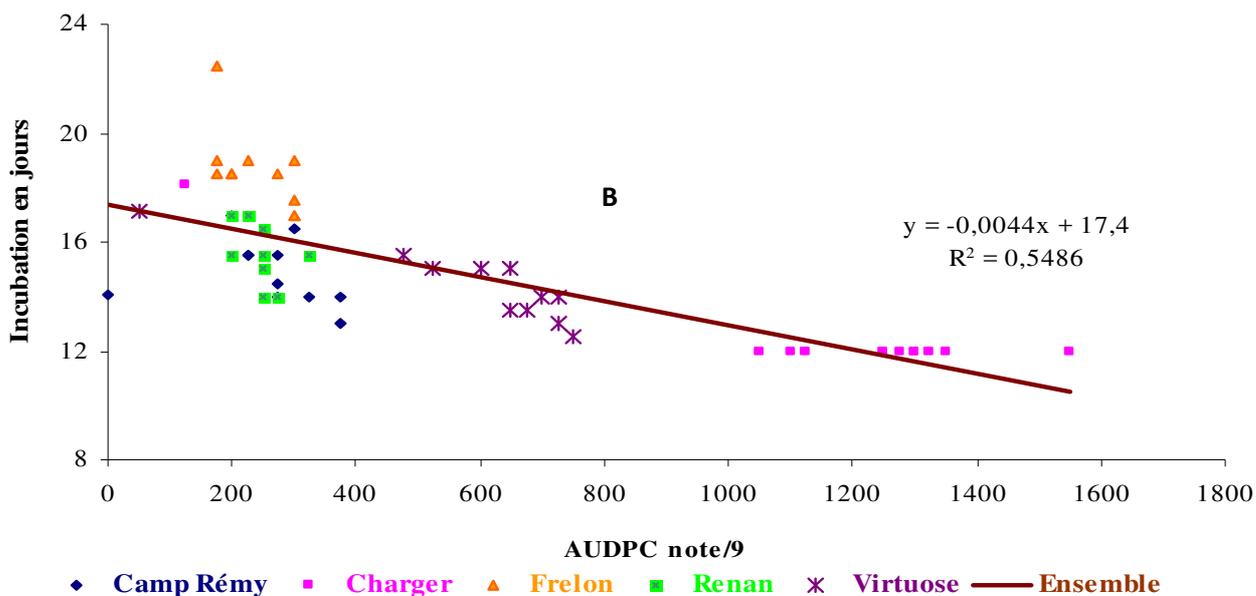


Figure13: Relation entre l'incubation et les symptômes estimés par l'AUDPC nombre d'épillets fusariés dans 25 épis (A) et l'AUDPC notes/9 (B)

III.3.2. Evaluation du comportement des variétés selon l'évolution des symptômes

L'analyse des deux méthodes de notations à 250, 350 et 450 degrés jours (dj) après l'inoculation montre que les courbes d'évolution des symptômes sont relativement parallèles (Fig.14). Nous remarquons que l'évolution des symptômes pour la variété Charger démarre rapidement et se poursuit à la même allure, à 450°j; elle enregistre environ 167 épillets fusariés pour les 25 épis soit une note de sensibilité globale de 7 sur 9. Pour la variété Virtuose, l'évolution de la note globale de la maladie et du nombre d'épillets fusariés dans 25 épis sont intermédiaires entre la variété Charger et le reste des variétés.

En revanche, la progression des symptômes pour les variétés Frelon, Renan et Camp Rémy se fait de façon beaucoup moins rapide surtout pour la variété Frelon qui à 450°j n'a développé que 27 épillets fusariés dans 25 épis et sa note ne dépassait par 2 .

Les deux méthodes de notation basées sur l'incubation et l'évolution des symptômes caractérisent les variétés exactement de la même manière.

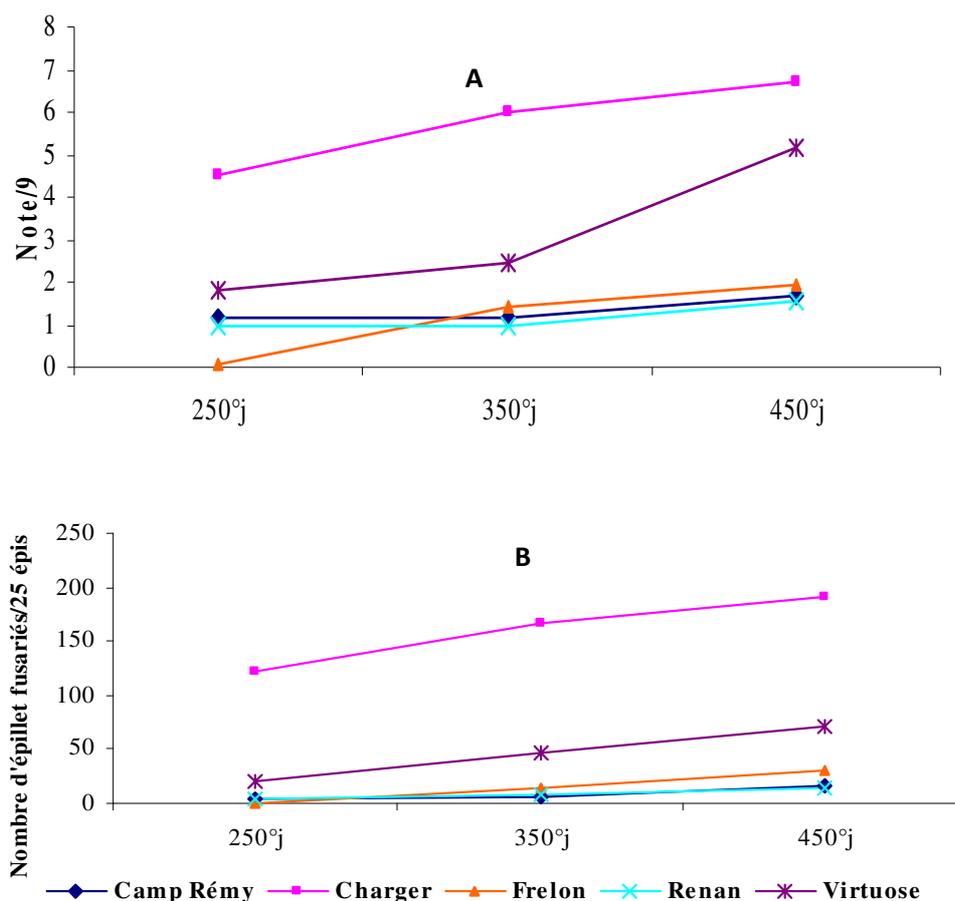


Figure14: Evolution des symptômes selon les variétés: A: Evolution de la note.

B: Evolution du nombre d'épillets fusariés/25 épis.

III.3.3. Evaluation du comportement des variétés selon les différents traitements

Les graphiques de la figure 15 représentant les symptômes observés, montrent que les variétés Camp Rémy, Frelon et Renan ont un comportement très proche à l'égard des différents traitements. Les variétés Charger et Virtuose ont par contre des comportements distincts mais proches vis à vis de ces mêmes traitements.

C'est le mélange des isolats G7G5 et F6G10 (traitement 12) qui s'avère être le plus agressif avec un maximum d'épillets fusariés pour toutes les variétés classées en trois groupes. La variété Charger présente la plus importante quantité de symptômes avec une moyenne de 167 épillets fusariés par 25 épis à la dernière notation, vient ensuite la variété Virtuose avec une moyenne d'épillets fusariés estimés à 71 et enfin le groupe comprenant les variétés Camp Rémy, Frelon et Renan avec une quantité moindre de symptômes, allant de 14 à 30 épillets fusariés par 25 épis; elles ont les plus faibles notes avec le moindre nombre d'épillets fusariés dans 25 épis.

Le traitement T11 constitué de la souche F6 G10 de *F. graminearum* présente une très faible agressivité et regroupe toutes les variétés montrant que des traces de symptômes.

L'analyse de la variance est très hautement significative, dont le test explique 98% de la variation de la note et 95% de la variation du nombre d'épillets fusariés dans 25 épis. L'interaction variété / traitement est hautement significative pour les deux méthodes de notation.

