



République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة - الحراش - الجزائر
Ecole Nationale Supérieure Agronomique



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Agronomie

Option : Phytopathologie et amélioration à la résistance des plantes aux maladies

THEME

**Contribution à l'étude des espèces du genre
Fusarium Link responsable des pourritures
racinaires des céréales dans la région de Batna :
isolement, identification et pathogénie des espèces**

Présentée par : M^{elle} LEMMOUCHI Naziha

Soutenu le : 21 Juin 2012

Jury :

Président :	M ^r OUNANE S.M	Professeur	ENSA Alger
Directeur de thèse :	M ^r GUEZLANE A.	Maitre de conférences	ENSA Alger
Examineurs :	M ^r KEDAD A.	Chargé de cours	ENSA Alger
	M ^{me} LOUANCHI M.	Maitre de conférences	ENSA Alger
	M ^{elle} BOUREGHDA H.	Maitre de conférences	ENSA Alger

Année universitaire 2010/2011

DEDICACES

Avec l'aide de Dieu, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie à :

La mémoire de mon père

Ma mère

Mes frères : Salah et Farouk

*Mes sœurs ; Souad, Samia, Fatima et son époux Balaid, Nassima
et son époux Sofiane.*

Mes petits anges : Mohamed, Rissal, Aniss, Djidji, Fadi et Rosa.

Toute ma famille

Pour leur présence de tous les instants

Pour le soutien qu'ils m'ont apporté

Avec toute mon affection et ma reconnaissance

L. Nazîha

REMERCIEMENTS

Ce travail de thèse a été réalisé à la station régionale de la protection des végétaux de Ain-Touta- Batna.

J'adresse mes plus vifs remerciement à Monsieur GUEZZLANE maitre de conférences, pour avoir défendu mon dossier et accepter d'être mon directeur de thèse, ainsi de concrétiser mon projet tout en en me prodiguant conseils et encouragements. Je tiens à l'assurer de ma profonde gratitude.

Je remercie également monsieur OUNANE professeur à l'ENSA d'El-Harrach Alger, pour avoir fait l'honneur de présider ce jury et pour son aide précieuse.

Monsieur KEDAD, Madame LOUANCHI et Melle BOUREGHDA m'ont fait l'honneur d'accepter d'être mes examinateurs, et je les en remercie bien sincèrement

Mes remerciement vont également à monsieur AZOUIZ subdivisionnaire de la daïra d'El-Madher, de m'avoir accueillir au sein de la ferme pilote de Arar, Monsieur AYACHI Docteur à l'institut de vétérinaire de Batna, monsieurs LAAMARI M et OUDJEHICH B

professeurs à l'institut d'Agronomie de Batna de l'aide et du soutien qu'ils m'ont apportés tout au long de ma thèse.

Mes remerciements vont pareillement aux personnels de la ferme pilote Arar d'El-Madher et du domaine Hadj Driss de Ain-Touta, pour m'avoir permis de prélever des échantillons.

J'adresse mes remerciements à tous les membres du laboratoire de la SRPV de Ain-Touta, de l'institut de vétérinaire de Batna et du laboratoire de mycologie d'El-Harrach Alger qui contribuent par leur bonne humeur à créer un cadre de travail agréable.

Je remercie mesdames BADA Laïla et REKKAD Fatima Zohra, pour leur enseignement et leur sympathie tout au long de ces trois années.

Enfin je remercie toutes les personnes ayant contribué au bon déroulement de ce travail.

L. Nazîha

RESUME

Le travail que nous reportons dans ce document, concerne l'étude du Genre *Fusarium* dans les zones céréalières de la daïra d'El-Madher et d'Ain-Touta étalé sur deux campagnes agricoles 2008/2009 et 2009/2010. L'évaluation de l'importance des pourritures racinaires dans ces régions a permis de prélever 2000 plants et de montrer que le blé dur s'avère le plus sensible durant les deux campagnes avec une incidence et indice de sévérité moyenne de la maladie (pourriture racinaires) 25,83% et 9,15%, respectivement suivi de l'orge avec 19,83 et 6,9%.

Les principales espèces pathogènes isolées à partir des plants (blé dur et orge) ont été *F.culmorum* (45% sur blé dur et 42,25% sur orge), *F. graminearum* (31,5% sur blé dur et 29% sur orge), *Miccrodochium nivale* (23,5% sur blé dur et 26, 75% sur orge) et *F.tricinctum* (2% sur orge). En effet, *F. culmorum* est le plus fréquent des agents isolés, car il domine dans la région d'El-Madger (42% sur blé dur et 39% sur orge en 2008/2009 et 50% sur blé dur et 48% sur orge en 2009/2010)

L'étude pathogénique des 17 isolats de *Fusarium* spp. et *M. nivale* sur le blé dur et l'orge a révélé que les isolats n°8 et 13 appartenant à *Fusarium graminearum* ont été plus agressifs et de manière très hautement significative (indice de sévérité = 3%) comparativement à l'isolat n°4 le moins agressif (0,35%), appartenant à l'espèce *F. tricinctum*.

A titre comparatif, en terme de sensibilité les deux espèces de céréale ont exprimé une différence très hautement significative, le blé dur a été plus sensible que l'orge avec un indice de sévérité moyen respectif de 2,21% et 1,98%.

Mots clés : Genre *Fusarium*, pourritures racinaires des céréales, région de Batna, isolement, identification, pathogénie des espèces.

SUMMARY

Work that we defer in this document, relates to the study of the Genus *Fusarium* in the cereal zones of Daira of El-Madher and Ain-Touta spread out over two crop years 2008/2009 and 2009/2010. The evaluation of the importance of the diseases racinaires in these areas made it possible to take 2000 plants and to show that the durum wheat proves to be most sensitive during the two programs with an incidence and index of average severity of 25, 83% and 9, 15%, respectively followed barley with 19, 83 and 6, 9%.

The principal pathogenic species isolated starting from the seedlings (durum wheat and barley) were *F. culmorum* (45% on durum wheat and 42,25% on barley), *F. graminearum* (31,5% on durum wheat and 29% on barley), *M. nivale* (23,5% on durum wheat and 26,75% on barley) and *F. tricinctum* (2% on barley). Indeed, *F. culmorum* is most frequent of the isolated agents, because it dominates in the severities raised in the area of El-Madger (42% on durum wheat and 39% on barley in 2008/2009 and 50% on durum wheat and 48% on barley in 2009/2010).

The pathogenic study of the 17 isolates of *Fusarium* spp. and *Microdochium nivale* on durum wheat and the barley revealed that the isolates n°8 and 13 pertaining to *Fusarium graminearum* were more aggressive and in a way very highly significant (index of severity = 3%) compared to the least aggressive isolate n°4 (0,35%), pertaining to the species *F. tricinctum*). On a purely comparative basis, in term of sensitivity the two cereal species expressed a difference very highly significant, the durum wheat was more sensitive than the barley with a respective index of severity average of 2,21% and 1,98%.

Key words: *Fusarium* kind, roots rot of cereal, area of Batna, isolation, identification, pathogenesis of the species.

المخلص

يتمثل العمل الذي قمنا به خلال الموسمين الفلاحيين 2009-2008 و 2009-2010 في دراسة مرض تعفن جذور الحبوب على مستوى دائرة عين التوتة و المعذر المتواجدين في ولاية باتنة

- يعتبر القمح الصلب الصنف الأشد حساسية لهذا المرض خلال الموسمين الفلاحيين بشدة incidence et Indice متوسطة تقدر ب: 25.83% و 9.15% يليها الشعير بنسبة 19.83% و 9.6%.
البحث عن الأمراض المسببة في تعفن الجذور على مستوى النبتة أكد على وجود ثلاثة أنواع من بينها *F.culmorum* (45% على القمح الصلب و 42.25% على الشعير) ، *F.graminearum* (31.5% على القمح الصلب و 29% على الشعير) *M.nivale* (23.5% على القمح الصلب و 26.75% على الشعير) و *F.tricinctum* (2% على الشعير)
- إن النوع *F.culmoum* هو الأكثر تواجد مقارنة مع الفطريات الأخرى لأنه يوجد بنسبة كبيرة في منطقة المعذر (42% على القمح الصلب و 39% على الشعير في الموسم 2008-2009 و 50% على القمح الصلب و 48% على الشعير في الموسم 2009-2010 .

- دراسة pathogénie ل 17 Isolats من الفيزاريوز و الميكروودوشيوم نيفال على بذور القمح الصلب و الشعير بين أن النوع *Isolat* رقم 8 و 13 هما الأكثر قساوة للمرض (agressif) بطريقة الأكثر significatif (3%) بالعكس مع *isolat* رقم 4 الأقل قساوة للمرض (agressif) (0.35%) .

- أثبتت دراسة pathogénie أن القمح الصلب هو الأشد حساسية لمرض تعفن جذور الحبوب بدرجة تقدر ب: 2.21% ثم الشعير ب: 1.98%.

الكلمات الرئيسية : نوع الفيزاريوم, تعفن جذور الحبوب , منطقة باتنة , العزل , التعرف على الأنواع الفطرية , دراسة pathogénie للأصناف.

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

INTRODUCTION :..... 01

Première partie : Synthèse bibliographique

I- Contraintes de la production céréalière en Algérie :..... 03

II- Pourriture racinaire des céréales :..... 03

II-1 Importance économiques de la maladie :..... 03

II-2 La fusariose :..... 04

 II-2-1- Définition du genre *Fusarium* :..... 04

 II-2-2-Taxonomie :..... 05

 II-2-3- Incidence économique des fusarioses :..... 05

II-3 Description des principales espèces pathogènes liées à la pourriture racinaire 06

 II-3-1- *Fusarium graminearum* Schwabe..... 06

 II-3-2 -*Fusarium culmorum* (W.G.Smith) Saccardo..... 08

 II-3-3 *Gibberella avenacea* R.J. Cook. 09

 II-3-4 *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I.C. Hallett :..... 10

 II-3-5 *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker. 10

II-4 Cycle des fusarioses :..... 11

II-5 Symptomatologie : 12

 II-5-1 Fonte de semis :..... 12

 II-5-2 Piétin échaudage 12

II-5-3 Les maladies des épis :.....	13
II-6 épidémiologie :.....	18
II-6-1 Source d'inoculum :.....	18
a- Les résidus :.....	18
b- Le sol :	18
c- La semence :.....	19
II-7 Facteurs favorables au développement de la maladie :.....	20
II-7-1 Les conditions climatiques :	21
a-Humidité :	21
b-Température :	21
c-Vent :	21
II-7-2 Facteurs agronomiques :.....	22
a- Précédent cultural :.....	22
b- Mauvaises herbes :.....	22
c- Densité de semis :.....	22
d- Date de semis.....	23
e- Travail du sol :.....	23
f- Rotation des cultures	23
g- Irrigation minérale :.....	23
h- Nutrition minérale :.....	24
II-8- Méthodes de lutte :.....	24
II-8-1-Les pratiques culturales.....	24
II-8-2- Lutte physique :.....	25
II-8-3-Lutte chimique :.....	25
II-8-4- Résistance variétale :.....	26
II-8-5-Lutte biologique :.....	27

II-8-6- Lutte Intégrée :.....	28
-------------------------------	----

Deuxième partie : MATERIALS ET METHODES

II-1 Recherche des agents de pourriture racinaires sur semence :.....	29
II-1-1- Matériels végétal	29
II-1-2 Analyse phytosanitaire de la semence	29
a- Technique d'isolement par la méthode d'Ulster.....	29
b- Purification.....	30
c- Identification	30
d- Méthode de Blother-test	30
e- Méthodes d'analyse.....	30
II-2 Evaluation de l'incidence de la maladie de pourriture racinaire en champ	31
II-2-1 Présentation de la région d'étude.....	31
II-2-2 Échantillonnage	34
II-2-3 Préparation des plants	35
II-2-4 Isolement :.....	35
II-2-5 Purification des isolats par la culture monospore.....	36
II-2-6 Identification :.....	36
II-2-7 Conservation des isolats :.....	36
II-3 Evaluation de la pathogénie des isolats de <i>Fusarium</i> spp. et <i>Microdochium nivale</i>	37
II-3-1 Inoculation du sol par l'agent pathogène :.....	37
A/ Préparation de l'inoculum :.....	37
B/ Choix des variétés	38
C/L'inoculation :.....	38
a- Dispositif expérimental.....	38
b- Notation des résultats	39

c- Analyse des résultats.....	39
-------------------------------	----

Troisième partie : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III-1 Recherche des agents de pourritures racinaires isolés à partir de semence.....	40
---	----

III.2 Recherche des agents de pourritures racinaires isolés à partir des plants	43
---	----

III.2.1 Evaluation de l'importance des pourritures racinaires en champ	43
--	----

III.2.2 Agents fongiques en cause.....	48
--	----

III-2-3 Description et identification des isolats de <i>Fusarium</i> spp. et <i>Microdochium nivale</i> . :.....	52
--	----

III.3 Etude du pouvoir pathogène des isolats de <i>Fusarium</i> spp. et <i>Microdochium nivale</i> sur blé dur et orge	59
--	----

CONCLUSION :.....	69
--------------------------	----

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	71
--	----

ANNEXES	82
----------------------	----

Liste des tableaux

Tableau N 1 : Echelle d'évaluation de la sévérité des pourritures racinaires des céréales selon Greaney <i>et al.</i> (1938).....	35
Tableau N 2 : Incidence et indice de sévérité de la maladie sur le blé dur et l'orge durant les deux campagnes.....	43
Tableau N 3 : Fréquence des champignons par campagne :.....	48
Tableau N 4 : Fréquence des champignons par région.....	49
Tableau N 5 : Codes des différents isolats de <i>Fusarium</i> spp. et <i>Microdochium nivale</i>	53
Tableau N 6 : Indice de sévérité des isolats de <i>Fusarium</i> spp. et <i>Microdochium nivale</i> sur blé dur et orge.....	63
Tableau N 7 : Valeur du test F pour le blé dur et l'orge, pris séparément.....	65
Tableau N 8 : Valeurs moyennes des indices des isolats et groupes homogènes établis par le test de NEWMAN –KEULS à 5% pour chacune des deux espèces de céréales.....	66

Liste des figures

Figure N1 : Aspect des macroconidies de <i>F. graminearum</i>	07
Figure N 2 : Aspect des macroconidies de <i>F. culmorum</i>	08
Figure N 3 : Aspect des macroconidies de <i>F. avenaceum</i>	09
Figure N 4 : Aspect des microscopique des conidies de <i>Bipolaris sorokiniana</i>	11
Figure N 5 : Cycle parasitaire des fusarioses des céréales.....	12
Figure N 6 : différents symptômes dus aux <i>Fusarium</i>	13
Figure N 7 : Symptômes de blanchissement partiel des épis de a) blé et b) orge.....	15
Figure N 8 : Amas de spores orange sur les glumes d'orge.....	15
Figure N 9 : symptômes de la fusariose sur diverses graines.....	16-17
Figure N 10 : Les résidus de culture antérieure infectée constituent la principale source d'inoculum de la fusariose.....	18
Figure N 11 : Triangle de la maladie.....	20
Figure N12 Situation géographique des zones prospectées (Wilaya de Batna).....	32
Figure N 13 : Vue générale du champ de la daïra d'Ain – Touta.....	33
Figure N 14 : Vue générale du champ de la daïra d'El Madher.....	33
Figure N 15 : Inoculum sur grains d'orge en flacons.....	37
Figure N 16 : Dispositif expérimental.....	38
Figure N 17 : Aspect microscopique d' <i>Alternaria</i> spp. sur grain d'orge.....	41
Figure N 18 : Aspect microscopique d' <i>Alternaria</i> spp. sur grain de blé dur.....	42
Figure N 19 : Incidence et indice de sévérité de la maladie sur le blé dur et l'orge durant deux campagnes.....	44
Figure N 20 : Symptômes de la pourriture racinaire chez l'orge.....	46
Figure N 21 : Symptômes de la pourriture racinaire chez le blé.....	47
Figure N 22 : Fréquence des champignons par région.....	50
Figure N 23 : Fréquence des champignons selon l'espèce de céréales durant deux campagnes.....	51
Figure n 24 : Aspect microscopique et macroscopique de <i>Microdochium nivale</i> sur PDA....	54
Figure N 25 Aspect microscopique et macroscopique de <i>Fusarium tricinctum</i> sur PDA.....	55
Figure N 26 : Aspect microscopique de <i>Fusarium tricinctum</i> sur PDA.....	56
Figure N 27 : Aspect microscopique et macroscopique de <i>Fusarium culmorum</i> sur PDA....	57

Figure N 28 : Aspect microscopique et macroscopique de <i>Fusarium graminearum</i>	58
Figure N 29 : Débuts d'apparition des symptômes de pourriture après inoculation au niveau du collet et des feuilles de plantule d'orge.....	60
Figure N 30 : Débuts d'apparition des symptômes de pourriture après inoculation au niveau du collet et des feuilles de plantule de blé dur.....	61
Figure N 31 : Symptômes de pourriture après arrachage au niveau des racines, du collet et des feuilles de base de plantule de blé dur.....	62
Figure N 32 : Symptômes de pourriture après arrachage au niveau des racines, du collet et des feuilles de base de plantule d'orge.....	62
Figure N 33 : Indice de la maladie des isolats de <i>Fusarium spp. et M. nivale</i> sur blé dur (60 ème jours après l'inoculation).....	64
Figure N 34 : Indice de la maladie des isolats de <i>Fusarium spp. et M. nivale</i> sur orge (60 ème jours après l'inoculation).....	64
Figure N 35 : Indice de sévirité des isolats de <i>Fusarium spp. et Microdochium. nivale</i> sur blé dur et orge (60 ème jours après l'inoculation).....	67

Liste des abréviations

I : Incidence de la maladie

IS : Indice de sévérité

O : Orge

BD : Blé dur

Moy : Moyenne

AT : Plantes atteintes

T : Total

S0, S1, S2.....S5 : Sévérité de la maladie

I ; Isolat

R : Répétition

T : Témoin

Introduction



INTRODUCTION

En Algérie les différentes politiques et intervention de l'état dans la filière céréale avaient pour but d'améliorer le niveau de la production. Les céréales sont les cultures annuelles les plus importantes dans l'agriculture algérienne. Elles occupent annuellement presque 40 % en moyenne de la superficie agricole utile (ITGC, 2011).

Selon le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, les céréales représentent près de 60% des apports énergétiques (calories) de la ration alimentaire Algérienne moyenne, 70% des protéines totales et 88% des protéines végétales.

En 2009/2010, la production céréalière algérienne a baissé de près de 27% avec 45 millions et demi de quintaux (18 millions de quintaux de blé dur, 8 millions de quintaux de blé tendre et 13 millions de quintaux d'orge) contre 61,2 millions de quintaux en 2008/2009 (24,3 millions de quintaux de blé dur, 24 millions de quintaux d'orge et 11,3 millions de quintaux de blé tendre). Cette diminution est due à plusieurs facteurs dont les plus importants sont: les pratiques culturales, les aléas climatiques, les variétés anciennes à faible rendements et les maladies engendrées par les agents phytopathogènes, dont les plus pernicioeux demeurent les agents de pourritures racinaires (Rachidi, 2003).

La maladie des pourritures racinaires semble prendre de plus en plus d'ampleur causant ainsi des dégâts important. Elle réduit la vigueur des semences et affaiblit le fonctionnement des racines, ce qui conduit à des pertes en nombre de pieds, accompagnées d'une diminution du rendement et de la qualité du grain (Mergoum *et al.*, 1995 et Ezzahiri, 2001).

En Algérie, l'action dévastatrice de cette maladie sur les cultures céréalières a été observée dans plusieurs régions : Mitidja, Tiaret et Ain Defla, à tous les stades phénologiques de la plante on retrouve de pathogènes fongiques dangereux et incriminés dans le syndrome de pourritures au niveau du système racinaire et des parties aériennes sur le blé dur, blé tendre et orge. (Terfi, 1998).

Les agents responsables de cette maladie incluent l'espèce *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker dont le téléomorphe est *Cochliobolus sativus* (S. Ito. et Kurib.) Drechsler ex Dastur, et plusieurs espèces de *Fusarium* spp. (Gargouri *et al.*, 2001).

Dans le but de connaître les pertes liées à la pourriture des racines, notamment dans les régions céréalières, très peu d'études ont été entreprises en Algérie. On peut citer celle de Terfi (1998) dans la région de Tiaret et Ain defla.

INTRODUCTION

Dans le même contexte, notre recherche sera consacrée à l'étude au niveau de deux stations céréalières de la wilaya de Batna emblavées en blé dur et orge, avec pour objectif le suivi de l'évolution de la maladie durant deux campagnes agricoles 2008/2009 et 2009/2010, afin d'identifier les principaux agents pathogènes responsables de la pourriture racinaire.

Ce travail va porter principalement sur :

- l'analyse de la semence de blé dur et d'orge afin de détecter les agents fongiques liés directement à la maladie,
- la prospection au champ afin d'évaluer l'importance de cette maladie sur blé dur et orge,
- l'isolement des agents fongiques en cause,
- l'identification de ces agents,
- l'étude du pouvoir pathogène des isolats de *Fusarium* spp. et *Microdochium nivale* sur blé dur et orge.

Synthèse bibliographique



I Contrainte de la production céréalière en Algérie :

La production céréalière reste insuffisante et soumise à différentes contraintes. La faiblesse de la production céréalière, particulièrement celle des blés et des orges, est due à plusieurs facteurs dont les plus importants sont : les pratiques culturales, les aléas climatiques, les variétés anciennes à faible rendement ainsi que les maladies (Sayoud et Benbelkacem, 1996).

II Pourriture racinaire des céréales

Le terme de pourriture racinaire était utilisé pour les maladies des céréales qui se caractérisent par des nécroses sur les talles inférieures, le collet, entre nœuds, et les racines, causées par un complexe de communautés fongiques. Les agents responsables de cette maladie incluent l'espèce *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker dont le teleomorphe est *Cochliobolus sativus* (Ito. et Kurib.) Drechsler ex Dastur, et plusieurs espèces de *Fusarium* spp. La dominance de chaque espèce fongique responsable est influencée par les conditions climatiques (Gargouri, 2001).

Cette pourriture est une maladie persistante et discrète qui réduit la vigueur des semences et affaiblit le fonctionnement des racines, ce qui conduit à des pertes en nombre de poids, accompagnées d'une diminution du rendement et de la qualité du grain (Merguoum *et al.*, 1995 ; Bouznad *et al.*, 1999). Elle se manifeste aussi bien sur blé dur, blé tendre que sur orge et apparaît plus particulièrement dans les zones semi-arides et durant les années à faible pluviométrie (Ezzahiri, 2001).

II-1 Importance économique de la maladie

La pourriture racinaire est l'une des maladies les plus dominantes sur les différentes espèces végétales cultivées dans le monde. Son effet dévastateur sur les cultures céréalières a été observé dans plusieurs pays du globe (Benalaya, 1997). Aux Etats unis, la pourriture racinaire est considérée comme troisième cause principale des réductions des rendements de blé. Dans le nord du Dakota et sous les conditions climatiques favorables, les réductions de rendements sont respectivement de 50 et 70% pour le blé et l'orge (Cook, 1968, Merrill, 1977) in Mergoum *et al.* (1995). Les pertes causées par la fusariose sont difficiles à chiffrer à l'échelle du globe.

De 1998 à 2000, ces pertes ont cependant pu être estimées à près de 2.7 milliards de dollars dans je suppose les états du centre et du nord des Etats unis (Wood, 2002).

Au Canada, des études ont montré que les pertes moyennes de rendement de blé étaient de 5 à 12% pour la période allant de 1939 à 1973. En revanche, celles de l'orge sont estimées en moyenne de 10.3% pour la période 1970-1972 (Pienning *et al.*, 1976) in Mergoum *et al.* (1995). Au Maroc, les pertes estimées et attribuées à la pourriture racinaire étaient de 8.5% pour le blé et 6.2% à 20.4% pour l'orge pour la période 1993-1995.

La maladie est aussi assez répandue en Algérie, mais les dégâts n'ont pas encore été évalués (Bouznad *et al.*, 1999).

La pourriture racinaire des céréales affecte plusieurs composantes du rendement à savoir, le nombre de grains par épi qui est réduit de 5% pour douze cultivars de blé testés et leur poids de 27.8% à 60% (Djerbi,1971) in Terfi, 1998.

II-2 la fusariose

La fusariose a été décrite pour la première fois en 1884 en Angleterre, depuis, elle a progressé à travers le monde et de récentes épidémies ont été rapportées en Asie, au Canada, en Europe et en Amérique (Goswami et Kistler, 2004). C'est l'Amérique du nord, et en particulier les Etats unis qui ont fournis les premiers efforts concernant l'étude de la fusariose.

Sous le terme de fusariose on désigne l'ensemble de maladies provoquées par des champignons appartenant au genre *Fusarium* (Rapilly *et al.*,1971). On l'appelait d'abord brûlure de l'épi (fusarium head blight en anglais) et ultérieurement la maladie des grains momifiés à cause de l'apparence crayeuse et inanimée des grains infestés (Clear et Patrick, 2007). Les fusarioses sont les maladies les plus complexes de l'ensemble du complexe des maladies des céréales, elles attaquent les organes des plantes, depuis les racines jusqu'aux épis (Caron, 2000).

II-2-1 Définition du genre *Fusarium*

Le nom générique *Fusarium* (en latin fusus = en forme de fuseau) a été créé par Link en 1809 (Messiaen et Cassini, 1968) à cause du principal caractère morphologique de fusaria qui possède de macroconidies en forme de croissant (Leslie et Summerel, 2006).

II-2-2 Taxonomie

Le genre *Fusarium* appartient à la classe des *Deutéromycètes* (champignons imparfaits, *Fungi imperfecti*), car la plupart des espèces étaient d'abord décrites sur la base de caractères morphologiques et sur la reproduction sexuée n'a pas été observée. Ces formes imparfaites (anamorphes) sont caractérisées par un mycélium septé et la production des microconidies généralement unicellulaires sur des conidiophores libres; elles sont classées dans le groupe des Moniliales (Lepoivre, 2003). De plus, *Fusarium* produit des macroconidies composées de 2 à plusieurs cellules. Leur forme recourbée typique avec une cellule apicale plus ou moins pointue est un des critères d'identification des représentants du genre ; dans beaucoup d'espèces on observe une cellule du pied (Seifert, 2001). Des formes sexuées (téléomorphes) ont été maintenant observées pour certaines espèces de *Fusarium*. Elles font partie des Ascomycetes, de la famille des *Nectriaceae* et notamment des genres *Gibberella* et *Nectria* (Seifert, 2001 ; Zhang *et al.*, 2006).

II-2-3 Incidence économique de la fusariose

Selon Pirgozliev *et al.*, 2003, les fusarioses représentent mondialement les agents pathogènes les plus dangereux sur les céréales, dont l'importance économique est attribuée aux pertes de rendements considérables (avortement des fleurs, diminution du nombre et poids des grains) et à l'altération de la qualité des grains. Bechtel *et al.*, 1985 ; Laffont, 1985; Dexter *et al.*, 1997 ; Bakan, 1998 ; Guenard *et al.*, 1998 ; Cahagnier, 2002 ; Pirgozliev *et al.*, 2003 ; Gutzwiller *et al.*, 2005 ont observé que les farines issues d'échantillon de blé, contenant de grains contaminés par *Fusarium* présentaient des qualité de panification (cuisson) non satisfaisantes.

