

***Etude de la diversité phénotypique  
et pathologique de *Mycosphaerella  
graminicola* (Fuckel) J. Schröt. et obtention  
du téléomorphe en Algérie***

Présenté par

**AYAD Djida**

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

Année universitaire : 2011-2012

Soutenu devant le Jury composé de : Mr. Bellatreche M. Président Professeur. ENSA - El Harrach (Alger) Mme. Mekliche L. Examinatrice Professeur. ENSA - El Harrach (Alger) Mr. Kedad A. Examineur Chargé de cours. ENSA - El Harrach (Alger) Mr. Guezlane A. Examineur M. de conférences. ENSA - El Harrach (Alger) Mr. Sayoud R. Invité Consultant



# Table des matières

remerciement . . .	5
Résume . . .	6
تصانيف . . .	7
Abstract . . .	8
Liste des abréviations : . . .	9
INTRODUCTION . . .	11
1 ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE . . .	13
1.1 Présentation de la culture du blé . . .	13
1.1.1 Historique et origine de la culture du blé . . .	13
1.1.2 Situation de la culture du blé en Algérie . . .	13
1.2 Présentation des <i>Septoria</i> spp. des céréales . . .	15
1.2.1 Principales espèces de <i>Septoria</i> spp. inféodées au blé . . .	15
1.2.2 Importance économique de la tache septorienne du blé dans le monde et en Algérie . . .	17
1.2.3 Identification et taxonomie de <i>M. graminicola</i> (Fuckel) J. Schröt. . .	18
1.2.4 Symptomatologie et épidémiologie de <i>M. graminicola</i> . . .	19
1.3 Caractéristiques culturales et pathologiques de <i>M. graminicola</i> : . . .	26
1.3.1 Caractéristiques culturales de <i>M. graminicola</i> : . . .	26
1.3.2 Caractéristiques pathologiques de <i>M. graminicola</i> : . . .	26
1.4 Description du téléomorphe <i>M. graminicola</i> (Fuckel) J. Schröt. : . . .	27
1.4.1 Hétérothallisme et reproduction sexuée de <i>M. graminicola</i> : . . .	27
1.4.2 Diversité génétique de <i>M. graminicola</i> : . . .	27
1.4.3 Fréquence de la reproduction sexuée de <i>M. graminicola</i> : . . .	28
1.5 Moyens de contrôle : . . .	28
1.5.1 Pratiques culturales : . . .	29
1.5.2 Utilisation des fongicides : . . .	30
1.5.3 Résistance variétale : . . .	30
2 MATERIELS ET METHODES . . .	32
2.1 Matériels biologiques . . .	32
2.1.1 Matériel fongique . . .	32
2.1.2 Matériel végétal . . .	34
2.2 Méthodes . . .	34
2.2.1 Etude de la variabilité culturale de <i>M. graminicola</i> . . .	34
2.2.2 Etude de la variabilité morphologique des isolats de <i>M. graminicola</i> . . .	35
2.2.4 Etude du pouvoir pathogène par la technique d'inoculation artificielle sous serre . . .	35
2.2.5. Analyse et interprétation statistique des résultats . . .	37
2.2.6 Technique d'obtention du téléomorphe, <i>M. graminicola</i> . . .	39
3 .RESULTATS ET DISCUSSIONS . . .	42
3.1. Présentation des prospections et des isolats obtenus de <i>M. graminicola</i> . . .	42

3.1.1 Présentation des symptômes de la tache foliaire mouchetée (Speckled Leaf Blotch) : ..	44
3.1.2 Description des organes de reproduction asexuée (pycnides et pycnidiospores) : ..	44
3.2 .Variabilité culturelle des isolats de <i>M. graminicola</i> ..	47
3.2.1. Description des types cultureux de <i>M. graminicola</i> après isolement et conservation ..	47
3.2.2 Discussions : ..	49
3.3 Variabilité morphologique des pycnidiospores de <i>M. graminicola</i> ..	50
3.3.1 Présentation des résultats : ..	50
3.3.2 Discussion ..	54
3.4 .Variabilité pathologique des isolats de <i>M. graminicola</i> ..	55
3.4.1 Période d'incubation (PI) ..	55
3.4.2 Période de latence (PL) ..	58
3.4.3 Surface foliaire nécrosée (SFN) ..	61
3.4.4 Densité pycnidienne (DP) ..	67
3.5 Obtention et description du téléomorphe <i>Mycosphaerella graminicola</i> ..	72
3.5.1 Description des pseudothèces, asques et ascospores de <i>M. graminicola</i> ..	74
3.5.2 Obtention de la forme asexuée <i>Septoria tritici</i> à partir des ascospores ..	74
3.5.3 Discussion ..	76
Conclusion générale : ..	77
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ..	79
Annexes ..	90

## remerciement

Un grand merci à ceux qui ont apporté une aide précieuse à la réalisation de ce travail :

A Monsieur BOUZNAD Z., Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach, Alger, pour m'avoir fait l'honneur de diriger ce travail à bien, je tiens à lui exprimer ma profonde reconnaissance pour ces conseils judicieux et sa générosité malgré ses nombreuses occupations scientifiques et administratives.

Cette thèse a été réalisée au laboratoire de Mycologie au niveau de l'Institut National de Protection des Végétaux (INPV) d'El Harrach, Alger. Je présente mes forts remerciements à Madame HAMDI S., chef de département de Mycologie, pour toutes les facilités accordées afin de mener ce travail à bien. Je tiens à lui exprimer ma profonde reconnaissance.

A Monsieur BELLATRECHE M., Président du jury, et aux membres de jury, Mme MEKLIICHE L., Mr KEDAD A., Mr GUEZLANE A. et Mr SAYOUD R., pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'examiner mon travail.

Merci aux personnels du département Botanique de l'ENSA qui m'ont facilité le travail entre le laboratoire de mycologie, la serre et la bibliothèque :

Mme Fatima, Mme Fadhila, Faouzi et Mohamed.

Merci à ma très chère famille qui m'a beaucoup soutenu et encouragé :

Ma mère, mon père, mes frères et sœurs, pour toutes leurs prières ainsi que leur aide morale.

Enfin je dédie ce modeste travail à mon cher enfant Mehdi.

## Résumé

Lors des prospections réalisées sur deux ans à travers les principales régions céréalières du pays, la septoriose était la maladie la plus fréquente. *Mycosphaerella graminicola* est un pathogène très répandu là où le blé est cultivé en Algérie ; la sévérité de la maladie durant ces deux campagnes a dépassée 60%.

Nous avons pu réussir deux types d'échantillonnage : inter-régional et intra-régional qui nous ont permis de réaliser une étude cultural et morphologique de *M. graminicola*. Ces deux premières études complémentaires nous ont permis de mettre en évidence la variabilité culturelle et morphologique des populations de *M. graminicola*. Cette conclusion a été confirmée par l'étude du pouvoir pathogène des isolats de *M. graminicola* qui ont encore une fois démontrés une variabilité hautement significative.

Ce qui distingue notre travail des travaux réalisés au paravant en Algérie, c'est l'obtention du téléomorphe in vitro. Ce résultat ouvre des perspectives de recherche très importantes sur *M. graminicola* en Algérie.

**Mots clés** : *M. graminicola*, variabilité culturelle, variabilité morphologique, variabilité pathologique, téléomorphe, Blé dur et blé tendre.

## تصال خلا

**الخلاصة:** خلال الدراسات الاستقصائية التي أجريت على مدى سنتين من خلال الجيوب الرئيسية المنتجة للمناطق الريفية، وكان المرض الأكثر شيوعاً *M. graminicola* هو شديد العدوى حيث استجابت بزرع القمح في الجزائر، وشدة المرض خلال *campagnes* اثنتين قد تجاوزت 60٪. وقد تمكنا من تمييز نوعين من العينات: بين الأقاليم وبين بلدان المنطقة على السامح لنا لإجراء دراسة *M. graminicola* الثقافية والصرقية. وقد أتاحت هذه أول دراستين إضافية لنا لوضع الأدلة في التباين الثقافي والمورفولوجية لـ *M. graminicola* السكان. وقد أكد هذا الاستنتاج من خلال دراسة الأمراض بعزل *M. graminicola* الذين قد أثبتت مرة أخرى لتقلبات كبيرة للغاية ما يميز عملنا في الجزائر، هو الحصول على نموذج مثلي في المختبر. هذه النتيجة تفتح البحوث الهامة على *M. graminicola* في الجزائر.

**كلمات البحث:** *M. graminicola* وتقلب الثقافية، وتقلب الصرقية، وتقلب شكل مثلي المرضية، والقمح القلبي.

## Abstract

During surveys conducted over two years through the major grain producing regions of the country, septoria disease was most common. *Mycosphaerella graminicola* is a highly pathogenic response where wheat is grown in Algeria, the severity of the disease during the two campaigns has exceeded 60%.

We were able to pass two types of sampling: inter-regional and intra-regional allowing us to conduct a study of cultural and morphological *M. graminicola*. These first two additional studies have allowed us to put in evidence the cultural and morphological variability of populations *M. graminicola*. This conclusion was confirmed by the study of pathogenic isolates *M. graminicola* who have once again demonstrated a highly significant variability. What distinguishes our work with paravant work in Algeria is getting the perfect form in vitro. This result opens up important research on *M. graminicola* in Algeria. **Keywords** : *M. graminicola*, cultural variability, morphological variability, variability pathological perfect form, and Durum wheat.



## Liste des abréviations :

- **A** : Abondante
- **AS** : Aspect des colonies
- **B** : Blanc
- **BO** : Bordure
- **C** : Circulaire
- **CL** : Couleur
- **CO** : Cotonneuse
- **DP** : Densité Pycnidienne
- **ENSA** : Ecole Nationale Supérieure Agronomique
- **ET** : Etendue
- **F** : Filamenteuse
- **FO** : Forme
- **GC** : Gris clair
- **GO** : Gris obscur
- **I** : Irrégulière
- **IDGC** : Institut Des Grande Cultures
- **ITGC** : Institut Technique des grandes cultures
- **LE** : Levure
- **L** : Lisse
- **M** : Mycélienne
- **MBB** : Mohamed Ben Bachir
- **MG.BD.03.01A** : **MG** (*Mycosphaerella graminicola*), **BD** (blé dur), **03** (2003), **01**(Isolat 01) et **A** (localisation A).
- **MR** : Moyennement Résistante
- **MS** : Moyennement Sensible
- **NUV** : Near Ultra Violet
- **ON** : Ondulée
- **O** : Opaque
- **P** : Pauvre
- **PDA** : Potato Dextrose Agar
- **PI** : Période d'Incubation
- **PL** : Période de Latence
- **PVC** : Chlorure de Polyvinyle
- **R** : résistante
- **RE** : Rose
- **RA** : Radieuse (brillante)
- **RC** : Rose clair

- **RO** : Rose obscur
- **RU** : Rugueuse
- **S**: Sensible
- **SFN** : Surface Foliaire Nécrosé
- **SI**: Structure interne
- **SLB**: Speackled Leaf Blotch
- **SO**: Solide
- **SP**: Sporulation
- **ST** : Stromatique
- **T** : Transparente
- **TC** : Type de culture
- **TR** : Très Résistante
- **V**: Variété
- **YMA**: Yeast Malt Agar

---

# INTRODUCTION

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Djermoun, 2009). La consommation en produits céréaliers se situe à un niveau proche de 205 kg/habitant/an (Chehat, 2007). La préférence du blé dur reste très profondément ancrée dans nos habitudes alimentaires. Cette céréale et ses dérivées constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien et fournissent plus de 60% de l'apport calorique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire (Jouve et al., 1995). Les enjeux liés aux céréales sont considérables du fait de leur poids dans l'alimentation de la population, dans l'agriculture et dans l'ensemble de l'économie. Le blé en particulier est soumis aux effets des maladies pouvant réduire significativement le rendement grain et la qualité de ce dernier.

Les maladies parasitaires causant des taches ou rayures peuvent être divisées en deux groupes. Un de ces groupes est représenté par les maladies fongiques pour lesquelles le pathogène se manifeste directement sur le feuillage. Le second groupe comprend les champignons qui induisent des symptômes dont les signes sont absents ou non visibles à l'œil.