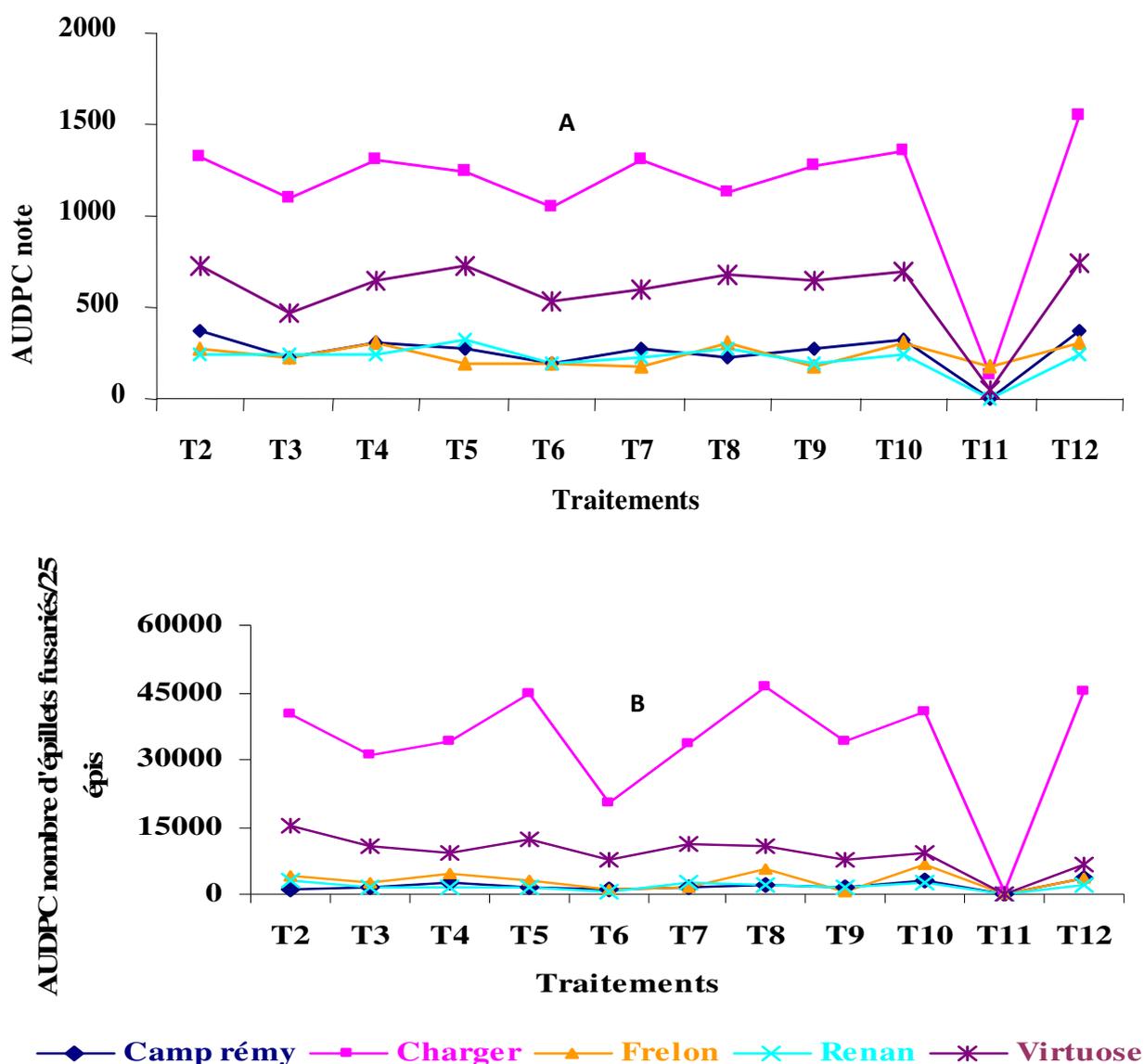


Figure15: Evolution des symptômes en fonction des isolats ou mélanges d'isolats utilisés

A : Estimation par la note.

B : Estimation par le nombre d'épillets fusariés dans 25 épis.

En comparant les différents traitements par des groupements homogènes (Tabl. 06) exprimés par le test de Duncan sur les deux méthodes de notation. Le test montre que le traitement T12 constitué du mélange des isolats G7G5 et F6G10, est le plus agressif. Les autres traitements sont moins agressifs, classés dans des groupes à AUDPC proches.

Le traitement T11 constitué de l'isolat F6G10 s'est montré le moins agressif de tous les traitements; il est classé très loin seul dans le dernier groupe avec une AUDPC très faible.

Nous notons aussi qu'à l'exception du traitement T12, quelque soit l'isolat, l'agressivité des mélanges n'est jamais significativement différente de celle du composant le plus agressif (annexe05), ce qui indique qu'il n'y a pas de synergie entre les isolats et que l'effet de dilution par un facteur de 2 est très faible lorsque l'une des deux composantes du mélange est très peu agressive cas du T12.

Tableau 06: Effets des différents isolats sur le développement des symptômes appréciés par la note et le nombre d'épillets fusariés dans 25 épis.

| Traitement - isolat | AUDPC note | AUDPC épillets fusariés dans 25 épis |
|---------------------|---------------------|--------------------------------------|
| T2 712 | 590 ^{ab 1} | 2463 ^a |
| T3 432 | 455 ^{bc} | 1836 ^{ab} |
| T4 712+432 | 560 ^{abc} | 1981 ^{ab} |
| T5 R964 | 555 ^{abc} | 2413 ^a |
| T6 Fché1 | 435 ^c | 1156 ^b |
| T7 R964+Fché1 | 515 ^{abc} | 1949 ^{ab} |
| T8 712+Fché1 | 520 ^{abc} | 2562 ^a |
| T9 432+R964 | 515 ^{abc} | 1748 ^{ab} |
| T10 G7G5 | 585 ^{ab} | 2397 ^a |
| T11 F6G10 | 70 | 30 |
| T12 G7G5+ F6G10 | 645 ^a | 2331 ^a |

¹ les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes (test de Duncan, p=0,05 et T11 non pris en compte).

CV AUDPC note = 14.431 %

CV AUDPC épillets fusariés dans 25 épis= 28.186 %

III.3.4. Discussion

Les conditions climatiques peu favorables à l'expression de la maladie intervenues lors de la période des contaminations ont nécessité le recours à l'irrigation par aspersion pendant 10 à 20 mn avant et après chaque contamination. Les contaminations réalisées selon les dates de floraison de chacune des variétés, ont permis un développement suffisant de symptômes .

Les analyses statistiques nous permettent de constater que la variété Charger s'est classée en tête des variétés de part la faible période d'incubation et l'évolution rapide des symptômes. A la fin des notations elle présente une note globale de 7 ; ceci concorde avec la faible note de résistance de 3 qui lui a été attribuée par le GEVES. Elle est considérée comme le témoin sensible choisi lors des essais d'homologation des variétés. Cette étude montre que la variété Charger ne présente aucun type de résistance ni la résistance de type I relative à l'installation du pathogène, ni la résistance de type II relative au développement des symptômes.

Il est à noter aussi que le comportement résistant des variétés Camp Rémy, Frelon et Renan exprimé par la période d'incubation ainsi que l'évolution et la quantité de symptômes observés sont en accord avec plusieurs travaux (Trottet et Saur ; 1994). En effet, la comparaison des réactions des variétés mesurée par la période d'incubation et par la quantité de symptômes suggère des mécanismes de résistance différents. La variété Frelon qui a une incubation très longue est classée avec les variétés Camp Rémy et Renan pour le développement des symptômes. La variété Virtuose qui a une période d'incubation proche des variétés Camp Rémy et Renan a un comportement intermédiaire entre la variété Charger et le reste des variétés par les symptômes développés. Il est clair que les variétés Camp Rémy, Frelon et Renan possèdent les deux types de la résistance à la fusariose: la résistance de type I et la résistance de type II. Lors de notre étude elles ont été notées 2 en moyenne, un comportement en concordance avec les fortes notes de résistance attribuées par le GEVES qui varient entre 5 et 6. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par le laboratoire de l'unité de recherche "amélioration des plantes et biotechnologies végétales" de l'INRA de Rennes ces dernières années. Chacune de ces variétés pourrait être utilisée comme parent comme le cas des variétés Frelon ou Renan par exemple.

Quant à la variété Virtuose elle semble posséder un assez bon niveau de résistance de type I, mais sa résistance de type II est relativement faible et ses symptômes la rapproche de la variété Charger dans la catégorie des variétés sensibles, résultat noté lors des essais des dernières années au laboratoire de l'unité de recherche "amélioration des plantes et biotechnologies végétales" de l'INRA de Rennes (Bocandé ; 2003), mais ne coïncide pas avec les essais du GEVES qui lui accordent un bon niveau de résistance (note 6). La période d'incubation et la quantité de symptômes estimées par les deux méthodes de notation ainsi que l'évolution de la maladie, caractérisent les variétés exactement de la même manière.

D'autre part, Les différents traitements nous ont permis de caractériser le comportement des variétés où la variété Charger a exprimé le plus de symptômes et la variété Virtuose a présenté un comportement moyen. Cependant aucun des traitement n'a permis de distinguer les variétés Camp Rémy, Frelon et Renan; la différence d'expression des symptômes de ces variétés est restée non significative quel que soit le traitement utilisé. Ce comportement nous amène à dire que la concentration des traitements ne sépare pas les variétés résistantes, d'où l'utilité d'utiliser des concentrations beaucoup plus grande pour pouvoir faire une éventuelle séparation des ces variétés. Par ailleurs, le traitement T12 qui a donné le plus de symptômes, est constitué des isolats G7G5 et F6G10 fortement productrices de DON. Toutefois les grains issus des variétés qui ont manifesté une bonne résistance à ce traitement ne sont pas forcément indemnes de ces mycotoxines.

Le classement des variétés établi par les deux méthodes reste stable quelle que soit la méthode de notation et quel que soit le traitement utilisé, d'où la stabilité du comportement variétal vis-à-vis de plusieurs isolats de *Fusarium* spp. observée par plusieurs auteurs notamment Gilbert et al, (2001). En effet, Un seul traitement avec plusieurs concentrations et une seule méthode de notation aurait suffi pour caractériser l'ensemble de nos variétés.

III.3.5. Evaluation du comportement des variétés selon la diminution des composantes du rendement.

III.3.5.1. Effets des différents traitements sur la diminution des composantes de rendements.

L'analyse des graphiques des figures 16, 17 et 18 nous permet de remarquer que les courbes sont relativement parallèles et que le positionnement de chaque variété reste stable quel que soit le traitement utilisé.

L'analyse montre aussi que c'est toujours la variété Charger qui est classée en premier avec le maximum de pertes, que se soit en nombre ou en poids des grains.

La variété Virtuose vient en deuxième position pour la perte de poids alors que pour le reste des variétés le comportement est identique. En effet les variétés Camp Rémy, Renan et Frelon perdent beaucoup plus en poids qu'en nombre de grain, mais cette perte reste relativement faible.

Il est à noter aussi que la variété Camp Rémy a eu les mêmes niveaux de pertes que les variétés Frelon et Renan, sauf pour le caractère perte du nombre de grains dans les 100 épis, où elle est classé devant la variété Virtuose et juste derrière la variété Charger.

Le modèle issu de l'analyse de la variance (annexe06) explique entre 71 et 85% de la variation totale des pertes étudiées. L'interaction variétés/traitements est très hautement significative ; nous avons classé les différents traitements selon leurs moyennes de pertes dans des groupes homogènes à travers un test de Duncan, dont le résultat est dans le tableau 07.

Tableau 07: Effets des différents isolats sur la diminution des composantes du rendement

| Traitements | D pg 100 E (g) | D nbg 100 E (g) | D pmg (g) |
|-------------|-------------------|--------------------|----------------|
| T2 | 62 ^{bcd} | 748 ^{bc} | 6 ^a |
| T3 | 92 ^a | 1543 ^a | 7 ^a |
| T4 | 91 ^a | 1548 ^a | 6 ^a |
| T5 | 80 ^{ab} | 1457 ^a | 5 ^a |
| T6 | 9 ^e | 92 ^d | 1 ^b |
| T7 | 42 ^d | 344 ^{cd} | 5 ^a |
| T8 | 71 ^{abc} | 1129 ^{ab} | 6 ^a |
| T9 | 69 ^{abc} | 1046 ^{ab} | 6 ^a |
| T10 | 84 ^{ab} | 1204 ^{ab} | 8 ^a |
| T11 | 18 ^e | 588 ^{bcd} | 0 ^b |
| T12 | 51 ^{cd} | 680 ^{bcd} | 5 ^a |

¹ les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes (test de Duncan, p=0,05)

De l'analyse des moyennes des diminutions des composantes de rendements, nous constatons que ce sont les traitements T3, T4, T5, T8, T9, T10 qui ont donné les plus grandes pertes en poids et en nombre de grains; ceci est dû à l'échaudage des grains ainsi que la possible stérilité des fleurs lors de l'attaque par ces isolats.