IL a été démontré que le développement de champignon du genre de *Fusarium* pouvait être responsable d'une production de mycotoxines qui sont dangereuses pour les animaux (Sutton, 1982, Botalico *et al.*, 1983, Miller *et al.*, 1983, Hart *et al.*, 1984, Vidal, 1990). Elles sont produites dans la plus part des pays producteurs des céréales : Etats unis, Canada, Nouvelle Zélande, Argentine, Pologne, Japon, Norvège, Allemagne.... (Plancinta *et al.*, 1999).

La production de ces mycotoxines est courante parmi les *Fusarium*, et le profil de ces composés peut être utilisé pour la classification des espèces (Thrane, 2001).

Après inoculation d'épis de blé par *F. culmorum*, Hani, 1981 a observé des pertes de rendements de 60%. Au cours d'études menées en champs avec du blé infesté artificiellement. Arseniuk *et al.*, 1993, ont observé que le poids de mille grains, le nombre de grains par épi et le poids moyen des épis étaient réduits de 15%, 18% et 22 % respectivement. Il a été mis en évidence que l'invasion du grains de blé par *F. graminearum* entraînait la dégradation d'amidon, des protéines de réserve et des parois cellulaires (Bechtel *et al.*, 1985). La fusariose peut également diminuer la qualité des futures semences. En effet, semer des graines de céréales infectées par *Fusarium*, peut entraîner des symptômes de fontes de semis et des symptômes de fusariose de la tige chez les plantules (Pirgozliev *et al.*, 2003).

II-3 Description des principales espèces pathogènes liées à la pourriture racinaire

Cochliobolus sativus (S. Ito et Kurib.) Drechsler ex Dastur et plusieurs espèces de *Fusarium* qui incluent *F. graminearum*, *F. culmorum* et *F. avenaceum* sont considérées comme les principaux agents causant la pourriture racinaire des céréales (Mergoum *et al.*, 1995).

En Algérie *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* et *Cochliobolus sativus* ont été rapportés par Agueur (1993), *Microdochium nivale* avait été isolée par El-Euldj et Mihoubi, (1994).

La distribution et la prédominance de ces espèces pathogènes sont, pour une grande part, déterminée par l'espèce céréalière, la région et les conditions climatiques (Xu, 2003). Aux Etats unis, *F. graminearum* est l'espèce prédominante responsable de l'épidémie, de même qu'en Chine et en Nouvelle Zélande (Waalwijk *et al.*, 2003).

II-3-1 *Fusarium graminearum* Schwabe

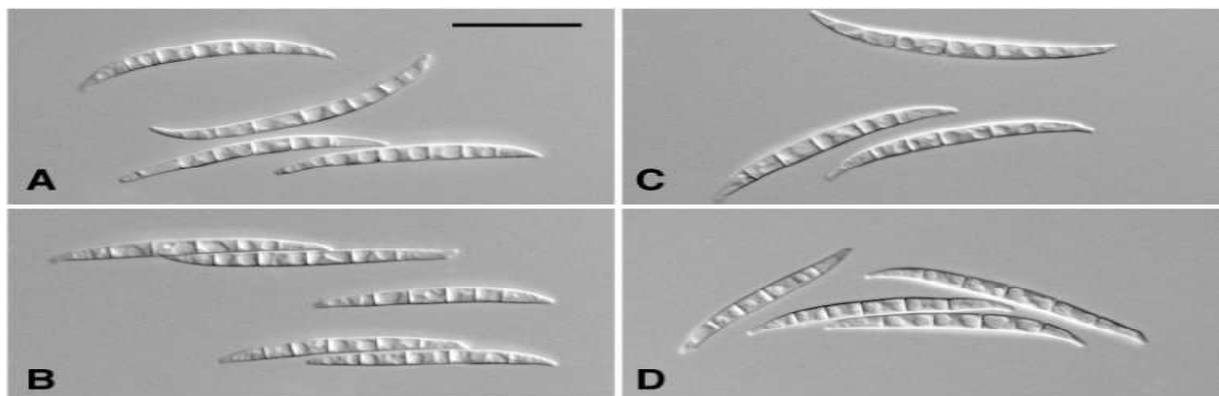
Il a une origine qui situe dans l'hémisphère sud et l'Asie, par la suite il est apparu sous forme épidémique aux USA, au Canada et en Europe. (Carter *et al.*, 2002). C'est une espèce qui peut infecter principalement le maïs, le blé et l'orge (Leslie et Summerell, 2006).

Forme sexuée : *Gibberella zeae* (Schwein.) Petch.

Les périthèces de *Gibberella zeae* formés sur les plantes attaquées en végétation sont globuleux et renferment des asques allongés qui contiennent chacun 8 ascospores (Champion, 1997). Cette forme de champignon peut attaquer en général le blé à deux stades de leur végétation au moment du semis ou bien seulement à l'époque de la floraison (Roger, 1953) in

Tobbal, 2005. La durée de survie sur les débris végétaux est de trois mois et demi (Maude, 1996). Si ces débris se décomposent, elle peut se reproduire pendant plusieurs années. La conservation se fait sous forme de mycélium, de chlamydospores endoconidiennes ou de périthèces (Messiaen *et al.*, 1965). Du point de vue écologique, *F. graminearum* semble caractériser les climats océaniques à hiver doux et à été chauds et humides (Djerbi, 1971) in Terfi 1998 ; (Zillinsky, 1983). *F. graminearum* est très polyphage.

Macroconidies: macroconidies hyalines droites ou faiblement arquée avec une cellule apicale plus allongée et courbée présentant 3 à 6 cloisons et mesurent 25-60 x 2.5-6 μm (Champion, 1997 ; Leslie et Summerell, 2006) (figure1).



— Echelle = 25 μm .

Fig. 1 : Aspect des macroconidies de *F. graminearum* (Leslie et Summerell, 2006)

Les microconidies sont absentes

Les chlamydospores se forment lentement en culture. Lorsqu'elles sont présentes elles se forment souvent sur le mycélium (Tousson et Nelson, 1976 ; Leslie et Summerell, 2006) et elles sont intercalaires et mesurent 10-12 μm de diamètre (Booth, 1971 ; Lester *et al.* 1994).

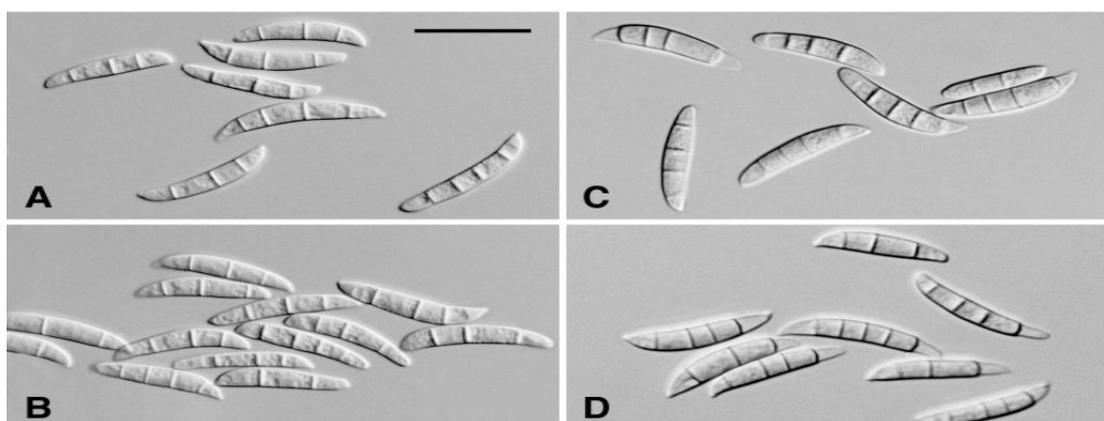
Sur milieu PDA, les colonies mycéliennes s'étalent rapidement sur le substrat. Le mycélium est dense et de couleur qui varie du blanc, rose pale, orange au marron et devient rouge au contact de l'agar avec des reflets plus au moins jaunes dans sa partie aérienne (Tousson et Nelson, 1976 ; Leslie et Summerell, 2006). Le revers est rouge à pourpre (Tabuc, 2007).

II-3-2 *Fusarium culmorum* (W.G.Smith) Saccardo

C'est une espèce très polyphage qui a été signalé sur 22 familles des plantes supérieures, mais qui reste particulièrement inféodée aux céréales, notamment le blé (Djerbi, 1969) in Terfi, 1998. Cette espèce dont on ne connaît pas la forme sexuée, semble pouvoir mieux résister aux sécheresses et aux gèles extrêmes que *F.graminearum* (Zillinsky, 1983 ; Caron, 2000). L'attaque peut se produire à tous les stades végétatifs de la plante (Wahbi, 1989).

Sur milieu PDA, il se manifeste sous la forme d'un mycélium floconneux rose à brun pourpre à développement rapide, donnant une coloration souvent rouge carmin, très caractéristique du stroma, il produit des conidiophores courts à phialides compactes généralement groupées en pionnotes (Djerbi, 1971) in Terfi 1998. Le revers est rouge à pourpre (Tabuc, 2007).

Les macroconidies sont hyalines, épaisses et faiblement arquées, elles sont généralement pourvues de 3 à 5 cloisons et mesurent (30-60) x (4-7) μm . La cellule apicale est émoussé et pédicelle à la base (Zillinsky, 1983) (figure 2).



— Echelle = 25 μm .

Fig. 2 : Aspect des macroconidies de *F. culmorum* (Leslie et Summerell, 2006)

Les chlamydospores sont abondantes, hyalines, lisses ou rugueuses, globuleuses, terminales ou intercalaires, en chaînes, en paires ou isolées, sont formées sur l'hyphe ou sur les macroconidies (9-14 μm de diamètre) (Tabuc, 2007). Les chlamydospores intraconidiennes

sont beaucoup plus résistantes que celles de *Fusarium graminearum* car survivant plus longtemps (Sitton et Cook, 1981 ; (Cook, 1968a) in Terfi 1998.

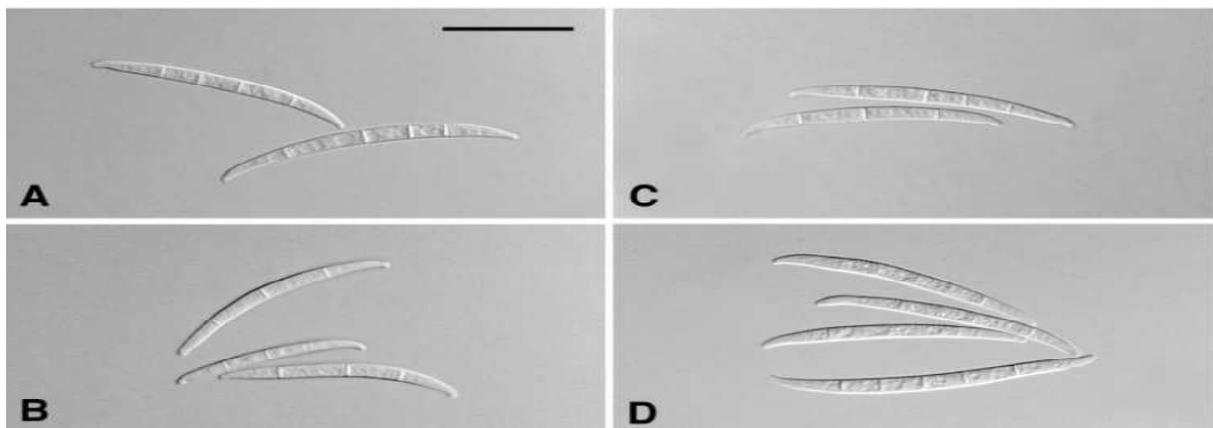
Les microconidies sont absentes et la croissance de ce champignon se fait entre 6 à 36 C° avec un optimum de 27 C° (Zillinsky, 1983 ; Leslie et Summerell, 2006).

Fusarium culmorum apparaît plus fréquemment dans les couches supérieures du sol surtout les sols neutres ou légèrement basiques (Gagkaeva, 2009). Cependant il est rare dans les sols humides avec un taux de matière organique élevé (Domsh *et al.*, 1980).

II-3-3 *Gibberella avenaceum* R.J. Cook

Cette espèce dont la forme parfaite est *Gibberella avenacea*, est moins virulente que les deux précédentes (Booth,1971). Elle provoque la gale de l'épi, la pourriture du collet et de la racine. Ce fusarium est généralement présent dans les climats froids et humides (Weise, 1991).

Les macroconidies sont très allongées, très étroites et arquées dont les mesures varient de 50-80 µm x 2.5-4 µm. Elles comprennent quatre à sept cloisons (Zillinsky, 1983) (figure 3).



— Echelle = 25 µm

Fig. 3 : Aspect des macroconidies de *F. avenaceum* (Leslie et Summerell, 2006)

Sur milieu artificiel, cette espèce présente un mycélium aérien abondant blanc rosé à marron au centre et devient rouge au contact de l'agar (Tousson et Nelson,1976 ; Leslie et Semmerell, 2006). *Fusarium avenaceum* est le parasite du genre *Fusarium* le plus souvent rencontré sur grains (Assemat *et al.* , 1996).

Les chlamydospores sont absentes dans le mycélium (Booth, 1977).

II-3-4 *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I.C Hallett.

Synonyme de *Fusarium nivale*, la forme parfaite de ce champignon est *Calonectria nivalis* (Schaffnit). Il attaque de très nombreuses graminées (Rapilly *et al.*, 1971). Les semences contaminées ont une faculté germinative réduite, les plantules malades sont raccourcies et rabougries et elles présentent des colorations brunes à la base du coléoptile. *M. nivale* provoque essentiellement des nécroses sur la gaine foliaire et le limbe (Krebs *et al.*, 2011).

En culture le champignon développe un mycélium cotonneux blanc à crème étendue et rayonnant. Les conidiophores produisent des macroconidies de dimensions uniformes courbées aux deux extrémités, avec 1 à 3 cloisons et mesurant 20- 28 µm x 2.5- 5µm (Champion, 1997).

L'activité de *M. nivale* se manifeste dès que la température atteint 1 C° (Rapilly *et al.*, 1971). Il ne produit pas de mycotoxines (Clark *et al.*, 2009 ; Krebs *et al.*, 2011).

II-3-5 *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker.

Autrefois appelé *Helminthosporium sativum* Pammel, C.M. King et Bakke, (syn, *Drechslera sorokiniana* (Sacc.) Subram. et B.L. Jain dont la forme parfaite est *Cochiobolus sativus* (S. Ito et Kurib.) Drechsler ex Dastur, *B. sorokiniana* est un champignon imparfait appartenant à la classe des Adelomycetes, ordre des Moniliales, famille des Dematiacées dont le mycélium est cloisonné (Wahbi, 1989). Ce champignon infecte les racines, les feuilles et les semences du blé, il est facilement isolé à partir des tissus racinaires de la plante hôte, spécialement les premiers entre-noeuds en utilisant des milieux conventionnels ou sur des milieux sélectifs quand l'isolement se fait à partir du sol (Weise, 1991).

Les conidiophores sont épars, dressés, simples et mesurent 100 à 150 µm x 6 à 8 µm. Ils comportent plusieurs cloisons très distinctes. Les conidies naissent des pores latéraux justes au dessous des cloisons des conidiophores. Elles sont brun olive, oblongues, effilées, légèrement courbes et lisses et présentent 3 à 10 cloisons bien distinctes, leur dimension est de 60 à 120 µm de longueur et de 12 à 20 µm de largeur (Zillinsky, 1983 ; Champion, 1997) (figure 4).

La forme parfaite se rencontre rarement dans la nature et se conserve dans le sol sous forme de conidies ou de fragments mycéliens dans les débris végétaux. Le développement du

champignon a lieu entre 8 et 28 C°, mais la température optimale est de 20 C° (Jones et Clifford, 1983) in Terfi (1998).

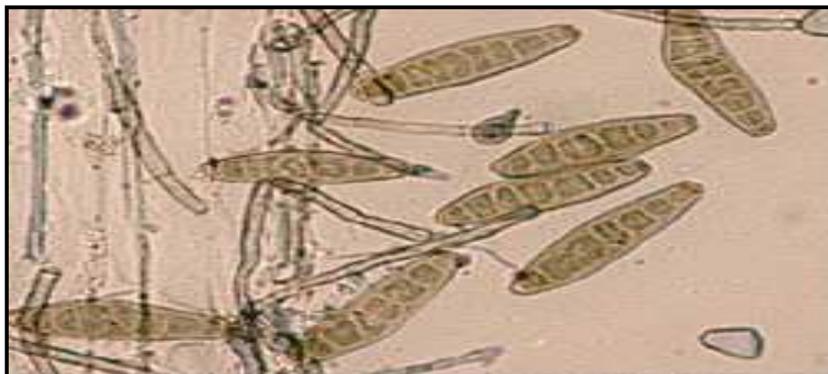


Fig. 4 : Aspect microscopique des conidies de *Bipolaris sorokiniana* (Hans *et al.*, 2005)

II-4 Cycle des fusarioses

Les *Fusaria* sont capable de survivre durant l'hiver dans le sol et sur les débris végétaux sous forme d'un mycélium saprophyte ou de chlamydospores, selon les espèces (Parry *et al.*, 1995). Au printemps, les conditions climatiques chaudes et humides seraient favorables au développement des conidies (spores asexuées) et des périthèces qui produisent des ascospores (spores sexuées) au moment de la floraison des céréales (figure 5). Les ascospores seraient vraisemblablement la source d'inoculum de l'épidémie (Caron *et al.*, 2006). Les conditions climatiques ont une influence importante sur l'incidence de la fusariose. Elles sélectionnent différentes espèces de *Fusarium* qui possèdent des exigences des températures et d'hydratations variables (Bakan, 1998). Elles conditionnent la libération, la dissémination et la germination des spores. La dissémination des spores se fait par le vent, la pluie mais aussi par des insectes (Goswami *et al.*, 2004). Le stade de développement de la plante influence également le degré de contamination, l'anthèse correspondant à une période de plus grande sensibilité du blé à la fusariose de l'épi (Sutton, 1982). Après leur dépôt sur les plantes, les spores germent et l'infection des tissus de l'épi a eu lieu.

Miller *et al.* (2004) ont observé que *Fusarium graminearum* se développe d'abord sur les anthères et le pollen, progresse vers les ovaires, puis colonise le lemme et la paléole. Le pollen, riche en polysaccharides, favorise le développement du champignon (Sutton, 1982).

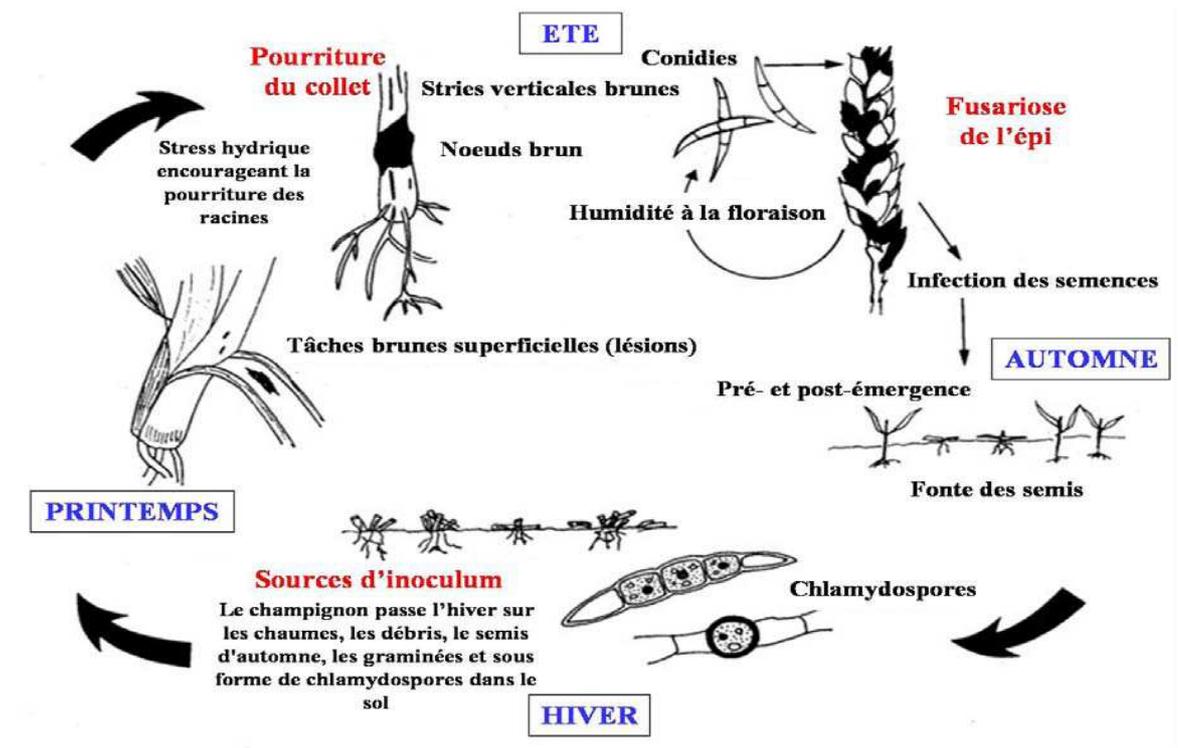


Fig. 5 : Cycle parasitaire des fusarioses des céréales. (Boutigny, 2007).

II-5 Symptomatologie

La fusariose est une maladie des céréales dite (à petits grains) qui sévit à travers le monde. Sous les conditions climatiques favorables, la fusariose peut attaquer à tout les stades de développement et tous les organes de la plante, depuis les racines jusqu'aux épis, le terme fusariose des céréales regroupe trois types de symptômes (Sutton, 1982 ; Parry *et al.*, 1995 ; Goswami et Kistler, 2004).

II-5-1 Fonte de semis :

Les dégâts de fonte de semis se traduisent par un manque à la levée qui est à l'origine de la mort de la plante en pré ou post-émergence et brunissement des parties souterraines des plantules ayant échappé à la fonte de semis.

II-5-2 Piétin échaudage

Brunissement et dessèchement des parties basales au niveau du collet des plantes, entraînant une fragilité des tiges qui se brisent facilement près du collet lorsqu'on tente de les arracher (figure 6)



Lésions de la base de la tige du blé
(Patrick, 2005)



a/ Fonte des semis



b



c

Fig. 6 : différents symptômes dus aux *Fusaria* (Martin, 2004)

b: pourriture des racines
c : piétin échaudage

II-5-3 Les maladies des épis

La fusariose peut être reconnue facilement par la présence, après la floraison, d'un ou de plusieurs épillets échaudés. Les symptômes sont très visibles dans le champ car elles se manifestent par un blanchissement prématuré d'une partie ou de la totalité de l'épi. Les premiers symptômes apparaissent souvent au centre de l'épi dont ils progressent ensuite vers le haut et vers le bas (figure 7). Durant la saison de végétation des amas rose à orange de conidies s'accumulent à la base des épillets ou sur les bords des glumes et des glumelles

inférieures surtout lors des périodes d'humidité prolongée (figure 8) (Martin, 2004 ; Lauzon *et al.*, 2007 ; kriel, 2009).

Les grains murs peuvent être ratatinés, petits, ridés, légers, blancs, crayeux ou parfois roses (grains momifiés) (figure 9) (Martin, 2004 ; Rubella, 2004 ; Clavel, 2006). Ces derniers sont susceptibles de contenir des mycotoxines qui sont des poisons pour l'homme et le bétail (Parry *et al.*, 1995 ; Agrios, 2005). Les mycotoxines diminuent la qualité nutritive et technologique des grains (Champeil, 2004).



a



b

**Fig. 7 : Symptômes de blanchissement partiel des épis de
a) blé et b) orge (Loughman *et al.*, 2004)**



c



d



e

**Fig. 8 : c, d et e : Amas de spores orange sur les glumes d'orge
(Martin, 2004, Loughman *et al.*, 2004 et Mc Mullen, 2008)**

BLÉ DUR

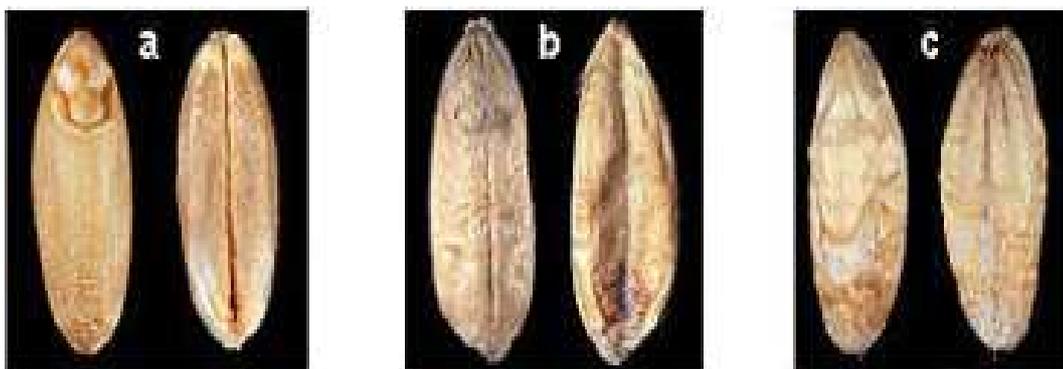


Fig. 9 Symptômes de la fusariose sur diverses graines

a) Grain sain de blé dur.

b) Grain présentant des symptômes modérés de fusariose—Du mycélium est visible sur le germe et dans le sillon. Le péricarpe est plissé, le sillon est élargi, et la coloration est bronzée

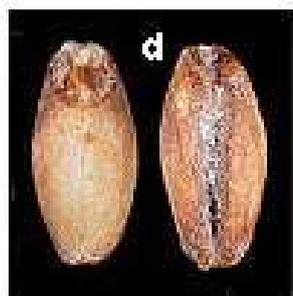
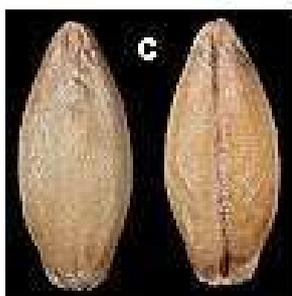
c) Grain présentant des symptômes graves de fusariose—Le mycélium est abondant, le péricarpe est plissé, le sillon est élargi, et la coloration et le grain est blanc craie avec du rose sur le germe (Symons *et al.* , 2002).



Symons *et al.*, 2002

a) Fusariose de l'épi chez l'orge—Les symptômes sont moins évidents chez l'orge que chez le blé. Des sporodochies orangées peuvent être observées à la base des fleurs infectées, et une coloration foncée peut être présente. Les épis portent occasionnellement des périthèces.