La septoriose causée par le pathogène *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. est davantage la maladie qui a de sérieuses conséquences sur la culture du blé et qui est largement répandue dans le monde (Eyal et al., 1985). Au Maroc, la maladie la plus dominante dans les champs de blé durant l'année 2008, est la septoriose causée par *M. graminicola* (MAZOUZ et al., 1995). La septoriose causée par *M. graminicola* est capable de réduire les rendements de plus de 60% en cas d'une forte attaque (Cowger et al., 2002).

Les principaux facteurs affectant la sévérité de la septoriose sont la température et l'humidité durant la période de croissance de la plante hôte (Eyal, 1981; Palmer et Skinner, 2002). En particulier l'utilisation croissante de fertilisants, la pratique de la densité du semis élevée, le semis précoce et l'utilisation de variétés semi naines à haut rendement (blé mexicain), ont abouti à une modification du microclimat de la culture, conditions favorables au développement des septorioses (Leath et al., 1993; Camacho-casas et al., 1995). Ainsi les cultures intensives ont largement contribué au développement des septorioses.

Afin d'assurer une durabilité des systèmes de production, les stratégies élaborées pour lutter contre les maladies, doivent tenir compte des facteurs évolutifs et épidémiologiques qui affectent les pathogènes (Cowger et al., 2002).

Mais étant donné que ces stratégies sont appliquées sur des échelles spatiales et temporelles qui ne se prêtent pas à l'expérimentation, leur efficacité et leur durabilité dans le temps ne peuvent être évaluées que par des modèles de simulation. En d'autres termes, les paramètres qui alimentent ces modèles doivent être mesurés sur le terrain, d'où l'importance d'effectuer des études sur des facteurs épidémiologiques et les populations de pathogènes (Boeger et al., 1993).

Plusieurs auteurs distinguent deux formes de dissémination de *M. graminicola* à partir d'une source d'inoculum. L'infection par la septoriose peut survenir dès le stade début tallage grâce à deux principales sources d'inoculum : soit par les ascospores circulant dans l'air libérées à partir de fructifications sexuées formées sur les résidus de culture soit par les

pycnidiospores issues des fructifications asexuées qui se trouvent dans les tissus infectés (Burdon et Silk, 1997).

L'ascomycete haploïde et hétérothallique *M. graminicola* se propage donc par deux modes. Le premier est celui des ascospores qui peuvent être transportées par le vent jusqu'à quelques centaines de kilomètres (Carlier, 2005). Le deuxième mode est celui des pycnidiospores (produites par la forme asexuée) qui se dispersent surtout sur de courtes distances, sur la plante elle-même et sur les plantes avoisinantes. Le processus de mutation et de reproduction sexuée est une source importante de diversité génétique (Boeger et al., 1993 ; Hunter et al., 2004). Le flux de gènes entre les populations, permet la propagation épidémiologique d'un individu à un autre et d'une région à une autre (Keon et Hargreaves, 1994). Des études récentes sur les populations de *M. graminicola* nous renseignent sur le niveau et la distribution de la variabilité de l'agent pathogène (Kema et al., 2002).

En Algérie, les seuls travaux antérieurs réalisés sur cette maladie, ont porté sur l'anamorphe *Septoria tritici*. (Lyazidi, 2002 ; Touati-Hattab, 2005 ; Ben Kortby, 2006). Aucun travail n'a été réalisé sur le téléomorphe *M. graminicola*. Notre travail s'inscrit donc dans le cadre d'une étude sur la diversité culturelle, phénotypique et pathologique de *M. graminicola* ainsi que l'obtention de la forme parfaite source possible de variabilité en Algérie.

L'objectif de notre étude porte donc sur les aspects suivants :

Etude systématique d'une collection d'isolats de *M. graminicola* par des critères biologiques (culturelle, morphologique et pouvoir pathogène) afin de caractériser tous les isolats de la collection.

Réalisation des croisements *in vitro* dans le but d'identifier les groupes de compatibilité, MAT 1-1 et MAT 1-2 donnant naissance à la forme parfaite.

---

# 1 ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1.1 Présentation de la culture du blé

### 1.1.1 Historique et origine de la culture du blé

---

Le blé est une plante annuelle appartenant à la famille des poacées (*Gramineae = poaceae*) qui comprend plus de 10 000 espèces différentes (Mac Key, 2005). Plusieurs espèces de ploidie différente sont regroupées dans le genre *Triticum* qui est un exemple classique d'allopolyplodie, dont les génomes homéologue dérivent de l'hybridation inter espèces appartenant à la même famille (Levy et Feldman, 2002). Le blé est la céréale la plus cultivée et la plus consommée à travers le monde. La facilité avec laquelle il peut être produit et l'existence de variétés adaptées à différents milieux, permettent de cultiver le blé dans un grand nombre de pays. Il existe plus de vingt mille variétés de blé et chaque année des centaines de nouvelles sont créées (Doussinault et al., 2001).

La culture des céréales en Afrique du Nord remonte à la plus haute antiquité. Il semble qu'elle soit antérieure à la colonisation phénicienne, dont les premiers établissements datent du 12<sup>e</sup> siècle avant J.-C. Carthage était considéré comme le port d'exportation des céréales dont le commerce dans la méditerranée n'a pas cessé à travers les âges d'être extrêmement important. A l'époque où Rome, après avoir détruit puis reconstruit Carthage, la culture des céréales était largement pratiquée sur les plateaux Sétifiens en Algérie (Gautier, 1930).

Le mot blé a longtemps désigné toute la famille des céréales (au nombre de 13), dont le seigle, le sorgho et le mil. Mais le nom latin *Triticum*, plus précis, fait référence à trois groupes distincts par leur nombre de chromosomes : le *Triticum* diploïde ( $2N = 14$ ), *Triticum tétraploïde* ( $2N = 28$ ) et *Triticum hexaploïde* ( $2N = 42$ ). Aujourd'hui, le blé cultivé à travers le monde entier est largement représenté par deux espèces : le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et le blé dur (*T. durum*.) (Doussinault et al., 2001).

La forme domestique de *T. durum* ssp *durum* est très bien adaptée dans la région méditerranéenne. Cette espèce est particulièrement utilisée en Afrique du Nord pour la fabrication du couscous servant de plats traditionnels notamment en Algérie et pour la production des pâtes industrielles en Italie.

L'importance du blé pour l'homme ne peut être sous estimée puisque 35% de la population consomment cette denrée comme aliment de base (Kema, 1996).

L'estimation de la demande globale du blé vers les années 2020 peut varier entre 840 et 1050 millions de tonnes et la moyenne globale du rendement devrait augmenter à 2,5 t/ha (Simon, 2003).

### 1.1.2 Situation de la culture du blé en Algérie

---

En 1830, au début de la colonisation française en Algérie, le blé dur est cultivé seul dans les régions telliennes ; le blé tendre ne figurait qu'à l'état de traces dans certaines emblavures (Gautier, 1930). On admet généralement que la culture a commencé et s'est développée

en Algérie au lendemain de la conquête arabe. La plupart des auteurs s'accordent pour considérer que la céréaliculture algérienne est depuis cette date et jusqu'à la colonisation, très largement dominée par le blé dur (Laumont et Erroux, 1961).

Dans l'espèce *Triticum durum*, les génotypes locaux traditionnels semblent constituer des idéotypes à nos conditions de culture (Benlaribi et Monneveux, 1988 ; Ali Dib et Monneveux, 1992). Ce caractère leur a permis d'être utilisés comme géniteurs dans les travaux d'amélioration, présentés par Hurd au USA dès 1968, cas de la variété Pellissier, et ce, en raison de la longueur particulière de ses racines (Hazmoune, 1999)

La surface totale de l'Algérie est de 238 millions d'hectares dont 191 millions d'hectares sont occupés par le Sahara. La superficie agricole représente 3% de ce total. La surface agricole utile est de 7,14 millions d'hectares dont près de la moitié est laissée en jachère chaque campagne. Les cultures herbacées couvrent 3,8 millions d'hectares. La céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi arides. Les terres annuellement emblavées représentent 3,6 millions d'ha, soit 50% des terres labourées (MADR, 2007).

Actuellement, l'Algérie se classe au premier rang mondial pour la consommation des céréales avec une moyenne dépassant largement les 183,94 Kg/hab/an, comparativement à l'Egypte dont la moyenne est de 136,61 Kg/hab/an et à la France dont la moyenne est de 99,93 Kg/hab/an (FAO, 2007).

De 1995 à 2005, le marché algérien a absorbé, en moyenne annuelle, 4 244 903 tonnes de blé dont 74,44 % de blé dur, soit 2 990 265 tonnes représentant une valeur de 858 millions de dollars, dont 60,36 % de blé dur, ce qui équivaut à 578 millions (Chehat, 2007).

Les variétés locales traditionnelles Hedba 3, Mohamed Ben Bachir, Bidi 17, O. Zenati 368, etc. sont maintenues depuis leur sélection bien avant 1961 jusqu'à nos jours et ce malgré leur faible potentiel de production, mais avec un rendement plus ou moins stable, quelque soit l'année (Tabl.1).

**Tableau 1 : Principales variétés de blé dur cultivées en Algérie entre 1961-1995 (IDGC, 1974 ; ITGC, 1995).**

1961	1974	1995
Bidi 17 Hedba 3 MBB	<i>Bidi 17 Hedba 3 MBB</i>	Bidi 17 Hedba
8037 O.Zenati	<i>803 O.Zenati 368 T</i>	3 MBB
368 Adjini 9 Biskri	<i>Polo/ZB Inrat 69 Cocorit</i>	8037 o.Zenati
AC2 Boghar 8025 Labeter	<i>71 MT Pellier Jori c 69</i>	368 T Polo/
8024 Mahmoudi 8041 Mekki		ZB Inrat
16-470 Langlois Tessalah		69 Cocorit
274 TleMcen 297 Saba Zena/		71 Mt Pellier
Bout		Ziban Capeiti Gloire
		Mt
		G Mexicali Guemgoum Sahel
		77 vitron Waha

Le rendement du blé est influencé par plusieurs facteurs, comme le travail du sol, le désherbage, la date de semis et la fertilisation du sol (Sayoud et Benbelkacem, 1996). De plus, cette culture est très sensible aux insectes nuisibles, comme le puceron vecteur de maladies virales et aux maladies causées principalement par les champignons phytopathogènes tels les rouilles (jaune, brune et noire), le piétin verse, l'oïdium, le charbon,

plus récemment la tache bronzée et la septoriose. Cette dernière a pris de l'ampleur depuis l'introduction des variétés mexicaines à haut rendement.

## 1.2 Présentation des *Septoria* spp. des céréales

Le genre *Septoria* renferme plus de 2000 espèces dont la plupart sont phytopathogènes. Ainsi plus de 100 espèces attaquent les céréales et les plantes d'une grande importance économique (Eyal et al., 1987 ; Cunfer et Ueng, 1999). Elles sont la cause primaire de divers types de taches foliaires, bigarrures et nécroses.

Chacune des parties aériennes de la plante hôte peut être attaquée, selon le stade de croissance et les facteurs externes (Zillinsky, 1983 ; Cunfer et Ueng, 1999). Contrairement aux rouilles, ces pathogènes peuvent avoir un développement saprophyte sur les tissus morts (Simon, 1983).