Le traitement T6 a provoqué très peu de pertes réduisant en nombre et en poids les grains fusariés, la souche Fché 1 qui le constitue s'avère être la moins agressive de toutes les autres isolats. On peut remarquer aussi que le traitement T11 a le même degré d'agressivité que le T6, avec une tendance à avoir plus de pertes en nombre qu'en poids.

Par ailleurs, les traitements T2, T7 et T12 ont eu exactement le même comportement, avec une grande tendance à avoir un effet sur la diminution du poids que sur la diminution du nombre de grains. Ils ont donc provoqué beaucoup plus d'échaudage que de stérilité des épis.

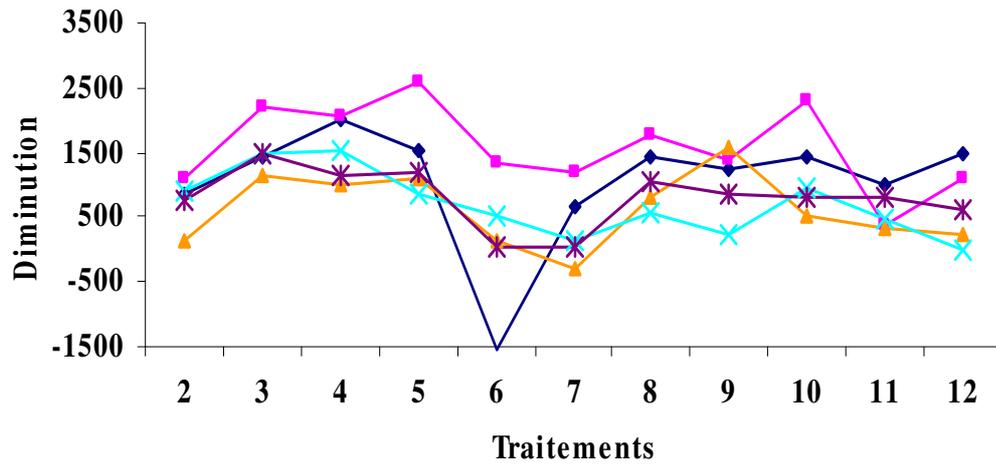


Figure16 : Effet des différents traitements sur la diminution du nombre des grains dans 100 épis.

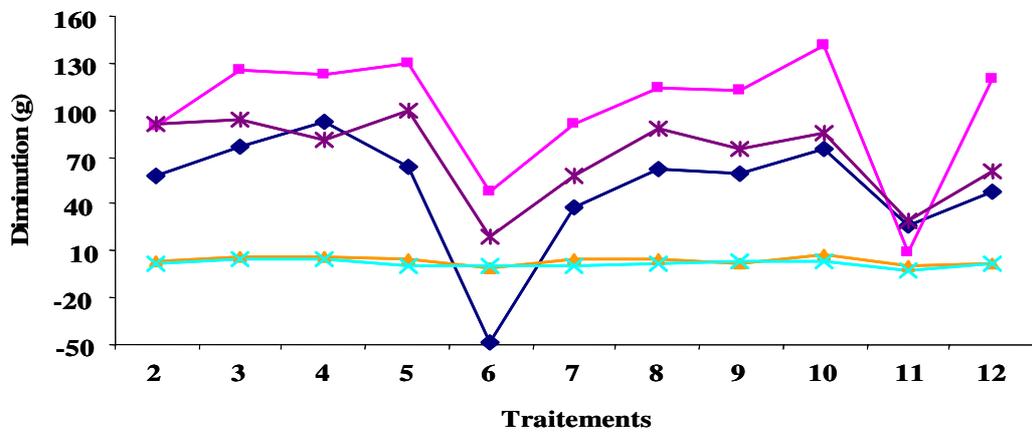


Figure17: Effet des différents traitement sur la diminution du poids des grains dans 100 épis

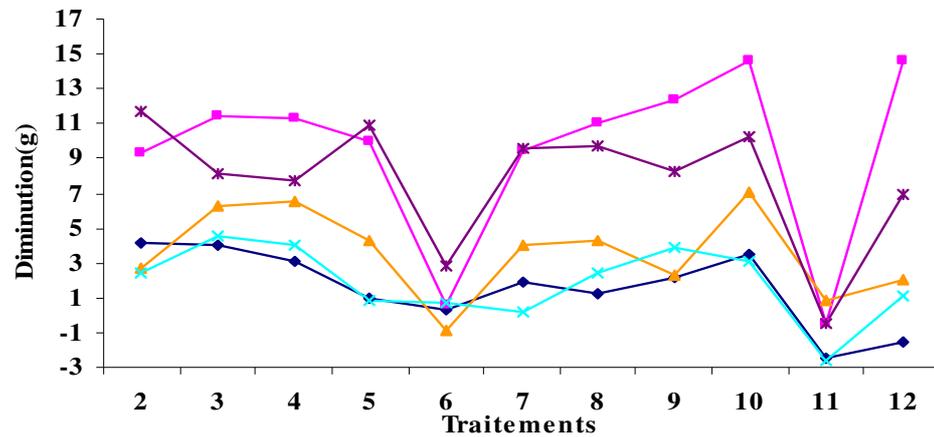


Figure 18 : Effet des différents traitement sur la diminution du poids de mille grains.

◆ Camp Rémy ■ Charger ▲ Frelon ✕ Renan * Virtuose

III.3.5.2. Relation entre les symptômes et la diminution des composantes de rendements.

Il est possible de prédire les pertes de rendements dues à la maladie par l'estimation des pertes enregistrées en nombre et en poids des grains.

Des figures 19 et 20 nous constatons que les symptômes expliquent une faible part de la perte du nombre de grains dans 100 épis (22%) et une grande part de la perte du poids de 1000 grains (67%) ; ceci est en accord avec les connaissances actuelles sur l'épidémiologie de la fusariose de l'épi ; le pathogène se développe après le stade floraison donc à l'installation de la maladie le nombre de grains par épis est déjà fixé, alors que le remplissage des grains ne fait que commencer. La maladie affecte donc ce paramètre et se traduit par une grande chute du poids de mille grains.

On constate que c'est toujours la variété Charger qui vient en tête avec les plus grandes pertes et le plus de symptômes. La variété Virtuose se trouve caractérisée avec des pertes et des symptômes moyens. Les variétés Camp Rémy, Frelon, et Renan présentent des symptômes et des pertes relativement proches.

Il est à noter que nous avons observé un résultat analogue en estimant la relation entre les pertes des paramètres de rendements et la notation par le nombre d'épillets fusariés dans 25 épis.

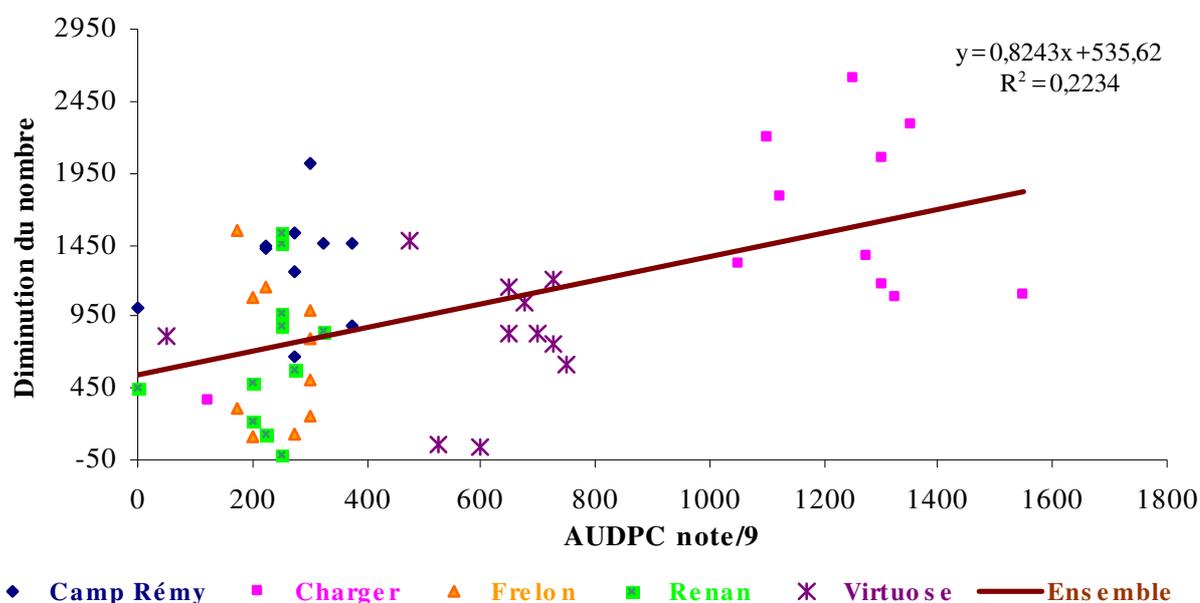


Figure19: Relation entre les symptômes observés et la diminution du nombre des grains dans 100 épis.