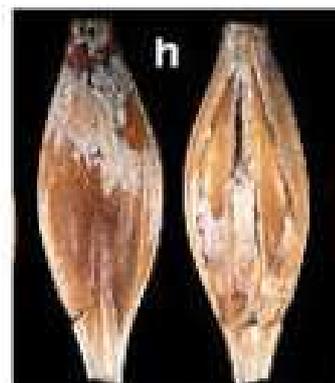
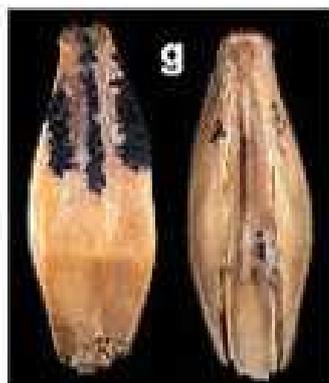
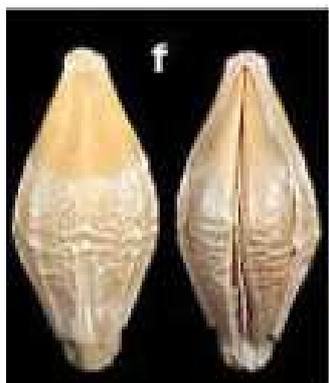
b) Grain sain d'orge nue.



c) Grain d'orge nue présentant des symptômes légers de fusariose—Du mycélium est visible dans le sillon et sur le germe. Les périthèces et les sporodochies caractéristiques des grains fusariés d'orge vêtue ne sont pas présents chez l'orge nue, puisque ces structures se rencontrent normalement sur les enveloppes du grain. À cet égard, les grains fusariés d'orge nue ressemblent plutôt à des grains fusariés de blé.

d) Grain d'orge nue présentant des symptômes modérés de fusariose—Le mycélium est plus apparent, et le grain présente un peu de noircissement et une taille réduite.

e) Grain d'orge nue présentant des symptômes graves de fusariose Le grain est étroit et présente un peu de coloration foncée, et le mycélium est abondant Symons *et al.* (2002)



f) Grain sain d'orge vêtue

g) Grain avec périthèces - Des périthèces noir bleuté encroûtent la surface du grain. La coloration foncée de ce grain et du grain illustré en h) est également typique d'une infection du grain d'orge par des *Fusarium* et d'autres pathogènes.

h) Grain avec sporodochies — Ces masses de spores orangées peuvent être produites par diverses espèces de *Fusarium*, dont certaines ne produisent pas de désoxynivalénol (Symons *et al.* , 2002)

II-6 épidémiologie

II-6-1 Source d'inoculum :

Les *Fusarium* sont essentiellement des populations du sol, l'attaque de ces champignons peut provenir des grains, des plants infectés ou des résidus de récoltes (, Benalaya, 1997 ; Boutigny, 2007).

a/ Les résidus :

Selon Sutton, (1982) ; Parry *et al.*, (1995) la principale source d'inoculum des fusarioses est constituée par les résidus de culture antérieure infectée. D'autres sources d'inoculum sont les nombreuses autres plantes hôtes, les semences contaminées et le sol (Champeil, 2004) (fig n°10).

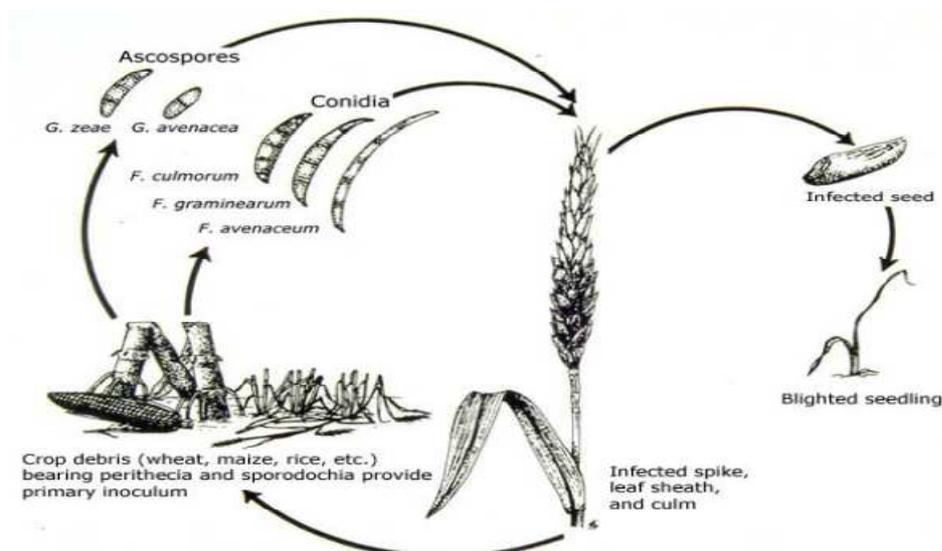


Fig. 10 : Les résidus de culture antérieure infectée constituent la principale Source d'inoculum de la fusariose.

Source <http://www.rothamsted.ac.uk/ppi/staff/khk.html>

b/ Le sol :

Le sol constitue la principale source d'inoculum avec ses deux niveaux : la partie superficielle aérée où les *Fusaria* mènent une vie active sur les résidus organiques dont le mycélium peut tenir deux ans et la sporulation peut être possible à tout moment en fonction des conditions climatiques, la deuxième partie est profonde jusqu'au 50 cm, plus asphyxiantes, où les chlamydospores peuvent subsister jusqu'à quatre ans (Caron, 1993 ; Kohl *et al.*, 2007 ; Pereyeras *et al.*, 2008).

Caron (2000) a rapporté que parmi les espèces de *Fusarium*, *Fusarium culmorum* est le plus adapté à la vie saprophyte dans le sol grâce aux chlamydospores. Le nombre de propagules de *Fusarium culmorum* est 10 fois plus important dans les zones semi-arides (200 à 400 mm de pluviométrie par an) (Sitton et Cook, 1981). Il a été montré également que les chlamydospores intraconidienne de *F. culmorum* survivent mieux que ceux de *F. graminearum*. En effet 90% des chlamydospores de *F. culmorum* des régions semi-arides sont de type intraconidienne et 10% de type mycélien, alors qu'ils sont respectivement de 86% et 14 % dans les régions subhumides.

La survie des chlamydospores intraconidienne est importante la première année puis diminue jusqu'à devenir négligeable (Inglis et Cook, 1986) in Terfi, 1998.

Les sols dans lesquels les chlamydospores sont incapables de se former, de germer, et/ou de survivre sont désignés de résistants, immunes intolérant, antagonistes, impressif (Baker et Cook, 1974). La faculté germinative dépend de la structure et de la matière organique du sol (Cook et Papendick, 1970), in Terfi, 1998. Elle faiblit plus rapidement dans un sol à structure fine à teneur élevé en matière organique que dans un sol à structure grossière avec peu de matière organique. Les conditions de stress hydrique augmentent la maladie (Hill, 1984). Il a été également rapporté que l'augmentation de la maladie et donc des pertes est liée à un environnement stressant tels que le froid ou les hivers secs (Cook, 1981).

c/ La semence :

La semence est la principale source d'initiation de la maladie, lors des infections sur épis, le mycélium atteint les grains à travers les glumes, il évolue peu pendant la conservation de la semence (Champion, 1997). Les semences contaminées permettent le développement direct de la maladie et la contamination du sol (Caron, 2000).

Selon Djerbi, 1969 (in Terfi, 1998), l'installation du parasite dans le caryopse dépend du stade de développement de la plante, les téguments ne constituent une barrière contre la pénétration du champignon, qu'à la maturité des grains. En effet, *Fusarium* spp. peut être porté à la surface du caryopse sous forme de spores ou d'articles mycéliens enkystés ou plus fréquent à l'intérieur, c'est-à-dire dans l'épicarpe, dans l'endocarpe ou plus profondément dans l'embryon (Djerbi, 1971) in Terfi, 1998.

Colhoun, (1972) (in Terfi, 1998), rapporte que *Fusarium culmorum* ne pénètre jamais dans l'embryon, du caryopse mais à la surface de la graine ou tégument.

II-7 Facteurs favorables au développement de la maladie

Les *Fusaria* survivent sur les résidus de la culture de l'année précédente. Les spores produites par les *Fusarium* sur les résidus restés à la surface du sol peuvent être transportées par le vent ou amenées d'une feuille à l'autre, jusqu'aux épis par les éclaboussures de pluie. Si les conditions le permettent, les spores qui ont atteint les épis peuvent germer et pénétrer dans les tissus de l'épi. C'est l'infection (Lauzon *et al.*, 2007). Le risque d'infection est associé à trois principaux facteurs :

- 1/ Les conditions environnementales présentes au moment de l'épiaison et de la floraison (Pageau ; Fillion, 2009).
- 2/ la quantité d'inoculum présent sur les résidus de culture.
- 3/ la sensibilité de cultivar choisi.

La façon de ces trois facteurs déterminent l'intensité de la maladie, peut être illustrée par un triangle (figure n°11), où chaque coté est proportionnel à l'un des trois facteurs et la surface du triangle est l'intensité de la maladie et ses conséquences. La variation du niveau d'un ou de plusieurs facteurs influencera le développement de la maladie (Rioux *et al.*, 2003 ; Chandelier *et al.*, 2005 ; Mc Mullen *et al.*, 2008).

Noter la diminution de la surface du triangle lorsque le cultivar est peu sensible (B) ou que le climat est défavorable (C) ;

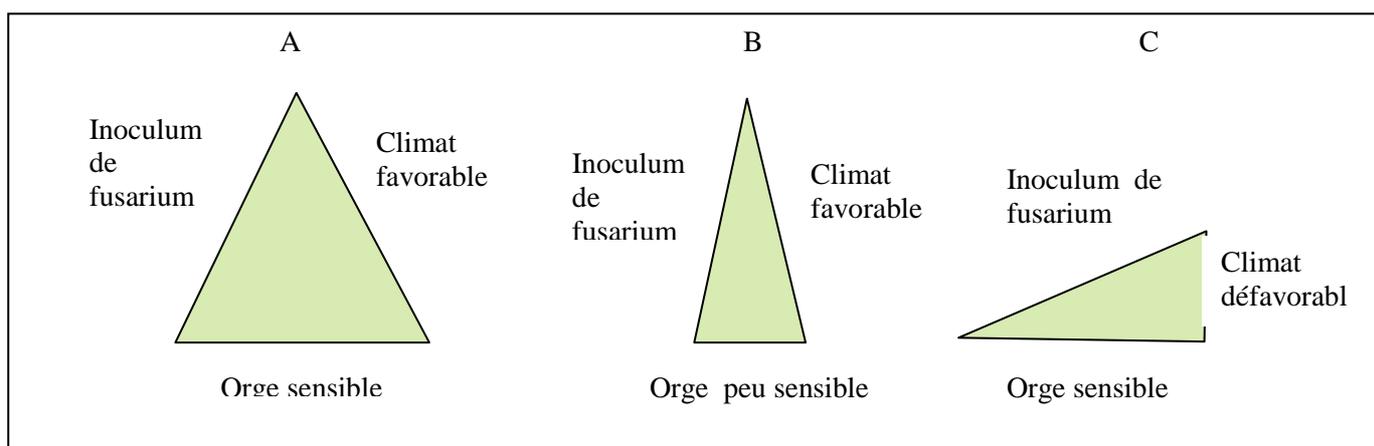


Fig. 11 la surface du triangle indique l'intensité des dommages causés par la fusariose (A). Noter la diminution de la surface du triangle lorsque le cultivar est peu sensible (B) ou que le climat est défavorable (C) (Rioux *et al.*, 2003).

I-7-1 Les conditions climatiques

a/ Humidité :

Pour les principales espèces de *Fusarium*, la présence d'une hygrométrie élevée aux périodes de floraison et de récolte contribuent au développement du champignon sur les épis (Lauzon *et al.*, 2007 ; Kriel, 2009 ; Pageau ; Filion, 2009). Le stress hydrique est un facteur essentiel prédisposant l'installation des fusarioses (Cook, 1980 ; Sutton, 1982 ; Teich et Nelson 1983 ; Carridi et Catalano, 1990).

b/ Température :

Selon Gilbert et Fernando (2004), la température est considérée comme un facteur principal dans le développement des espèces de *Fusarium*. Les périthèces du *Gibberella zeae* se développent sur les débris végétaux en surface du sol et sur les grains de maïs et de blé que sur les tiges de maïs et les épis de blé à des températures de 15 C° et 25 C°, mais pas en dessous de 15 C° ou au dessus de 30 C°. Selon Djerbi, 1971 (in Terfi, 1998), l'activité parasitaire des *Fusarium* est étroitement liée à la température. Plus la température augmente plus le taux de fonte de semis du au *Fusarium roseum* augmente. Dans le cas des pourritures à *Fusarium culmorum* elles se rencontrent dans les régions semis arides (200 à 400 mm de pluviométrie) mais rarement dans les zones pluvieuses (Cook, 1968b) in Terfi, 1998. Cette distribution géographique est liée au nombre de chlamydospores de ce champignon qui est beaucoup plus élevé dans les zones semi arides que subhumides (Cook, 1980). La sévérité la plus grave de la maladie peut être atteinte sous un très bas potentielle hydrique de la plante (Cook, 1981). Les pourritures à *Fusarium graminearum* sont également observées surtout dans les régions sèches de l'Est de l'Australie (Nelson *et al.*,1981). Si les températures sont élevées, d'environ de 20 à 25 C° c'est le *Fusarium roseum* qui progresse rapidement, par contre si elles sont plus basses, elles favorisent *M. nivale* (Caron, 2000).

c/ **Vent**, les pluies et les vecteurs : entraînent l'inoculum dans les éclaboussures sont responsables dans la dispersion et la propagation des spores depuis les résidus infectés de la culture précédente jusqu'aux épis. Selon Eudes, (1998), les arthropodes tels les mites, les thrips et d'autres insectes (*Musca domestica*, *Hypera punctata*) peuvent être à l'occasion des vecteurs importants de la maladie (Parry *et al.*, 1995). La cécidomyie du blé (*Sitodiplosis mosellana*) pourrait aussi jouer un rôle dans la dissémination de *F. graminearum* (Mongrain *et al.*, 1997).

II-7-2 Facteurs agronomiques

a/ Précédent cultural :

Les résidus de culture hébergent différents champignons dont le germe *Fusarium* (Bénétrix et Blok, 2004). Le blé dur, l'avoine et le maïs sont générateurs de la maladie, alors que l'orge et le blé tendre sont plutôt indifférents (Caron, 2000). Le développement du *Fusarium roseum* dépend de la quantité de substrat disponible : une diminution dans la densité de résidus sur la surface du sol va diminuer la quantité d'inoculum et les spores pour la dispersion (Champeil, 2004 ; Kriel, 2009). *Fusarium graminearum* peut vivre 4 ans dans le sol à une profondeur de 20 à 25 cm et plusieurs années sur de gros débris de maïs ((Champeil, 2004 ; Martin ,2004).

Au Canada, le *Fusarium* survie 8 mois sur les résidus enterrés dans le sol et 3 mois sur les résidus de la surface du sol. En effet, au Mexique il survie 14 mois sur la surface du sol et 9 mois sur les résidus enterrés à 15 cm de profondeur (Kriel, 2009).

b/ Mauvaises herbes

Les adventices comme le ray gras, chardon et la moutarde sont caractérisées comme des hôtes potentiels de *Fusarium* et peuvent donc potentiellement être une source d'inoculum qui favorisent probablement la germination des spores (Sutton , 1982 ; Teich et Nelson 1983 ; Champeil, 2004). Le *Fusarium graminearum* survit 2 à 3 ans sur les grains de blé de maïs et produit des périthèces et ascospores sur la surface du sol. Gilbert et Fernando (2004) ont rapporté que Soja est un hôte de *Fusarium graminearum*.

c/ Densité de semis

L'incidence de la pourriture racinaire des céréales est influencée par la densité et la profondeur du semis. Selon Messiaen et Cassini (1968), 90% de la population totale de *Fusarium roseum* se situe dans les dix premiers centimètres de la surface du sol et sa fréquence devient pratiquement nulle au dessous de 20 cm.

Les densités de semis élevées supérieure à 350 grains au mètre carré favorisent la maladie du pied (Champeil, 2004).

d/ Date de semis

La date de semis, a un effet indirect sur la production et l'infection des spores. Si la date de semis est telle que la floraison coïncide avec la sortie des spores, alors des attaques sévères sont probables. Il faut prendre en considération le choix de la date de semis (Martin, 2004 ; Champeil, 2004).

e/ Travail du sol :

La propagation des spores de champignons se fait principalement à partir des résidus végétaux sur la surface du sol (Macky, 2008).

La combinaison d'une absence de travail du sol, d'un précédent cultural de type maïs et d'un climat pluvieux pendant la période de floraison et remplissage des grains maximiser les niveaux d'attaques et de contamination des grains en déoxynivalenol et nivalénol (Champeil, 2004 ; Chandelier, 2005 ; Rioux, 2009).

f/ Rotation des cultures :

La maladie est aggravée en même temps que la culture des céréales est devenue plus intensive et que la rotation classique a peu à peu laissé la place à une succession de culture qui ne comporte que des céréales (Rapilly *et al.*, 1971). La rotation des cultures constitue un moyen efficace pour réduire l'inoculum qui se trouve sur les résidus de la surface du sol, où il survit et sporule. Plusieurs expérimentations ont montré une diminution de l'incidence de la fusariose de l'épi, lorsque le blé ou l'orge était ensemencé sur un précédent cultural d'une espèce non hôte, comme la pomme de terre, la betterave sucrière, le trèfle, la luzerne, le lin et d'autres légumes (Gilbert et Fernando, 2004 ; Martin, 2004 ; Dreyfus et Lagache, 2007 ; Pageau et Fillion, 2009).

g/ Irrigation :

Pour réduire le stress des plantes vis-à-vis de la sécheresse, l'irrigation est utilisée, mais son utilisation est déconseillée au moment de la floraison afin de réduire le risque de contamination, de la production et de la diffusion des ascospores (Champeil, 2004 ; Dreyfus et Lagache, 2007 ; Kriel, 2009).

h/ Nutrition minérale

D'après Smiley *et al.* (1996), la pourriture du collet du blé augmente avec le taux d'azote appliqué et est inversement proportionnelle avec le pH du sol. L'application d'azote augmente significativement l'incidence de l'infection à *Fusarium* dans les grains de blé, orge et triticale et le nombre de propagules de *Fusarium culmorum* (Pérez, 2000 ; Champeil, 2004).

Un excès de potassium et manque d'azote rend la plante plus sensible à l'infection, tandis que le manque de potassium et l'excès d'azote rend la plante plus susceptible.

L'application d'U glucose stimule l'exsudat de la racine de blé et augmente le nombre de tubes germinatif des spores de *F. roseum* et *M. nivale* (Champeil, 2004).

II-8 Méthodes de lutte

II-8-1 Les pratiques culturales

Les *Fusaria* survivent sur les résidus de culture et produisent leurs spores infectieuses (inoculum) sur les résidus qui sont restés à la surface du sol. Il est fortement conseillé de suivre les règles suivantes pour diminuer la gravité de la fusariose :

1 / faire un semis hâtif pour favoriser l'épiaison pendant une période moins favorable pour la fusariose. On tente ainsi d'éviter les conditions climatiques propices à la floraison (Lacroix, 2002 ; Rioux *et al.*, 2003 ; Lauzon *et al.*, 2007).

2/ Eliminer les résidus de cultures contaminées par brûlage ou enfouissement profond (Krebs *et al.*, 2000) et éviter de semer le blé sur un précédent cultural de graminées, soit de maïs ou d'autres céréales (avoine, blé, orge, seigle, triticale), ou même d'autres graminées fourragères (fléole, dactyle, brome,...etc.). Les *Fusaria* survivent sur les résidus de graminées laissés à la surface du sol.

3 / Pratiquer une rotation avec des espèces autres qu'une graminée. Le labour permet de diminuer l'incidence de la fusariose en réduisant la quantité d'inoculum qui est proportionnelle à la quantité de résidus contaminés, présents à la surface du sol, le maïs peut laisser une plus grande quantité de résidus que même un labour ne peut éliminer complètement (Vanloqueren, 2007 ; Kriel, 2009 ; Rioux, 2009).

4 / Selon Pageau et Filion (2009) et Vachon (2010), le semis de trèfle comme une culture intercalaire entre les rangs, 5 à 6 jours après le semis de la céréale empêche les spores de *Fusarium* produites sur les résidus d'atteindre les épis.

5 / utiliser une fertilisation adéquate ainsi qu'un cultivar approprié afin de prévenir la verse. (Rioux *et al.*, 2003 ; Bailey *et al.*, 2004, Lauzon *et al.*, 2007 ; Macky, 2008 ; Vanloqueren, 2008 ; Clark *et al.*, 2009).

6 / La répression des mauvaises herbes est aussi importante parce que ces dernières peuvent être, elles aussi, touchées par les *Fusarium* (Lacroix, 2002 ; Bailey, 2004 ; Lauzon *et al.*, 2007 ; Macky, 2008 ; Clark, 2009 ; Rioux, 2009).

7/ Récolter, nettoyer les grains au maximum avant la mise en silo et détruire ou composter les criblures. (Rioux *et al.*, 2003 ; Lauzon *et al.*, 2007).

8 / maintenir les grains entreposés à un niveau d'humidité de 13 % pour éviter la reprise de la croissance des *Fusarium* et la production de toxines (Rioux *et al.*, 2003 ; Lauzon *et al.*, 2007).

II-8-2 Lutte physique

Elle vise à :

La réalisation de traitement thermique contre la propagation du *F. graminearum* (Clear *et al.*, 2003 ; Gilbert *et al.*, 2008).

L'utilisation de la solarisation, qui peut réduire les populations pathogènes et l'incidence de la maladie (Pandy *et al.*, 1996 ; Loiveke, 2006).

II-8-3 Lutte chimique

Les traitements de semences permettent de protéger efficacement les plantules en début de saison contre les maladies de racines causées par des agents pathogènes présents dans les semences ou dans le sol. Certaines traitements de semences systémiques retardent même l'infection des jeunes plantules par les agents pathogènes et réduire l'incidence de ces maladies. Par contre, les traitements de semences qui surviennent plus tard en saison n'offrent pas de protection contre les infections des racines et des parties aériennes (Breault *et al.*, 2009).

Selon Aufhammer (2001), le tébuconazole est un produit efficace contre la fusariose de l'épi du blé. En 2007, Lauzon *et al* (2007) et Gautier (2008) ont observé que le produit prothioconazole donne de bons résultats dans la lutte contre la fusariose des épis. L'utilité et la rentabilité de l'application du fongicide dépend du niveau de risque d'infection et son succès réside dans le moment d'application et de la couverture de l'épis par le produit (Lauzon *et al.*, 2007 ; Gautier, 2008). Le contrôle de la fusariose aux moyens fongicides n'est efficace que s'il est réalisé au moment précis de la floraison de la céréale.

Les *Fusaria* (producteurs de mycotoxines) peuvent être contrôlés au moyen de 4 substances actives : Prothioconazole, Tébuconazole, Metconazole et Dimoxystrobine et la dimoxystrobine (Carlier, 2001 ; Flodrops, 2008 ; Moreau, 2010). Les *Microdochium nivale* (ne produisent pas les mycotoxines) étaient contrôlés avec des strobilurines telles que l'azoxystrobine et la dimoxystrobine.

La lutte chimique contre la maladie donne souvent des résultats insuffisants et n'évite pas l'accumulation de mycotoxines dans les grains (Forrer *et al.*, 2000 ; Milus et Parsons, 1994) in Mascher *et al.*, 2005.

II-8-4 Résistance variétale

L'utilisation de cultivars résistants aide à diminuer la progression d'une maladie dans un champ (Lacroix, 2002). Selon Dreyfus et Lagache (2007), le choix de la variété devra se raisonner sur deux points :

Tout d'abord il faudra choisir une variété peu sensible à la fusariose, notamment dans les situations où le risque agronomique est élevé.

Le deuxième point à prendre en compte, réside dans la précocité ou non des variétés. En effet selon les climats de la région d'implantation, il faudra choisir une variété dont la fin de montaison ne se situe pas dans une période climatique à haut risque. En effet il faudra planifier le semis et la conduite de la culture afin d'éviter la fin de montaison avec des conditions à risque mais également de ne pas avoir des conditions provoquent un mûrissement prolongé en champ. L'emploi de variétés de céréales résistantes renforce la protection de la récolte contre la fusariose et ses conséquences néfastes sur la qualité du produit. Une variété ne doit donc pas seulement résister à l'infection au niveau de l'épi mais aussi à l'accumulation de mycotoxines dans les grains. La sélection de telle variété est une tâche de longue durée exigeant le développement de méthodes de sélection très poussées qui vise à

retenir le phynotype dont les caractéristiques se rapprochent de l'idéal. (Mascher *et al.*, 2005), en effet, les variétés résistantes se distinguent des variétés sensibles par un niveau d'infection régulièrement plus bas (Mascher *et al.*, 2005).

A sensibilité égale, un cultivar à paille longue échappe mieux aux contaminations qu'un cultivar à paille courte (Rioux *et al.*, 2003 ; Loïc., 2008). Chez l'orge les cultivars à deux rangs sont généralement moins sensibles à la fusariose que ceux à six rangs (Martin, 2004).

II-8-5 Lutte biologique

Les microorganismes jouent un rôle dans la lutte biologique, en effet la plante peut être protégé contre les attaques des pathogènes par l'introduction antérieur avec des antagonistes (Champeil, 2004). Dans le cadre de la lutte biologique contre les agents de fusariose des céréales, plusieurs microorganismes ont montré une efficacité dont les genres *Bacillus*, *Pseudomonas* sont les agents bactériens les plus étudiés (Yuen et Schoneweis, 2007). En effet, ces antagonistes (bactéries) sont capables de produire des composés volatiles qui inhibent complètement la croissance, la germination et la production des structures permettant la survie hivernale de plusieurs agents phytopathogènes (Fernando, 2001).

Soleimani *et al* (2007) ont identifié trois souches de bactéries de *Pseudomonas fluorescens*, une souche d'*Erwinia herbicola* et quelques espèces de *Bacillus* et *Bacillus cereus* dans la lutte biologique contre *Fusarium graminearum*. En effet, l'utilisation des souches de *Bacillus* inhibent la croissance de *Fusarium graminearum* (Fernando *et al.*, 2002 ; Nourozian *et al.*, 2006).

Jijakli (2003) a trouvé l'efficacité d'*Erwinia herbicola* b 27 contre *F. culmorum* avec une réduction de 90% de l'incidence de la maladie causée.

Fernando *et al* (2004) ; Hatsch, (2004) ; Palazzini *et al* (2007) ont montré que l'utilisation du champignon *Trichoderma* spp est efficace dans la gestion du genre *Fusarium* notamment *F. graminearum*. *Trichoderma harzianum* est considéré comme un agent biologique efficace contre le *Fusarium graminearum* sur résidus de blé (Fernandez, 1992 ; Gelbert *et al.*, 2005) et un excellent inhibiteur contre *F. culmorum* (Mergoum *et al.*, 1995). De même Champeil (2004) a rapporté l'efficacité de :

× *Microphaeropsis* contre la production des ascospores de *Fusarium graminearum* sur le blé et maïs.

x *Phoma betae* ou *Pythium ultimum* contre *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. poae* et *M. nivale*.

x *Alternaria*, *Botrytis* et *Cladoporium* contre *F. culmorum*.