### 1.2.1 Principales espèces de *Septoria*spp. inféodées au blé

Pendant longtemps, toutes les espèces responsables de la tache septorienne ayant des conidies plus ou moins filiformes produites dans des pycnides étaient classées dans le genre *Septoria* (*Septoria tritici* et *S.nodorum*). Par la suite, à cause des différences dans la forme des conidies, quelques unes ont été classées sous le nouveau genre *Stagonospora* (Bissett, 1982 ; Boerema et al., 1992). Les deux principales espèces de septoriose du blé sont :

**1.2.1.1 *Phaeosphaeria nodorum* (E. Müll.) Hadjaroude. (1968) décrite sous le nom de *Leptosphaeria nodorum* E. Müll.(1952) (anamorphe = *Stagonospora nodorum* (Berk.) E. Castell. & Germano, synonyme *Septoria nodorum* (Berk.) Berk. (1845)**

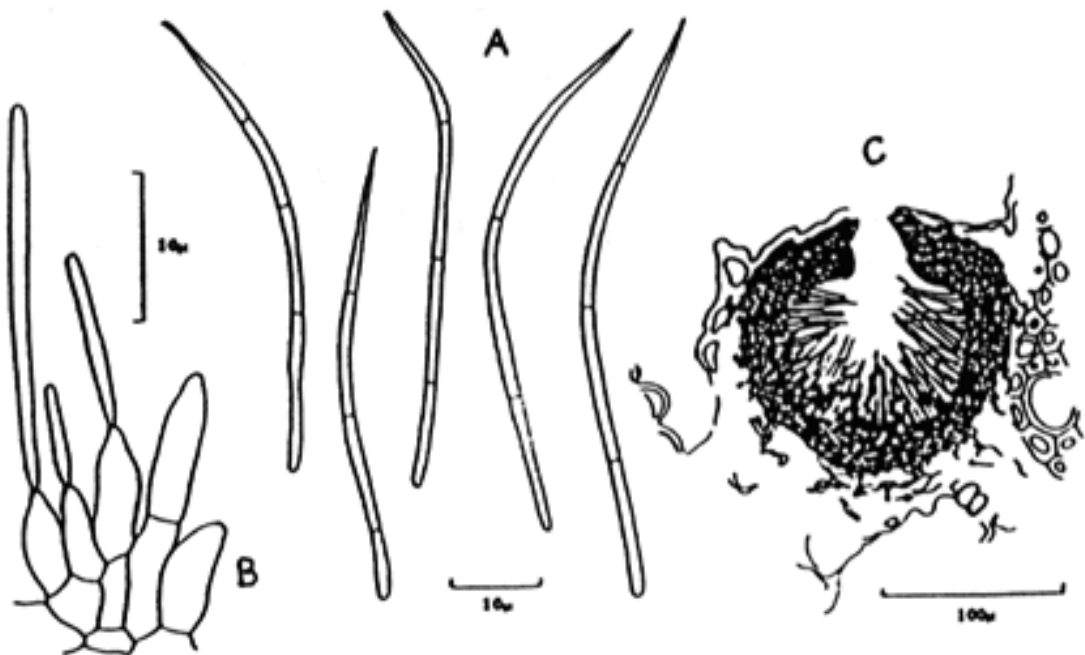
*Stagonospora nodorum* (Berk.) est l'agent causal de la tache séptorienne des glumes (Cunfer et Ueng, 1999). Cette espèce assez polyphage attaque le blé, le triticale, le seigle et l'orge. Ses conidies sont plus courtes, plus épaisses et plus droites que toutes les autres espèces de *Septoria* qui sont plus filiformes. A maturité, elles sont munies d'une à trois cloisons transversales bien distinctes et mesurant alors 15 à 24 µm X 2,5 à 4 µm (Zyllinsky, 1983). Les pycnides sont plus distinctes que celles de *Septoria tritici*, et à maturité exsudent du cirrhe de couleur rose (Zillinsky, 1983). *S. nodorum* est connu aussi comme agent de fonte de semis et est transmis par la semence (Eyal et al., 1987). En cas de fortes attaques, les graines encore vertes présentent une tache brune dorsale très visible (Rapilly et al., 1973 ).

**1.2.1.2 *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. In Cohn (Anamorphe *Septoria tritici* Roberge in Desmaz)**

Cette espèce attaque surtout le blé, mais peut être rencontrée sur le triticale, le seigle, et rarement sur certaines espèces d'avoine. La maladie débute par l'apparition sur le feuillage de petites taches irrégulières, de couleur brun rougeâtre, que les nervures contraignent à s'étendre longitudinalement (fig.1). A ce stade, apparaissent des pycnides noires sur les taches d'où la dénomination anglaise de tache foliaire mouchetée (Speckled Leaf Blotch). Les pycnides sont bien distinctes et s'alignent en parallèles le long des nervures.



**Figure 1 :** Tache foliaire mouchetée longitudinale typique de *M. graminicola* sur le blé.  
( <http://ohioline.osu.edu/ac-fact/0002.html> )



**Figure 2 :** Pycnide et pycnidiospores de *M. graminicola* (A : conidies ; B : conidiophore ; c : Section verticale d'une pycnide (Sutton et Waterston, 1966)

Les conidies de l'anamorphe *S. tritici*se présentent comme des bâtonnets allongés, étroits, courbés, filiformes et mesurent ordinairement à maturité 40 à 80  $\mu\text{m}$  X 1,7 à 3  $\mu\text{m}$  (fig.2) (Zillinsky, 1983). Les ascospores de *M. graminicola* au nombre de 8, sont bicellulaires, elliptiques et disposées irrégulièrement à l'intérieur d'un asque, dont l'une des deux cellules



a tendance à être légèrement plus large que l'autre ; elles sont hyalines, de dimension 9 – 15 µm x 2,5 – 3 µm (Sanderson 1972 in Hoorne et *al.*, 2002).

La septoriose du blé, appelée communément « la tache septorienne » est donc causée par les trois espèces *M. graminicola* (Fuckel) J. Schröt, *Stagonospora nodorum* (Berk.) E.Castell. et Germano et *Stagonospora avenae*.f.sp. *tritici* Bissett.Les deux premières espèces sont les plus importantes. Ces deux principales espèces se rencontrent dans plusieurs régions du monde (Eyal et *al.*, 1987).

### 1.2.1.3 *Stagonospora avenae* (A.B.Frank) Bissett

*Septoria avenae* A.B.Frank est l'agent causal de la tache moucheté de l'avoine ; et *S. avenae* f. sp. *tritici* Bissett l'agent causal de la tache des feuilles du blé, orge et seigle (Cunfer et Ueng, 1999).

Les conidies ressemblent à celles de *S. nodorum*, et mesurent 20 à 45 µm X 2,5 à 4 µm (Zilinsky, 1983). La plus part des spores sont droites avec des extrémités légèrement courbés et possédant en majorité 3 à 4 cloisons. Cette maladie donne des taches de couleur brune chocolat qui virent au gris brun pâle et sont alors difficiles à distinguer de celle provoquées par les autres espèces (Zillinsky, 1983).

## 1.2.2 Importance économique de la tache septorienne du blé dans le monde et en Algérie

*M. graminicola* est présent partout dans le monde, là où le blé est cultivé (Eyal et *al.*, 1987). La tache septorienne à *M. graminicola* est l'une des maladies les plus destructives du blé à travers le monde (Saari et Wilcoxon, 1974 ; Eyal et Ziv, 1974 ; Eyal, 1981) ; des pertes de production de 60 % ont été attribuées à l'infection naturelle (Eyal, 1971). De plus, Arriano et *al.* (2001) ont également signalé que lors d'une forte attaque de blé, les pertes de rendement dépassent les 60%. Les sévères épidémies de la fin des années 1960 et début des années 1970, ont contribué à ce que la maladie soit placée l'une des plus importantes dans le programme national d'amélioration du blé dans plusieurs pays d'Afrique du nord et du Moyen Orient autour de la mer méditerranée (Djerbi et *al.*, 1974 ).

Durant les 25 dernières années, une attention particulière est donnée à *M. graminicola* sur le blé (Arabi et *al.*, 2007). L'augmentation de la fréquence ainsi que le niveau d'agressivité de la maladie a pris de force une place dans la recherche (Hoorne et *al.*, 2002 ; Van Ginkel et Sharen, 1987).

En général, la maladie est plus répandue dans les régions à haute pluviométrie. Kema et *al.* (1996b) ont rapporté des incidences élevées de *M. graminicola* en Angleterre. En Amérique du sud (Mexique et Chili), les dégâts ont été estimés de 2 à 10 % en 1980 (Burleigh et *al.*, 1991). En Uruguay et au Brésil, les pertes de rendements étaient respectivement de 60 % et 50 % (Van Beuningen et Kohli, 1990). Durant les années pluvieuses, *M. graminicola* se place en tête du complexe parasitaire du blé tendre au Maroc (Mazouz et *al.*, 1995). En effet, Jlibene (1996) a rapporté des pertes dues à *S. tritici* de l'ordre de 80 % pour certaines variétés de blé au Maroc en 1989.

En Australie, de sévères épidémies ont été enregistrées sur semis de variétés précoces et les dégâts ont atteint 50 % dans les régions à pluviométrie élevée (Bathgate et Longhman, 1994).

En France, la campagne agricole 1999/2000 a enregistré une pression élevée de la tache septorienne à *M. graminicola* dans le nord, l'ouest et le sud-ouest, avec un niveau plus que la moyenne dans l'est, entraînant des pertes de 20 à 35 q/ha et allant jusqu'à 60 q/ha dans les conditions extrêmes (Le Henaf et al, 2000).

En Afrique du nord, la première épidémie s'est produite avec l'introduction des variétés naines à maturité précoce et à haut rendement durant la campagne 1968/1969, caractérisée par une année à température douce et très humide, conditions particulièrement favorables au développement de *M. graminicola* (Saâdaoui, 1987). Ainsi, le Maroc et les autres pays du Maghreb ont connu durant cette période une épidémie spectaculaire où toutes les variétés commerciales à haut rendement ont été détruites par *S. tritici* (Mamluk et al, 1995 ; Mazouz et al, 1995).

Au Maghreb, *M. graminicola* est l'espèce prédominante dont les pertes peuvent atteindre 35% (Mazouz et al., 1995) ; l'existence de *Stagonospora nodorum* n'a été signalé qu'au Maroc par Saâdaoui en 1975 in Jliben (1996) et récemment en Algérie par Touati-Hattab (2005).

En Tunisie, des dégâts très importants ont été enregistrés en 1969, 1970 et 1971 dont certaines emblavures ont été complètement détruites (Djerbi et al., 1974).

En Algérie, d'après le bilan 2004/2005 « amélioration des céréales » de la station expérimentale de Oued Smar (Alger) sur une échelle de notation de 0 à 9, le niveau d'attaque de *M. graminicola* atteint 7. Toutes les variétés cultivées de blé dur et tendre ont présenté une sensibilité élevée vis-à-vis du pathogène (Lounis-Lalou, 2005).

### **1.2.3 Identification et taxonomie de *M. graminicola* (Fuckel) J. Schröt.**

Décrit initialement sous la dénomination de *Sphaeria graminicola* par Fuckel en 1865 (*Sphaeria graminicola* Fuckel, Fungi rhenani exic. No. 1578 (1865) comme l'agent causal de la tache septorienne, puis en 1870, il a été décrit sous le nom de *Sphaerella graminicola* par Fuckel (*Sphaerella graminicola* (Fuckel) Fuckel Jb. nassau. Ver. Naturk. 23-24 : 101 (1870)). Un autre taxonomiste, Schröter en 1894 l'a classé dans le genre *Mycosphaerella* (Kema, 1996). Mais ce n'est qu'en 1972 qu'il a été identifié comme la forme parfaite du champignon *Septoria tritici* par Sanderson (Cunfer et Ueng, 1999).

La littérature a laissé pendant longtemps des doutes sur l'existence et l'identification de la forme parfaite *M. graminicola* ; ce téléomorphe appartient au groupe des *Ascomycetes* mycéliens ayant un ascostroma que sont les *Loculoascomycetes* comme le présente le tableau 2.

*Mycosphaerella* est un des genres les plus représentés des ascomycètes avec plus de 10 000 Taxa et 23 genres anamorphes. Des études phylogénétiques à partir des séquences d'ADN ITS1, 5.8S et ITS2 ont permis d'identifier les synonymies parmi les genres anamorphes. De plus, plusieurs genres qui n'étaient pas associés auparavant à *Mycosphaerella* se regroupent à ce jour dans ce genre qui s'est avéré être principalement monophylétique (Simon., 2003). Par exemple, le degré d'épaississement, de noircissement et de réfraction des cicatrices ainsi que la présence ou l'absence des pigmentations dans les conidiophores et les conidies semblent être des critères pour délimiter les genres des anamorphes des *Mycosphaerella* (Crous et al, 2001).