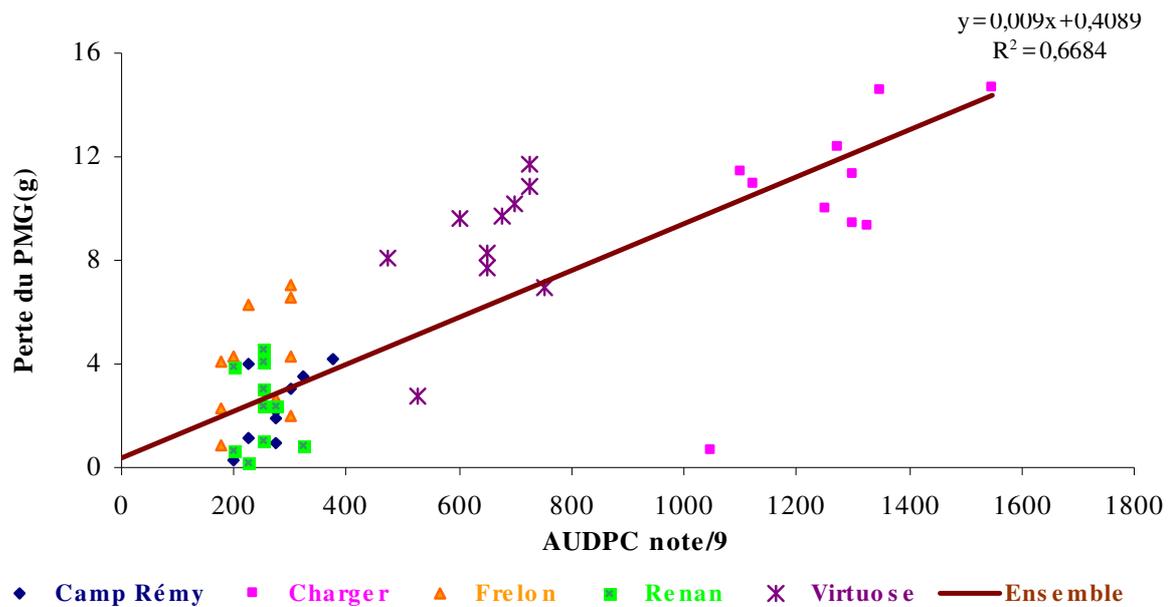


Figure20: Relation entre les symptômes observés et la diminution du poids de mille grains

III.3.6. Discussion

L'analyse des pertes de composantes du rendements a montré que les différents traitements affectent les variétés par la diminution du nombre et du poids des grains, ces traitements ont caractérisé le comportement des variétés et confirmer la stabilité du classement déjà observée dans plusieurs études du laboratoire de l'unité de recherche "amélioration des plantes et biotechnologies végétales" de l'INRA de Rennes (Bocandé 2003, Carn 2004). Cette stabilité nous donne la possibilité de travailler uniquement avec un ou deux isolats.

D'après nos résultats c'est la variété Charger qui a enregistré les plus grandes pertes en nombre et en poids de grains suivie juste après par la variété Virtuose en quantités moindres de pertes.

Les traitements ont par ailleurs regroupé les variétés Camp Rémy, Frelon et Renan dans un même groupe avec des pertes relativement faibles et très proches du témoin ceci reflète leur bons niveaux de résistances surtout celle du type II liée à la progression du pathogène dans l'épi. Cependant, ces trois variétés restent groupées sauf pour la diminution du nombre des grains dans 100 épis où la variété Camp Rémy a eu plus de pertes que la variété Virtuose chose qui a été observée lors des travaux du laboratoire de l'unité de recherche "amélioration des plantes et biotechnologies

végétales" de l'INRA de Rennes ces dernières années. Afin de mieux caractériser le comportement des variétés proches, il faudrait utiliser un inoculum beaucoup plus concentré.

Par ailleurs, les symptômes observés ont expliqué une partie des pertes en nombre et en poids des grains ce qui entre parfaitement avec ce qui est connu de d'épidémiologie du pathogène du fait de sa grande incidence sur le poids des grains que sur le nombre de ces derniers.

De l'étude des symptômes et des pertes des composantes du rendements nous remarquons qu'en général le classement des variétés est resté stable quel que soit le traitement utilisé et que les variétés qui se sont montrées avec un bon niveau de résistance sont difficilement séparables dans nos conditions expérimentales d'où la nécessité de caractériser le comportement de ces mêmes variétés avec d'autres concentrations d'inoculum plus élevées.

III.4. Etude de comportement des lignées recombinantes françaises

Le résultat de l'essai sur ces lignées montre que la fusariose de l'épi s'est bien développée au champ sur tous les génotypes étudiés. Les génotypes attaqués montrent un dessèchement qui commence par quelques épillets et s'étale par la suite à tout l'épi (Fig 21). Les graines sont alors déformées et fortement échaudées, avec une grande variabilité quant à la période d'incubation et à la quantité d'épillets fusariés.



Figure 21: Symptômes sur les lignées recombinantes

L'histogramme de la figure 22 montre que la majorité des génotypes a exprimé des temps de incubations allant de 11 à 16 jours, avec une faible transgression vers des incubations très grandes (23 jours) ou très petites (7 jours).

Par ailleurs, nous observons que la moyenne de la période d'incubation des parents est proche de la moyenne de l'incubation des lignées et partage ces dernières en deux ensembles à peu près égaux, soit 30% de lignées ont une incubation supérieure à Apache (entre 14 et 23 jours) et 35% des lignées ont une incubation inférieure à Ornicar (entre 07 et 12 jours).

Il est à noter aussi que 20% des lignées recombinantes ont des incubations inférieures à la variété Charger connue pour son incubation relativement faible (près de 12 jours). Ce sont des génotypes peu intéressants car leur incubation est trop faible. Cependant, 8% des génotypes ont eu des incubations supérieures à la variété Frelon montrant une grande incubation (près de 16 jours). Ces derniers génotypes sont intéressants du point de vue résistance à l'apparition des premiers symptômes.

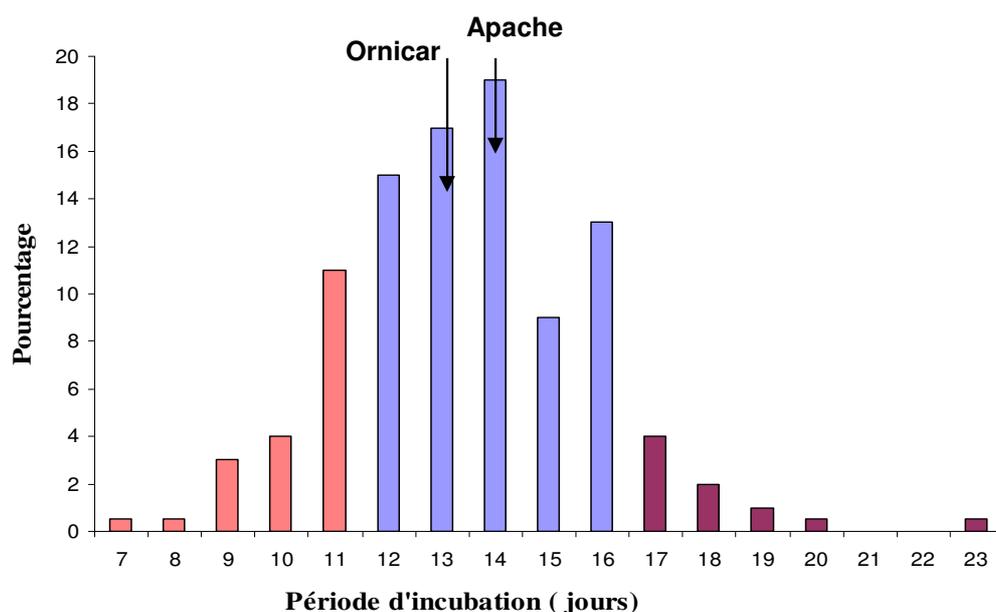


Figure22: Distribution des lignées recombinantes selon le temps d'incubation.

L'analyse de variance de cet essai de comportement montre que les résultats sont très hautement significatifs et expliquent 80 à 85 % de la variation totale. L'effet génotype est donc hautement significatif alors que l'effet bloc ne l'est pas, ceci explique une forte homogénéité de l'essai.

A travers cet essai nous avons aussi estimé la possible interaction entre la période d'incubation et la quantité de symptômes développés. En effet, l'analyse de la figure

23 nous indique que la période d'incubation est partiellement liée à la quantité de symptômes développés (26%) ce qui montre que ce caractère a un effet sur la quantité des symptômes exprimés. Nous notons que plus la période d'incubation est importante et moins d'épillets sont fusariés. La période d'incubation a donc un effet négatif sur le développement des symptômes.

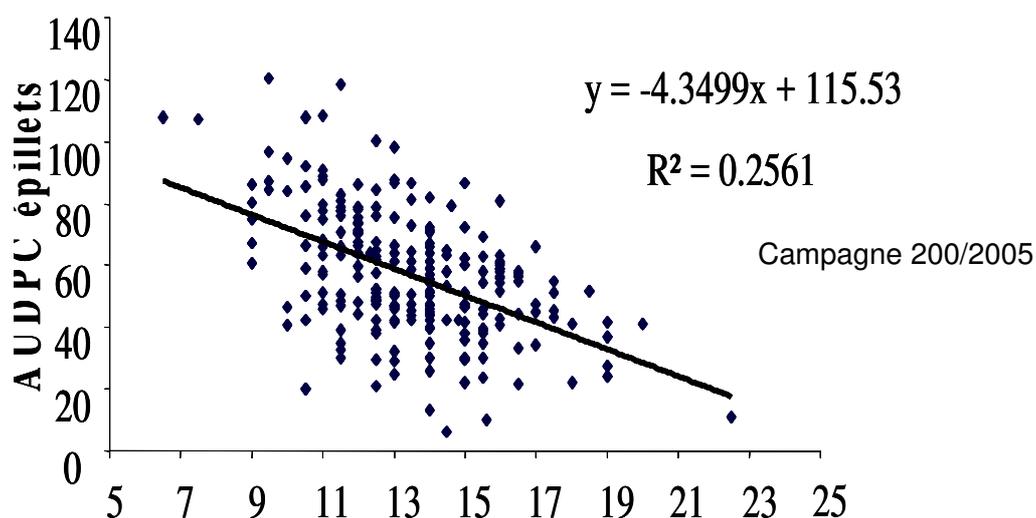


Figure23: Relation entre l'incubation et le développement des symptômes.