Xue *et al* (2009) ont évalué l'efficacité de la souche ACM 941 de *Clonostachys rosea* dans la lutte biologique contre *Gibberella zeae* en serre et au champ contre la fusariose des épis (FHB). En serre cette souche a réduit la production des périthèces plus de 99% sur un disque foliaire et de 60 à 70% sur des grains de maïs et de 32 à 57% sur des débris d'épillets. Ces résultats étaient significatifs et semblables à ceux obtenus avec le produit fongicide tébuconazole. Au champ elle réduit l'indice de la FHB (fusarium head blight) 58%, l'indice de la fusariose 46%, 49% de dommages causés sur les grains et 21% de la teneur de déoxynivalénol (DON) dans les grains. Ces résultats sont moins efficaces que ceux obtenus avec le tébuconazole dont l'indice de FHB (fusarium head blight) est 97%, l'IF est 82%, DGF (les dommages subits par les grains affectés par *Fusarium*) est 73% et le DON (deoxynivalenol) est 62%. Les résultats de cette recherche montrent que *C. rosea* est un agent de lutte biologique efficace contre *Gibberella zeae* et peut être utilisé comme une mesure de contrôle dans la lutte intégrée

Alabouvette *et al.*, (2008) ont montré l'efficacité d'utilisation des souches non pathogènes de *Fusarium* dans les mécanismes de résistance des sols aux fusarioses

II-8-6 La lutte intégrée

La lutte intégrée contre la fusariose des céréales doit combiner des mesures préventives, notamment : d'éviter la culture du blé après maïs et blé, l'utilisation des variétés résistantes, la fertilisation adéquate, la rotation judicieuse, la destruction des résidus de récolte par le labour et le contrôle biologique. Ces techniques de culture peuvent jouer des rôles importants dans la gestion de la fusariose par la réduction du niveau initial de l'inoculum et le potentiel de survie du pathogène (Mascher *et al.*, 2005 ; Macky, 2008).

Matériel et méthodes

II-1 Recherche des agents de pourritures racinaires sur semences

Dans ce chapitre, à titre indicatif nous avons procédé à l'analyse de semences de blé dur et d'orge issues de la campagne 2008/2009.

II-1-1 Matériel végétal

Pour l'analyse phytosanitaire, dix (10) échantillons de semences de blé dur (Mohamed ben Bachir) et d'orge (Tichdret) traités avec un fongicide (Acil) issus de lots destinés à la semence ont été prélevés de façon aléatoire au niveau de la Coopérative des Céréales et des Légumes Secs (C.C.L.S) de Batna.

II-1-2 Analyse phytosanitaire de la semence

L'analyse phytosanitaire de la semence a pour but de déterminer le pourcentage des grains contaminés des lots de semences (Champion, 1997) et les espèces fongiques responsables. En effet selon Neergaard (1979), la présence du parasite dans les semences peut provoquer d'année en année une réduction des rendements.

a-Technique d'isolement par la méthode d'Ulster

Cette méthode décrite par Muskett et Malone en 1941, permet de mettre en évidence la flore totale associée au péricarpe du grain. Pour chaque lot, un échantillon de 100 grains est désinfecté superficiellement à l'eau de javel à 2% pendant 10 minutes, puis rincé trois fois à l'eau distillée stérile. Les grains sont placés dans des boîtes de pétri contenant un milieu gélosé composé de PDA à raison cinq (5) grains par boîte, le sillon ventral étant appliqué contre le milieu de culture. Les boîtes sont mises à incuber à une température de 22C° sous lumière continue pendant 7 jours (Neergaard, 1979 ; Rapilly *et al.* 1971).

La composition du milieu PDA est la suivante :

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

Autoclavage pendant 20 minutes à 120°C

b- Purification

L'intérêt du test agar est l'examen macroscopique des colonies du champignon en question, qui permet d'identifier les colonies à l'œil nu grâce aux critères de chaque champignon, en contrôlant les deux coté de la boîte de Pétri (Neergaard, 1979). Les espèces recherchées sont purifiées par repiquage successif dans des boîtes de Pétri contenant du PDA, puis identifiées.

c- Identification

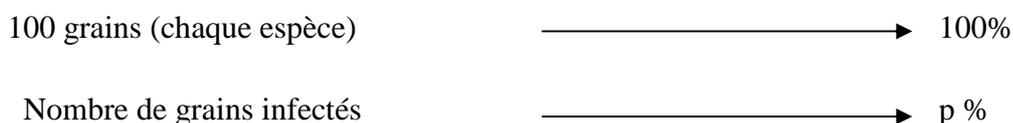
Après une période d'incubation de 7 jours, les colonies obtenues sont identifiées en utilisant les différents guides illustrés relatifs à l'identification des espèces : Barnett et Hunter (1972), Toussoun et Nelson (1976), Booth (1977), Zillinsky (1983), Champion (1997) et Leslie et Summerell (2006).

d- Méthode du Blother-test ou papier buvard :

Cette méthode nous a permis d'étudier la germination des caryopses afin de déterminer le pouvoir germinatif de chaque espèce, bien qu'elle vise également la détermination des agents pathogènes. La méthode consiste à déposer 10 caryopses de chaque espèce dans les boîtes de pétri en pyrex contenant un papier filtre humide préalablement stérile. Les boîtes sont mises à incuber à une température de 20 C° à 22 C° sous une lumière pendant 7 - 8 jours.

e- méthodes d'analyse :

Le pourcentage de contamination par les différentes espèces isolées à partir de la semence se réalise comme suit :



$$P = \text{pourcentage de contamination} = \frac{\text{Nombre de grains touchés}}{100} \times 100$$

II-2 Evaluation de l'incidence de la maladie de pourriture racinaire en champ

II-2-1 Présentation de la région d'étude

Notre étude a été réalisée sur plusieurs champs céréaliers situés au niveau de deux Dairâtes, El-Madher et Ain-Touta appartenant à la circonscription de la Wilaya de Batna appartenant à l'étage bioclimatique semi aride à aride à hiver frais (Fig.12).

Au niveau de la daïra d'El-Madher, notre choix a porté sur la ferme pilote Aarar située dans la zone Nord- Est de la wilaya de Batna, distante de 35 km du chef lieu. Cette zone est à vocation typiquement céréalière/élevage, et dont les coordonnées géographiques sont comprises entre :

Latitude : $35^{\circ} 40' 19''$

Longitude : $06^{\circ} 22' 38''$

Altitude : 900 m

Notre étude s'est intéressée à une localité d'une superficie de 400 ha, dont 200 ha sont emblavés en blé dur (Mohamed ben Bachir) et 200 ha en orge (Saida) (fig. 13 et fig. 14).

Au niveau de la daïra de Ain-Touta, le site de l'étude est localisé au Sud-est de la wilaya sur la route de Biskra, (fig n°12 et 13), au niveau du domaine El-Hadj Driss, et dont les coordonnées géographiques sont :

Latitude : $35^{\circ} 22' 09''$

Longitude : $05^{\circ} 52' 42''$

Altitude : 904 m

Concernant les parcelles d'étude de la daïra d'Ain-Touta, nous avons retenu deux parcelles de 60 ha chacune, emblavées en blé dur (Waha) et en orge (Tichdret).

La texture du sol de ces deux zones d'étude est à dominance limono argileuse

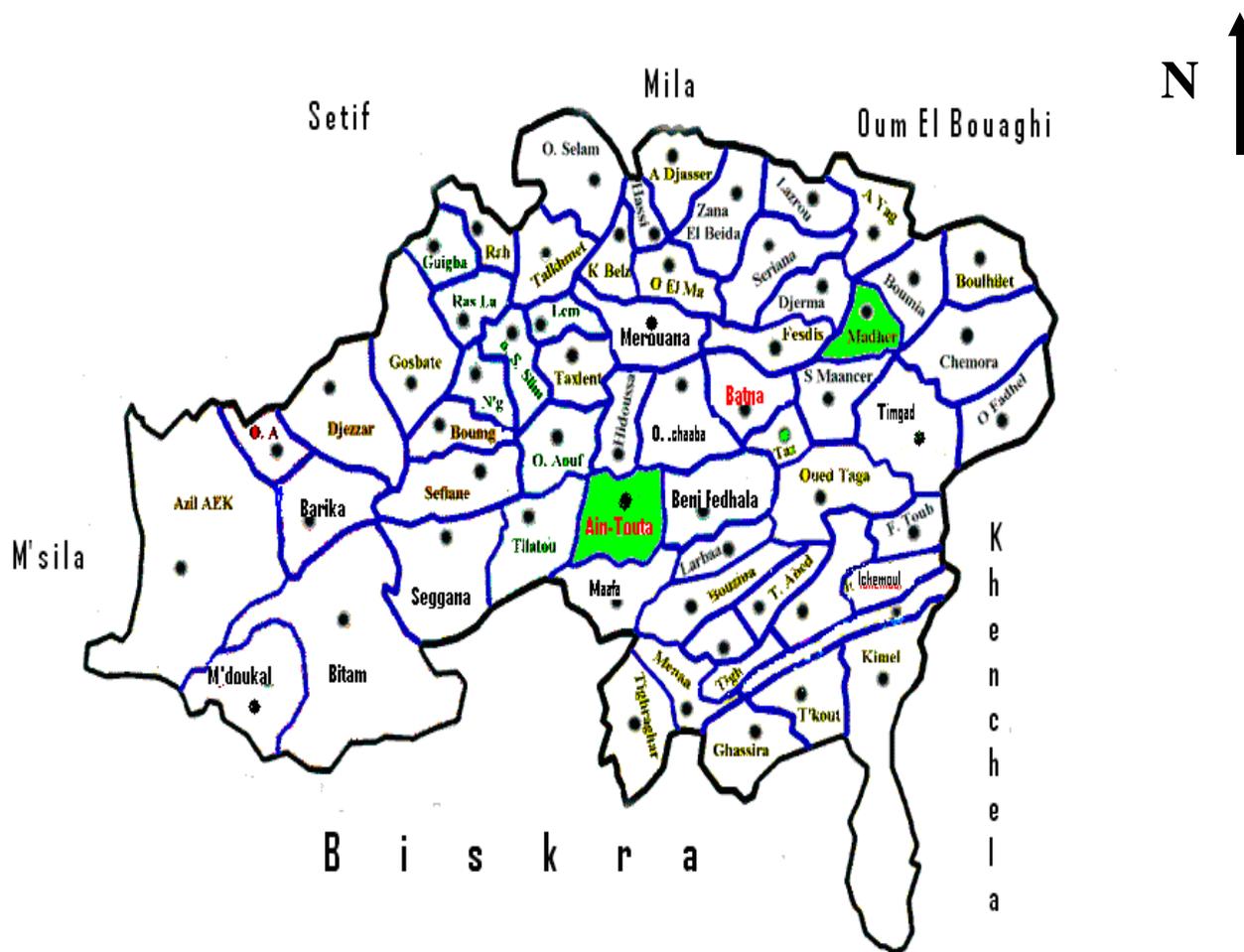


Fig. 12 : Situation géographique des zones prospectées (Wilaya de Batna)



Figure : 13 Vue générale des parcelles d'étude de la daïra d'Ain- Touta (Domaine d'El-hadj Driss).



Figure : 14 Vue générale des parcelles d'étude de la daïra d'El- Madher (Ferme pilote Aarar)

II-2-2 Echantillonnage

L'évaluation de la pourriture racinaire des céréales sur les deux sites est réalisée sur deux campagnes agricoles : 2008/2009 et 2009/2010, selon des prospections effectuées aux différents stades phénologiques sur les parcelles emblavées en blé dur et orge. Au niveau de chaque champ, cinq échantillons de 10 plants sont prélevés de manière aléatoire afin d'avoir 50 plants par champ. Durant ces prospections un total de 2000 plants entiers a été prélevé. Cet échantillonnage s'est réalisé selon des déplacements en différentes directions des parcelles (en long, en large et en diagonale).

Selon Rapilly *et al.*, (1971), les maladies du pied sont plus difficiles à détecter que les maladies foliaires, de ce fait les prélèvements des plants entiers sont obligatoires à cause de leur position proche du sol et de leur couleur terreuse.

Concernant les prélèvements d'échantillons malades, ces derniers sont alors effectués sur toutes les plantes qui présentent les symptômes suivants :

- Pourriture au niveau de la base des tiges
- Brunissement du sous collet et des entre-nœuds inférieurs
- Lésion au niveau des nœuds et des entre-nœuds
- Présence de fructifications de champignon
- Cassure des tiges au niveau du collet
- Échaudage des épis

A cet effet, dans ce chapitre il sera procédé à l'évaluation des pourritures racinaires par le calcul des incidences et des indices de sévérité selon l'échelle de Greaney *et al.* (1938) (tableau n° 1)

$$\text{Incidence (en \%)} = \frac{\text{Nombre de plants atteints}}{\text{Nombre total}} \times 100$$

$$\text{Indice de sévérité (en\%)} = \frac{\sum Ni \times Si}{Nt \times 5} \times 100$$

Où : Ni : nombre de plantes de sévérité i

Si : sévérité de la maladie au niveau de la plante

Nt : nombre total de plantes observées

Tableau 1 : Echelle d'évaluation de la sévérité des pourritures racinaires des céréales selon Greaney *et al.* (1938)

Classe de sévérité	Symptômes observés
S0	- pas d'infection
S1	- petites lésions nécrotiques dispersées au niveau des lésions nécrotiques
S2	- lésions nécrotiques distinctes sur la partie basale de la plante, particulièrement au niveau du sous collet et des racines
S3	- grandes lésions nécrotiques sur le collet, le sous collet et les racines avec la diminution de la vigueur de la plante
S4	- Pourriture de la partie basale et chlorose de la plante, souvent accompagnée d'un nanisme ou flétrissement
S5	- Plante morte

II-2-3 Préparation des plants

Les échantillons récoltés sont mis dans des sachets en papier sur lesquels sont mentionnés la date, le lieu, l'espèce et le stade végétatif. Pour que les symptômes soient beaucoup plus visibles et plus faciles à identifier, un lavage est opéré, en commençant par déposer la partie basale des plants dans de l'eau durant une heure, puis les racines sont lavées plusieurs fois à l'eau distillée stérile à l'eau courante afin d'éliminer les particules de terre. Les plants sont ensuite séchés à l'air libre (Rapilly, 1968)

II-2-4 Isolement

Sur chaque plant, on procède par des coupes à des endroits différents, les segments sont prélevés à partir des racines, premier nœud et entre-nœuds. Ces fragments de 5 mn de

longueur chacun sont désinfectés à l'eau javel à 2° pendant 5 à 10 minutes, puis rincés dans trois bains d'eau distillée stérile, ensuite ils sont séchés entre deux feuilles de papier joseph stérile. Cette méthode permet l'élimination de la plupart des saprophytes et de toute sorte de contamination étrangère. Par la suite les fragments sont déposés et répartis dans des boites de Pétri contenant le milieu PDA à raison de 5 fragments par boite. Les boites sont ensuite mises à incuber à une température de 22 C° sous lumière continue pendant 7 jours.

II-2-5 Purification des isolats par la culture monospore:

Avant l'identification des espèces fusariennes isolées, celles-ci sont purifiées par la méthode de la culture monospore. A partir des cultures âgées de 7 jours de *Fusarium* spp. une suspension de spores est préparée dans des tubes contenant de l'eau distillée stérile, ensuite une goutte de chaque suspension est alors prélevée et étalée de manière uniforme sur les boites de Pétri. Les boites sont ensuite incubées à la température ambiante du laboratoire. Après 48 h, un prélèvement de filaments mycéliens est effectué sous une loupe binoculaire, suivi d'un repiquage sur les boites contenant le milieu PDA. Les boites sont mises en incubation pendant 7 jours à la température ambiante du laboratoire (22°C) sous lumière continue.

II-2-6 Identification

L'identification des espèces de *Fusarium* spp. est basée sur les critères établis par Toussoun et Nelson (1976) et les descriptions des espèces établies par Messiaen et Cassini (1968), Booth (1971) et Leslie et Summerell (2006).

- La taille et la forme des macroconidies.
- La présence ou l'absence des microconidies.
- L'aspect et la coloration du mycélium sur milieu PDA.
- La présence ou l'absence de chlamydospores.

II-2-7 Conservation des isolats:

Après purification, les isolats sont conservés en tubes contenant le milieu PDA, puis conservés au froid à 4°C

II-3 Evaluation de la pathogénie des isolats de *Fusarium* spp. et *Microdochium nivale*.

Afin de tester la pathogénie du champignon, les isolats de *F. culmorum*, *F.graminearum*, *F.tricinctum* et *Microdochium nivale* purifiés ont été inoculés sur deux espèces de céréale à savoir blé dur et orge.

II-3-1 Inoculation du sol par l'agent pathogène :

A/ -Préparation de l'inoculum :

Dans un premier temps, l'inoculum est préparé sur un substrat à base de grains d'orge, repartis dans des flacons de 250 ml à raison de 54 grammes par flacon, additionnés de 22 ml d'eau distillée. Ensuite le substrat est autoclavé pendant 20 min à 120°C. Dans un deuxième temps, chaque flacon est inoculé avec 5 explants de 6 mm de diamètre de l'agent pathogène à partir de culture âgée de 7 jours. Les flacons sont ensuite incubés à 25°C sous lumière continue pendant 15 jours et agités une fois tous les 3 à 4 jours (fig. 15) (El khalifeh, 2006).

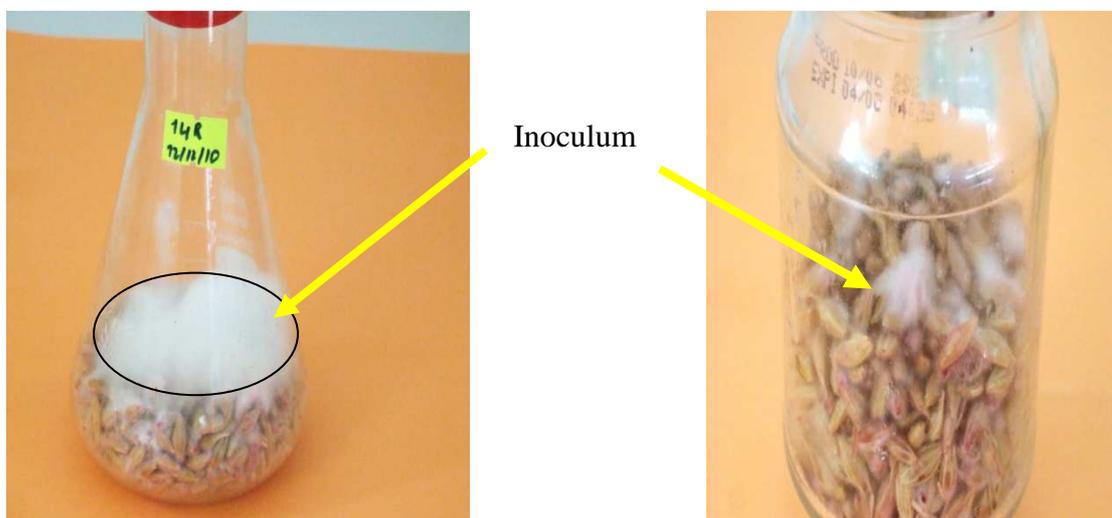


Fig. 15 : Inoculum sur grains d'orge en flacons

B/ Choix des variétés :

Les deux variétés retenues pour le test d'inoculation, sont Waha pour le blé dur et Saida pour l'orge. Ces variétés ont été choisies plus particulièrement à cause de leur sensibilité aux maladies et de la fréquence de leur usage dans les plans de culture.

C/ L'inoculation :

Les graines de blé et d'orge sont semées à raison de 5 graines par (diamètre : 6 cm et hauteur 8 cm) pot, puis un inoculum de 2,5g est apporté sur 2 cm au dessus des graines. En fin d'opération, l'ensemble est recouvert par une couche de sol d'environ 2 cm, composé de 2/3 terre et 1/3 fumier d'ovins + sable. (fig. 16). Cette technique très utilisée par les agents de l'ICARDA, est très efficace, rapide et facile à réaliser (El khalifeh, 2006).

a- Dispositif expérimental :

L'essai est réalisé sous serre selon un dispositif expérimental du type randomisation totale. C'est un dispositif à 2 facteurs (isolats et espèces). Pour chaque isolat de *Fusarium* spp. et *M. nivale* 4 répétitions sont réalisées avec 4 pots témoins (voir figure 1 et 2 en annexe).



Fig. 16 Dispositif expérimental

b- Notation des résultats :

Les plants sont observés régulièrement pour suivre l'évolution et l'apparition des symptômes (fig. n°16), les premières notations sont réalisées au moment de la germination et les deuxièmes après deux mois.

L'évaluation de la sévérité des symptômes est exprimée selon une échelle de notation à 4 degrés allant de 0 à 3.

0 : absence de symptômes.

1 : noircissement ou coloration marron de 1 à 25 % du collet.

2 : // de 26 à 50 % //

3/ // > 50 % //

La réaction moyenne est estimée par le rapport suivant :

$$IM = (0 \times F_0 + 1 \times F_1 + 2 \times F_2 + 3 \times F_3) / N$$

Ou :

IM : indice de maladie

F : nombre de plants pour chaque degré dans l'échelle de notation de 0 à 3.

N : nombre total de plants utilisés.

c- Analyse des résultats :

- Les données expérimentales ont été soumises à l'analyse de la variance.
- La comparaison des moyennes a été effectuée par le test de Newman Keuls et T au seuil de 5%
- Les données ont été analysées par logiciel XLSTAT.

Résultats et discussions

III.1 Recherche des agents de pourritures racinaires isolés à partir de la semence

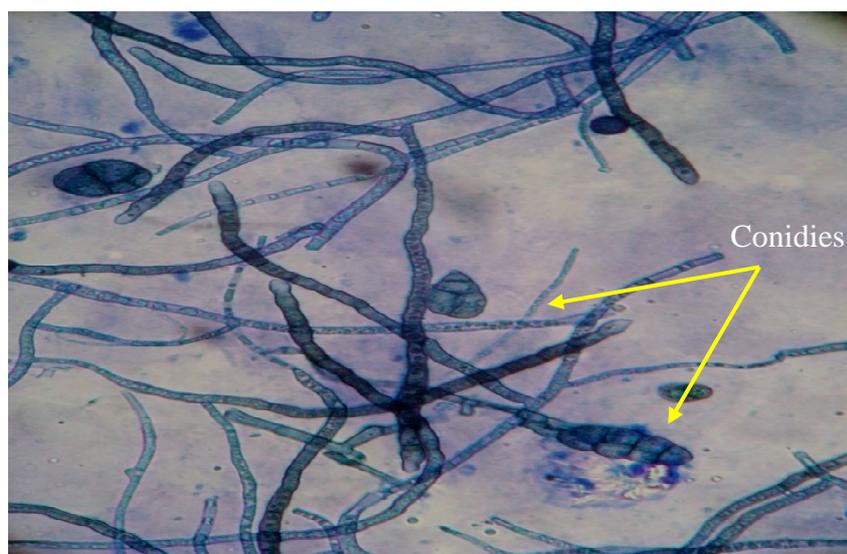
Les analyses de la mycoflore des semences de blé dur et d'orge ont révélé l'absence totale des espèces pathogènes. Contrairement à ces dernières, les espèces comme le genre *Alternaria* ont été isolées à un taux très élevé avoisinant souvent les 100% (fig. 17 et 18). Ceci peut être dû d'une part au fait que les saprophytes peuvent masquer la présence et le développement des pathogènes lors des isolations, d'autre part que les lots de semences qui ont été récoltés au cours de la campagne 2008/2009 pour l'analyse ne sont pas infectés par le *Fusarium*.



a



b



Gr : 40 x 12.5

c

Fig. 17 : Aspect macro et microscopique d'*Alternaria* spp. sur PDA

a, b : Aspect macroscopique d'*Alternaria* spp. sur grain d'orge

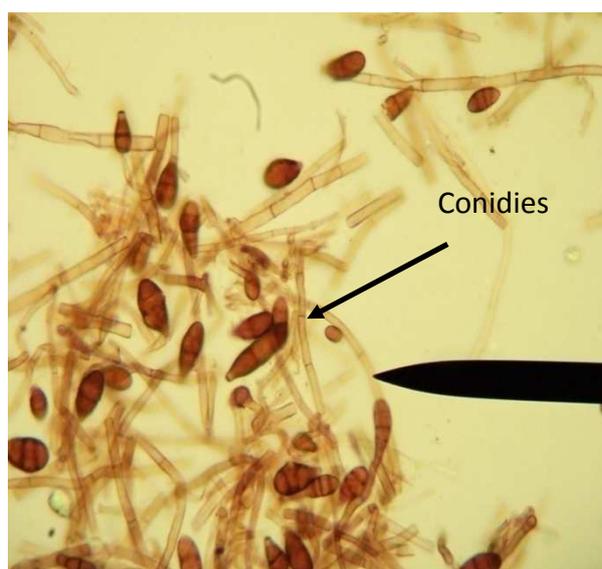
c : Aspect microscopique d'*Alternaria* spp. sur grain d'orge



a



b



Gr : 40 x 12.5

c

Fig.18 : Aspect macro et microscopique d'*Alternaria* spp. sur PDA

a, b : Aspect macroscopique d'*Alternaria* spp. sur grain de blé dur

c : Aspect microscopique d'*Alternaria* spp. sur grain de blé dur

III.2 Recherche des agents de pourritures racinaires isolés à partir des plants

III.2.1 Evaluation de l'importance des pourritures racinaires en champ

Durant la campagne 2008/2009, la moyenne des incidences de la maladie sur le blé dur et l'orge est de 22,33% et 18% (tab.2 et fig.19).

Le test T théorique de l'incidence moyenne de la maladie est égale à 2,23 au seuil $\alpha = 5\%$ pour la campagne 2008/2009, le T calculé est de 1,45% (voir annexe). Contre l'indice de sévérité moyen de la maladie est de 7,23% sur le blé dur et 5,86% sur l'orge (fig.19).

(T calculé= 0,7 inférieure à T théorique = 2,23) (Voir annexe).

Les calculs statistiques ont montré que les différences ne sont pas significatives au seuil $\alpha = 5\%$, entre les espèces que ce soit pour l'incidence ou indice de sévérité de la maladie.

En 2009/2010, la moyenne des incidences de la maladie calculée est de 29.33% sur le blé dur et 21,66% sur l'orge, par contre les indices de sévérité est de 11,06% sur le blé dur et 7,93 sur l'orge (tab.2 et fig.19).

Le test de T calculé de l'incidence moyenne est égale à 2,90 au seuil $\alpha = 5\%$, le T théorique est de 2,23, nous pouvons déduire que les moyennes diffèrent significativement pour $\alpha = 5\%$.

En ce qui concerne les indices moyens de sévérité de la maladie entre les espèces, la différence n'est pas significative au risque $\alpha = 5\%$ (t calculé= 1,80 inférieur à t théorique = 2,23) (voir annexe).