En se basant toujours sur les caractères morphologiques, des caractérisations biochimiques et moléculaires ont été apportées à la taxonomie du genre *Septoria* (Goodwin

et *al.*, 2001) caractérisé par la présence de pycnides et des pycnidiospores filiformes, le rattachant ainsi sur le plan systématique à l'ordre des sphaeropsidales.

Tableau 2 : Taxonomie de *M. graminicola* (d'après Alexopoulos et *al.*, 1996) :

Règne	<i>Fungi</i>
Phylum Sous phylum	<i>Ascomycota Pezizomycotina</i>
Classe	<i>Dothideomycetes</i>
Sous classe	<i>Dothideomycetidae</i>
Ordre	<i>Capnodiales</i>
Famille	<i>Mycosphaerellaceae</i>
Genre	<i>Mycosphaerella</i>
Espèce	<b><i>Mycosphaerella graminicola</i></b>

## 1.2.4 Symptomatologie et épidémiologie de *M. graminicola*

### 1.2.4.1 Symptômes sur le blé

Les taches septoriennes causées par *M. graminicola* sont de forme ovale et d'aspect jaunâtre comparable à beaucoup de maladies du feuillage. La confusion est alors possible d'où la nécessité de définir les caractéristiques qui permettent une reconnaissance plus sûre de *M. graminicola*. Une différence évidente est la présence de points noirs très visibles qui sont les pycnides sur nécrose souvent encore verte. Ils apparaissent très rapidement dès le début de la formation des nécroses. Le maximum de nécroses est généralement observé à la fin du tallage, début montaison, avec une présence durant toute la campagne (Simon, 1983).

Les taches chlorotiques apparaissent généralement 5 à 6 jours après l'incubation, entre 18°C et 24°C sous une haute humidité relative et les taches nécrotiques se développent après 3 à 6 jours (Eyal et *al.*, 1976 ; Eyal et *al.*, 1987). Très souvent les taches débutent avec un pâlissement du limbe qui garde, malgré cela, une couleur verdâtre imprégné de brun. La coloration brune ne vient qu'après, mais déjà les pycnides sont apparues (Caron, 2000). L'aspect des taches est assez diversifié et souvent irrégulières restent localisées en des endroits comme les bords du limbe ou les espaces internervaires (Ezzahiri et *al.*, 1996).

Les pycnides apparaissent, généralement après 14 à 21 jours, période variable selon les conditions climatiques, le cultivar et l'isolat (Coakley et *al.*, 1985).

Après une pluie, une rosée ou un brouillard, les pycnides noires exsudent une gelée incolore transparente sous forme de tortillons que sont les cirrhes. Ces derniers sont très importants pour l'identification de *M. graminicola*, car ils sont distinguables à l'oeil nu et facilement visible à la loupe (Dileone, 1997). Les observations microscopiques permettent de voir des pycnidiospores filiformes, caractéristiques de *M. graminicola*.

### 1.2.4.2 Spécialisation physiologique et parasitaire de *M. graminicola*

La connaissance du spectre de virulence des pathogènes responsables de la septoriose doit être utilisée dans l'établissement d'un programme de sélection pour la résistance (Narvaez, 1957 in Eyal et *al.*, 1987). Pour cela, il est important de connaître la spécialisation parasitaire et physiologique du pathogène. D'après Kema et *al.* (1996a), il est difficile de déterminer la spécialisation chez un certain nombre de pathogènes nécrotrophes responsables des maladies foliaires du blé, comme *M. graminicola*.

Des contradictions évidentes dans la spécialisation physiologique de *M. graminicola*, où plusieurs auteurs ont rapporté l'absence de races physiologiques chez *M. graminicola* (Bousquet et al., 1980 ; Allingham et Jackson, 1981). D'autres travaux comme ceux d'Eyal et al. (1987) et Saâdaoui (1987) ont montré l'existence d'une spécialisation physiologique chez *M. graminicola*. La variabilité génétique de la virulence chez *M. graminicola* débute par une spécialisation physiologique du pathogène en question (Eyal et al., 1973). Globalement, la spécialisation physiologique de *M. graminicola* a été signalée aux USA (Prests et Hendrix, 1977 in Eyal et al., 1987), en Australie (Ballantyne 1985 in Eyal et al., 1987), en Uruguay (Diaz, 1983 in Eyal et al., 1987) ainsi qu'en Israël, au Brésil et au Chili (Halpein et al., 1996).

En Algérie, les travaux de Touati-Hattab (2005) ont confirmé l'hypothèse de l'existence d'une virulence spécifique de *M. graminicola* sur les blés, ainsi qu'une spécialisation physiologique au sein des isolats chez le blé dur. La spécialisation parasitaire est beaucoup plus prononcée que la spécialisation physiologique chez *M. graminicola*, en particulier lorsqu'on prend en considération la présence de pycnides comme paramètre de maladie. Ainsi les isolats de blé dur et de blé tendre sont particulièrement virulents sur leur hôte respectif blé dur et blé tendre (Jlibene et al., 1993 ; Kema et al., 1996 a ; Medini et al., 1999).

Les caractères parasitaires des populations de *M. graminicola* isolés en Israël sur les blés tendres et blés durs, restent stables à travers leur passage sur les mêmes cultures (Eyal et al., 1973 ; Yechilevich-Auster et al., 1983). Les isolats de *M. graminicola* isolés du blé tendre sont en général avirulents sur le blé dur avec cependant plusieurs exceptions (Eyal et al., 1973).

La détermination récente du système de reproduction hétérothalique de *M. graminicola* (Kema, 1996), nous donne une explication sur la grande variabilité génétique de ce champignon et particulièrement sur ses capacités de s'adapter aux cultivars et espèces de la plante hôte (Kema et al., 1996 b ; Mc Donald et Martinez, 1990 a). Cependant, l'introduction d'une nouvelle espèce ou une nouvelle variété, exerce une pression de sélection, donnant une nouvelle forme de virulence, ce qui explique cette phase d'adaptation qui prend place là où le champignon devient virulent sur de nouvelles variétés (Mc Donald et Martinez, 1990 b).

#### **1.2.4.3 Biologie de *M. graminicola* :**

Au niveau de la biologie du champignon, deux types de spores peuvent être distingués:

- Les pycnidiospores de l'anamorphe *S. tritici* ;
- Les ascospores du téléomorphe *M. graminicola*.

La principale forme d'hivernation du champignon est celle qui se passe sur les débris des cultures. Le champignon pénètre dans les tissus foliaires par les stomates (Eyal et al., 1987), le mycélium de *M. graminicola* se développe activement entre les cellules épidermiques et son extension n'est limitée que par les éléments conducteurs, formant ensuite des agglomérations qui servent de base à la formation des pycnides (Kema, 1996).

Le mycélium peut éventuellement former un stroma sur les résidus de récolte mais on n'en connaît pas les possibilités de conservation. Une fois enterré, *M. graminicola* meurt progressivement (Caron, 2000).

Les pycnides de *M. graminicola* naissent enfoncées dans les tissus de l'hôte et à maturité, elles émergent de l'épiderme ; elles sont disposées régulièrement sur le limbe parallèlement aux nervures dans les cavités somatiques. Ces pycnides sont globuleuses à elliptiques de couleur brun clair à sombre, de 60 à 200 µm de diamètre (Eyal et al., 1987).

Par un temps humide, les pycnides gonflent et laissent sortir une masse gélatineuse blanche à brun clair (ensemble de conidies mélangées à une gelée mucilagineuse protectrice appelé cirrhe) (fig.3). Une pycnide de *M. graminicola* peut donner jusqu'à huit générations successives de cirrhes et de taille de plus en plus réduite (Rapilly, 1976).

D'après Eyal et al. (1987), les pycnidiospores de *M. graminicola* peuvent se présenter sous deux formes :

1. Les macro-pycnidiospores qui mesurent 35 à 98 µm X 1 à 3 µm, sont hyalines, filiformes et courbées ayant 3 à 5 cloisons.
2. Les micro-pycnidiospores qui mesurent 8 à 10,5 µm X 0,8 à 1 µm sont non cloisonnées.

### 1.2.4.4 Cycle biologique de *M. graminicola* :

#### a - Source d'inoculum :

Dans plusieurs pays, les ascospores sont responsables du déclenchement de la maladie et sont alors considérées comme la principale source de l'inoculum primaire, ce qui explique la répartition homogène des symptômes sur les cultures de blé (Gautier, 2005), alors que les pycnidiospores assurent la progression de la maladie durant la saison de croissance de la culture du blé. (Shaw et Royle, 1989 ; Mc Donald et al., 1995).

Sanderson (1978) in Hoorn et al.(2002) a étudié la relation entre le téléomorphe *M. graminicola* et l'anamorphe *S. tritici*, et a suggéré que les infections de la tache foliaire du blé en Nouvelle Zélande sont initiées par les ascospores produites sur les chaumes (Fig.4). Ainsi, le stade parfait jouerait un rôle considérable dans l'épidémiologie de la tache foliaire du blé, car les ascospores sont capables d'initier l'infection sur de grandes distances (Royle, 1994, Zhan et al., 2001).

Kema (1996) a rapporté que les pycnidiospores sont beaucoup moins dispersées que les ascospores, mais pycnidiospores et ascospores contribuent ensemble au développement de l'épidémie (Erikson et al., 2001).

#### b- Propagation et évolution de la maladie :

les contaminations primaires :

*M. graminicola* dépend entièrement des facteurs climatiques pour se développer, particulièrement la température et l'humidité (Fraaije et al., 2002).

Eyal (1981) a montré que les fréquentes pluies à des températures de 12 à 25°C favorisent le développement de *S.tritici*, contrairement aux intervalles forte pluie – haute humidité qui inhibent le développement de la maladie. La maturation et la décharge des ascospores ont lieu après les premières pluies (Caron, 2000) ; les ascospores contaminent les plants sur de grandes distances (Dileone, 1997).

Après une période de latence de 2 à 6 semaines, *M. graminicola* pénètre la plante hôte à travers le stomate (fig.5).

La pénétration des tissus des feuilles de l'hôte est très facile. Elle est stomatique et intercellulaires pendant 8 à 10 jours avant la destruction rapide des tissus du mésophile (Zahri et al., 2008) ; les filaments mycéliens croissent entre les cellules et les haustoria sont produits occasionnellement dans le mésophile (Kema et al., 1996a).

Rudd et *al.*, (2004) précise que l'infection du blé par *M. graminicola* est caractérisée par une longue phase initiale de colonisation bio trophique, suivie rapidement par une pénétration à travers le stroma à nutrition nécro trophique provoquant la mort rapide de la plante hôte.

- Evolution de la maladie en gradient :

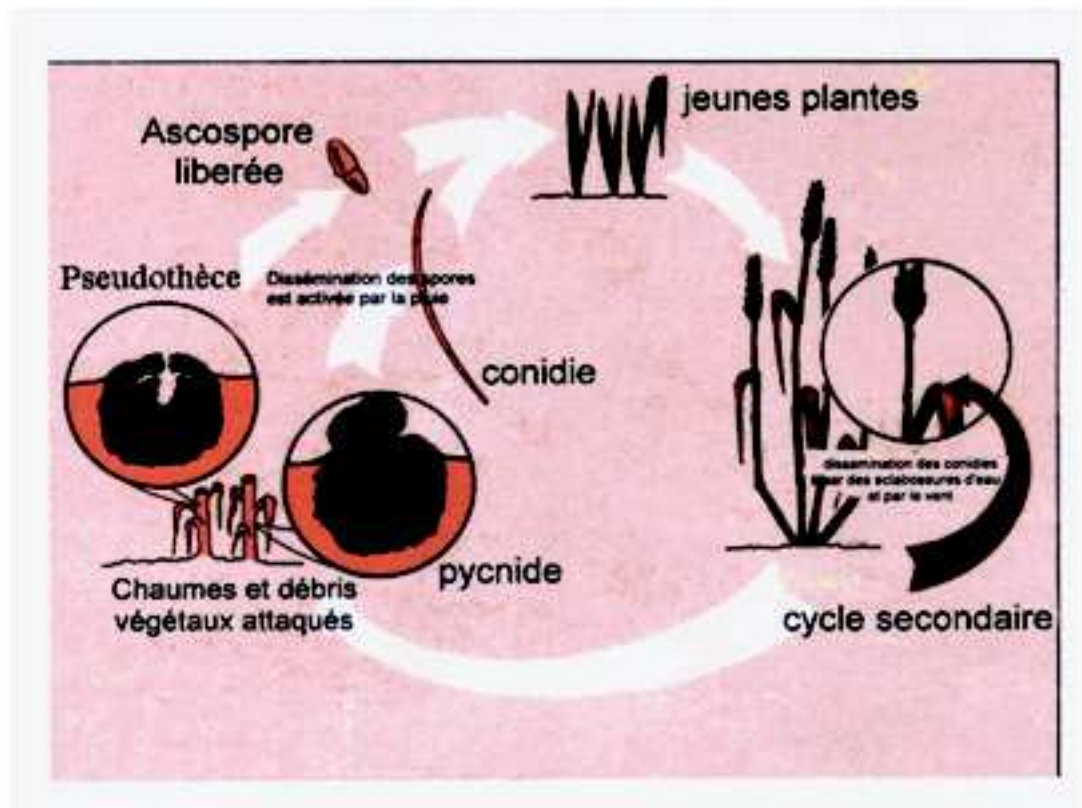
L'apparition des pycnides s'effectue avant que les tissus ne soient complètement nécrosés et tués ; la maladie est observable pendant tout l'hiver. Elle est fréquente au stade redressement et au début de la montaison. Pendant toute cette période la tache foliaire septorienne à *M. graminicola* est nettement visible (Caron, 2000)

Les pycnidiospores sont le moteur de l'épidémie (Dileone, 1997). Elles se forment dans les organes de fructification asexuée, que sont les pycnides dans les parties nécrosées des feuilles (Linde et *al.*, 2002).