Par ailleurs, nous avons comparé à travers cette étude le comportement de nos lignées à l'égard de la fusariose de l'épi à travers deux années d'étude 2004 et 2005. En effet, la figure 24 relative à la distribution des AUDPC du nombre d'épillets fusariés dans 10 épis pendant deux années, nous montre que les deux histogrammes ont la même allure générale. L'histogramme de l'année 2005 est cependant décalé vers une expression de symptômes moins prononcée par rapport à celui de 2004. Ceci est expliqué par une quantité de symptômes développés en 2005 plus faible que celle développée en 2004. Ceci est le résultat de différences sur plusieurs facteurs importants pour le développement de la maladie à savoir : la concentration de l'inoculum jugée trop importante en 2004, est passée de 2×10^5 spores/ml à 5×10^4 spores/ml en 2005. Durant la période de contamination (stade floraison) de l'année 2005, les températures étaient plus élevées et des humidités relatives moins importantes comparées à l'année 2004. Cette situation a donc favorisé un développement moindre de symptômes. Il reste que l'irrigation ne permet pas d'augmenter durablement l'hygrométrie dans une situation où le vent est quasi

permanent. Le modèle d'analyse du regroupement des essais 2004 et 2005 explique 83 % de la variation totale, où les effets années, lignées et interactions sont hautement significatifs. L'effet répétition est quant à lui non significatif ce qui traduit une bonne homogénéité dans les essais chaque année.

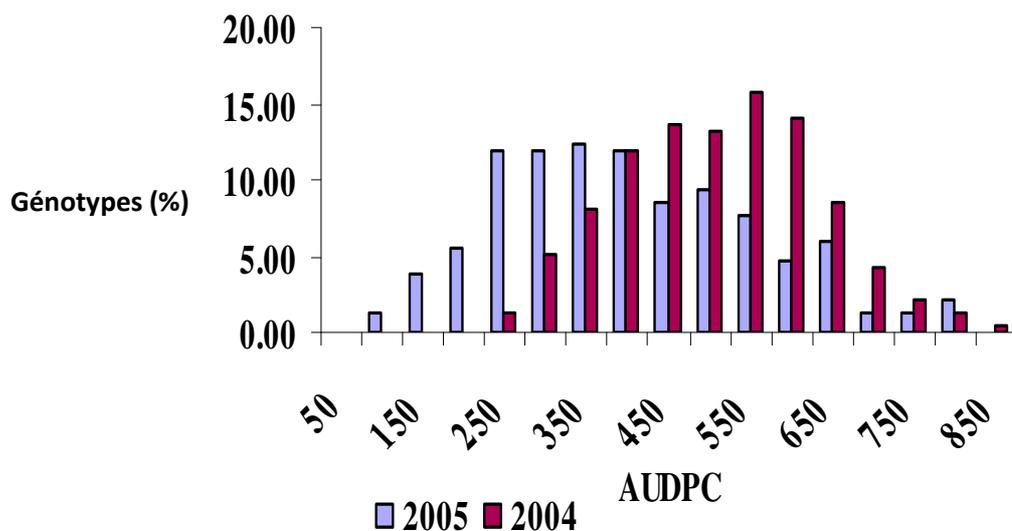


Figure24: Répartition des lignées recombinantes sur deux années selon la quantité de symptômes

Discussion

Cette étude a montré que la distribution de la période d'incubation suit approximativement une loi normale suggérant que le déterminisme génétique de ce caractère est polygénique et quantitatif. Ceci a été aussi rapporté dans les travaux de plusieurs auteurs notamment Van Ginkel *et al.*1995; Buerstmayr *et al.*1997; Miedaner 1997; Yao *et al.*1997; Grausgruber *et al.*1998 et 1999; Buerstmayr *et al.*1999 qui estiment que la résistance à la fusariose est contrôlée par 2 à 3 gènes majeurs et plusieurs autres gènes à effets mineurs.

Lors de cet essai nous avons pu d'une part caractériser le comportement des lignées recombinantes par rapport à la période d'incubation. Ce critère nous a permis de constater que la majorité de nos lignées possède un temps d'incubation qui se situe entre 11 et 16 jours. Ceci reflète un bon niveau de résistance de type I liée à un mécanisme cellulaire qui ralentit l'expression du premier symptôme et l'installation

donc de la maladie. Ce mécanisme est confié par les parents Apache et Ornicar connus pour leur bon niveau de résistance de type I liée à l'installation de la maladie.

D'autre part, le temps d'incubation a expliqué 26% des symptômes relatifs au nombre d'épillets fusariés dans 10 épis. Cependant, la liaison entre le temps d'incubation et la quantité de symptômes développés montre que les gènes agissant sur la période d'incubation ne sont pas forcément tous indépendants de ceux qui agissent sur la vitesse de progression des symptômes. Pour mettre en évidence cette liaison génétique, il aurait fallu un autre essai pour estimer la vitesse de progression des symptômes au sein de chaque lignée.

Il serait intéressant aussi de croiser des lignées qui ont eu des périodes d'incubations importantes avec celles qui ont eu de faibles AUDPC afin de sélectionner des descendants plus résistants à la maladie puis étudier par la suite leur comportement à l'égard de l'accumulation des mycotoxines dans les grains.

La comparaison des essais des deux années a montré que le comportement de nos lignées reste très dépendant d'une part des conditions climatiques et d'autre part de la concentration de l'inoculum. La variabilité de l'expression de la résistance rend difficile l'évaluation des génotypes, et ceci nécessite une évaluation multilocale et pluriannuelle.

Par ailleurs, et étant donné que la fusariose de l'épi prend de l'ampleur à travers la majorité de zones céréalières algériennes. Il serait intéressant de reconduire ce type d'essais à l'échelle nationale avec nos variétés et génotypes locaux testés avec nos souches de *Fusarium* spp. et sous nos conditions climatiques.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

L'intérêt croissant de la filière céréalière pour la qualité sanitaire des grains et particulièrement pour la contamination par les mycotoxines, accroît fortement la demande de variétés productives et accumulant peu de mycotoxines dans leurs grains. En l'absence d'informations fiables sur l'aptitude des variétés à limiter l'accumulation de ces molécules, l'attention se porte sur le bon niveau de résistance variétale à la fusariose de l'épi.

La limitation du nombre de traitements fongicides pour des raisons environnementales, l'utilisation de variétés résistantes liées à de bonnes pratiques agronomiques restent la solution la plus satisfaisante pour les agriculteurs.

Notre étude entre dans le cadre global de la lutte génétique contre la fusariose de l'épi et ceci par la création de variétés résistantes à la maladie.

Les caractérisations morphologique et pathologique des différentes espèces de *Fusarium* spp. responsables des symptômes de la maladie sur collet et sur épi du blé tendre, viennent contribuer à une meilleure connaissance des agents responsables de la maladie ainsi que leur agressivité, pour une réelle prise en charge de cette pathologie qui prend de plus en plus d'ampleur à travers le territoire national.

Ces caractérisations quoique importantes, méritent cependant d'être approfondies par des études moléculaires et des travaux relatifs à l'accumulation de mycotoxines.

A travers notre travail nous avons pu étudier le comportement de deux variétés algériennes de blé tendre Hiddab et Arz, à l'égard de deux isolats de *Fusarium culmorum* l'un isolé de l'épi et l'autre isolé du collet. La variété Hiddab très largement utilisée par nos céréaliculteurs à cause de son adaptation à la sécheresse, sa qualité technologique et son rendement appréciable en grain et en paille, a montré un comportement sensible et similaire à l'égard des deux souches de *Fusarium culmorum* utilisées. Ajouter à sa forte sensibilité à la rouille jaune (pertes de rendements très importantes lors de l'épidémie de 2004) la sensibilité de cette variété a orienté la recherche en matière d'obtention variétale vers la création de nouvelles variétés plus tolérantes aux maladies fongiques.

La variété Arz caractérisée par son adaptation à la sécheresse mais moins utilisée que la variété Hiddab n'a montré aucun symptôme à l'égard des deux isolats, ceci pourrait être dû à une probable tolérance au pathogène ce qui la proposerait comme

un parent intéressant pour les travaux de recherche surtout que cette même variété s'est montrée plus tolérante à la rouille jaune que la variété Hiddab lors de l'épidémie de l'année 2004. Une éventuelle tolérance à la fusariose de l'épi nécessite cependant une confirmation à travers des études pluriannuelles.

Notre travail nous a permis aussi d'étudier le comportement de cinq variétés françaises à travers plusieurs critères de résistance notamment la période d'incubation, le développement ainsi que la quantité de symptômes extériorisés.

Nous avons montré que le comportement des variétés est stable quelle que soit la souche utilisée, ceci est en accord avec des travaux déjà publiés sur ce sujet. Nous avons aussi montré que la contamination par un mélange de souches ne changeait pas ce constat, ce qui n'a jamais été publié. Par ailleurs, nous avons observé que selon le niveau d'expression des symptômes on pouvait séparer ou confondre des groupes de génotypes de niveaux de résistance voisins. Pour caractériser correctement le niveau de résistance de variétés, il n'est donc pas nécessaire de multiplier les isolats.

Les variétés qui se sont montrées avec de bons critères de sélection nécessitent d'avantage de travaux pour estimer leur comportement à l'égard de l'accumulation des mycotoxines.

A l'état actuel des connaissances et du fait du manque de travaux scientifiques pour caractériser des variétés par rapport à l'accumulation des mycotoxines dans les grains, le principal critère de choix chez l'agriculteur reste le bon comportement de la variété vis-à-vis de la maladie observé lors de son inscription au catalogue, d'où l'importance de la rigueur des notations. C'est dans ce cadre que s'inscrit la collaboration entre l'INRA de Rennes et le GEVES. A travers notre étude, nous avons observé que les deux méthodes de notations estimaient la quantité des symptômes de la même manière. La note globale adoptée par le GEVES donne donc une bonne estimation de la maladie à condition d'être réalisée de façon précise et régulière.

D'autre part, l'essai de comportement des lignées recombinantes issues du croisement entre Apache et Ornicar montre que la résistance est fortement tributaire des conditions climatiques et de la pression exercée par le pathogène à chaque année d'étude. En effet

la transgression de certaines lignées vers des incubations très grandes mérite d'avantage d'études notamment sur l'accumulation de mycotoxines.

Il serait aussi intéressant de croiser ces lignées avec des variétés à longue incubation comme Frelon par exemple afin de pouvoir augmenter la résistance de type I relative à l'installation du pathogène ou avec Renan afin de diminuer les symptômes en augmentant la résistance du type II.