Campagne espèce	2008/2009		2009/2010		moyenne	
	I	IS	I	IS	I	IS
Blé dur	22,33	7,23	29,33	11,06	25,83	9,15
orge	18	5,86	21,66	7,93	19,83	6,9

Tableau 2 : Incidence et indice de sévérité de la maladie sur le blé dur et l'orge durant deux campagnes (2008/2009 et 2009/2010)

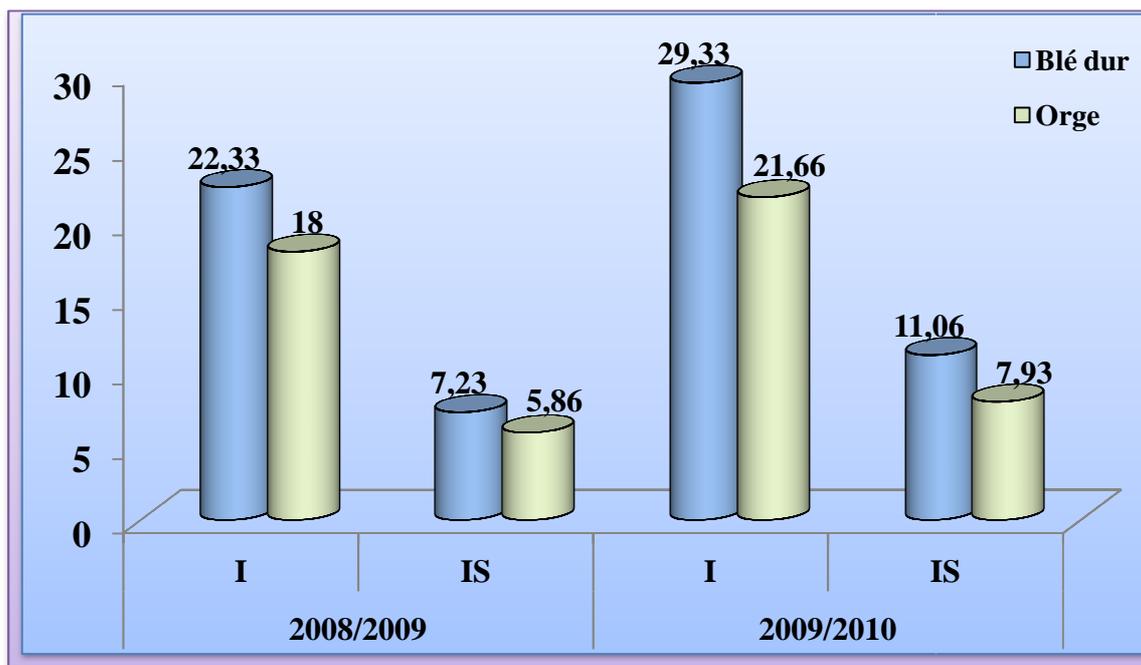


Fig. 19 Incidence et indice de sévérité de la maladie sur le blé dur et l'orge durant deux campagnes (2008/2009 et 2009/2010)

L'incidence moyenne de la sévérité de la maladie du blé dur (25,83%) dépasse celle de l'orge (19,83%) d'une manière significative (t calculé = 2,68 est supérieur au t théorique = 2,07).

contre l'indice moyen de la sévérité de ces deux espèces est comparable dont le blé dur est de 9,15% où 6,9% pour l'orge (tableau.2). (Pas de différence significative au seuil de 5% car le t calculé = 1,8 est inférieur au t théorique = 2,07).

Dans notre étude, les analyses statistiques montrent que les variétés utilisées durant les deux campagnes Waha et Mohamed ben Bachir pour le blé dur et Saïda pour l'orge ont exprimé presque de même niveau de sensibilité vis-à-vis de la maladie de pourritures racinaires. Ceci est dû aux facteurs favorables à l'infection à savoir :

Les conditions environnementales,

La sensibilité de cultivar choisi,

La quantité d'inoculum présent, soit sur les résidus laissés à la surface du sol, soit dans le sol où le labour n'a pas été pratiqué. Ce résultat confirme celui trouvé par Lauzon *et al* (2007), Rioux (2009) ; Pageau et Fillion (2009) sur le risque d'infection par le *Fusarium*.

D'après ces résultats, nous pouvons conclure que :

- Le blé dur est l'espèce la plus sensible à la maladie des pourritures racinaires suivie de l'orge (fig. 20 et 21).

Sur les deux campagnes 2008/2009 et 2009/2010 le blé dur présente des incidences et des indices de sévérités moyens élevés, par rapport à l'orge (tab.2), alors cette espèce (variété Mohamed ben Bachir et Waha) est très sensible aux pourritures racinaires (figure n° 20 et 21). Le résultat obtenu va dans le sens de celui trouvé par Terfi (1998) qui a travaillé sur les pourritures racinaires des céréales dans les régions de Tiaret et d'Ain Defla.



a



b



c



d

Fig. 20 : Symptômes de la pourriture racinaire chez l'orge

a et b : Brunissement des nœuds et entre nœuds
c et d : Pourriture à la base des tiges



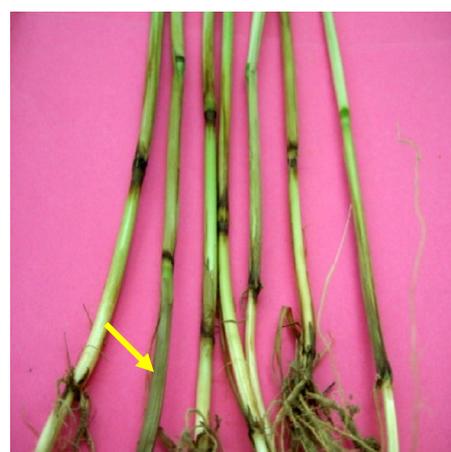
a



b



c



d

Fig. 21 : Symptômes de la pourriture racinaire chez le blé

**a et b : Brunissement des nœuds et entre nœuds
c et d : Pourriture à la base des tiges**

III.2 .2 Agents fongiques en cause

Les agents pathogènes associés aux pourritures racinaires sont par d'ordre d'importance *F. culmorum* (45% sur blé dur 42,25% sur orge), *F.graminearum* (31,5% sur blé dur 29% sur orge), *M. nivale* (23,5% sur blé dur 26, 75,% sur orge) et *F.tricinctum* (2% sur orge) (Tab.3).

Campagne Agents en cause	2008/2009		2009/2010		Moyenne	
	BD	O	BD	O	BD	O
<i>F. culmorum</i>	41	38	49	46,5	45	42,25
<i>F. graminearum</i>	34	31	29	27	31 ,5	29
<i>M. nivale</i>	25	27	22	26,5	23,5	26,75
<i>F. tricinctum</i>	0	4	0	0	0	2
Total	100	100	100	100	100	100

Tableau 3: Fréquence des champignons par campagne

La campagne 2009/2010 s'est caractérisée par une sécheresse accentuée, la pluviométrie n'a pas été répartie régulièrement durant presque toute la campagne, ou nous avons constaté que *F. culmorum* était présent dans les deux régions céréalières, il est plus important à El-Madher qu'à Ain-Touta, car cette dernière se caractérisant par un climat sec et chaud en atteignant : 50% sur blé dur et 48% sur orge (tab.4 et fig.22).

campagne Agents en Cause	2008/2009				2009/2010			
	El-Madher		Ain-Touta		El-Madher		Ain-Touta	
	BD	O	BD	O	BD	O	BD	O
<i>F. culmorum</i>	42	39	40	37	50	48	48	45
<i>F. graminearum</i>	35	32	33	30	20	17	38	37
<i>M. nivale</i>	23	21	27	33	30	35	14	18
<i>F. tricinctum</i>	0	8	0	0	0	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

Tableau 4: Fréquences des champignons par région

Nos résultats sont concordants avec ceux de Soum (2005) et Tobbal (2006) où *F. culmorum* fut classé en première position. Contrairement aux travaux de Terfi (1998) qui le signale en deuxième position après *Bipolaris sorokiniana* au niveau de la région de Tiaret et d'Ain Defla (avec un taux de contamination de 25,9%).

D'après Zillinsky, (1983) et Caron, (2000), *F. culmorum* résiste à la sécheresse et les gèles extrêmes. Sa dominance a été déjà rapportée par plusieurs auteurs dans d'autres régions comme : en Tunisie (Benalaya, 1997), au Maroc (Wahbi, 1989) et en Algérie (Tobbal, 2006).

En France Ioos *et al.*(2003) ont montré que *F. culmorum* et *Fusarium graminearum* constituent les seuls agents de fusariose de l'épi.

Dans la région d'El-Madher nous avons remarqué que la fréquence de *F. culmorum* au niveau des champs est plus importante durant les deux campagnes agricoles (42% sur blé dur et 39% sur orge en 2008/2009 et 50% sur blé dur et 48% sur orge en 2009/2010) (tab.4 et figure.22). Cette dominance est liée à la présence des chlamydospores intraconidiennes résistantes à la sécheresse et à l'asphyxie qui survivent mieux que celles de *Fusarium graminearum* (Sitton et Cook, 1981). Ce champignon est très virulent après des stress

hydriques (Teich et Nelson, 1983, Hill, 1984, Pérez, 2000 et Gagkaeva, 2009) liés à une pluviométrie faible de la région d'EL-Madher (321,92 mm en 2008/2009 et 248,1mm en 2009/2010).

Durant la campagne 2009/2010, la fréquence de *F. grameniarum* est élevée dans la région d'Ain-Touta qu'El-Madher avec un taux de 38% sur blé dur et 37% sur orge. Ceci est lié aux conditions climatiques favorables aux développements de cette espèce fongique. (tab.4 et fig.22). Cette espèce semble caractérisée les climats océaniques à hiver doux et à été chauds et humide, en effet, son attaque peut se produire à tous les stades végétatifs de la plante (Wahbi, 1989 ; Zillinsky, 1983 ; (Djerbi, 1971) in Terfi, 1998.

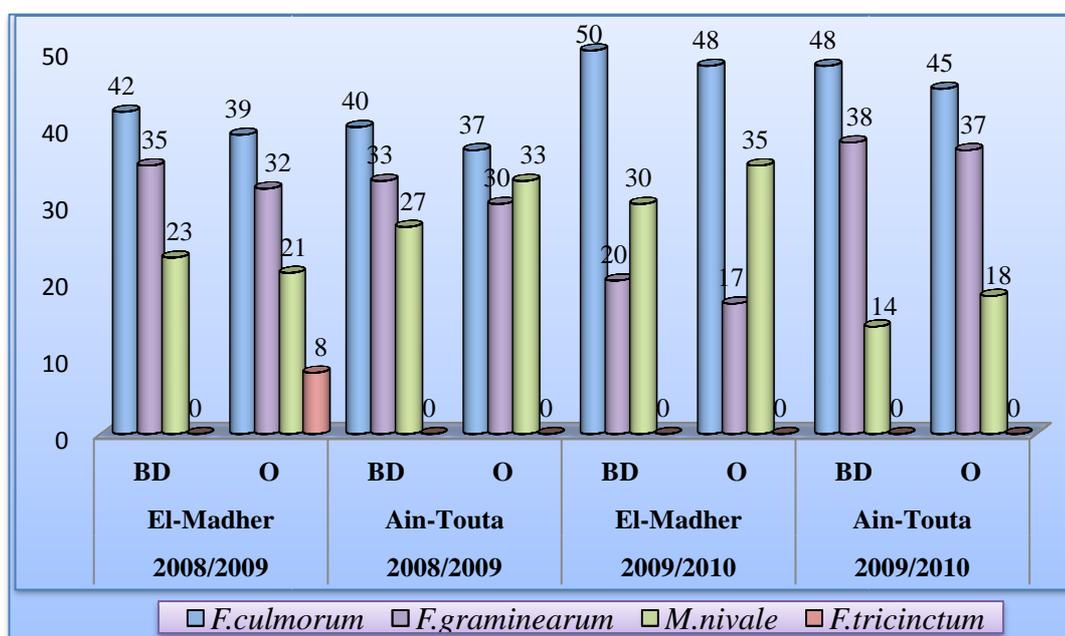


Fig. 22: Fréquences des champignons par région

Concernant *M.nivale* nous avons noté un taux de contamination élevé durant la campagne 2008/2009 avec 25% sur blé dur et 27% sur orge comparativement à la campagne 2009/2010 où nous avons enregistré un taux de 22% sur blé dur et 26,5% sur orge (tab.3 et fig.23). Cette augmentation peut être liée aux conditions climatiques de la campagne (2008/2009) favorables à l'activité de ce champignon (températures basses, forte humidité et quantité importante de résidus de culture laissée à la surface du sol). Il peut se maintenir plusieurs années dans les couches superficielles du sol et ne formant pas de chlamydospores

et ne se manifeste dès que la température atteint 1C°, la sporulation est abondante à 8C°, alors qu'elle cesse aux environs de 16C° à 18C°. La conservation de ce champignon est assurée principalement par les résidus de culture précédente laissée à la surface du sol où il se maintient plusieurs années (Rapilly *et al.*, 1971, Caron, 2000).

F.tricinctum a été signalé sur l'orge avec un faible pourcentage d'attaque 4% en 2008/2009, cependant il été absent durant la campagne 2009/2010 (tab.3 et fig.23). Cette espèce s'installe facilement sur les lésions provoquées par les insectes, c'est essentiellement sur les inflorescences de certaines graminées fourragères, il produit des toxines qui peuvent rendre dangereuse la consommation des récoltes parasitées (Rapilly *et al.*, 1971).

La sensibilité des espèces est forte vis-à-vis de *F. culmorum* avec 45% pour le blé dur et 42,25% pour l'orge par contre elle est moins vis à vis de *Fusarium graminearum* respectivement 31,5% et 29% (tab 3).

D'autres facteurs peuvent influencer sur la sévérité de la maladie comme la rotation des céréales sur céréales pratiquée dans cette région, la quantité d'inoculum présent sur les résidus laissés à la surface du sol, présence de mauvaises herbes, le taux d'azote appliqué, la densité de semis élevée et les techniques de travail superficiel du sol sans retournement. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par les auteurs comme : Rapilly *et al.*, (1971), Pérez (2000), Champeil (2004) et kriel (2009).

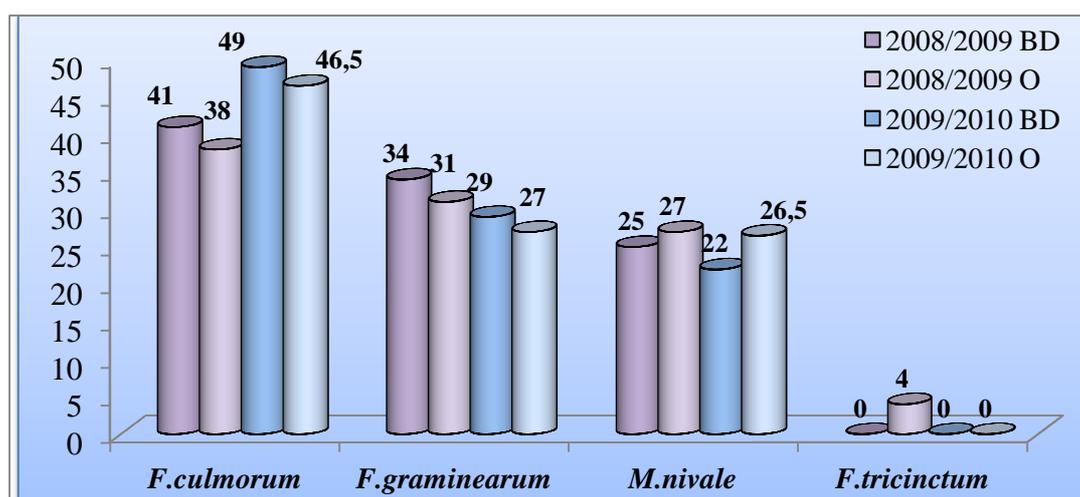


Fig. 23 Fréquence des champignons selon l'espèce de céréale durant deux campagnes 2008/2009 et 2009/2010.

III. 2.3 Description et Identification des isolats de *Fusarium* spp et *Microdochium nivale*.

Les isolements effectués à partir des nœuds, des racines et du collet des plants de blé dur et d'orge présentant les symptômes typiques de la fusariose et de la pourriture racinaire ont permis d'obtenir des isolats qui appartiennent au genre *Fusarium* et à l'espèce *Microdochium nivale*.

L'isolat N°1,2 (MN 01 et MN 02) : cultivés sur PDA, donnent des colonies de couleur blanche pure à crème, s'étendent rapidement sur le substrat. Le mycélium est ras très finement facilement sur le rebord de la boîte. Les macroconidies sont courtes, amincies aux deux extrémités et sont pédicellées à leur base. Elles ont de 1 à 3 cloisons et mesurent 20-28 x 2.5-5µm. (fig.24 et tab.2 en annexe). Cette description correspond à l'espèce *Microdochium nivale* selon Tousson et Nelsson (1976), Zillinsky (1983) et Leslie et Summerell (2006).

Les isolats N° 3, 4, 16 et 17 (FT 01, FT 02, FT 03 et FT 04): sur milieu PDA donnent des colonies de couleur rouge carmin, une légère odeur de fruit mur apparaît quand on ouvre la boîte de pétri. Le mycélium aérien est cotonneux. Les phialides ont une forme de bouteille (fig.26) et (tab.2 en annexe). Les microconidies sont pyriforme, globuleuses et en forme de virgule (fig.25 et tab.2 en annexe). Cette description correspond à l'espèce *Fusarium tricinctum* selon Tousson et Nelsson (1976), Zillinsky (1983) et Leslie et Summerell (2006).

Les isolats N° 5, 6, et 7 (FC 01, FC 02 et FC 03) : sur milieu PDA donnent des colonies de couleur qui vire du blanc vers le rose .le mycélium est aérien abondant et devient rouge au contact de l'agar, Les macroconidies sont épaisses et faiblement arquées, la cellule apicale pointue, et nettement pédicellée à la base. Les conidies comportent en général trois à cinq cloisons et mesurent (30-60) x (4-7) µm. les microconidies sont absentes, alors que les chlamydospores sont abondantes et en chaînes (fig 27 et tab.2 en annexe). Cette description correspond à l'espèce *Fusarium culmorum* selon Toussoun et Nelsson (1976), Zillinsky (1983) et Leslie et Summerell (2006).

Les isolats N° 8, 9, 10,11, 12, 13, 14 et 15 (FG 01, FG 02, FG 03, FG 04, FG 05, FG 06, FG 07 et FG 08): sur milieu PDA donnent des colonies de couleur rouge. Le mycélium est dense de couleur qui varie du blanc rose, orange au marron et devient rouge au contact de l'agar avec des reflets plus au moins jaunes dans sa partie aérienne (Fig.28 et tab.2 en annexe). Les macroconidies sont hyalines, droites ou légèrement arquées, la cellule apicale est

faiblement allongée et fortement courbée près du bout. Elles mesurent (25-50) μm x (2.5-5) μm . Les microconidies sont absentes, les chlamydozspores sont rares en culture. Cette description correspond à l'espèce *Fusarium graminearum* selon Tousson et Nelsson (1976), Zillinsky (1983) et Leslie et Summerell (2006).

Tableau 5 Codes des différents isolats de *Fusarium* spp et *Microdochium nivale* :

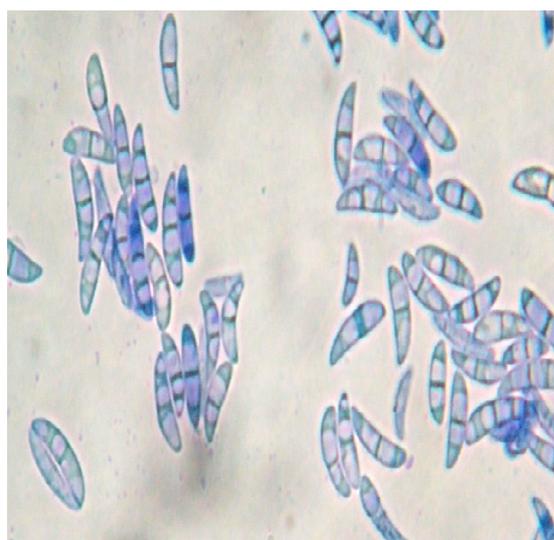
Isolat	Espèce	Code
01	<i>Microdochium nivale</i>	MN 01/E
02	<i>Microdochium nivale</i>	MN 02/AT
03	<i>Fusarium tricinctum</i>	FT 01/AT
04	<i>Fusarium tricinctum</i>	FT 02/AT
5	<i>Fusarium culmorum</i>	FC 01/AT
6	<i>Fusarium culmorum</i>	FC 02/AT
7	<i>Fusarium culmorum</i>	FC 03/E
8	<i>Fusarium graminearum</i>	FG 01/AT
9	<i>Fusarium graminearum</i>	FG 02/E
10	<i>Fusarium graminearum</i>	FG 03/E
11	<i>Fusarium graminearum</i>	FG 04/E
12	<i>Fusarium graminearum</i>	FG 05/E
13	<i>Fusarium graminearum</i>	FG 06/E
14	<i>Fusarium graminearum</i>	FG 07/E
15	<i>Fusarium graminearum</i>	FG 08/E
16	<i>Fusarium tricinctum</i>	FT 03/AT
17	<i>Fusarium tricinctum</i>	FT 04/AT



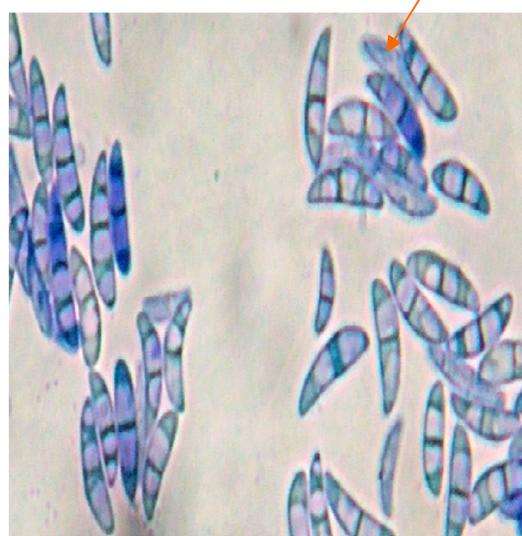
a



b



d



Macroconidie

Gr : 40 x 12.5

e

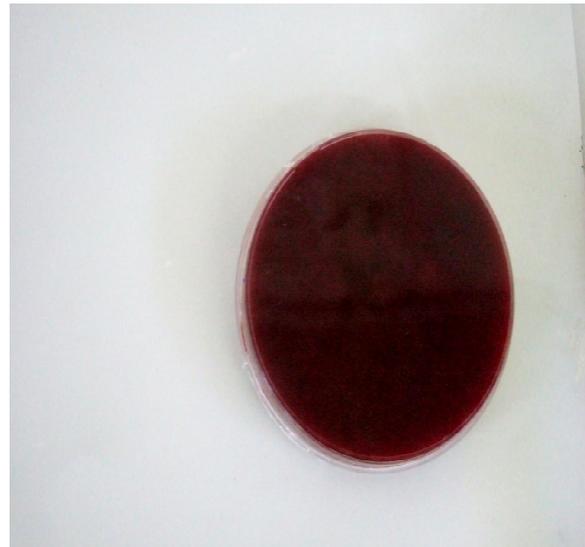
Fig. 24 : Aspect macroscopique et microscopique de *Microdochium nivale* sur PDA

a et b : Aspect macroscopique de *Microdochium nivale*

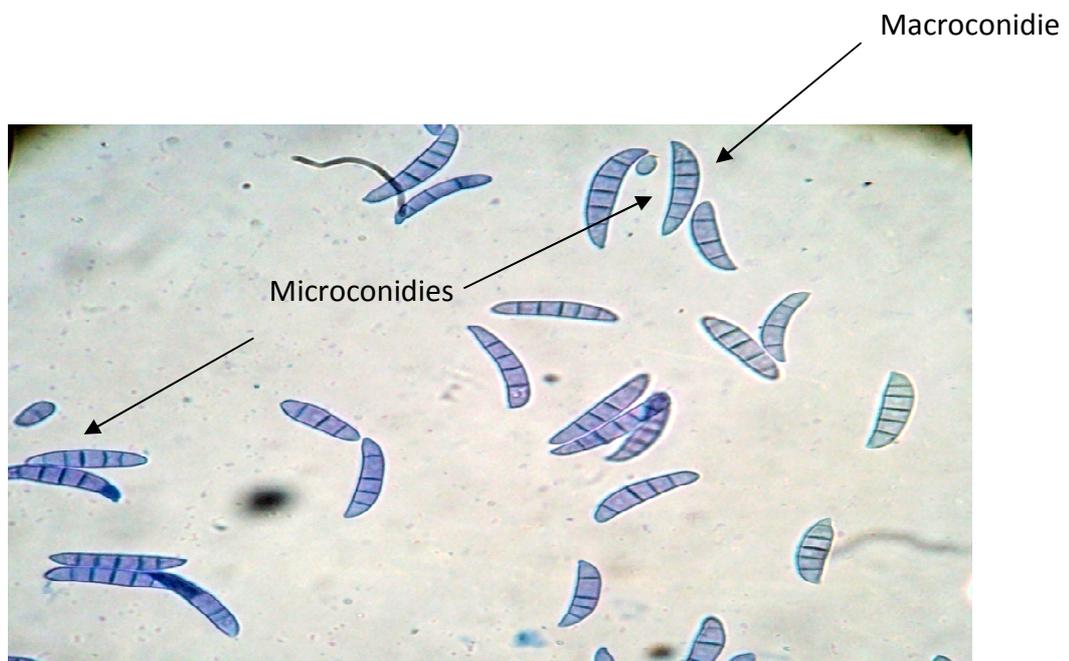
c et d Aspect microscopique de *Microdochium nivale*