**Figure 3 : Masse gélatineuse contenant les pycnidiospores de *M. graminicola* : le cirrhe**

(Source : <http://rzglab15.rz.uni-kiel.de/phytopathologie/Septoria-pynidia1.wmv> .)



**Figure 4** : Schéma du cycle biologique de *M. graminicola* (Fuekel) J. Schröt (Eyal et al., 1987)

A la faveur de l'humidité ambiante, les pycnides se resserrent et les pycnidiospores sont expulsées sous forme de cirrhe (Fig.3) ; cet enrobage mucilagineux les protège des conditions climatiques défavorables, mais les alourdit considérablement et ne leur permet pas d'être transportés en suspension dans l'air (Mercer et Ruddock, 1998). Ce sont les éclaboussures provoquées par l'impact des gouttelettes de pluies qui les projèteront vers les étages foliaires supérieurs de blé (Eyal et al, 1987). Sur cet étage foliaire a lieu un nouveau cycle produisant de nouvelles pycnidiospores. Elles seront projetées par les pluies sur l'étage foliaire suivant. Les cycles végétatifs s'enchaîneront pour atteindre les feuilles du haut (Fig.6).

Dans le cas général, la septoriose monte progressivement d'étage foliaire en étage foliaire en présentant une plus grande quantité de la maladie vers le bas, d'où son appellation de « maladie en gradient » (Caron, 2000).

### **c- Conditions de développement de la septoriose :**

Plusieurs facteurs jouent un rôle considérable dans le développement des septorioses. Il y a certainement les facteurs climatiques et également les facteurs agronomiques.

- Facteurs climatiques :

Les facteurs climatiques sont le moteur de déclenchement des deux phases sexuée et asexuée du champignon responsable de la tache foliaire du blé.

- Phase sexuée :

La phase sexuée a été récemment obtenue sous conditions contrôlées (Palmer et Skinner, 2002). En conditions naturelles, Hunter et *al.* (1999) ont montré que l'intervalle entre la formation des pycnides et l'observation des pseudothèces peut varier de 62 à 95 jours, tout dépend des conditions climatiques. Palmer et Skinner (2002) rajoutent que les pseudothèces se développent à l'intérieur des anciennes lésions.

Quelques études ont montré que les ascospores peuvent germer entre 6°C et 32°C, avec un optimum entre 14°C et 16°C (Kema, 1996). Potentiellement les ascospores peuvent être véhiculées par le vent sur de longues distances (jusqu'à 100 km) (Arvalis, 2005). La maladie peut être disséminée par les ascospores qui peuvent rester viables pendant plusieurs mois sur les chaumes infectées (Eyal et *al.*, 1987 ; Palmer et Skinner, 2002).

En présence de l'eau libre, les ascospores sont libérées des pseudothèces matures durant toute l'année (Zhan et *al.*, 1998) et de ce fait, elles assurent la perpétuité de la maladie avec de nouvelles populations génétiquement diversifiées (Mc Donald et *al.*, 1995).

#### **Phase parasitaire asexuée :**

**Période d'incubation et de latence :** Dans les conditions naturelles, la période d'incubation (temps qui sépare la contamination à l'apparition des taches chlorotiques) est très proche de la période de latence (temps qui sépare la contamination de l'apparition des pycnides). Généralement peu de temps après la période d'incubation où les tissus végétaux sont contaminés ; les pycnides apparaissent, ce qui correspond à la période de latence représentant les premiers symptômes (Mc Donald et Martinez, 1991).

Pour une humidité relative donnée, la durée d'incubation dépend directement de la température ; en hiver les premiers symptômes demandent environ 3 à 5 semaines pour apparaître (Caron, 2000).

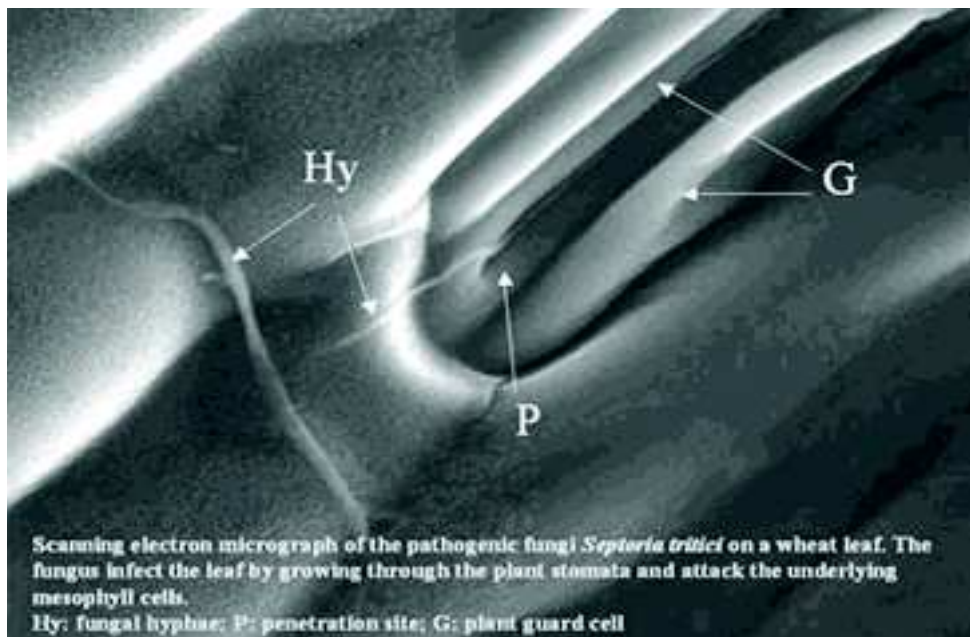
**Contamination :** L'humidité est un facteur limitant pour toutes les étapes de l'infection ; pour germer, les spores ont besoin d'eau libre sur les feuilles, ainsi que d'une période humide assez longue pour pouvoir pénétrer l'hôte (Hooker, 1957).

L'infection peut être retardée dans le champ si la température est en dessous de 7°C durant 2 nuits consécutives (Shaner et Finney, 1976). Les températures basses (4°C) affectent la germination des pycnidiospores et la croissance mycélienne (Eyal et *al.*, 1987).

Leur germination exige une température optimale de 15°C à 25°C, mais peut avoir lieu entre 5°C et 35°C à une humidité relative saturée constante de 3 % à 100 % sur le feuillage (Kema et *al.*, 1996a). L'infection peut avoir lieu après 6h et la formation des pycnides peut avoir lieu 14 à 21 jours après l'inoculation (Gilchrist et *al.*, 1999).

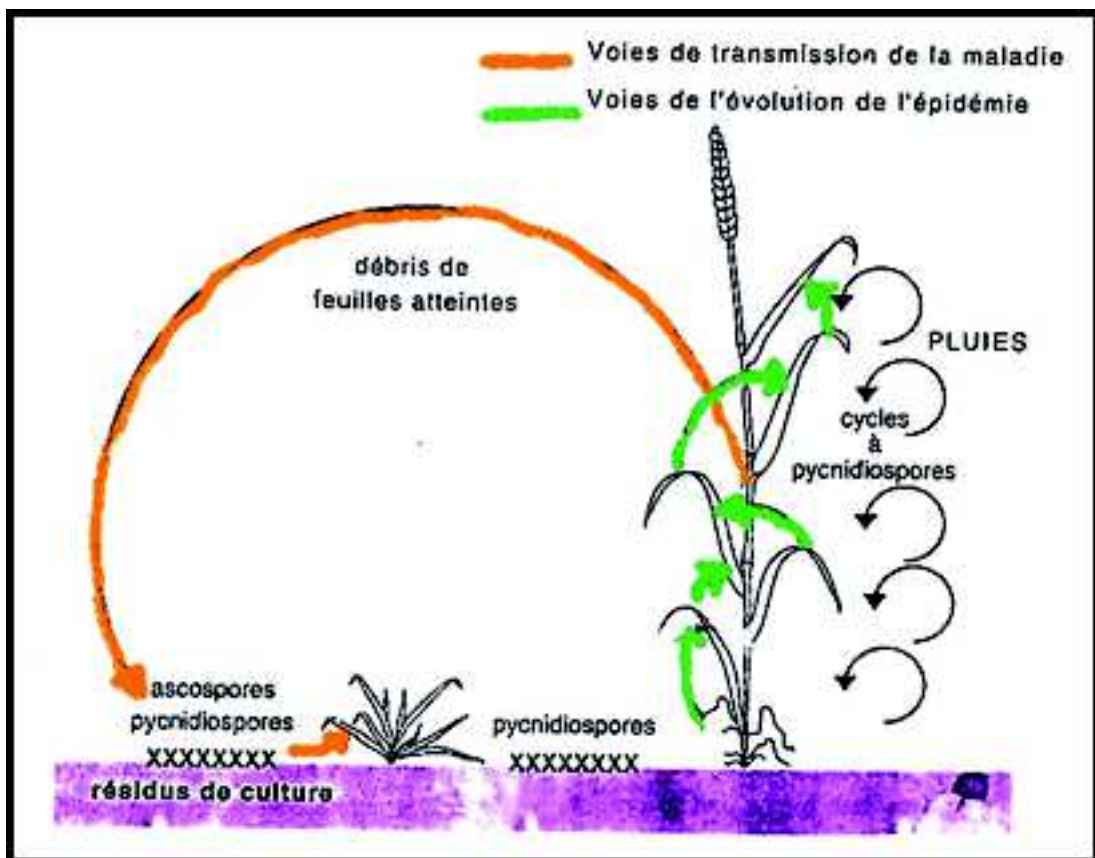
La lumière est également importante pour *M. graminicola* ; un optimum de 8.000 à 12.000 lux est nécessaire pour la germination des pycnidiospores et la croissance mycélienne. Cependant, le processus de l'infection peut avoir lieu beaucoup mieux au cours des journées nuageuses et pluvieuses avec des températures entre 20 et 25°C (Eyal et *al.*, 1987).





**Figure 5 :** Pénétration directe de *M. graminicola* des tissus de l'hôte par le stomate. (Hy : filaments mycéliens ; P : site de pénétration ; G : cellules protectrices)

Source : <http://www.risoe.dk/vejvisier/index-uk.htm>



**Figure 6 :** Propagation de la maladie d'un étage foliaire à un autre (Caron, 2000).

Dissémination des pycnidiospores :

Dès leur formation, les pycnides sont capables d'exsuder les pycnidiospores dans une masse extracellulaire et gélatineuse blanchâtre (le cirrhe) sortant de l'orifice de la pycnide (l'ostiole), qui est alignée à l'ouverture des stomates. Chaque pycnide peut produire plusieurs milliers de conidies (Delione, 1997).