L'étude morphologique et pathologique ainsi que le comportement de différentes variétés contribuent à une meilleure connaissance du pathogène et son épidémiologie. Ils permettent aussi d'orienter les travaux de recherches vers la compilation de plusieurs caractères complémentaires et augmenter ainsi l'efficacité de la sélection.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. **Abate Z. A., S. Liu, et A. L. McKendry 2008.** Quantitative Trait Loci Associated with Deoxynivalenol Content and Kernel Quality in the Soft Red Winter Wheat 'Ernie' *Crop Sci.* 48:1408–1418.
2. **Agrios, G.N.2005.** *Plant Pathology* (5th edition) Elsevier-Academic Press, San Diego, CA. 902 p
3. **Ait Abdallah-Djennadi F., Dekkiche N., Ghalem-Djender Z., Oumedjekane K., Zaghoul-Boufnar F 2010.** Culture et coûts de production des grandes cultures. 96p
Alan T. Dyer & Robert H. Johnston & Andrew C. Hogg & Jeffrey A. Johnston 2009. Comparison of pathogenicity of the Fusarium crown rot (FCR) complex (*F. culmorum*, *F. pseudograminearum* and *F. graminearum*) on hard red spring and durum wheat: *Eur J Plant Pathol* 125:387–395.
4. **Akinsanmi O.A., Backhouse D., Simpfendorfer S., Chakraborty S 2008.** Mycelial compatibility of Australian *Fusarium graminearum* and *F.pseudograminearum* isolates compared with AFLP groupings: *Plant Pathol.* 57, 251-261.
5. **Aleandri M. P, P. Magro., G. Chilosi 2007.** Modulation of host pH during the wheat–*Fusarium culmorum* interaction and its influence on the production and activity of pectolytic enzymes *Plant Pathol.* 56: 517-525.
6. **Anderson J.A. 2007.** Marker-assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: *International Journal of Food Microbiology* 119:51–53.
7. **Aoki, T and Kerry O. 1999.** Morphological characterization of *Gibberella coronicola* sp.nov., obtained through mating experiments of *Fusarium pseudograminearum*. *Mycoscience* 40: 443-453.
8. **Badea, A., F. Eudes R. J. Graf A. Laroche D. A. Gaudet . R. S. Sadasivaiah 2008.** Phenotypic and marker-assisted evaluation of spring and winter wheat germplasm for resistance to fusarium head blight. *Euphytica* 164:803–819.
9. **Bai G. H., Shaner G. E., Ohm H. 2000.** Inheritance of resistance to *Fusarium graminearum* in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 100: 1-8.
10. **Bai, G. H. and G. Shaner 2004.** Management and resistance in wheat and barley to fusarium head blight. *Annu. Rev. Phytopath.* 42: 135-161.
11. **Benbelkacem A., 1993.** La recherche variétale sur le blé en Algérie. *Céréaliculture* n°26. pp3-8.

12. **Berek L., I. B. Petri, Á. Mesterházy, J. Teren, J. Molnar 2001.** Effects of mycotoxins on human immune functions *in vitro*. *Toxicol.* 15: 25-30.
13. **Beyer, M., J. A. Verreet, W. S. M. Ragab 2005.** Effect of relative humidity on germination of ascospores and macroconidia of *Gibberella zeae* and deoxynivalenol production. *Int. J. Food Microbiol.* 98: 233-240.
14. **Bocandé A 2003.** Étude de la stabilité de la résistance à la fusariose de l'épi des variétés de blé tendre. Rapport BTSA 49 p.
15. **Bonjean A., 1990.** Les céréales à paille. Softword group ITM pp 38-42
16. **Brennan, J.M., Fagan, B., VanMaanen, A., Cooke, B.M., Doohan, F.M.2003.** Studies on *in vitro* growth and pathogenicity of European *Fusarium* fungi. *Eur. J. Plant Pathol.* 109:577-587.
17. **Brennan, J.M., Fagan, B., Cooke, B.M., Doohan, F.M 2005.** Effect of temperature on head blight of wheat caused by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum*. *Plant Pathol.* 54: 156–160.
18. **Buerstmayr H., Lemmens M., Ruckenbauer P 1997.** Chromosomal location of *Fusarium* Head Blight resistance genes in wheat. *Cereal Research Communication* 25:727-728.
19. **Buerstmayr H., Lemmens M., Fedak G., Ruckenbauer P 1999.** Back-cross monosomic analysis of *Fusarium* Head Blight resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.) *Theological and Applied Genetics* .98:76-85.
20. **Buerstmayr H., T. Ban , J. A. Anderson 2009.** QTL mapping and marker-assisted selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat: a review *Plant Breeding* 128: 1-26.
21. **Burgess, L. W., Summerell, B.A., Bullock, S., Gott, K. P., Backhouse. 1994.** *Laboratory manual for Fusarium research*, Third Edition; *Fusarium Research Laboratory* Department of Crop Sciences University of Sydney And Royal Botanic Gardens. Sydney 124p.
22. **Carn, S 2004.** Évaluation de la résistance du blé tendre à une maladie fongique. Rapport BTSA 32 p.
23. **Chebbi, H.E, El Mourid, M. 2005.** L'agriculture au Maghreb : une lettre du contexte économique. ICARDA North Africa Regional Program. International Center for Agricultural Research in Dry Areas. 58p.

24. **Chehri K., Salleh B., Ylaimatilla T., Soleimani M.J., Yousefi A.R 2010.** Occurrence pathogenicity and distribution of *Fusarium* Spp. In stored wheat seeds Kermanshah province, *Iran Pak.j.io.Sci.* 13(24) : 1178-1186.
25. **Chunjun L., Hulian Z., Caiqin Z., Feng L., Shulin X., Yong C., ZhengzhiZ., Lixia Z., Desjardins A. E., T. M. Hohn, S. P. McCormick 1993.** Trichothecene biosynthesis in *Fusarium* species: chemistry, genetics and significance. *Microbiol Rev.* 57: 595-604.
26. **Dill-Macky R., R. K. Jones 2000.** The effect of previous crop residues and tillage on fusarium head blight of wheat. *Plant Dis.* 84: 71-76.
27. **Fernandez M. R. 1992.** The effect of *Trichoderma harzianum* on fungal pathogens infesting wheat and black oat straw. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1031-1034.
28. **Gervais Laurent 2003.** Recherche et caractérisation de QTL à la résistance à la fusariose chez le blé tendre:Thèse de doctorat: 228 p. Ecole supérieure agronomique de Rennes
29. **Gilbert J., Tekauz A. 2000.** Review recent development in research on Fusarium head blight of wheat in Canada. *Can. J. Plant Pathol.* 22, p1-8.
30. **Gilbert J., S. M. Woods 2001.** Leaf spot diseases of spring wheat in southern Manitoba farm fields under conventional and conservation tillage. *Can. J. Plant Sci.* 81: 551-559.
31. **Glenn A.E 2007:** Mycotoxigenic *Fusarium* species in animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 137 : 213–240.
32. **Gosman N., E. Chandler M. Thomsett R. Draeger P. Nicholson 2005.** Analysis of the relationship between parameters of resistance to fusarium head blight and in vitro tolerance to deoxynivalenol of the winter wheat cultivar WEK0609. *Eur. J. Plant Pathol.* 111: 57-66.
33. **Grausgruber H. Lemmens M., Buerstmayr H., Ruckenbauer P 1998.** Chromosomal location of Fusarium Head Blight resistance and *in vitro* toxin tolerance in wheat using the "Hobbit sib" (*Triticum macha*) chromosome substitution lines. *Journal of Genetic and Breed* 53:173-180.
34. **Grausgruber H. Lemmens M., Buerstmayr H., Ruckenbauer P 1999.** Resistance of "Chinese Spring" substitute lines carrying chromosomes from "Cheyenne", "hope" and "lutescens 62" wheats to head blight caused by *Fusarium culmorum* . *Hereditas* 130:57-63.

- 35. Jennings P., M. E. Coates , J. A. Turner , E. A. Chandler and P. Nicholson 2004.** Determination of deoxynivalenol and nivalenol chemotypes of *Fusarium culmorum* isolates from England and Wales by PCR assay .*Plant Pathology* **53** , 182–190.
- 36. Juradoa M., Covadonga Va´ zquezb, Bele´ n Patin˜ ob, M. Teresa Gonzala´ lez-Jae´ na, 2005.** PCR detection assays for the trichothecene-producing species *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium poae*, *Fusarium equiseti* and *Fusarium sporotrichioides* *Systematic and Applied Microbiology* **28**: 562–568
- 37. Kang Z., H. Buchenauer 2000.** Ultrastructural and cytochemical studies on cellulose, xylan and pectin degradation in wheat spikes infected by *Fusarium culmorum*. *J. Phytopathol.* **148**: 263-275.
- 38. Kang Z., H. Buchenauer 2002.** Studies on the infection process of *Fusarium culmorum* in wheat spikes: Degradation of host cell wall components and localization of trichothecene toxins in infected tissue. *Eur. J. Plant Pathol.* **108**: 653-660.
- 39. Le Henaff G., Oste B., Dacquay Y., Delos M , Gatellet G., Lepoutre P.,Pillon O., Vergnaud A. 2000.** Bilan Phytosanitaire 1999-2000 des blés et des orges. *Phytoma, La défense des végétaux*, n°533 : 8-12.
- 40. Leslie J., Summerell B. 2006.** *The Fusarium laboratory manual*, Blackwell publishing, 387p.
- 41. Mesterházy A. 1995.** types and components of resistance to *Fusarium* head blight in wheat. *Plant breeding.* **114** : 377-386.
- 42. Mesterházy A, 2002.** Role of deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in resistance to fusarium head blight. *Euro J. Plant* **108**, 675–84.
- 43. Mesterhazy A., 2003.** Breeding wheat for Fusarium head blight Resistance in Europe: *Fusarium head blight of wheat and barley Edition Kurt .G .L., Boushnell W. I: APS press* 211-240.
- 44. Miedaner T.1997.** Review: Breeding wheat and rye for resistance to *Fusarium* disease. *Plant Breeding* **116**:201-220.
- 45. Miedaner T and Voss, H.H. 2008.** Effect of dwarfing *Rht* genes on Fusarium Head Blight resistance in two sets of Near-Isogenic lines of Wheat and Check Cultivars. *Crop Sci,* **48**, 2115-2122
- 46. Packa D. 1991.** Cytogenetic changes in plant cells as influenced by mycotoxin. *Mycotoxi. Res.* **7**: 150-155.