a



b



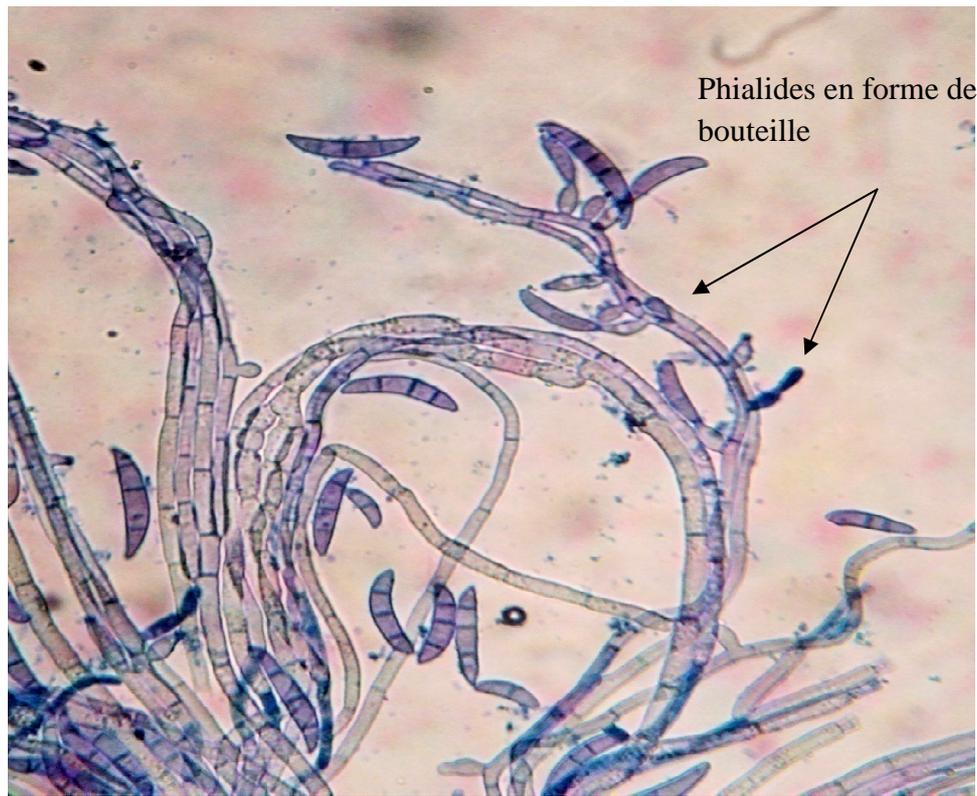
Gr: 40 x 12.5

c

Fig. 25: Aspect macroscopique et microscopique de *Fusarium tricinctum* sur PDA

a et b : Aspect macroscopique de *Fusarium tricinctum*

c : Aspect microscopique de *Fusarium tricinctum*



Gr : 40 x 12.5

Fig. 26 Aspect microscopique de *Fusarium tricinctum* sur PDA

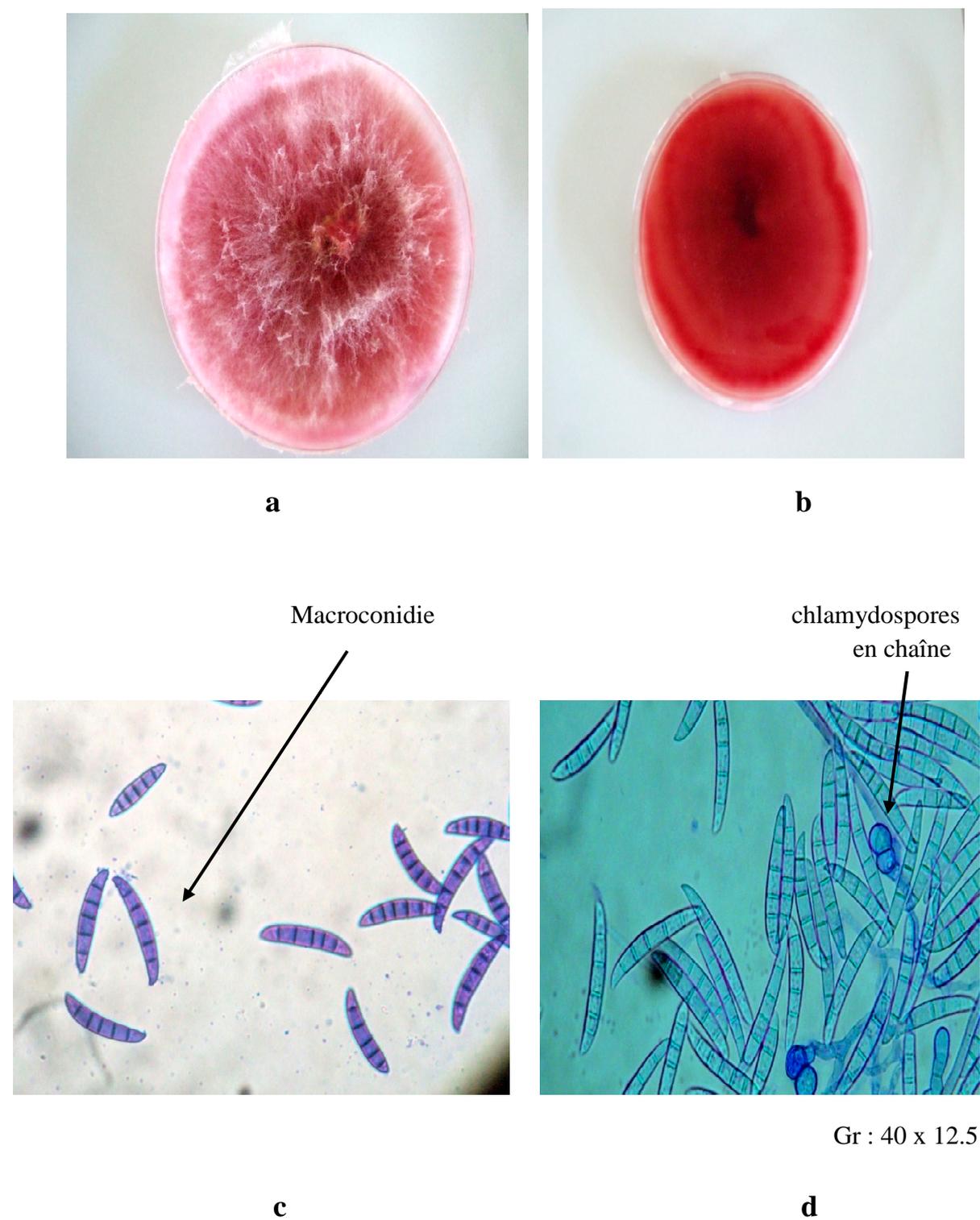
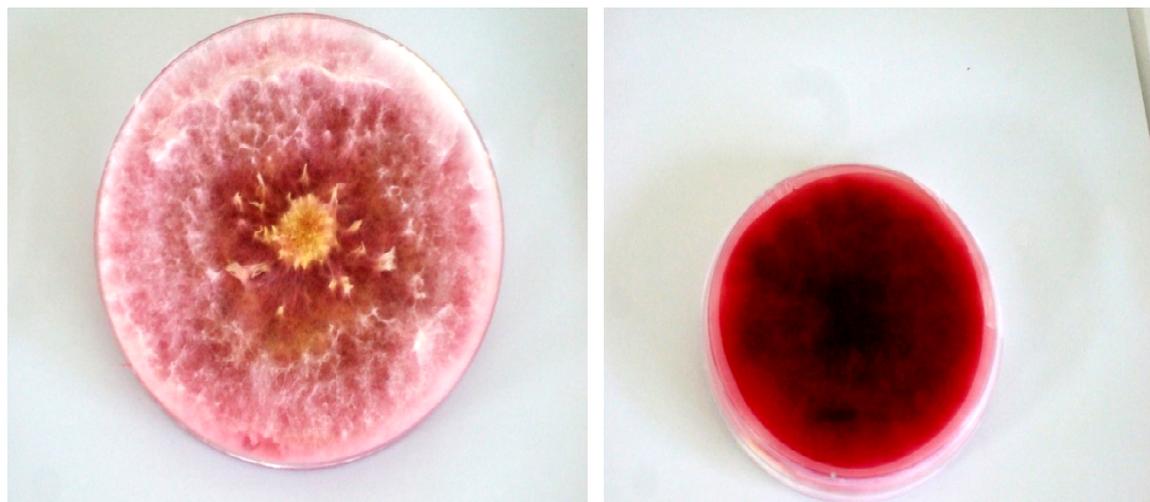


Fig. 27 : Aspect macroscopique et microscopique de *Fusarium culmorum* sur PDA

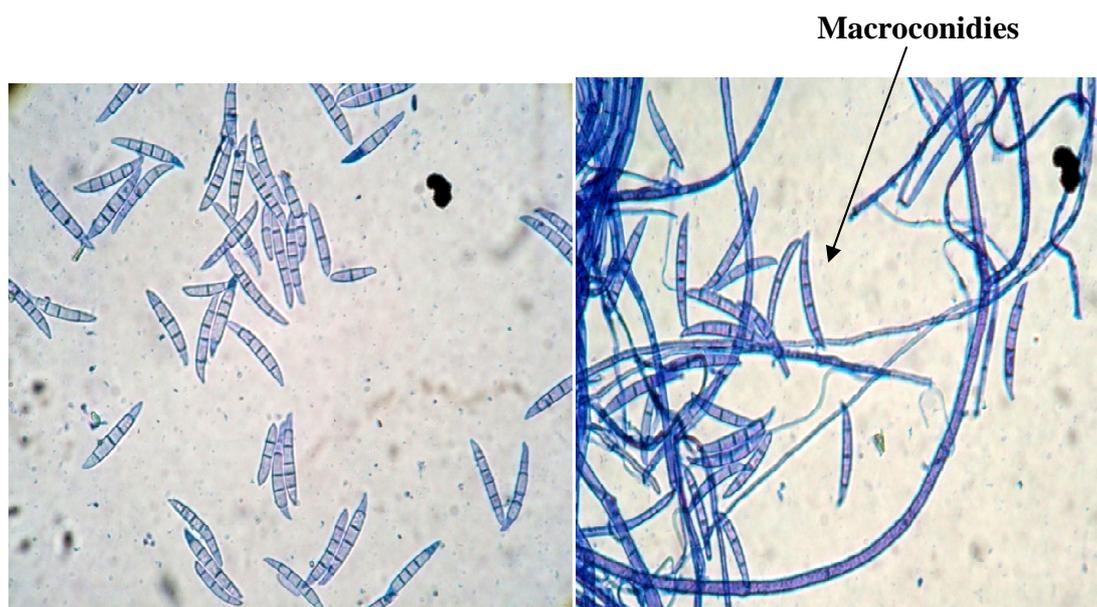
a et b : Aspect macroscopique de *Fusarium culmorum*

c et d: Aspect microscopique de *Fusarium culmorum*



a

b



Macroconidies

c

d

Gr : 40 x 12.5

Fig. 28 : Aspect macroscopique et microscopique de *Fusarium graminearum* sur PDA

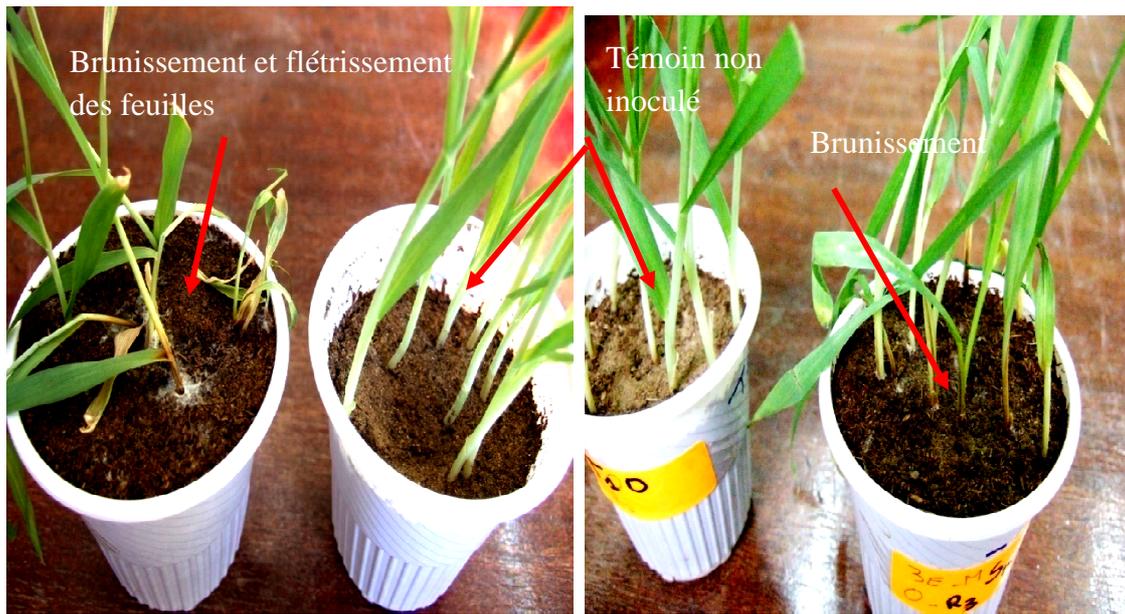
a et b : Aspect macroscopique de *Fusarium graminearum*
c et d: Aspect microscopique de *Fusarium graminearum*

III.3 Etude du pouvoir pathogène des isolats de *Fusarium spp.* et *Microdochium nivale* sur blé dur et orge :

Le pouvoir pathogène est défini par la virulence et l'agressivité : c'est-à-dire l'aptitude que possède un agent pathogène à attaquer un hôte, et la quantité de la maladie qu'il peut engendrer (Rapilly *et al.*, 1971). A cet effet, nous avons mis en place un test qui a permis d'évaluer le pouvoir pathogène des différents isolats, et de confirmer les observations faites au cours des notations effectuées sur terrain.

Un suivi a été réalisé quotidiennement jusqu'au 60^{ème} jour après le semis, et des notations ont été faites après arrachage des plants de blé dur et d'orge.

Durant la période de l'essai, aucun symptôme n'a été observé pour le témoin négatif (non inoculé). Pour les plants issus de grains d'orge et de blé dur semés dans un sol inoculé, le début d'apparition des symptômes est observé au 15^{ème} et 20^{ème} jour respectivement après le semis. Ils se manifestent par un brunissement et flétrissement des feuilles basales et manque à la levée des plants (fig.29 et 30). Après l'arrachage des plants, les symptômes observés sont rétrécissement des racines et des nécroses au niveau du collet et de la tige (fig. 31 et 32).



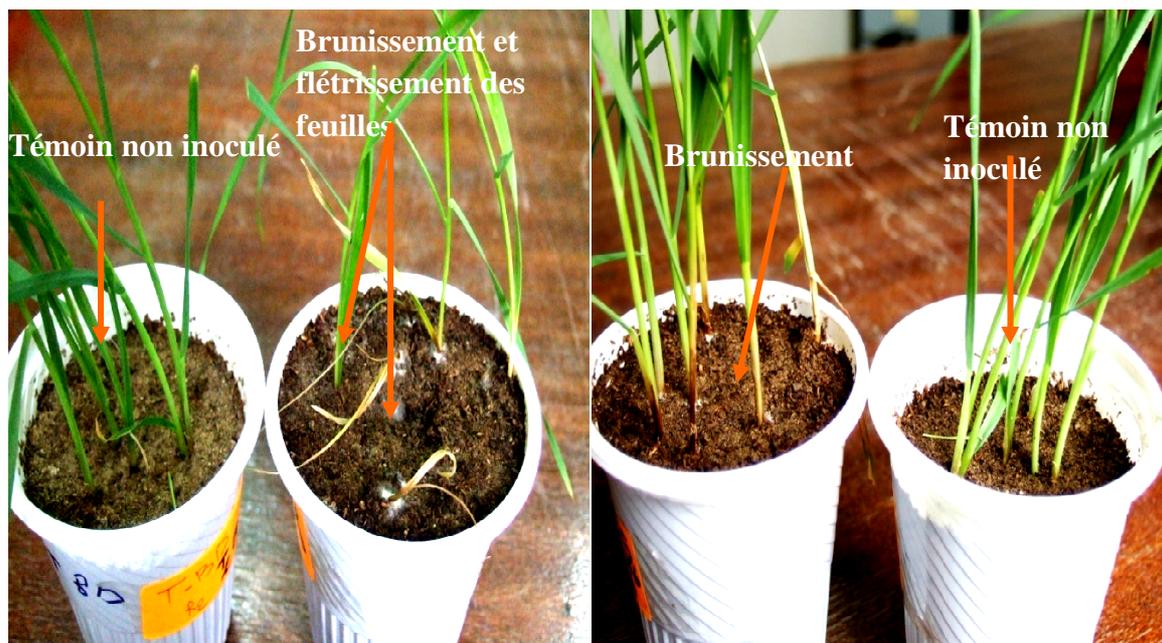
a

b



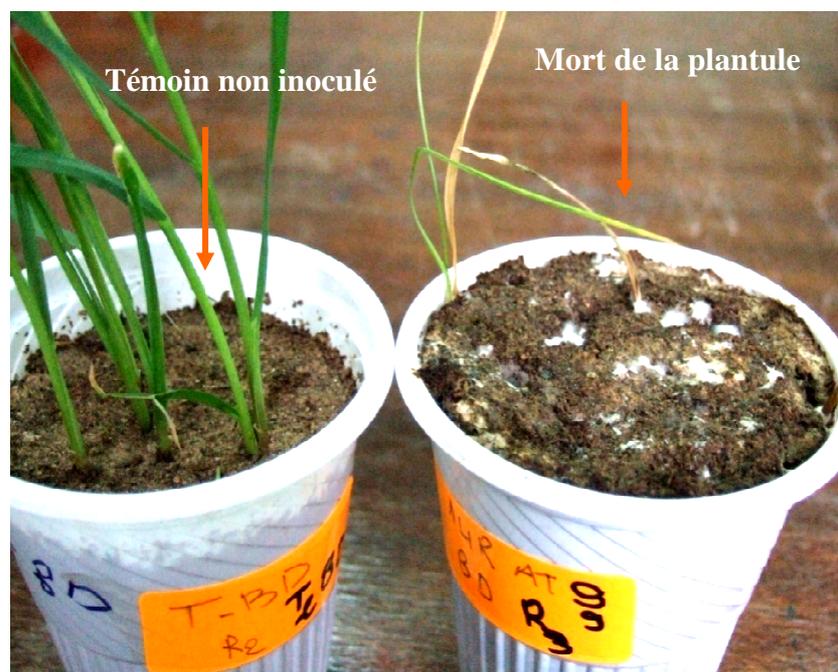
c

Fig. 29 : a, b et c : Début d'apparition des symptômes de pourritures après inoculation au niveau du collet et des feuilles de plantule d'orge



a

b



c

Fig. 30 : a, b et c : Début d'apparition des symptômes de pourritures après inoculation au niveau du collet et des feuilles de plantule de blé dur

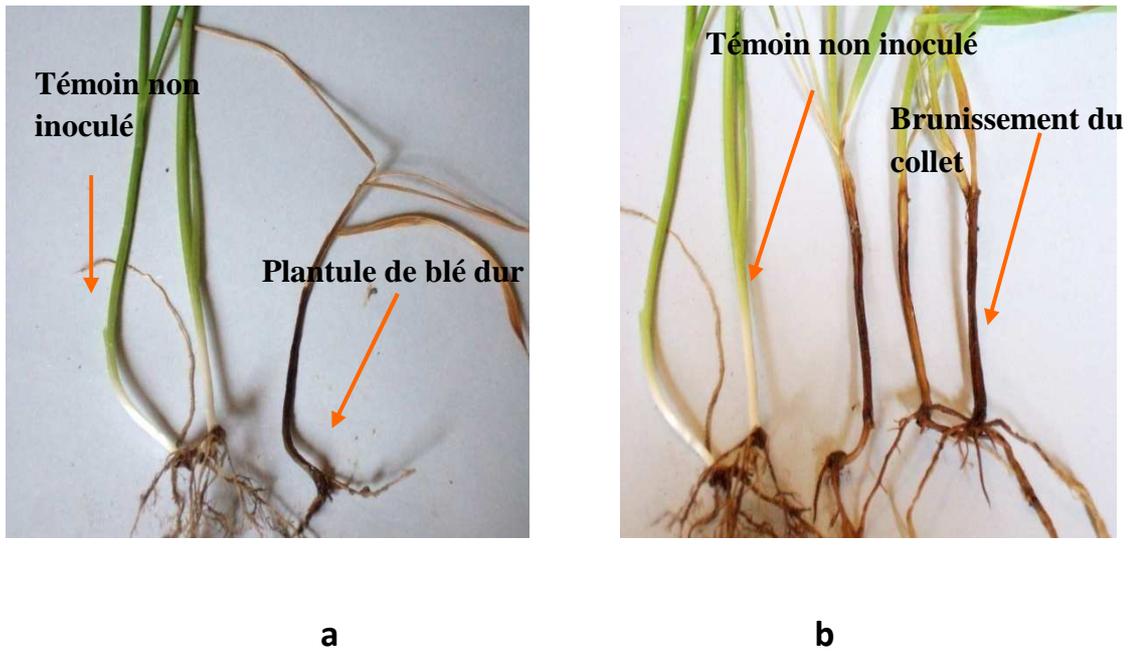


Fig. 31 : a et b : Symptômes de pourritures après arrachage au niveau des racines, du collet et des feuilles de base de plantule de blé dur

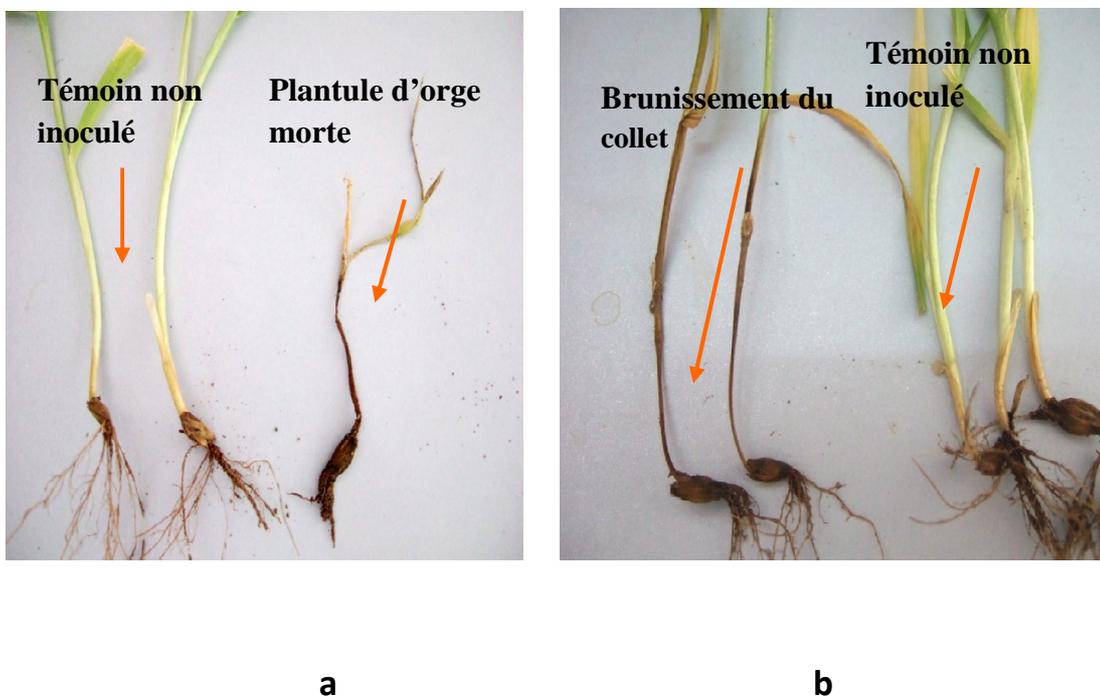


Fig. 32 : a et b : Symptômes de pourritures après arrachage au niveau des racines, du collet et des feuilles de base de plantule d'orge

Les indices moyens de la maladie obtenus sont représentés sur le tableau suivant (tab.6).

Tableau 6. Indice de sévérité des isolats de *Fusarium* spp. et *Microdochium nivale* sur blé dur et orge

isolats	Indice moyen de la maladie sur blé dur	Indice moyen de la maladie sur orge
<i>Microdochium nivale</i> 01	1.8	1.65
<i>Microdochium nivale</i> 02	1.9	1.45
<i>Fusarium tricinctum</i> 01	0.38	0.6
<i>Fusarium tricinctum</i> 02	0.35	0.75
<i>Fusarium culmorum</i> 01	2.5	1.8
<i>Fusarium culmorum</i> 02	2.45	2.3
<i>Fusarium culmorum</i> 03	2.25	2
<i>Fusarium graminearum</i> 01	3	3
<i>Fusarium graminearum</i> 02	2.95	2.7
<i>Fusarium graminearum</i> 03	2.65	1.7
<i>Fusarium graminearum</i> 04	2.63	2.63
<i>Fusarium graminearum</i> 05	2.85	1.55
<i>Fusarium graminearum</i> 06	3	3
<i>Fusarium graminearum</i> 07	2.87	2.85
<i>Fusarium graminearum</i> 08	2.95	2.3
<i>Fusarium tricinctum</i> 03	1.62	1.72
<i>Fusarium tricinctum</i> 04	1.48	1.75

Les indices moyens de la maladie chez les plants de blé dur et d'orge inoculés indiquent que les espèces les plus agressives sont : *Fusarium graminearum* avec un indice moyen de la maladie de 2,86% et 2,46% respectivement suivi de *F. culmorum* (2,4% et 2,03%), *Microdochium nivale* (1,85% et 1,55%) et *F.tricinatum* (0,95% et 1,20%). Le niveau de réaction de blé dur et d'orge vis-à-vis des isolats de *Fusarium* spp. et *M.nivale* a révélé une grande pathogénicité de l'isolat n°8 et n°13 (*F.graminearum*) et une moindre d'attaque de l'isolat n°4 pour le blé dur et l'isolat n°3 (*F.tricinatum*) pour l'orge. (fg.33 et 34).

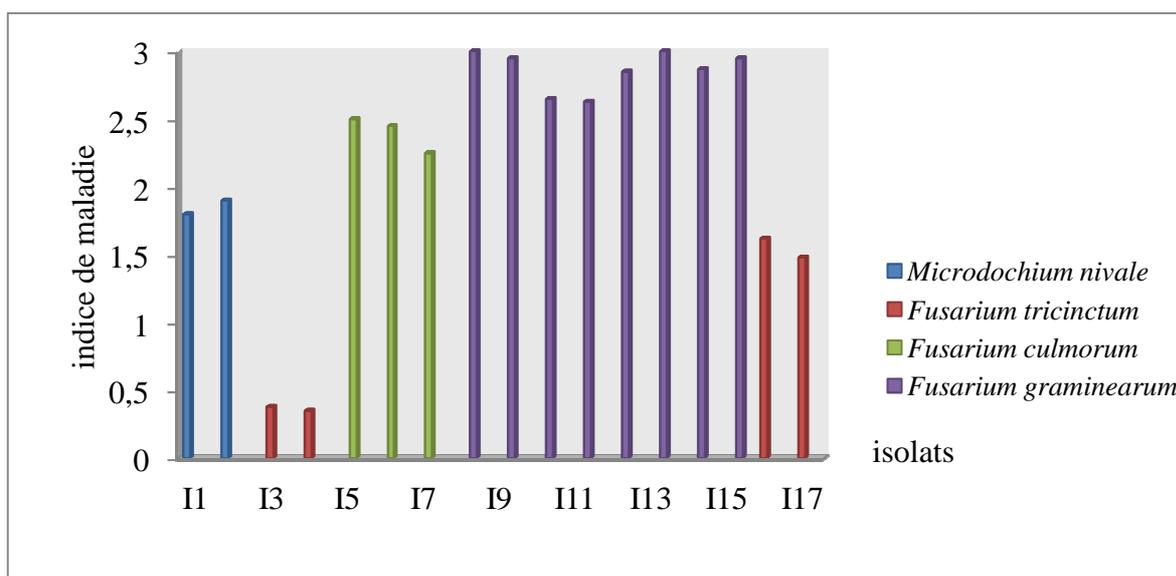


Fig. 33 Indice de la maladie des isolats de *Fusarium* spp. et *M.nivale* sur blé dur (60^{eme} jours après l'inoculation)

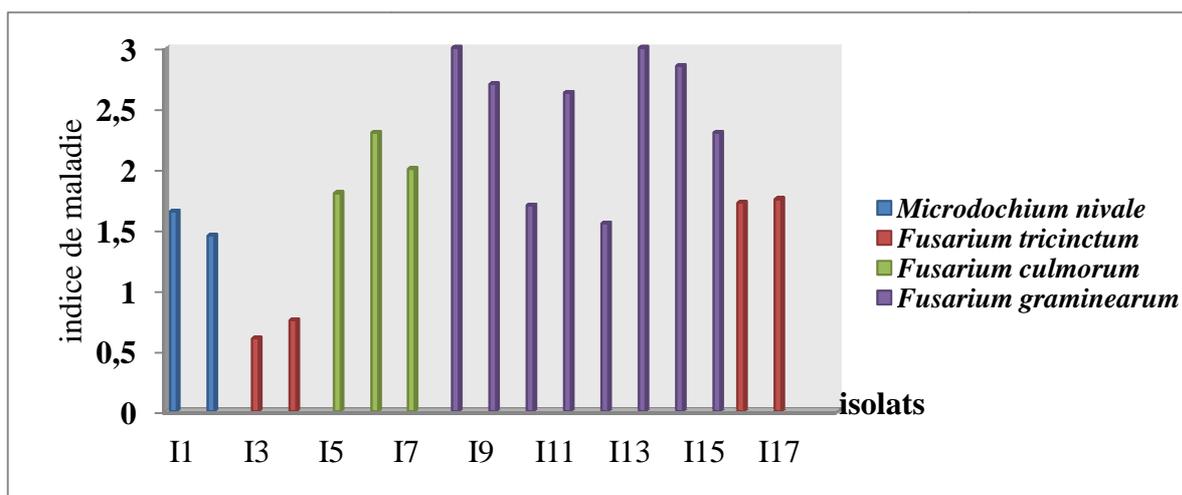


Fig. 34 Indice de la maladie des isolats de *Fusarium* spp. et *M.nivale* sur orge (60^{eme} jours après l'inoculation)

La confrontation par l'analyse de variance des valeurs de l'indice de sensibilité lié aux différents isolats, 60 jours après le semis, pour chacune des deux espèces (blé dur et orge) est consigné dans le tableau 7.