A la faveur d'alternances d'humidification et de dessèchement, il peut y avoir plusieurs émissions de cirrhes, les premières étant les plus importantes. Les cirrhes plus ou moins fragmentés selon la violence de la pluie, seront transportés sur les étages supérieurs par les gouttelettes qui rejaillissent sur les feuilles (Caron, 2000).

- Facteurs agronomiques :

L'un des principaux facteurs qui favorise le développement de *M. graminicola* est la sensibilité des variétés à la maladie (INRA, 2008). En France, aucune des variétés proposées actuellement n'est vraiment résistante, mais il existe de grosses différences de comportement entre les cultivars (ARVALIS, 2003 ; INRA, 2006).

## **1.3 Caractéristiques culturales et pathologiques de *M. graminicola* :**

### **1.3.1 Caractéristiques culturales de *M. graminicola* :**

---

L'observation des colonies en culture sur un milieu synthétique, précisément leur aspect cultural, leur couleur, leur forme, leur superficie et leur sporulation constituent les critères culturels d'identification de *M. graminicola*.

La taille des pycnidiospores ainsi que la couleur du cirrhe sont également les critères morphologiques d'identification de *M. graminicola*. Des études ayant porté sur la sporulation ont rapporté que le champignon en question sporule beaucoup mieux sur le milieu à base d'extrait de levure (Yest Malt Agar =YMA) (Boumedienne, 1986).

### **1.3.2 Caractéristiques pathologiques de *M. graminicola* :**

---

La tache septorienne du blé a fait l'objet de nombreux travaux sur l'agressivité et la virulence des isolats sur des génotypes du blé tendre et blé dur. La pathogénicité spécifique dite virulence, a été le caractère le plus étudié (Mc Dermott et Mc Donald, 1993).

En Algérie, différentes prospections ont montré la prédominance de *M. graminicola* sur les cultures de blé. L'analyse du pouvoir pathogène a montré que *M. graminicola* cause les symptômes typiques de la tache séptorienne foliaire du blé ; la comparaison du pouvoir pathogène des isolats a permis de montrer une différence d'agressivité (Touati-Hattab, 2005).

Lorsque la relation entre le phénotype et le génotype a été caractérisée, les marqueurs de pathogénicité donnent des informations sur la structure génétique des populations pathologiques (Kolmer, 1991). Mais, cela ne suffit pas pour comprendre la variabilité génétique des populations.

---

## 1.4 Description du téléomorphe *M. graminicola* (Fuckel) J. Schröt. :

Cette espèce est un ascomycete haploïde, hémibiotrophique possédant deux phases de croissance, filamenteuse et stromatique à des températures respectives de 25°C et 15°C (AG, 2008).

Les pseudothèces sont sub-épidermiques, globuleux brun sombre avec un stroma à deux couches cellulaires, dont la couche extrême est formée de cellules pigmentées et épaisses (Eyal et al., 1987).

Les pseudothèces matures sont superficiellement enfoncés dans les tissus des chaumes de blé, mesurant entre 68 et 114 µm de diamètre. Les asques mesurent 30 à 41 µm de long et 11 à 14 µm de large. Les 8 ascospores bicellulaires, elliptiques et disposées irrégulièrement à l'intérieur de l'asque, sont composées de deux cellules dont l'une tendant à être légèrement plus large que l'autre ; elles sont hyalines, de 9 – 15 µm x 2,5 – 3 µm (Halama, 1996).

### 1.4.1 Hétérothallisme et reproduction sexuée de *M. graminicola* :

---

L'hétérothallisme par définition est l'existence au sein d'une même espèce de deux types de thalles morphologiquement identiques et génétiquement différents, désignés par les signes + et – plutôt que de « male » et « femelle ». *M. graminicola*, est un champignon hétérothallique bipolaire (Kema et al., 1996a). Ce sont les mating types MAT1-1 et MAT1-2 qui lors du stade sexué de *M. graminicola* donnent naissance aux pseudothèces et qui sont produits sous certaines conditions durant l'année (Hunter et al., 1999).

La reproduction sexuée chez les champignons est contrôlée par les gènes Mating Type, qui ont été caractérisés pour plusieurs espèces des ascomycètes (Coppin et al., 1997). Cela inclut les espèces de *Mycosphaerellaceae* comme *M. graminicola* (Waalwijk et al., 2002).

La reproduction sexuée chez les pathogènes hétérothalliques peut avoir lieu uniquement lorsque deux individus de Mating Type différents se rencontrent. Chez la plus part des ascomycètes filamenteux hétérothallique, le Mating Type est contrôlée par un locus Mating Type (MAT), qui est représenté par deux idiomorphes connus comme MA1-1 et MAT1-2 (Siah et al., 2010). Cependant, les deux idiomorphes sont entourés par des régions identiques, ils sont complètement dissimilaires dont leur organisation structurale, comme leur code protéine qui est différent dans le nombre et la fonction (Siah et al., 2008, El bakaly et al., 2010).

### 1.4.2 Diversité génétique de *M. graminicola* :

---

La reproduction sexuée chez les pathogènes hétérothalliques entraîne la fusion temporaire de deux souches fongiques portant les Mating Types compatibles, suivi par une méiose et un échange d'information génétique entre les individus (Zhan et al., 2002 ; Medini et Hamza, 2008). Pour ces pathogènes, la reproduction sexuée est possible uniquement lorsque deux Mating Types sont disponibles au même niveau du même localité géographique et au même temps (Coppin et al., 1997 ; Kronstad et Staben, 1997).

Lorsque les deux souches fongiques des mating types se rencontrent, elles détectent chacune la présence d'une phéromone produite par des mating types différents (Zhan et al., 2002 ; Kronstard et Staben, 1997).

Il a été reporté dans plusieurs études que la forme sexuée *M. graminicola*, joue un rôle très important dans la diversité génétique des populations (Zhan et al., 1998 ; Zhan et Mc Donald, 2004). De plus, plusieurs études précisent que la reproduction sexuée est considérée comme le moteur de la diversité génétique des populations de *M. graminicola* ainsi que de l'épidémiologie de la maladie (Shaw et Royle, 1989).

La reproduction sexuée des populations de *M. graminicola* joue un rôle clef sur l'augmentation du pourcentage d'adaptation aux cultivars résistants, influençant donc de ce fait le développement épidémiologique à travers la saison de croissance du blé (Eriksen et al., 2001 ; Kebbage et al., 2008). La reproduction sexuée a un grand effet sur la diversité génétique des populations par l'introduction de nouveaux allèles venant d'autres populations (Burdon et Silk, 1997 ; Zhan et al., 1998 ; Kebbage et al., 2008).

Ainsi, la reproduction sexuée influence la diversité génotypique contrairement à la reproduction asexuée (Koenig et al., 1997). Mc Donald et al., (1999) ainsi que Komijani et al., (2010) rapportent que la diversité génétique est hautement significative chez *M. graminicola*.

### **1.4.3 Fréquence de la reproduction sexuée de *M. graminicola* :**

---

Goodwin et Kema (1995) rapportent que la reproduction sexuée chez les populations de *M. graminicola* se produit d'une manière très habituelle ; ce qui favorise la diversité génétique de *M. graminicola* d'une génération à une autre.

Les conditions environnementales jouent un rôle considérable dans le mécanisme de flux de gènes. En effet, les impacts de migrations des gènes et de reproduction sexuée sur la structure génétique des populations dépendent de leurs caractéristiques écologiques et biologiques. Les espèces dont leurs spores sont dispersées par le vent, ont de haute proportion de distance de migration par rapport aux espèces dont leurs spores sont dispersées autour de l'infection (Cowger et al., 2002).

Le stade ascogène a été reporté dans plusieurs régions productrices du blé dans le monde.

Sanderson (1972) fut le premier à observer *M. graminicola* en Nouvelle Zélande en 1972 (Scott et al., 1988). Le téléomorphe a depuis été reporté dans plusieurs régions, incluant l'Australie (Brown, 1975 in Scott et al., 1988), le Chili (Madriag, 1989 in Hoorne et al., 2002), la Grande Bretagne (Scott et al., 1988), les Etats-Unis (Garcia et Marshall, 1992), les Pays Bas (Kema et al., 1996), la France (Halama, 1996), le Canada et la Slovaquie (Hoorne et al., 2002).

## **1.5 Moyens de contrôle :**

Les moyens de contrôle de la septoriose font appel aux méthodes traditionnelles comme : les pratiques culturales, la rotation des cultures (Krupinsky, 1999), le labour profond (Schuh, 1990), la brûlure des résidus de cultures (Eyal, 1981) et plus couramment le traitement chimique.

---

## 1.5.1 Pratiques culturales :

La gestion des pratiques culturales est probablement l'une des approches les plus anciennes du contrôle des maladies fongiques (ARVALIS, 2005).

### 1.5.1.1 Rotation des cultures :

La survie de *M. graminicola* sur les résidus des cultures est le moyen le plus important de contamination des nouvelles cultures (Shaner et Finny, 1976 ; Eyal, 1981). Le risque de contamination peut être réduit en assurant une large rotation des cultures (Krupinsky, 1999).

Les rotations de cultures permettent avec le temps, la décomposition des résidus renfermant les pathogènes ; c'est le facteur clef de la productivité des cultures de blé (ARVALIS, 2005).

Au Saskatchewan, Pederson et Hughes (1993) ont rapporté que les rotations des cultures ont contribué à la réduction considérable de la tache foliaire septorienne. La rotation avec des intervalles de culture de blé de 3 à 5 ans a diminué la septoriose en Israël car les spores ne peuvent survivre dans le sol plus de 20 mois, avec une activité pathologique (Shaner et al., 1982).

### 1.5.1.2 Travail du sol :

Le labour profond permet la décomposition des résidus par leur fracturation et leur exposition aux micro-organismes décomposeurs, en enfouissant profondément les restes des végétaux et en ne laissant aucune chance de développement aux repousses et aux adventices (Schuh, 1990 ; ARVALIS, 2005).

### 1.5.1.3 Incinération des résidus de cultures :

Dans le passé la brûlure des résidus de cultures a été recommandée (Shipton et al., 1971) ; mais cette recommandation est plus d'actualité pour des raisons environnementales. De plus, brûler des résidus de cultures n'est pas une méthode dont on se débarrasse complètement des agents pathogènes, laissant un inoculum suffisant pour contaminer les prochaines cultures (Eyal, 1981).

### 1.5.1.4 Fertilisation azotée et potassique :

La sévérité de la septoriose est influencée par la fertilisation azotée, dont dépend la culture pour son développement (Krupinsky, 1999 ; Ben Mohamed et al., 2007).

Plusieurs travaux ont rapporté l'influence de la fertilisation sur la sensibilité à *M. graminicola* et le niveau d'infection reflète la teneur en azote du sol (Tompkins et al., 1993).

En effet, des travaux de recherche menés par Ross (1998) ont montré que l'azote augmente la proportion d'acide glutamique, la proline, la méthionine, la cystéine, le phénylalanine et la tyrosine ; les plantes excessivement fertilisées en azote sont plus sensibles à l'attaque, car le pathogène s'y installe en utilisant les protéines pour assurer son propre développement tout le long de son cycle de reproduction.

De même, lorsque le sol est déficitaire en potassium, la sévérité de la maladie est plus prononcée que lorsque celui-ci possède une teneur adéquate en cet élément (Shipton et al., 1971 ; Krupinsky, 1999). En revanche, l'apport en potassium abaisse la sévérité d'attaque. En effet, Shipton et al. (1971) ont rapporté que la septoriose est plus sévère dans les cultures de blé où les sols sont pauvres en potassium que ceux ayant un taux adéquat en cet

élément. Mais, il est aussi à remarquer qu'en dépassant certaines quantités, la dose de potassium intervient moins dans la diminution de la maladie (Ben Mohamed et *al.*, 2007).