47. Parry D. W., R. A. Bayles, R. H. Priestley 1985. Resistance of winter wheat varieties to ear blight caused by *Fusarium avenaceum* and *F. culmorum*. *Tests-Agrochem-Cult.* 6: 164-165.
48. Parry D. W., Jenkinson P., McLeod L. 1995. *Fusarium* ear blight scab in small grain cereals-a review. *Plant Pathol.* 44:207-238.
49. Pirgozliev, S. R., S. G. Edwards, M. C. Hare, P. Jenkinson 2001. Effect of timing and fungicides on the development of fusarium head blight (FHB) and accumulation of deoxynivalenol (DON) in winter wheat. *Sustainable systems of cereal crop protection against fungal diseases as the way of reduction of toxin occurrence in food webs. A Healthy Cereals Proceedings* Republic, Kromeriz Czech Republic, Agricultural Research Institute Kromeriz, Ltd. Edition électronique.
50. Rappilly, F., Lemaire J.M., et Cassini R., 1971. Les principales maladies cryptogamiques des céréales. I.T.C.F , I.N.R.A. Paris. 189pp
51. Saharana, M.S et Naef, A. 2008. Detection of genetic variation among Indian wheat head scab pathogens (*Fusarium* spp./isolates) with microsatellite markers. *Crop Protection* 27: 1148–1154
52. Saur L., N et Benacef 1993. Relation entre les symptômes de fusariose de l'épi et la perte de rendement chez le blé tendre. *Agronomie* 13: 829-833.
53. Sayoud R. et Benbelkacem K 1996. Situation des maladies des céréales en Algérie. Proceeding. Symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires. Actes IAV Rabat, Maroc. 69-70
54. Shaner G. and R.F. Finney.1977. The effect of nitrogen fertilization in the expression of the slow mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology.* 70:1183-1186.
55. Simpson DR., Weston GE ., Turner JA., Jennings P ., Nicholson P. 2001. Differential control of head blight pathogenes of wheat by fongicides and consequences for mycotoxin contamination of grain.
56. Šliková S., V. Šudyová & P. Martinek & I. Polišíenská & E. Gregová & D. Mihálik. 2009. Assessment of infection in wheat by *Fusarium* protein equivalent levels *Eur J Plant Pathol* 124:163–170.
57. Tousson T.A., and Nelson, P.E.1976. *A pictorial guide to the Fusarium species according to the taxonomy system of Snyder and Hansen.* Second Edition, the Pennsylvania State University press; 43p.
58. Trottet M., L.Saur 1994. Effet des septorioses et de la fusariose de l'épi sur l'élaboration du rendement et sur la qualité de quelques variétés de blé tendre.

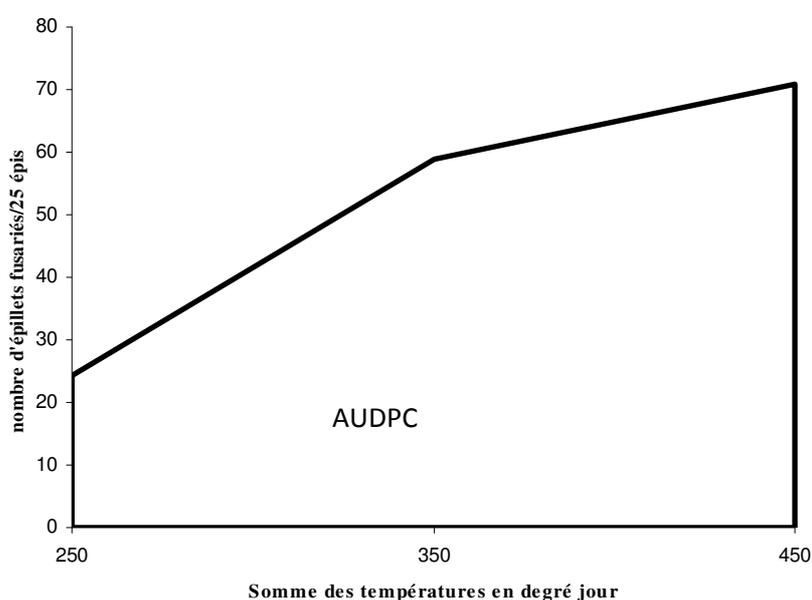
Compte rendu de la réunion scientifique du groupe céréales de l'INRA, Dijon, 23-25 mars 1994, 11 pp.

59. **Trottet M et Doussinault G.2001.** Le comportement des blés face aux attaques parasitaires. La résistance aux maladies : *Perspectives agricoles*. n° 268, 30-34.
60. **Van Ginkel M., Van Der Schaar W., Zhuping Y., Rajaram S 1995.** Inheritance to scab in two wheat cultivars from Brazil and China. *Plant Dis.* 80: 863-867.
61. **Xu X., D.W. Parry, P. Nicholson, M.A. Thomsett, D. Simpson, S.G. Edwards, B.M. Cooke, F.M. Doohan, J.M. Brennan, A. Moretti, G. Tocco, G. Mule, L. Hornok, G. Giczey and J. Tatnell 2005.** Predominance and association of pathogenic fungi causing Fusarium ear blight in wheat in four European countries: *Eur. J. Plant Pathology* vol 112: 143–154.
62. **Xu, X., Nicholson, 2009.** Community ecology of fungal pathogens causing wheat head blight: *Annu. Rev. Phytopathol.* 47:83-103.
63. **Yao J., Ge Y., Wang S., Yao G., Zhoo C., Qian C . 1997.** Chromosomal location of genes for scab resistance in wheat cultivar Sumai 3. *Acta Agronomica Sinica* 23:450-453.
64. **Zaghouane O. 2010.** Synthèse des résultats de la campagne céréalière 2009-2010. *Céréaliculture* 55: 8-18
65. **Zhengqiang M 2008.** Mapping QTLs associated with Fusarium-damaged kernels in the nada 2419X Wangshuibai population . *Euphytica* . 163:185-193.
66. **Zillinsky F, J. 1983.** Maladies communes des céréales à pailles, guide d'identification. CIMMYT. 149p.

ANNEXES

Annexe 01 : Définition de l'AUDPC

La relation entre la note accordée et les paramètres de caractérisation de chaque variété ou génotype est établie par une variable synthétisant l'évolution des notes observées l'AUDPC : aire sous la courbe de progression de la maladie ; elle est calculée en partant de la première date de notation en cumulant la surface des différents trapèzes délimités par l'axe des abscisses, la courbe et les droites parallèles à l'axe des ordonnées passant par les différentes dates de notations. Son avantage est de donner une vue synthétique de l'ensemble des dates de notation et elle explique généralement mieux la variation du paramètre étudié qu'une seule notation à date fixe.



Exemple de calcul des AUDPC pour la variété Charger

| Dates en °j | 250 | 350 | 450 | AUDPC |
|---|-----|-----|-----|--|
| Notes de 1 à 9 | 3 | 6 | 9 | $(350-250) \times (3+6) / 2 + (450-350) \times (6+9) / 2 = 1200$ |
| Nombre d'épillets fusariés dans 25 épis | 20 | 240 | 400 | $(350-250) \times (20+240) / 2 + (450-350) \times (240+400) / 2 = 45000$ |

Annexe 02: Le nombre d'épillets fusariés/25 épis

| Période de notation | 250dj | 350dj | 450dj | AUDPC |
|------------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| <i>Fusarium culmorum</i> de l'épi | 23,75 | 59,00 | 91,25 | 116,50 |
| <i>Fusarium culmorum</i> du collet | 23,75 | 56,25 | 98,50 | 117,38 |

Annexe03: Analyse de variance de l'essai agressivité des espèces de *Fusarium culmorum* sur deux variétés algériennes

| Source | degrés de liberté | somme des carrés des écarts | carré moyen | F | P |
|------------|-------------------|-----------------------------|-------------|-------|---------------|
| Souche | 1 | 1.53125 | 1.53125 | 0.40 | 0.5737 |
| Répétition | 3 | 197.59375 | 65.86458 | 17.04 | 0.0218 |

| Rapport de corrélation | coefficient de variation | écart-type de l'erreur | AUDPC moyenne |
|------------------------|--------------------------|------------------------|---------------|
| 0.944980 | 1.681115 | 1.965854 | 116.9375 |

Annexe04: tableau des temps d'incubation des variétés selon les différents traitements

| Var* | tr (T) | latence moyenne |
|------|--------|-----------------|
| 1 | 2 | 14.0000000 |
| 1 | 3 | 15.5000000 |
| 1 | 4 | 16.5000000 |
| 1 | 5 | 14.5000000 |
| 1 | 6 | 17.0000000 |
| 1 | 7 | 14.0000000 |
| 1 | 8 | 15.5000000 |
| 1 | 9 | 15.5000000 |
| 1 | 10 | 14.0000000 |
| 1 | 11 | 14.1078431 |
| 1 | 12 | 13.0000000 |
| 2 | 2 | 12.0000000 |
| 2 | 3 | 12.0000000 |
| 2 | 4 | 12.0000000 |
| 2 | 5 | 12.0000000 |
| 2 | 6 | 12.0000000 |
| 2 | 7 | 12.0000000 |
| 2 | 8 | 12.0000000 |

| | | |
|---|----|------------|
| 2 | 9 | 12.0000000 |
| 2 | 10 | 12.0000000 |
| 2 | 11 | 18.1078431 |
| 2 | 12 | 12.0000000 |
| 3 | 2 | 18.5000000 |
| 3 | 3 | 19.0000000 |
| 3 | 4 | 19.0000000 |
| 3 | 5 | 18.5000000 |
| 3 | 6 | 18.5000000 |
| 3 | 7 | 18.5000000 |
| 3 | 8 | 17.0000000 |
| 3 | 9 | 19.0000000 |
| 3 | 10 | 17.0000000 |
| 3 | 11 | 22.5000000 |
| 3 | 12 | 17.5000000 |
| 4 | 2 | 15.5000000 |
| 4 | 3 | 16.5000000 |
| 4 | 4 | 15.0000000 |
| 4 | 5 | 15.5000000 |
| 4 | 6 | 17.0000000 |
| 4 | 7 | 17.0000000 |
| 4 | 8 | 14.0000000 |
| 4 | 9 | 15.5000000 |
| 4 | 10 | 14.0000000 |
| 4 | 12 | 14.0000000 |
| 5 | 2 | 14.0000000 |
| 5 | 3 | 15.5000000 |
| 5 | 4 | 15.0000000 |
| 5 | 5 | 13.0000000 |
| 5 | 6 | 15.0000000 |
| 5 | 7 | 15.0000000 |
| 5 | 8 | 13.5000000 |
| 5 | 9 | 13.5000000 |
| 5 | 10 | 14.0000000 |
| 5 | 11 | 17.1078431 |
| 5 | 12 | 12.5000000 |

- 1: Camp Rémy
- 2: Charger
- 3: Frelon
- 4: Renan
- 5:Virtuose

Annexe05: Tableau de l'analyse de variance de l'effet des différents isolats sur le développement des symptômes apprécié par la note et le nombre d'épillets fusariés dans 25 épis.