Tableau n° 7 : Valeur du test F pour le blé dur et l'orge, pris séparément

Espèce	Source de variation	S.C.M	ddl	Carrés moyens	Valeur de F	Probabilité	E.t.	C.v (%)
Blé dur	Var. Totale	73,63	71	1,04				
	Isolat	65,41	17	3,85				
	Residuelle	8.21	54	0,15	25,30 ***	0,0000	0,39	18,6
Orge	Var. Totale	60,82	71	0,86				
	Isolat	47,76	17	2,81				
	Residuelle	13,06	54	0,24	11,61 ***	0,0000	0,49	26,2

*** = Très hautement significatif

Cette approche statistique indique que tant pour le blé dur que pour l'orge, les isolats induisent des sensibilités très hautement différentes ($F = 25,3$ pour le blé dur et $11,6$ pour l'orge $< \text{prob. } 1\%$).

La comparaison des valeurs moyennes des indices des différents isolats par le test de NEWMAN –KEULS à 5% (tableau 8) permet de distinguer :

Huit (08) groupes pour le blé dur. Globalement, on peut considérer les isolats n° 8, 9, 13, 14 et 15 comme étant les plus agressifs. La valeur de leur indice va de 2.88 % à 3%. En revanche, les isolats 3 et 4 sont très peu agressifs, avec un indice de proche du témoin. Le reste des isolats (I10, I11, I5, I6, I7, I2, I1, I16 et I17) exprime un indice intermédiaire allant de 1,48% à 2,65 %.

Neuf (09) groupes pour l'orge. En simplifiant, on observe que les isolats n° 8, et 13 et même 14 sont les plus agressifs. La valeur moyenne de leur indice est pratiquement de 3%. L'isolat n°3 en particulier est nettement le moins agressif, avec une valeur indiciaire peut différente du témoin. La majorité des isolats testés (72 %) présente un indice moyen d'agressivité, intermédiaire, variant de 0.75% à 2,70%.

Tableau 8: Valeurs moyennes des indices des isolats et groupes homogènes établis par le test de NEWMAN –KEULS à 5% pour chacune des deux espèces de céréales

Blé dur			Orge		
N° Isolot	Moyenne de l'indice (%)	Groupes statistiques	N° Isolot	Moyenne de l'indice (%)	Groupes Statistiques
15	3.00	A	13	3.00	A
13	3.00		8	3.00	
8	3.00		14	2.85	AB
9	2.95		9	2.70	ABC
14	2.88		11	2.64	
12	2.85		15	2.30	ABCD
10	2.65		6	2.30	
11	2.64	AB	7	2.00	BCDE
5	2.50	ABC	5	1.80	
6	2.45		17	1.75	CDE
7	2.25	16	1.72		
2	1.90	ABCD	10	1.70	
1	1.80	BCD	1	1.65	
16	1.63	CD	12	1.55	
17	1.48	D	2	1.45	DE
			4	0.75	EF
3	0.39	E	3	0.60	F
4	0.35		témoin	0.00	
Témoin	0.00				

En considérant l'ensemble des isolats (tableau 3 et 4 en annexe), l'orge paraît plus résistant que le blé dur. En effet, les valeurs indiciaires moyennes des isolats sont de 2,21% et 1,98 %, pour respectivement l'orge et le blé dur (fig. 35).

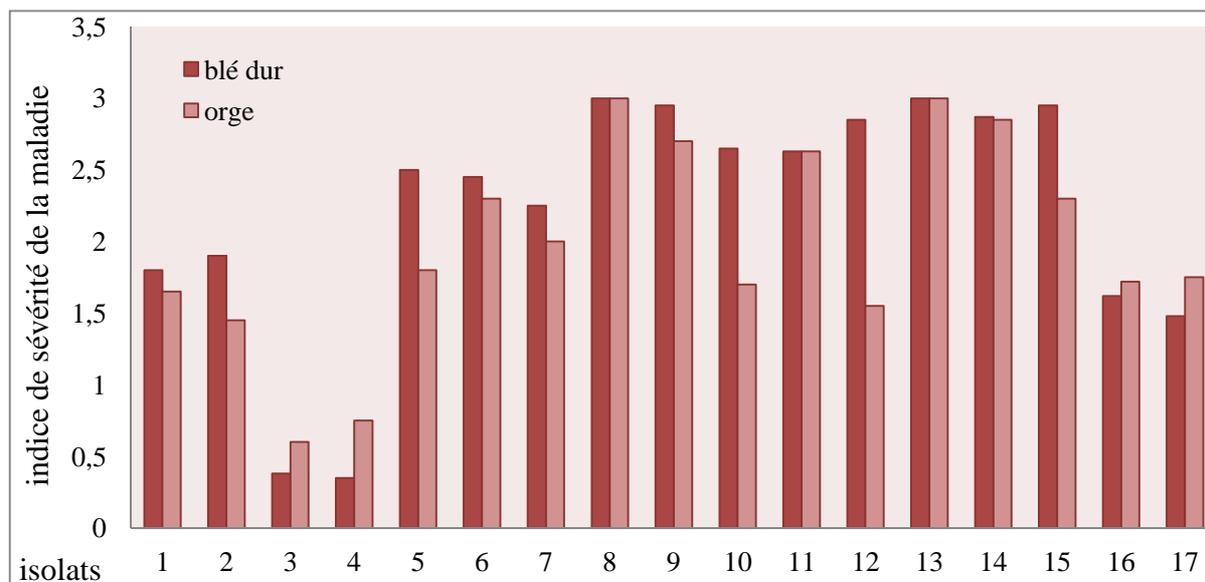


Fig. 35 Indice de sévérité des isolats de *Fusarium* spp. et *Microdochium nivale* sur blé dur et orge (60^{ème} jours après l'inoculation)

La variabilité du pouvoir pathogène, peut s'expliquer par la capacité de certains isolats à franchir facilement les barrières physico-chimiques grâce à la production d'enzyme et de toxine, l'agent pathogène utilise les éléments nutritifs pour coloniser les tissus de l'hôte et se multiplier.

Selon Matern et Kneusel, (1988), la paroi végétale constitue une véritable barrière physique de défense contre les pathogènes. En réponse à l'infection par *Fusarium*, il a été observé que le contenu en acides phénoliques augmentaient dans les tissus de variétés de blé résistantes à la fusariose (Reid *et al.*, 1992, Siranidou *et al.*, 2002), au contraire dans les tissus des variétés de blé sensibles. Reid *et al* (1992) ont observé que le contenu en acide phénoliques diminue en réponse à l'infection, cette diminution pourrait être due à une dégradation des acides phénoliques par le pathogène ou à une inhibition de leur biosynthèse, l'inhibition de leur biosynthèse pourrait être due aux toxines produits par le champignon, connus pour être des inhibiteurs de la synthèse protéique.

En réponse à l'infection, une lignification des parois cellulaires a lieu qui confère aux végétaux des propriétés d'imperméabilité et de résistance aux attaques microbiennes (Seyer, 2005 in Boutigy, 2007). Ce processus diminue la diffusion des toxines secrétées par le

champignon dans les cellules hôte et réduit les flux de nutriments des cellules hôtes vers le pathogène (Siranidou *et al.* 2002).

La variété Waha de blé dur est très sensible à l'infection vis-à-vis aux isolats de *Fusarium* spp. et *M.nivale* comparativement à la variété Saida de l'orge qui est sensible car l'indice de sévérité de la maladie est très élevé chez le blé dur que l'orge. Martin (2004) a constaté que les cultivars de l'orge à deux rangs ont généralement moins sensibles à la fusariose que ceux à six rangs.

Selon Mascher *et al* (2005), les variétés résistantes se distinguent des variétés sensibles par un niveau d'infection régulièrement plus bas ainsi que Rioux (2009) a remarqué que les cultivars de blé sont très sensibles à la fusariose. En effet les blés durs étaient plus sensibles à la fusariose causée par *F.graminearum* et *F. culmorum* que le blé tendre.

Conclusion

Conclusion

Ce travail relatif aux agents de pourritures racinaires des céréales étalés sur deux campagnes agricoles 2008/2009 et 2009/2010 a traité quatre aspects :

1/ l'évaluation de l'importance des maladies racinaires dans les régions céréalières de Ain-Touta et d'El-Madher, a permis de prélever 2000 plants et de montrer que le blé dur s'avère le plus sensible durant les deux campagnes avec une incidence et indice de sévérité moyenne de 25,85% et 9,15%, respectivement suivi de l'orge avec 19,83 et 6,9%.

2/ la recherche des agents fongiques pathogènes responsables des pourritures racinaires au niveau des semences de blé dur et d'orge a révélé l'absence totale des espèces pathogènes. Contrairement à ces dernières, les espèces comme le genre *Alternaria* ont été isolées à un taux très élevé avoisinant souvent les 100%. Ceci peut être du d'une part au fait que les saprophytes peuvent masquer la présence et le développement des pathogènes lors des isolements, d'autres part que les lots de semences qui ont été récoltées au cours de la campagne 2008/2009 pour l'analyse ne sont pas infectées par le *Fusarium*.

3/ la recherche des agents de pourritures racinaires isolés à partir des plants (blé dur et orge) a montré que les principales espèces fusariennes recensées par ordre décroissant, ont été *F. culmorum* (45% sur blé dur et 42,25% sur orge), *F. graminearum* (31,5% sur blé dur et 29% sur orge) et *M. nivale* (23,5% sur blé dur et 26,75% sur orge).

Il a été constaté que *F. culmorum* est le plus fréquent des agents isolés, car il domine dans les sévérités élevées dans la région d'El-Madger (42% sur blé dur et 39% sur orge en 2008/2009 et 50% sur blé dur et 48% sur orge en 2009/2010). Cette dominance peut s'expliquer par la présence des chlamydospores résistantes à la sécheresse et à l'asphyxie. Ce champignon est très virulent après des stress hydriques très fréquents dans la région. D'autres facteurs comme la rotation céréale/céréale pratiquée dans cette région, la quantité d'inoculum sur les résidus laissés à la surface du sol, la présence de mauvaises herbes, la densité de semis élevée et les techniques de travail superficiel du sol sans retournement peuvent influencer sur la sévérité de la maladie.

4/ L'étude pathogénique des 17 isolats de *Fusarium* spp. et *Microdochium nivale* sur le blé dur et l'orge a révélé que les isolats n°8 et 13 appartenant à *Fusarium graminearum* ont été plus agressifs et de manière très hautement significative (indice de sévérité = 3%)

Conclusion

comparativement à l'isolat n°4 le moins agressif (0,35%), appartenant à l'espèce *F. tricinctum*).

A titre comparatif, en terme de sensibilité les deux espèces de céréale ont exprimé une différence très hautement significative, le blé dur a été plus sensible que l'orge avec un indice de sévérité moyen respectif de 2,21% et 1,98%.

A travers les résultats de cette étude, il ressort que l'incidence de ces agents pathogènes sur la production de céréales en Algérie est très importante. Pour diminuer les pertes et lutter contre le *Fusaria*, des mesures doivent impérativement être prises et ce par l'organisation des journées de sensibilisations et de formation au profit des producteurs et de multiplicateurs des céréales sur les pratiques agricoles employées comme :

- Conséquences de l'ensemencement de graines atteintes de fusariose,
- Contrôle plus rigoureux dans les parcelles céréalières destinées à la production des semences afin d'éliminer toute semence issue de parcelles infectées,
- Le choix de variétés plus adaptées,
- Comprendre le rôle des résidus et de mauvaises herbes par rapport à la survie des agents pathogènes,
- La rotation des cultures, le système de monoculture et les successions des plantes sensibles dans un champ augmentent le taux d'inoculum de *Fusarium* spp. dans le sol et par conséquent la sévérité de la maladie
- La densité de semis,
- Les facteurs environnementaux qui favorisent la maladie (température, humidité) et le stade phénologique.

Vu l'importance de cette maladie et les pertes qui en résultent, ce travail doit être appuyé par d'autres études dans d'autres régions de l'Algérie, notamment au niveau de l'inoculum du sol pour confirmer ces potentialités réelles dans la transmission de la maladie.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Agrios, G.N., 2005. *Plant pathology*. Fifth edition. Elsevier-Academic Press, San Diego, CA., 902 p.

Agueur, S., 1993. Etude des agents de pourritures racinaires des céréales. Mémoire Ing., Inst. Nat. Agro., El-Harrach. Alger, 43p.

Alabouvette, C., De la Broise, D., Lemanceau, P., Couteaudier, Y. & Louvet, J., 2008. Utilisation des souches non pathogènes de *Fusarium* pour lutter contre les Fusarioses : Situation actuelle dans la pratique. *EPPO Bulletin* 17 : 665- 674.

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

Assemat, P., Dawson, M., Quenin, H. & Treyou, M.P., 1996. Fusariose des épis de blé en France. *Phytoma* 479 : 22- 24.

Aufhammer, W., 2001. *Management of Fusarium graminearum inoculated crop residus – effects on head blight, grain yield and grain quality of subsequent winter wheat crops*. Thèse. Doct., China, Universität Hohenheim Stuttgart, Germany, 87p

Bailey, K.L., Couture, B.D. Gossen, R. K., Gugel. & Morrall, R.A.A., 2004. *Maladies des grandes cultures au Canada*. Ed. La Société Canadienne de Phytopathologie, Ottawa (Ontario), 318p.

Bakan, B., 1998. *Approche physiologique de la biosynthèse des trichothécènes par Fusarium*. Thèse de doctorat, INA, Université Paris- Grignon, France, 150 p.

Baker, K.E., & Cook, R.J., 1974. *Biological control of plant pathogens*. Ed.W.F. Freeman et C.O., San Fransisco, 433 p.

Barnett, H.L., Barry,B. & Hunter, B., 1972. *Illustrated genera of imperfecti Fungi*. Ed. Burgess publishing company, London, 237p.

Bechtel, D. B., Kaleikau, L. A., Gaines, R. L. & Seitz L. M., 1985. The effects of *Fusarium Graminearum* infection on wheat kernels. *Cereal Chemistry* 62 : 191- 197.

Benalaya, S., 1997. Contribution à l'étude des pourritures racinaires des céréales en Tunisie. Mémoire Mag., INA, El-Harrach, Alger, 108 p.

Benalia, N., 2008. Contribution à l'étude de la flore fusarienne totale dans un sol céréalier de l'ITGC (oued Samar). Mémoire Ing. Agro., ENSA, El- Harrach, Alger, 54p.

Bénétrix, F. & Block, D., 2004. Mycotoxines et maïs. Maîtrise des risques par des stratégies de prévention. *Perspectives agricoles* 297: 18-21.

Booth, C., 1971. The genus *Fusarium*, Commonwealth. Ed. Mycology Institute (CMI), Kew, Surrey, England, 237 p.

Références bibliographiques

- Booth, C., 1977.** Laboratory guide to the identification of the major species. Kew.Commonwealth Mycological Institute,Ferry Lane, Kew, Surrey, UK., 58pp.
- Bottalico, A., Lerario, P. & Visconti, A., 1983.** Production of mycotoxins (Zearalenone, trichothécènes and moniliformin by *Fusarium* species in Italy. *Microbiology, Aliments, Nutrition* 1: 133 -142.
- Boutigny, A-L., 2007.** *Étude de l'effet de composés du grain de blé dur sur la régulation de la voie de biosynthèse de trichothécènes B : purification de composés inhibiteurs, analyse des mécanismes impliqués.* Thèse. Doct. Biol., Université de Bordeaux 1, 404 p.
- Bouznad, Z., Ezzahiri, B. & Sayoud, R., 1999.** *Les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maghreb.* Ed. I.T.G.C., Alger, 64p.
- Breault, J., Duval, B., Parent, C., Pouleur, S. et Rioux, S., 2009.** *Maladies des céréales et stratégies de lutte.* Bulletins d'information, Grandes Cultures, N°11-12, Ed. CEROM, Québec, Canada : 6-10.
- Cahagnier, B., 2002.** Céréales et mycotoxines. *Industries des Céréales"*, 129, 22 – 29.
- Carlier, B., 2001.** *Les fusarioses des maladies dures à combattre.* Fiche N° 557, janvier 2001, Ed. ITCF, Paris, 2 p.
- Caron, D., 1993.** *Les fusarioses.* Ed. ITCF, Paris, 39 p.
- Caron, D., 2000.** *Maladies des blés et des orges.* Ed. ITGC., Paris, 39 p.
- Caron, D., Dupont De Dinechin, L. & Malavergne, D., 2006.** *Fusarium graminearum* sur les résidus de culture des blés et des maïs et en fonction du travail du sol. In : 8^{ème} Conf. Rég., CIM- AFPP, Tours, France: 293- 303.
- Carridi, C. & Catalano, M., 1990.** Water stress and *Fusarium culmorum* infections on durum wheat. *Phytopathologia Mediterranean* 24: 51 – 55.
- Carter, J.P., Rezanoor, H.N., Holden, D., Desjardins, A.E., Plattner, R.D. & Nicholson P., 2002.** Variation in pathogenicity associated with the genetic diversity of *Fusarium graminearum*. *European Journal of plant pathology* 108: 573 – 583.
- Champeil, A., 2004.** *Contribution à la compréhension des effets des systèmes de cultures sur l'infection des cultures de blé tendre d'hiver par la fusariose et la contamination des grains par les mycotoxines associées.* Thèse. Doct., INRA/ INA, Paris- Grignon, 264p.
- Champion, R., 1997.** *Identification des champignons transmis par semence.* Ed. INRA, Paris, 393 p.
- Chandelier, A., Detrixhe, P., Oger, R., Sinnaeve, G., Romnée, J., Ciza, A., Dekeyser, A. & Cavelier, M., 2005.** *La fusariose de l'épi en froment d'hiver et la Contamination des épis par le DON : Bilan des travaux menés depuis 4 ans.* Ed. CRA-W., Gembloux, 11 p.

Références bibliographiques

- Clark, B., Jorgensen, L.N., Antichi, D., Goral, T., Gouache, D., Hornok, L., Jahn, M., Lucas, P. & Rolland, B., 2009.** *Strategies to control Fusarium ear blight and mycotoxin. Production in wheat. Wheat case study- guide number 2.* Ed. Endure divervillesifying, Crop Protection, France, 4p.
- Clavel, A.J., 2006.** *Diagnostic des accidents du blé dur.* Ed. Arvalis, Institut du végétal, Paris, 108p.
- Clear, R., Patrick, S., Turkington, T.K. & Walhis, R., 2003.** *Effet du traitement à la chaleur sèche sur Fusarium graminearum présent dans les graines.* Ed. Commission Canadienne des grains, Canada, 1p.
- Clear, R. & Patrick, S., 2007.** *La fusariose dans l'ouest du Canada.* Ed. Commission Canadienne des grains, 1p.
- Cook, R.J., 1980.** Fusarium foot rot of wheat and its control in the Pacific Northwest. *Plant Disease* 64: 1061- 1066.
- Cook, R.J., 1981.** *Fusarium diseases of wheat and other small grains in North America.* In: Fusarium: diseases, biology and taxonomy (P.E., Nelson, T.A., Toussoun and R.J Cook). Eds Pennsylvania state university press, University Park.
- Cook, R., James and Roger J., Veseth, 1991,** Wheat health management, The American, Phytopathology Society (APS), 143 p.
- Dexter, J.E., Marchylo, B.A., Clear, R.M. & Clarke, J.M., 1997.** Effect of Fusarium head blight on semolina milling and pasta-making quality of durum wheat. *Cereal Chemistry* 74: 519 - 525.
- Dreyfus, J. & Lagache, F., 2007.** *Les fusariotoxines.* Fiche Technique, Ed. Service Régional de la Protection des Végétaux, Haute- Normandie, 5p.
- Domsh, K.H., Gams, W. & Anderson, T. H., 1980.** *Compendium of soil fungi.* 2^{ème} Volume, Ed. Academic press, New York.: 859-405.
- El-Euldj, D. & Mihoubi, B., 1994.** *Recherche des agents de pourritures racinaires de céréales.* Mémoire Ing., INA, El-Harrach,134p.
- El- khalifeh, M., 2006.** *Common Root Rot of Wheat in Syria and DNA Variability Within Fusarium spp. as a Major Pathogen.* PhD, Department of Plant Protection, Aleppo University, 109P.
- Eriksson, OE. & Winka, K., 1997.** Supraordinal taxa of Ascomycota. *Myconet* 1 (1) : 1-16.
- Eudes, F., 1998.** Etude de l'impact des trichothécènes de Fusarium chez le blé et sélection in vitro pour la résistance à la fusariose de l'épi. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation. Université Laval, Québec, 83p.

Références bibliographiques

Ezzahiri, B., 2001. *Les maladies du blé : identification, facteurs de développement et méthodes de lutte.* Bulletin Mensuel d'information et de liaison, N° V, Ed. PNTTA, Maroc, 4p.

Fernandez, M.R., 1992. The effect of *trichoderma harzianum* on fungal pathogens infesting wheat and black oat straw. *Soil Biol. Biochem.*24: 1031-1034.

Fernando, W.G.D., 2001. Is there potential for biological control of *Fusarium*? In: proceedings of the 2nd Canadian workshop on Fusarium head blight. 3-5 November 2001, Ottawa Congress Centre, 435P.

Fernando, W.G.D., Chen, Y. & Parks, P., 2002. Effects of three *Bacillus sp.* From wheat on FHB reduction. In: National Fusarium Head blight forum proceeding, 7-9 December 2002, PP.73-75.

Fernando, W.G.D., Ramarathnam, R., Krishnamoorthy, A.S. & Savchuk, S., 2004. Identification and use of bacterial organic volatiles in biological control of *Sclerotinia Sclerotiorum*. *Soil Boil. Biochem.*

Flodrops, Y., 2008. *Blé dur- lutte contre la fusariose des épis: vers une deuxième année de suite à fusariose?* Ed. Arvalis, Institut du végétal. Centre, Ile de France, 2p.

Ioos, R., Menez, M. & Belhadj, A., 2003. Effet des fongicides sur les agents de la fusariose des épis et les mycotoxines associées. *Phytoma* 563 : 14 - 20.

Gagkaeva, T.Yu., 2009. Interactive Agricultural Ecological. Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic plants and their diseases, pests and weeds. 4p.

Gargouri, S., Hajlaoui, M., Guermech, A. & Marrakchi, M., 2001. Identification des espèces fongiques associées à la pourriture du pied du blé et étude de leur répartition selon les étages bioclimatique en Tunisie. *Bulletin OEPP/ EPPO* 31: 499- 503.

Gautier, X., 2008. Protection des fongicides des céréales à paille. Interpréter les résultats de l'année pour préparer 2009. Arvalis, Institut Végétal, Conférence de presse du 21 Novembre, Paris, 13 p.

Gilbert, J., & Fernando, W.G.D., 2004. Epidemiology and biological control of *Gibberella zae*/ *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 26: 472 - 2004.

Gilbert, J., Inch, S., Fernando, W.G.D, Nakkeeran, S., Chen, Y., Tekauz, A. & Rampitsch, C., 2005. Update on studies for biological control of *Fusarium graminearum* / *Gibberella zae* in Canada. Proceeding/ Compte rendu, 4th Canadian workshop on Fusarium head blight. Ottawa, Ontario, Canada, November, 1-3, 2005.

Goswami, R.S. et Kistler, H.C., 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology* 5 : 515 – 525.

Greaney, F.J., Machacek, J.E. & Jhonston, C.L., 1938. Varietal resistance of w *Scientific Agriculture* 38: 500 – 523.

Références bibliographiques

Guenard, M., Molinérodemilly, V. & Lipatoff, V., 1998. Une nouvelle perspective dans la lutte contre les fusarioses des épis. *Phytoma* 508: 19-21.

Gutzwiller, A., Czeglédé, L. & Stoll, P., 2005. Efficacité d'adsorbants contre les mycotoxines de *Fusarium* chez le porc. *Revue Suisse Agric.* 37 (3) : 121-129.

Hani, F., 1981. On the biology and control of *Fusarium* diseases of wheat and rye. *Phytopathologische Zeitschrift* 100: 44-87.

Hans, O., Pinnschmidt, Bent J. Nielsen, 2005. *High damage potential of seed-borne spot blotch in organically grown spring barley in Denmark. Newsletter from Danish Research Centre for Organic Farming.* Ed. DARCOFE News, Newsletter from Danish Research Centre for Organic Farming .March 2005 No1. <http://www.darcof.dk/enews/mar05/blotch.html>. 3p.

Hart, L.P., Pestka, J.J. & Liu, M.T., 1984. Effect of kernel developpement and wet periods on production of deoxynivalenol in wheat infected with *Gibberella zea*. *Phytopathology* 74: 1415-1418.

Hatsch, D., 2004. *Interaction hôte/pathogène: étude du modèle humulus lupulus/ Fusarium graminearum, identification génomique et transcriptomique du pathogène.* Thèse Doct., Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 183p.

Hill, J.P., 1984. Quantitative diseases assessment of wheat seedling leaves inoculed with *Fusarium culmorum*. *Pathological* 74: 665-666.

Inglis, D.A. & Cook, R.J., 1986. Persistence of chlamydospores of *Fusarium culmorum* in wheat field soils of eastern Washington. *Phytopathology* 76: 1205-1208.

Jijakli, H., 2003. *La lutte biologique en phytopathologie.* In: Lepoivre, P. Phytopathologie, Ed. : Les presses Agronomiques des Gembloux, 289-311.

Kohl, J., De Hoas, B. H., Kastelein, K., Burgers, S.L.G.E. & Waalwijk, C., 2007. Population dynamics of *Fusarium spp* and *Microdochium nivale* in crops and crops residues of winter wheat. *Phytopathology* 97: 971-978.

Krebs, H., Dubois, D., Kulling, C., Forrer, H.R., Streit, B., Reiger, S. & Richner, W., 2000. Fusariem- und toxin- belastung des weizens bei direktsaat. *Agrarforschung* 7(6) : 264-268.

Krebs., Banziger, I., Robert, J., Vogelgsang, L.S., 2011. Lutte alternative contre la moisissure des neiges (*Microdochium nivale*) dans le blé biologique. *Recherche Agronomique Suisse* 2 (2) : 88-95.

Kriel, N., 2009. *Fusarium head blight of wheat. A most challenging disease.* Ed. Department of Plant Sciences, University of the Tree State, 4p.