#### **1.5.1.5 Semis :**

Des travaux sur la date, la profondeur et la densité semis ont rapporté que particulièrement cette dernière favorise la maladie (Tompkins et *al.*, 1993). Une étude réalisée en Tunisie par Ben Mohamed et *al.*(2007) a montré que l'arrivée de la culture au stade tallage vers le mois de février, période humide interrompue de jours ensoleillés, favorise l'installation et le développement du pathogène. Par ailleurs, les semis précoces favorisent l'apparition prématurée de la septoriose et engendrent ainsi des dégâts élevés par rapport aux semis tardifs (Eyal et *al.*, 1987).

#### **1.5.2 Utilisation des fongicides :**

---

En raison de la durée d'incubation très longue du champignon et des cycles successifs qui se superposent au cours d'une campagne, les traitements fongicides viseront à enrayer la poursuite d'une épidémie (effet curatif), tout en empêchant la contamination de nouveaux étages foliaires (effet préventif) (ARVALIS, 2003). L'utilisation des produits systémiques unisites seuls ou combinés avec d'autres fongicides multi sites de contacts (Cook et Thomas, 1990, Gisi, 1996), ou des associations entre des produits unisites appartenant ou non à la même famille chimique, peut protéger les étages supérieurs de la plante, décisifs pour le rendement (Culbreath et *al.*, 1995).

La date de traitement est un facteur important (Beck et Ligon, 1995). Un gain de rendement a été observée pour une application au stade montaison et gonflement (Hensen et *al.*, 1994). Des essais réalisés avec les triazoles seuls ou combinés avec les Carbendazime, un dérivé des carbamates, ont mis en évidence l'intérêt de ces fongicides dans la lutte contre la séptoriose du blé due principalement à *Septoria tritici* (Zahri et *al.*, 2008). La lutte contre la septoriose est actuellement réalisée principalement par des fongicides (Schurch, 2009 ; Ezzahiri, 2010).

#### **1.5.3 Résistance variétale :**

---

Plusieurs travaux de génétique sur la résistance du blé au *M. graminicola* sont rapportés dans le monde comme approche à la lutte contre cette Maladie. De nombreux auteurs rapportent que la résistance génétique est le moyen de lutte le plus économique, le plus écologique et le plus efficace contre les maladies des plantes (Djerbi, 1978 ; Rappilly, 1991, Delourme et *al.*, 2006 ; Zahri et *al.*, 2008 ; Ezzahiri, 2010).

Ainsi plusieurs travaux menés pour l'identification de sources de résistance, ont permis de sélectionner des gènes qu'ils ont intégrés dans des variétés cultivées pour obtenir des lignées résistantes ou partiellement résistantes à *M. graminicola*, tels les travaux de Van Ginkel et *al.*, (1999). Plusieurs variétés semées actuellement de part le monde présentent un bon niveau de résistance (Pinochet et *al.*, 2004), qui sont caractérisé par des composantes de la résistance peuvent se manifester au champ par une résistance à l'infection en impliquant soit une ou plusieurs résistances spécifiques et résistance au développement de la maladie (perte des feuilles malades, limitation du développement de la nécrose,...) soit en impliquant la résistance polygénique (Pelzer, 2008).

Malheureusement, le contournement de tels gènes de résistance par les populations pathogènes est souvent observé (Rouxel et *al.*, 2003 ). La résistance variétale spécifique en particulier n'est donc pas durable (Zahri et *al.*, 2008). Une résistance est dite durable si elle reste efficace quand elle est utilisée sur de larges surfaces pendant une durée importante et dans des conditions environnementales favorables à la maladie (Robert et *al.*, 2011).

En Algérie, les travaux de Ben Kortby (2006) ont permis d'identifier des lignées ayant une bonne résistance à l'égard des souches algérienne. Cela peut être exploité dans l'avenir pour l'amélioration du blé à l'égard de *M. graminicola*. Le contrôle génétique devrait permettre d'estimer la résistance des futures variétés de manière plus globale et donc d'obtenir du matériel végétal avec une résistance plus durable.

## 2 MATERIELS ET METHODES

### 2.1 Matériels biologiques

#### 2.1.1 Matériel fongique

---

##### 2.1.1.1 Prospection, collection et conservation des isolats de *M. graminicola*

Les prospections sont réalisées le mois de Mai pendant deux campagnes agricoles successives 2003/2004 et 2004/2005, au cours desquelles un échantillonnage inter et intra régional est réalisé. Pour cela, des échantillons présentant des symptômes de septoriose sont collectés de différentes régions et au sein d'une même région, principalement de la région Est et Centre d'Alger (Oued Smar), de Tizi Ouzou (Mekla et Freha), de Constantine (Beni Mestina) et Annaba. Les régions dans lesquelles a été effectué l'échantillonnage intra régional sont Annaba et Alger centre (Oued Smar).

La méthode intra régionale d'échantillonnage est réalisée selon la méthode d'échantillonnage adoptée par Mc Donald (1991). Cela consiste à tracer deux lignes séparées de 5 à 10 m à travers le long du champ de blé attaqué par *M. graminicola*. Le principe de cette méthode consiste à faire des prélèvements de la manière suivante : Après une marche de 5 à 10 m (selon la superficie du champ de blé) en long et en large, le point de croisement constitue le premier lieu d'échantillonnage. A ce niveau, on prélève quelques feuilles (4 feuilles), si c'est possible choisir les feuilles vertes présentant des lésions bien attaquées. Les autres prélèvements sont réalisés de telle sorte que la distance entre eux du même champ soit de 5 à 10 m au sein du même champ, c'est-à-dire quatre prélèvements constituent un carré de 5 à 10 m (fig. 7).

Au fur et à mesure, des enveloppes libellées par ordre alphabétique sont préparées pour mettre les échantillons récoltés. Ce type d'échantillonnage nous permet d'évaluer la diversité intra spécifique au sein d'un même champ de blé.

Au total pour les deux régions d'Alger et de Annaba, huit prélèvements par champ et par région sont réalisés. Pour le reste des régions (Tizi Ouzou et Constantine), des prélèvements ont été effectués au hasard ; un prélèvement par champ et par région dans le but d'étudier la diversité inter régionale.



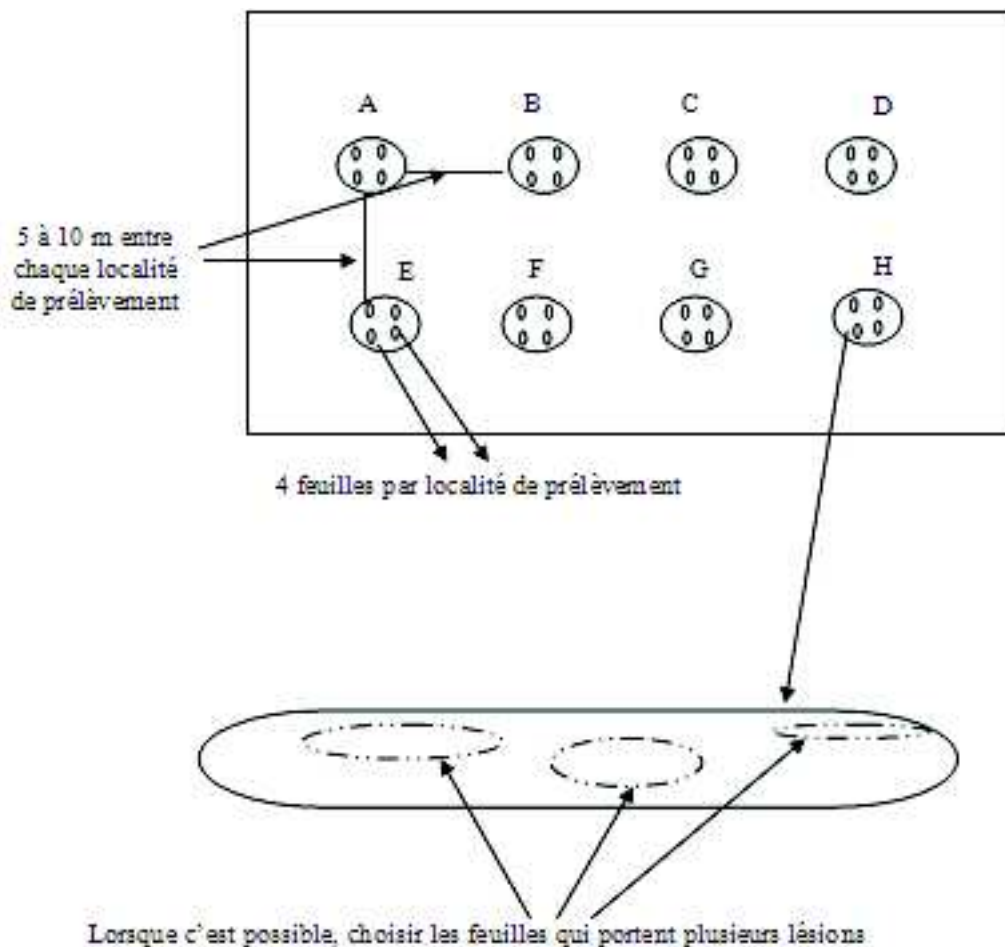


Figure 7 : Méthode d'échantillonnage de *M. graminicola* (Mc Donald, 1991)

### 2.1.1.2 Isolement purification et conditions de mise en culture des isolats de *M. graminicola*

Les échantillons étudiés durant la campagne 2003/2004, nous ont été fournis par la station ITGC d'El Khroub provenant de la région de Beni Mestina (Constantine) et de Annaba, où la septoriose à *M. graminicola* se manifestait chaque année dans ces régions de l'Est du pays.

Des échantillons provenant de la région de Tizi Ouzou, nous ont été fournis par la station expérimentale (ITGC) de Freha et de Mekla durant la campagne 2004/2005. Pour la région d'Alger, nos prospections ont été effectuées au niveau de la station expérimentale d'Oued Smar (ITGC) durant la campagne 2004/2005.

Les isolats de *M. graminicola*, sont obtenus en effectuant une dilacération des cirrhes issus des pycnides. A cet effet, sous une hotte stérile à flux d'air laminaire horizontale des petits fragments de feuilles de blé (dur et tendre) de 5 à 7 cm présentant des nécroses avec beaucoup de pycnides typiques, de *M. graminicola*, sont désinfectés superficiellement à l'aide d'une solution d'hypochlorite de sodium à 2 % pendant 7 à 10 mn, puis rincés deux fois à l'eau distillée stérile et ensuite séchés sur du papier filtre stérile. Des fragments de 4 cm sont placés dans des boîtes de Pétri contenant du papier buvard stérile et humide, et sont incubés à une température ambiante du laboratoire allant de 20 à 22°C.

Lorsque les feuilles sont encore vertes, au bout de 4 à 5 heures, les pycnides exsudent une gelée sporifère de couleur blanc crème qui constitue le cirrhe contenant les pycnidiospores. Afin d'obtenir des cultures mono pycnidiennes et monosporales, le cirrhe obtenu à partir des pycnides est placé directement dans un tube à essai contenant de l'eau distillée stérile afin d'obtenir une suspension de spores qui sera ensuite répartie dans des boîtes de Pétri contenant le milieu de culture YMA. Des spores en germination sont ensuite prélevées individuellement et ensemencées sur le milieu de culture YMA (Yeast Malt Agar) favorable au développement de *M. graminicola* (Ricardo et Sharen, 1985). Les cultures de *M. graminicola* sont incubées sous un éclairage continu et une température ambiante du laboratoire (20 à 25°C).

Le milieu YMA a été réalisé selon la composition indiquée par Ricardo et Sharen (1985) qui se présente comme suit :

- Extrait de Malt : 4g
- Extrait de Levure : 4g
- Saccharose : 4g
- Agar agar : 15g
- Eau distillée : 1000 ml

Après les isollements et la purification des isolats, nous avons obtenu une collection de 23 isolats du blé dur et 04 isolats du blé tendre.

### **2.1.2 Matériel végétal**

---

La variabilité du pouvoir pathogène de *M. graminicola* est étudiée sur trois variétés de chaque espèce de blé (tabl.3) ; ces variétés proviennent de la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Oued Smar, elles sont choisies parmi les variétés les plus cultivées en Algérie et présentant des niveaux de résistance :

- Variété résistante (V1),
- Variété moyennement résistance/sensible (V2)
- Variété sensible (V3).