Variable dependente: audpcepl

| Source | DF | SC | CM | F | Pr > F |
|---------|----|-------------|-------------|-------|--------|
| Model | 5 | 75398963.77 | 15079792.75 | 31.29 | 0.0027 |
| Résidus | 4 | 1927690.07 | 481922.52 | | |
| Total | 9 | 77326653.84 | | | |

Coeff Var Moy audpcepl

28.18613 2462.936

| Source | DL | SC | CM | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| v | 4 | 74262963.00 | 18565740.75 | 38.52 | 0.0019 |
| r | 1 | 1136000.77 | 1136000.77 | 2.36 | 0.1995 |

Variable dépendante: audpcn9

| Source | DF | SC | CM | F Value | Pr > F |
|---------|----|-------------|------------|---------|--------|
| Model | 5 | 1675000.000 | 335000.000 | 46.21 | 0.0012 |
| Résidus | 4 | 29000.000 | 7250.000 | | |
| Total | 9 | 1704000.000 | | | |

Coeff Var audpcn9 Moy

14.43168 590.0000

| Source | DF | SC | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| v | 4 | 1639000.000 | 409750.000 | 56.52 | 0.0009 |
| r | 1 | 36000.000 | 36000.000 | 4.97 | 0.0898 |

Annexe06: analyse de variance de la diminution des paramètres du rendement .

Diminution du poids de 1000 grains: dpmg.

| source | degrés de liberté | somme des carrés des écarts | carré moyen | F | P>F |
|------------|-------------------|-----------------------------|-------------|-------|---------|
| Souche | 10 | 702,756343 | 70,275634 | 6,75 | <0.0001 |
| variété | 4 | 1126,879448 | 281,719862 | 27,04 | <0.0001 |
| Répétition | 1 | 278,646846 | 278,646846 | 26,75 | <0.0001 |

| source | degrés de liberté | somme des carrés des écarts | carré moyen | F | P>F |
|--------------|-------------------|-----------------------------|-------------|------|---------|
| Modèle | 65 | 2555,710332 | 39,31862 | 3,77 | <0.0001 |
| Erreur | 44 | 458,401964 | 10,418226 | | |
| Total ajusté | 109 | 3014,112296 | | | |

| | |
|--------------------------|--------------|
| coefficient de variation | dpmg moyenne |
| 66,39105 | 4,861691 |

Diminution du poids des grains dans 100 épis: dpgr100e

| source | degrés de liberté | somme des carrés des écarts | carré moyen | F | P>F |
|------------|-------------------|-----------------------------|-------------|-------|---------------|
| Souche | 10 | 79504,96193 | 7950,49619 | 10,60 | <0.0001 |
| variété | 4 | 56736,55202 | 14184,13801 | 18,91 | <0.0001 |
| Répétition | 1 | 797,12586 | 797,12586 | 1,06 | 0,3082 |

| source | degrés de liberté | somme des carrés des écarts | carré moyen | F | P>F |
|--------------|-------------------|-----------------------------|-------------|------|---------|
| Modèle | 65 | 169752,6961 | 2611,5799 | 3,48 | <0.0001 |
| Erreur | 44 | 32999,0107 | 749,9775 | | |
| Total ajusté | 109 | 202751,7069 | | | |

| | |
|--------------------------|------------------|
| coefficient de variation | dpgr100e moyenne |
| 45,15163 | 60,65278 |

Diminution du nombre des grains dans 100 épis: dnbg100e

| source | degrés de liberté | somme des carrés des écarts | carré moyen | F | P>F |
|------------|-------------------|-----------------------------|-------------|------|---------------|
| Souche | 10 | 24199198,99 | 2419919,899 | 4,27 | 0,0003 |
| variété | 4 | 13583440,96 | 3395860,19 | 6,00 | 0,0006 |
| Répétition | 1 | 3099264,84 | 3099264,84 | 5,47 | 0,0239 |

| source | degrés de liberté | somme des carrés des écarts | carré moyen | F | P>F |
|--------------|-------------------|-----------------------------|-------------|------|---------------|
| Modèle | 65 | 61424703,21 | 944995,43 | 1,67 | 0,0368 |
| Erreur | 44 | 24923712,34 | 566448,01 | | |
| Total ajusté | 109 | 86348415,55 | | | |

| | |
|--------------------------|------------------|
| coefficient de variation | dnbg100e moyenne |
| 79,75878 | 943,6296 |

Résumé :

La fusariose de l'épi est l'une des plus importantes maladies du blé tendre, causée par plusieurs espèces de *Fusarium* spp. elle affecte les rendements et diminue la qualité des grains par la production de mycotoxines nocives pour la santé humaine et animale. A travers cette étude nous avons caractérisé plusieurs espèces de *Fusarium* spp. issues du collet et de l'épi de plants fusariés par leur morphologie ainsi que par l'agressivité de deux de ces espèces (*Fusarium culmorum*) sur deux variétés de blé tendre algériennes Hiddab et Arz, l'isolat de *Fusarium culmorum* issu du collet est aussi agressif que l'isolat issu de l'épi. La variété Hiddab est plus sensible à la maladie que la variété Arz qui n'a développé aucun symptôme. Par ailleurs, l'étude de comportement de cinq variétés françaises de blé tendre inoculées par 06 souches et par 05 associations de 02 différentes souches de *Fusarium* spp, montre que le comportement des variétés reste stable quel que soit l'isolat ou le mélange d'isolats utilisé. Ce comportement est estimé par une note globale de 0 à 9 utilisée par le GEVES et d'une note plus spécifique, basée sur le nombre d'épillets fusariés, dans 25 épis, utilisés par l'INRA de Rennes. Les deux méthodes, ont caractérisé le comportement des variétés de la même manière pour tous les paramètres de résistance étudiés. Par ailleurs, l'étude pluriannuelle du comportement de 232 lignées recombinantes issues du croisement des variétés Apache et Ornicar montre qu'il existe une grande variabilité de la résistance entre les différentes lignées. La comparaison des résultats des années 2004 et 2005 a montré un effet année important sur l'expression de la résistance. Cependant, il existe des lignées de bonne résistance qui pourront être utilisées comme parents dans des études d'amélioration si elles montrent un bon comportement à l'égard de l'accumulation des mycotoxines.

Mots clés: blé tendre, *Fusarium* spp. morphologie, agressivité, notations, comportement variétal, stabilité

Abstract.

Fusarium head blight (FHB) is one of the most severe diseases of bread wheat, it is caused by several *Fusarium* spp. and causes a several yield losses and grain damages by the production of mycotoxins.

In this work we have study the morphological characterization of several *Fusarium* spp. and the pathological characterization of two *Fusarium culmorum* isolated from diseased spikes and the base of the stem on two Algerian bread wheat varieties Hiddab and Arz, the *Fusarium culmorum* isolated from the base of the stem is as aggressive as the *Fusarium culmorum* isolated from the spike and the variety Hiddab is more susceptible to the disease than the variety Arz, however the study of the behaviour of 05 French varieties artificially inoculated by several strains and mixture of strains shows that the behaviour of the varieties is stable whatever the strain or the mixture, the behaviour is evaluated by two notations methods, one is visual and global based on a scale from 0 to 9 and the second is specific based on the evaluation of the number of diseased spikelets on 25 spikes. The two methods evaluate the varieties with the same manner for all the studied resistance parameters. A population of 232 of double haploid derived from the cross Apache-Ornicar expressed a great variability for resistance. The comparison of the assessments made in 2004 and 2005 showed an important year effect on the expression of resistance. However, the resistant genotypes could be used as parent in a selection studies if they have a good behaviour for the mycotoxin's accumulation.

Key words: bread wheat, *Fusarium* spp. morphology, aggressivity, notations, varieties's behaviour. Stability.

ملخص.

يعد ذبول الفيوز ارمي من أهم أمراض سنابل القمح اللين تنسبه عدة أنواع من *Fusarium spp* التي تؤثر على المحصول كما وكيفا.

من خلال هذا العمل نقوم بدراسة عدة أنواع من *Fusarium spp* المتخلصة من عنق الساق وكذا السنابل المريضة من الناحية المورفولوجية وكذا قدرة عزلتين منها *Fusarium culumorm* على إحداث المرض على صنفى القمح اللين أرز و هضاب.

العزلة المستخرجة من عنق الساق تستطيع بنفس الكيفية إحداث المرض كما تحدثه العزلة المستخرجة من السنابل. الصنف هضاب أكثر حساسية للمرض من الصنف أرز الذي لم يظهر أي أعراض للمرض.

من جهة أخرى دراسة تصرف 05 أصناف قمح لين فرنسية ممرضة اصطناعية بواسطة 6 عزلات وكذا 05 أمزجة مكونة من عزلتين مختلفتين تبين أن ترتيب هذه الأصناف تبقى مستقرا منها كانت العزلة، هذا التصرف قيم عن طريق سلم تنقض عام من 0 إلى 9 و كذا عن طريق سلم أكثر دقة يقوم بحساب عددا السنييلات المصابة في 25 سنبلة. كلا السلميين حافظ على نفس الترتيب للأصناف.

أن دراسة تصرف 232 سلالة ناتجة عن تصلب الصنفين أباش وأورنيكار تبين وجود درجات مقاومة متقاوية بين هذه السلالات كما أن مقارنة نتائج السننتين 2004 و 2005 تبين الدور الهام لعامل السنة الذي يؤثر على إظهار المقاومة نوجد كذلك عدة سلالة مقاومة يمكن استعمالها في عمليات التحسين في حال مقاومتها لتراكم توكسينات الفطر