Lacroix, M., 2002. *Maladies des céréales et de la luzerne.* Ed. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection. Direction de l'innovation scientifique et technologique. Club des sols du Témiscouata, 30 avril 2002, Québec, Canada, 26 p.

Références bibliographiques

- Laffont, J.M., 1985.** *Les maladies des céréales et du maïs.* Ed. Agri- Matham International, Paris, 6 p.
- Lauzon, M., Dion, Y. & Rioux, S., 2007.** *Fusariose chez le blé et l'orge.* Bulletin Technique Phytopathologie n°2-01, Ed. CEROM, Canada, 5p.
- Lauzon, M., Dion, Y. & Rioux, S., 2007.** *L'épidémiologie de la fusariose chez le blé et l'orge.* Bulletin Technique phytopathologie N°2, Ed. CEROM, Québec, Canada, 4p.
- Lepoivre, P., 2003.** *Phytopathologie: base moléculaires de biologique des pathsystemes et fondement des stratégies de lutte.* Ed. DE Boeck et Presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 167 p.
- Leslie, J.F. & Summerell, B.A., 2006.** *Fusarium laboratory Manuel.* Ed. Blackwell Publishing, 398p.
- Lester, W., Burgess, L.W., Summerell, B.A., Bullok, S., Gott, K.,P. & Backhouse, D., 1994.** *Laboratory Manuel for Fusarium Recherche.* Ed. Department of Crop Sciences, University of Sydney, 93p.
- Loïc, F., 2008.** Les mycotoxines chez les bovins. Thèse Doct vétérinaire, Université Claude-Bernard, Lyon I, 149 p.
- Loiveke, H., 2006.** Incidence of *Fusarium spp.* On several field crops in Estonia and their toxicity towards *bacillus stearothermophilus.* *Agronomy research* 4: 273-280.
- Loughman, R., Thomas, G. & Wright, D., 2004.** *Fusarium head blight of cereals and stalk rot of maize, millet and sorghum and their identification.* Ed. Department of agriculture, State of western Australla, 4p.
- Macky, RD., 2008.** *Cultural control practices for Fusarium head blight: problems and solutions.* 3 rd Int., FAB symposium, Szed, Hungary: 653-657.
- Martin, R., 2004.** *La fusariose chez les céréales dans le Canada Atlantique.* Ed. Agriculture et Agroalimentaire, Santé de L'environnement, Canada, 4p.
- Mascher, F., Michel, V. & Browne, R.A., 2005.** Sélection de variétés de blé et de triticales résistantes à la fusariose sur épi. *Revue Suisse Agri.* 37 (5) : 189- 194.
- Maude, R.B., 1996.** *Seed born diseases and their control: principals and practice walling ford.* Ed. CAB international, 280p.
- Matern, U. & Kneuzel, R.E., 1988.** Phenolic compounds in plant disease resistance. *Phytoparasitica*, 16: 153-170.
- McMullen, M., Zhong, S. & Neat, S., 2008.** *Fusarium head blight (scab) of small grains.* Department of Plant Pathology, NDSU, North Dakota State University, 804 p.

Références bibliographiques

- Merguoum, M., Iyamni, A. & Nacrallah, W-N., 1995.** Les pourritures racinaires du blé. *Al Awamia* 89 : 2-13PP.
- Messiaen, CM., MAS, P., Beyries, A. & Vendran, H., 1965.** Recherche sur l'écologie des champignons parasites dans le sol. IV. Lyse mycélienne et conservation dans le sol chez les *Fusarium*. *Ann. Epiphyties* 16: 107-128.
- Messiaen, CM. & R. Cassini., 1968.** *La systématique des Fusarium*. Ed. INRA, Paris, 451p.
- Miller, J.D., Yong, J.C. & Trenbolm, H.L., 1983.** *Fusarium* toxins in field corn. I. time course of fungal growth and production of deoxynivalenol and other mycotoxins. *Canadian Journal of Botany* 61: 3080-3087.
- Miller, S.S., Chabot, D.M.P., Ouellet, T., Harris, L.J. & Fedak, G., 2004.** Use of a *Fusarium graminearum* strain transformed with green fluorescent protein to study infection in wheat (*Triticum aestivum*). *Canadian Journal of Plant Pathology* 26: 453-463.
- Mongrain, D., Counire, L., Dubuc, J.-P. et Comeau A., 1997.** Occurrence of the orange whith blossom midge [*Diptera : Cecidomyiidae*] in Quebec and its incidence on wheat grain; microflora. *Phytoprotection* 78 : 17-22.
- Moreau, J-M., 2010.** *Lutte contre les maladies. Livre blanc (céréales)*. Ed. ULG et CRA-W Gembloux, 43p.
- Musket, A.E. et Malone, J.P., 1941.** The ulster methode pour l'analyse de la mycoflore des caryopses.
- Neergaard, P., 1979.** *Seed pathology*. Ed. London and Basingstoke: The Macmillan Press, LTD, 1191p.
- Nelson, P.E., Toussoun, T.A. & Cook, R.J., 1981.** *Fusarium: biology and taxonomy*. Eds the Pennsylvania, State University Press, 457p.
- Nourozian, J., Etebarian, H.R. & Khodakaramian, G., 2006.** Biological control of *Fusarium graminearum* on wheat by antagonistic bacteri. *Songlelanakar J. Sci. Technol.* 28: 29-38.
- Pageau, D. & Fillion, P., 2009.** Fusariose: réduire les risques aux champs. Journée d'information sur les mycotoxines, Québec, Canada. 7p.
- Palazzini, J-M., Ramirez, M.L., Torres, A.M. & Chulze, S., 2007.** *Potential biocontrol for Fusarium head blight and déoxynevalenol production in wheat*. *Crop Protection* 26: 1702-1710.
- Pandy, A.K., Arora, D.K., Pandey, R.R. & Srwastava, A.K., 1996.** Integrated control of *Fusarium* wilt of chickpea by solar heating of soil amended with oil seed meals and fungicides. *Indian Phytopath.* 49: 247-253.

Références bibliographiques

Parry, D.W., 1990. www.FAO.Org.

Parry, D.W., Jenkinson, P. & Meleod, L., 1995. Fusarium Ear Blight (scab) in small grain cereals- a review. *Plant Pathology* 44: 207- 238.

Patrick, B., 2005. Reconnaître les maladies des céréales. Fongicide. 11 p. www.paysan-breton.fr

Pereyra, S. A. & Dill- Macky, R., 2008. Colonisation of residues of diverse plants species by *Gibberelle zea* and their contribution to Fusarium Head Blight inoculum. *Plant Dis.* 92: 800-807.

Pérez-Marco, P., 2000. *Cultural practices affecting the rate of Fusarium damage in durum wheats.* Ed. CIHEAM- Options Méditerranéennes, Zaragoza, Spain, 405 p.

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

Placinta, C.M-O., D'mello, J.P.F. & Macdonald, A.M.C., 1999. A review of world wide contamination of cereal grain and animal feed with Fusarium mycotoxins. *Animal Feed Science and Technology* 78: 21-37.

Rachidi, M.F., 2003. Les céréales en Algérie. *Céréaliculture.* 38 : 17P.

Rapilly, F., 1968. Les techniques de mycologie en pathologie végétal. Ann. Epiphytie. INRA. Paris. 102P.

Rapilly, F., Lemair, J. M. & Cassini R., 1971. *L'épidémiologie en pathologie végétale des mycoses aériennes.* Ed. INRA, Paris, 310p.

Reid, L.M., Mather, D.E., Arnason, J.T., Hamilton, R.I. & Bolton A.T., 1992. Changes in phenolic constituents of maize silk infected with *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Botany* 70: 1697-1702.

Rioux, S., Pouleur, S. & Langevin, F., 2003. *Comment réduire les risques de fusariose chez l'orge.* Bulletin Technique de Phytopathologie, Ed. CEROM, Québec, Canada, 7p.

Rioux, S, 2009. Comment prévenir le développement de mycotoxines? <http://www.agrireseau.qc.ca> , 3p.

Rubella, S., Goswami, H. & Corby, K., 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology* 5 (6): 515-525.

.Sayoud, R., et Ben belkacem, K., 1996. *Situation des maladies des céréales en Algérie. Proceeding du symposium régional sur les maladies des céréales et les légumineuses alimentaires au Magreb.* Ed. ITGC, Alger. 64P.

Références bibliographiques

- Seifert, K.A., 2001.** *Fusarium anamorphic generic concepts*. In: *Fusarium*. (Eds. Summerell B.A., Leslie J.F., Backhouse D., Bryden W.L., Burgess L.W), APS Press St. Paul, USA, 15-28PP.
- Siranidou, E., Kang, Z. & Buchenauer, H., 2002.** Studies on symptom development, phenolic compounds and morphological defence responses in wheat cultivars differing in resistance to *Fusarium* head blight. *Journal of Phytopathology* 150: 200-208.
- Sitton, J.W. & Cook, R.J., 1981.** Comparative morphology and survival of chlamydospores of *Fusarium culmorum* and *Fusarium graminearum*. *Phytopatho.* 71: 85-90.
- Smiley, R.W., Collins, H.P. & Rasmuseen, P.E., 1996.** Diseases of wheat in long term agronomic experiments at Pendleton. *Plant Disease.* 80:813-820.
- Soleimani, J., Rohani, H. & Alimi, M., 2007.** *Canadian workshop on Fusarium Head Blight*. Colloque canadien sur la fusariose. Delta Winnipeg, Winnipeg, Manitoba, Nov. 27 th to 30 th, 2007, 139p.
- Soum, K., 2005.** *Contribution à la connaissance des agents fongiques responsables des pourritures racinaires sur 24 variétés de blé dur en Algérie*. Mém. Ing., ENSA, El-Harrach, Alger, 57p.
- Sutton, J.C., 1982.** Epidemiology of wheat Head Blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 4: 195-209.
- Symons, S.J., Clear, R.M., Bell, K. & Butler, C., 2002.** *Identification des grains de blé et d'orge endommagés par la fusariose de l'épi*. Bulletin de biologie des grains, N° 2, Ed. commission canadienne des grains, 6p.
- Tabuc, C., 2007.** Flore fongique de différents substrats et condition optimales de production des mycotoxines. Thèse Doct. Biol. Anim., Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 190p.
- Teich, A.H. & Nelson, K., 1983.** Survey of *Fusarium* Head Blight and possible effects of cultural practices in wheat field in Lambton county in 1983. *Can. Plant Dis.* 64: 11 – 13.
- Terfi, L., 1998.** Contribution à l'étude des pourritures racinaires des céréales d'origine fongique dans les régions de Tiaret et d'Ain Defla. Mémoire Mag Agro. INESA de Blida, 63p.
- Thrane, U., 2001.** Developments in the taxonomy of *Fusarium* species based on secondary metabolites. In: *Fusarium*, (Eds. Summerell B.A., Leslie J. F., Backhouse D., Bryden W.L., Burgess L.W), APS Press St. Paul, USA, 49p.
- Tobbal, N., 2006.** Contribution à la connaissance des agents fongiques responsables des pourritures racinaires sur blé dur. Mém. Ing., INESA, El-Harrach, Alger, 73p.
- Tousson, T.A. & Nelson, P.E., 1976.** *A pictorial guide to the Fusarium species according to the taxonomy, système of Snyder and Hansen*. Ed. The Pennsylvania State University Press, 43p.

Références bibliographiques

Vachon, E., 2010. *Lutte biologique à la fusariose de l'épi du blé par la culture intercalaire et usage d'agent biologique de contrôle.* Ed. Club Agro-environnemental Bioaction, Université Laval. Québec, Canada. 1p.

Vanloqueren, G., 2007. Contribution d'une approche systémique d'innovations scientifiques dans deux filières agroalimentaires Wallonnes pour l'évolution, la gestion et les politiques d'innovation. Thèse Doct. Sciences Agronomiques et Biologiques, Louvain-la-Neuve, Belgique, 538 p.

Vidal, D. R., 1990. Propriété immunosuppressives des mycotoxines du groupe des trichothécènes. *Bulletin de l'Institut Pasteur* 88 : 159-192.

Waalwijk, C., Kastelein, P., Vries, I'd., Kerényi, Z., Lee, T.v. d., Hesselink, T., Kohl, J. & Kema, G., 2003. Major changes in *Fusarium spp.* In wheat in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology* 109 : 743-754.

Wahbi, S., 1989. *Les pourritures racinaires des céréales dans les régions du Haouz et des Rhamna.* Diplôme d'études supérieures de 3^{ème} cycle, Université Caadi Ayad, Faculté des Sciences de Marrakech, Maroc, 91p.

Weise, M.V., 1991. *Compendium of Wheat Diseases.* 2nd Eds., APS Press. St Paul, Minnesota, USA., 112 p.

Wood, M., 2002. Gene jockey fight Fusarium Head Blight. *Agricultural research* 50: 12-13.

Xu, X-M., 2003. Effect of environmental conditions on the developpement of *Fusarium* Ear Blight. *European Journal of Plant Pathology* 109: 683-689.

Xue, A.G., Voldeng, H.D., Savard, M.E., Fedak, G., Tian, X. & Hsiang, T., 2009. Biological control of *Fusarium* Head Blight of wheat with *Clonostachys rosea* strain ACM 941. *Canadian Journal of Plant Pathology* 31(2): 1715-2992.

Yuen, G.Y. & Schoneweis, S.D., 2007. Strategies for managing *Fusarium* Head Blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. *International Journal of Food Microbiology* 119: 126-130.

Zhang, N., Cartelbury, L. A., Miller, A.N., Huhnderf, S.N., Schoch, C.L., Seifert, K.A., Rossman, A.Y., Rogers, J.D., Kohlneyer, J., Volkman Kohlmeyer, B. & Sung, Gi-Ho., 2006. An overview of the systematic of the sordariomycetes based a four gene phylogeny. *Mycologia* 98: 1076-1087.

Zillinsky, F.J., 1983. *Common diseases of small grains cereals. A guide to identification.* Ed. Centro International de Maizytrigo, 141p.

Annexes

Tableau 1 : Données climatiques

Données climatiques de la daïra d'Ain-Touta

mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy
Pluviométrie (mm)	2009	79.6	29.4	40.3	64.2	50.8	2	2.4	4.2	21.8	2.2	39.3	438.2
	2010	30	61.6	48.6	28.5	21.7	31.6	0.2	2.6	18.8	31.4	26	336.4
Températures Moyennes (C°)	2009	5.64	5.88	9.29	10.51	15.9	23.29	28.59	26.8	15.87	11.13	7.87	15.10
	2010	6.65	7.48	10.25	14.58	16.29	23.53	27.29	27.33	15.96	10.24	6.69	15.63

(SRPV de Ain-Touta)

Données climatiques de la daïra d'EL-Madher

mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy
Pluviométrie (mm)	2009	67.9	21.4	27.9	75.1	53.3	0.3	7.3	13.9	50.4	4	5.4	321.92
	2010	36.2	15.7	28.4	56.1	24.6	7.7	0.3	2.7	20.4	28	13.7	248.1
Températures Moyennes (C°)	2009	6.2	6	9.1	11	17.6	23.6	28.7	26.6	20.4	10.8	9.4	15.37
	2010	7.7	9.2	11.	14.7	16.2	22.3	27	26.5	21.5	11.5	7.4	16

(Station Météorologique de Fesdiss)

1-1 Campagne 2008/2009

a / l'incidence (I)

$$T_{\text{calculé}} = \frac{|\text{Moy}A_1 - \text{moy} A_2|}{\sqrt{\frac{\text{Variance } A_1}{\text{Nbre observation } A_1} + \frac{\text{Variance } A_2}{\text{Nbre observation } A_2}}}$$

A1 : blé dur, A2 : orge

$$T_{\text{calculé}} = \frac{22,33 - 18}{\sqrt{\frac{34}{6} + \frac{19,2}{6}}} = 1,45$$

$$T_{\alpha = 5\%} = 2,23$$

b/ Indice sévérité

$$\text{IS \%} = \frac{|7,23 - 5,86|}{\sqrt{\frac{7,27}{6} + \frac{4,46}{6}}} = 0,70$$

$$T_{\alpha = 5\%} = 2,23$$

1-2 Campagne 2009/2010

a / l'incidence

$$T_{\text{calculé}} = \frac{|29,33 - 21,66|}{\sqrt{\frac{18,67}{6} + \frac{23,07}{6}}} = 2,90$$

$$T_{\alpha = 5\%} = 2,23$$

b/ Indice sévérité

$$T_{\text{calculé}} = \frac{|11,06 - 7,93|}{\sqrt{\frac{10,35}{6} + \frac{7,93}{6}}} \quad T_{\text{calculé}} = 1,80$$
$$T_{\alpha = 5\%} = 2,23$$

2/ Comparaison des incidences (I%) et des indices de sévérité (IS%) des deux espèces

a / l'incidence

$$T_{\text{Calculé}} = \frac{|25,83 - 19,83|}{\sqrt{\frac{37,42}{12} + \frac{22,88}{12}}}$$

$$T_{\text{Calculé}} = 2,68$$

$$T_{\alpha = 5\%} = 2,07$$

b/ Indice sévérité

$$T_{\text{calculé}} = \frac{|19,15 - 6,9|}{\sqrt{\frac{12,015}{12} + \frac{6,665}{12}}} = 1,80$$

$$T_{\alpha = 5\%} = 2,07$$

Tableau 2 description des isolats de *Fusarium* spp. et *Microdochium nivale*

No d'isolat	espèce	Caractéristique sur milieu PDA			Microconidies sur PDA		Sporodochia sur PDA		Macroconidies sur PDA				clamydospores
		Mycélium aérien	Couleur sous culture	Vitesse de croissance	forme	Aspect du conidiophore	Disposition	couleur	Taille relative	Forme générale	Forme de la cellule basale	Forme et taille de la cellule apicale	
01	<i>Microdochium nivale</i>	Abondant, cotonneux, blanc	crème	moyenne			Dispersées sur toute la culture	orange	Taille petite	Courbé aux deux extrémités			absente
02	<i>Microdochium nivale</i>	Abondant, cotonneux, blanc	crème	moyenne			Dispersées sur toute la culture	orange	Taille petite	Courbé aux deux extrémités			absente
03	<i>Fusarium tricinatum</i>	Abondant et duveteux très dense, rose	Rouge carmin	rapide	Mélange de citrifforme et en forme ovale	Taille moyenne	Dispersées sur toute la culture	Orange très claire	taille moyenne à grande	distinctement en forme de faucille	Distinctement pédiforme ou à encoche		absente
04	<i>Fusarium tricinatum</i>	Abondant et duveteux très dense, rose	Rouge carmin	rapide	Mélange de citrifforme et en forme ovale	Taille moyenne	Dispersées sur toute la culture	Orange très claire	taille moyenne à grande	distinctement en forme de faucille	Distinctement pédiforme ou à encoche		absente
05	<i>Fusarium culmorum</i>	Abondant, aérien rose	Rouge carmin	rapide			Dispersées sur toute la culture	Orange à rouge	Taille petite à moyenne	Forme de faucille à paroi épaisse	Souvent arrondie	Parfois en forme de bec	Présent, formées, en chaîne
06	<i>Fusarium culmorum</i>	Abondant, aérien rose	Rouge carmin	rapide			Dispersées sur toute la culture	Orange à rouge	Taille petite à moyenne	Forme de faucille à paroi épaisse	Forme de faucille à paroi épaisse	Parfois en forme de bec	Présent, formées, en chaîne
07	<i>Fusarium culmorum</i>	Abondant, aérien rose	Rouge carmin	rapide			Dispersées sur toute la culture	Orange à rouge	Taille petite à moyenne	Forme de faucille à paroi épaisse	Forme de faucille à paroi épaisse	Parfois en forme de bec	Présent, formées en chaîne
08	<i>Fusarium graminearum</i>	Abondant, aérien, rose	Rouge carmin	rapide			Concentré au centre de la colonie	Orange à rouge	Taille moyenne à grande	Forme de faucille	Distinctement pédiforme	En forme de becs	Très rares et très lentes à se former

Annexes

9	<i>Fusarium graminearum</i>							Concentré au centre de la colonie	Orange à rouge	Taille moyenne à grande	Forme de faucille	Distinctement pédiforme	En forme de becs	Très rares et très lentes à se former
10	<i>Fusarium graminearum</i>	Abondant, aérien, rose	Rouge carmin					Concentré au centre de la colonie	Orange à rouge	Taille moyenne à grande	Forme de faucille	Distinctement pédiforme	En forme de becs	Très rares et très lentes à se former
11	<i>Fusarium graminearum</i>	Abondant, aérien, rose	Rouge carmin					Concentré au centre de la colonie	Orange à rouge	Taille moyenne à grande	Forme de faucille	Distinctement pédiforme	En forme de becs	Très rares et très lentes à se former
12	<i>Fusarium graminearum</i>	Abondant, aérien, rose	Rouge carmin					Concentré au centre de la colonie	Orange à rouge	Taille moyenne à grande	Forme de faucille	Distinctement pédiforme	En forme de becs	Très rares et très lentes à se former
13	<i>Fusarium graminearum</i>	Abondant, aérien, rose	Rouge carmin					Concentré au centre de la colonie	Orange à rouge	Taille moyenne à grande	Forme de faucille	Distinctement pédiforme	En forme de becs	Très rares et très lentes à se former
14	<i>Fusarium graminearum</i>	Abondant, aérien, rose	Rouge carmin					Concentré au centre de la colonie	Orange à rouge	Taille moyenne à grande	Forme de faucille	Distinctement pédiforme	En forme de becs	Très rares et très lentes à se former
15	<i>Fusarium graminearum</i>	Abondant, aérien, rose	Rouge carmin					Concentré au centre de la colonie	Orange à rouge	Taille moyenne à grande	Forme de faucille	Distinctement pédiforme	En forme de becs	Très rares et très lentes à se former
16	<i>Fusarium tritinctum</i>	Abondant et duveteux très dense, rose	Rouge carmin	Rapide	Mélange de citrifforme et en forme ovale	Taille moyenne à grande	Dispersées sur toute la culture	Orange très claire	taille moyenne à grande	distinctement en forme de faucille	Distinctement pédiforme ou à encoche	absente		
17	<i>Fusarium tritinctum</i>	Abondant et duveteux très dense, rose	Rouge carmin	rapide	Mélange de citrifforme et en forme ovale	Taille moyenne à grande	Dispersées sur toute la culture	Orange très claire	taille moyenne à grande	distinctement en forme de faucille	Distinctement pédiforme ou à encoche	absente		

Annexes

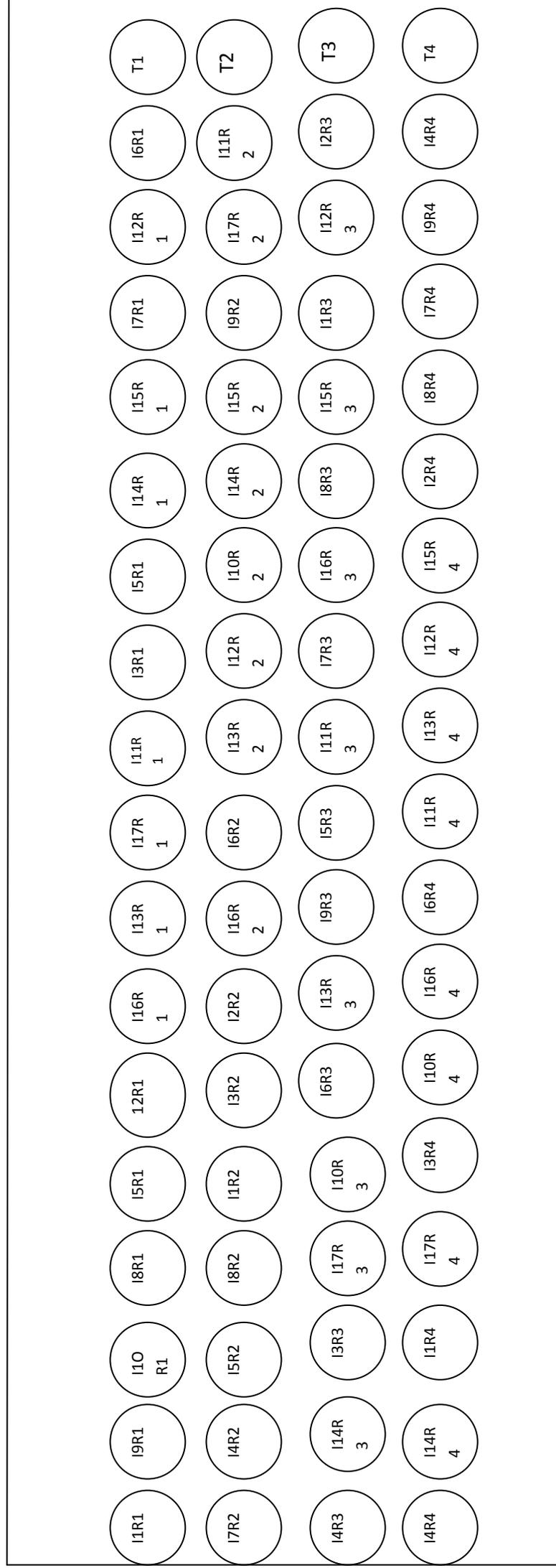
Tableau 3 Etude de la sévérité des isolats de *Fusarium* spp. et *M. nivale* sur blé dur

N° d'isolats / répétition	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	témoins	moyenne
R1	1.8	1.8	0.75	0	3	3	1.8	3	3	3	2.6	3	3	3	3	1.6	1	0	2.25
R2	1.8	2	0.4	0.4	2.4	2.2	2.4	3	3	3	2.6	3	3	2.5	3	1.8	2	0	2.26
R3	1.8	0.8	0.4	1	2.6	3	2.6	3	2.8	1.6	2.75	3	3	3	3	1.6	1.6	0	2.20
R4	1.8	3	0	0	2	1.6	2.2	3	3	3	2.6	2.4	3	3	2.8	1.5	1.33	0	2.13
moyenne	1.8	1.9	0.38	0.35	2.5	2.45	2.25	3	2.95	2.65	2.63	2.85	3	2.87	2.95	1.62	1.48	0	2.21

Tableau 4 Etude de la sévérité des isolats de *Fusarium* spp. et *M. nivale* sur orge

N° d'isolats / répétition	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	témoins	moyenne
R1	1.4	0.8	1.2	1	2.2	3	2	3	1.8	1.6	2.4	1.4	3	3	2	1.8	1.8	0	1.96
R2	1.8	3	0	0	2	2.2	1.6	3	3	1.8	2.6	2	3	2.8	1.2	1.5	1.8	0	1.95
R3	1.6	0.6	1.2	1.4	2	2.4	2.2	3	3	2.2	2.8	1.8	3	3	3	1.8	1.8	0	2.16
R4	1.8	1.4	0	0.6	1	1.6	2.2	3	3	1.2	2.75	1	3	2.6	3	1.8	1.6	0	1.85
moyenne	1.65	1.45	0.6	0.75	1.8	2.3	2	3	2.7	1.7	2.63	1.55	3	2.85	2.3	1.72	1.75	0	1.98

Fig n° 1 Dispositif expérimental pour l'étude de pathogénie de *Fusarium* spp. et *Microdochium nivale* sur blé dur (variété Waha)



**Fig n°2 Dispositif expérimental pour l'étude de pathogénie de *Fusarium* spp. et *Microdochium nivale* sur orge
(variété Saïda)**