**Tableau 3 : Variétés de blé dur et blé tendre utilisées pour l'étude du pouvoir pathogène des isolats de *M. graminicola***

Variétés de blé dur	Variétés de blé tendre
V1= Bidi 17 V2= Vitron V3= Waha	V1= Anza V2= HD1220 V3= Mahon Demias.

## **2.2 Méthodes**

### **2.2.1 Etude de la variabilité culturelle de *M. graminicola***

---

Après la purification des isolats de *M. graminicola*, des cultures sont réalisées sur le milieu YMA et sont maintenues à la température ambiante du laboratoire entre 20 et 22 °C, sous une lumière continue pendant 15 jours. Des notations sur les différences culturelles des

---

colonies des isolats ont porté particulièrement sur le type de la culture : aspect des colonies, couleur, superficie, forme, bordure, structure interne ainsi que sporulation.

### **2.2.2 Etude de la variabilité morphologique des isolats de *M. graminicola***

---

La variabilité morphologique étant l'un des critères privilégiés de la diversité des populations ; une mensuration de 100 pycnidiospores par isolats est réalisée sur les 27 isolats de *M. graminicola* , pour lesquels une estimation des dimensions de la longueur et du diamètre des pycnidiospores ; cette mensuration est effectuée à l'aide d'un microscope photonique préalablement étalonné.

### **2.2.4 Etude du pouvoir pathogène par la technique d'inoculation artificielle sous serre**

---

#### **2.2.4.1 Essai sur le blé dur et tendre**

Les variétés de blé dur et tendre utilisées lors des inoculations artificielles sont indiquées dans le tableau 3. Notre choix a été porté au hasard sur trois variétés de chaque espèce de blé.

#### **2.2.4.2.Obtention des plants**

Les semis sont réalisés dans des terrines en plastique de 30 cm x 15 cm contenant un substrat formé d'un mélange de 1/3 de sable, 1/3 de terre et 1/3 de terreau, préalablement désinfecté à la chaleur.

Les semis sont réalisés à raison de 09 graines par lignes et 03 lignes par terrine pour chacune des trois variétés (Fig.8). Les terrines sont mises en place selon un dispositif à randomisation totale à 03 répétitions (Fig.9) et (Fig.10). Nous avons noté la température journalière et nocturne qui était respectivement de 23 à 25 °c et de 9 à 12°c. Pour les terrines témoins, nous avons prévu 01 témoin par variété ce qui nous donne 9 terrines témoins dont 03 témoins pour les variétés de blé dur et 03 témoins pour les variétés de blé tendre.

#### **2.2.4.3.Obtention de l'inoculum**

L'inoculum est préparé à partir de cultures d'isolats âgées de 7 à 10 jours ayant poussé sur le milieu YMA ; pour induire une sporulation intense, les cultures sont maintenues sous un éclairage NUV qui semble favoriser la sporulation (Jenkyn et King, 1977). Sous ces conditions, la formation de crèmes sporifères de *M. graminicola* sont récupérées à la surface du milieu de culture et sont mises en suspension dans des tubes contenant de l'eau distillée stérile, puis ajustées à une concentration de  $10^6$  spores/ml, constituant ainsi l'inoculum. L'inocum a été réalisé en effectifs égaux.

#### **2.2.4.4.Technique d'inoculation**

L'inoculation est réalisée par pulvérisation des plantules de la suspension de conidies auquel est ajouté 0.5% de gélatine et du Tween 20 à raison de 5 gouttes par litre pour favoriser l'adhésion des conidies sur le feuillage (Mazzouz et al, 2000) ; les terrines

sont incubées au niveau de la serre du département de Botanique de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA) d'El Harrach.

La suspension est ensuite pulvérisée sur les plantules au stade trois feuilles (Fig.11). Les plants témoins sont pulvérisés avec de l'eau. Afin de maintenir une humidité élevée nécessaire à l'infection et au développement des symptômes, nous avons recouvert chaque terrine par un sac en PVC transparent pour laisser passer la lumière (Fig.12). Pendant les 72 heures après l'inoculation, un humidificateur est placé entre les terrines ; les plantules sont arrosées tous les jours à raison de deux à quatre pulvérisations par jour.

#### **2.2.4.5. Notations et évaluation de la maladie**

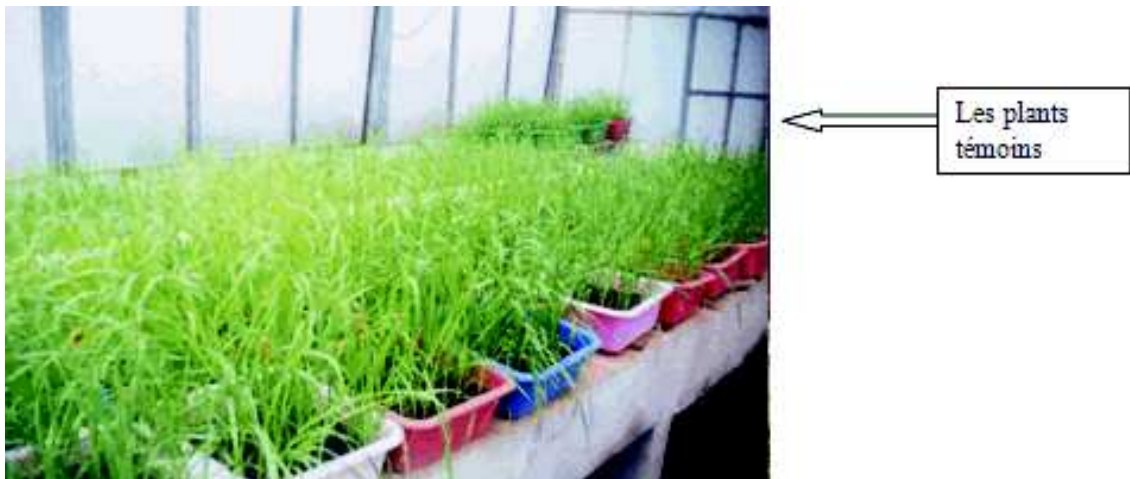
Les notations ont porté sur quatre paramètres essentiels exprimant la résistance et le pouvoir pathogène (El Bouami et Jlibene, 1996).



*Figure 8 : Plants de blé obtenus.*



*Figure 9 : Dispositif expérimental adopté pour l'inoculation du blé dur.*



**Figure 10 :** Dispositif expérimental adopté pour l'inoculation du blé tendre.

**a) Période d'incubation (PI) :** Temps exprimé en jours qui sépare la contamination et le début d'apparition des taches chlorotiques causées par le pathogène.

**b) Période de latence (PL) :** Temps exprimé en jours qui sépare la contamination et le début d'apparition des premières pycnides.

**c) Surface foliaire nécrosée (SFN) :** Notée au 24<sup>ème</sup> jour après la contamination, elle est exprimée selon une échelle de 1 (10% de la SFN) à 9 (90% de la SFN) (Eyal et al. 1987) comme indiqué dans le tableau 4.

**Tableau 4 :** Echelle de notation de 1 à 9, exprimant la surface foliaire nécrosée (SFN).

Classes	% de surface foliaire nécrosée
1 3 5 7 9	10% de SFN 30% de SFN 50% de SFN 70% de SFN 90% de SFN

**d) Densité pycnidienne (DP) :** Notée au 24<sup>ème</sup> jour après la contamination, elle est évaluée selon une échelle de 0 à 4, avec 0 indiquant l'absence de pycnides et 4 présence de pycnides abondantes ; le niveau de réaction variétale s'établit comme suit :

- 0 : Très résistant (TR).
- 1 : Résistant (R).
- 2 : Moyennement résistant (MR).
- 3 : Moyennement sensible (MS).
- 4 : Sensible (S).

### 2.2.5. Analyse et interprétation statistique des résultats

L'analyse statistique des résultats est réalisée par une analyse de la variance et une analyse hiérarchique des groupements, des individus ou des paramètres étudiés selon le logiciel STATITCF version 5.0.



**Figure 11** : Méthode de pulvérisation de l'inoculum à la manière d'une pluie sur les plantules du blé.



**Figure 12** : Disposition des terrines recouvertes par du film plastique afin de maintenir une humidité saturante.

Nous avons utilisé ces analyses statistiques pour montrer le rapprochement ou l'éloignement entre les deux facteurs isolats et variétés, ensuite nous avons analysé un seul facteur qui est l'isolat afin de mettre en évidence la variabilité de leur pouvoir pathogène.

## 2.2.6 Technique d'obtention du téléomorphe, *M. graminicola*

Parmi les facteurs moyens d'initiation des épidémies de la septoriose, la forme parfaite *M. graminicola* est à l'origine de la production des ascospores comme inoculum primaire. A cet effet, nous avons essayé de rechercher l'existence des groupes de compatibilité sexuelle des isolats de *M. graminicola*.

### 2.2.6.1 Description de la technique d'obtention des Mating types MAT 1-1 et MAT 1-2

Des croisements *in vitro* ont été réalisés deux à deux entre les isolats afin d'identifier les groupes de compatibilité de la reproduction sexuée, soit au total 78 combinaisons de suspensions de conidies inoculées. A cet effet, nous avons adopté le protocole décrit par Kaiser et Kusmenoglu (1997) et appliqué pour *Ascochyta rabiei*.

Les étapes importantes de ce protocole sont décrites ci-dessous:

1. Des feuilles et tiges de blé tendre récoltées au stade maturité (chaume), sont coupées en morceau de 5 à 7 cm.
2. Chaque morceau de feuille de blé est recouvert par du papier aluminium.
3. Stérilisation par autoclavage à 120 C° pendant 20 minutes
4. Des suspensions de spores de (1x10<sup>6</sup> spores / ml) sont préparées pour chaque isolat.
5. Des morceaux de feuilles stérilisés, sont plongés dans des tubes à essais contenant 20 ml de suspension conidienne des 2 isolats mélangés deux à deux à concentration égale et volume égal durant environ 60 mn.
6. Les morceaux de feuilles inoculés sont égouttés et placés sur 2 couches de papier filtre (Wattman) stérile dans des boîtes de Pétri stériles en Pyrex.
7. Les boîtes sont ensuite incubées à 22 C° pendant 24 heures puis placées à 10° C à l'obscurité.
8. Après 5 à 6 semaines, des observations pour la formation des pseudothèces, la forme parfaite de *M. graminicola* sont effectuées à la loupe tous les jours.
9. Chaque couple de croisement est représenté par une boîte de Pétri contenant 1 et 2 morceaux respectivement de tige et de feuilles, inoculées par un couple d'isolats (Tabl.05).

### 2.2.6.2 Confirmation des Mating types MAT 1-1 et MAT 1-2 obtenus

A partir de la quatrième semaine d'incubation des échantillons, des observations sous la loupe et au microscope sont réalisées quotidiennement sur les confrontations mises en incubation. Nous procédons au début à l'observation des échantillons sous la loupe pour détecter la formation sous épidermique des pseudothèces. Le cas échéant, ces périothèces sont prélevés avec une aiguille stérile sous la hotte stérile, mis entre lame et lamelle, légèrement écrasés, cela afin d'observer sous microscope les asques et ascospores.

### 2.2.6.3 Isolement des ascospores de *M. graminicola* et confirmation de l'anamorphe *S.tritici*

Les périthèces obtenus, sont prélevés et écrasés dans quelques gouttes d'eau stérile, puis étalés en boîte de Pétri contenant le milieu de culture PDA. Ces dernières sont incubées sous une lumière blanche continue à une température de 22 °C jusqu'à obtention du stroma de *S.tritici*.

**Tableau 5 : Couples de croisements effectués pour l'obtention des groupes de compatibilité des isolats de *M. graminicola*.**



Isolats	Croisements effectués
MG.BD.03.01A	MG.BD.03.01A x MG.BT.04.02 MG.BD.03.01A x MG.BD.04.03 MG.BD.03.01A x MG.BD.04.04 MG.BD.03.01A x MG.BD.04.05 MG.BD.03.01A x MG.BD.04.06 MG.BD.03.01A x MG.BD.04.07 MG.BD.03.01A x MG.BD.04.08 MG.BD.03.01A x MG.BD.04.09 MG.BD.03.01A x MG.BT.04.10 MG.BD.03.01A x MG.BT.04.11 MG.BD.03.01A x MG.BT.04.12 MG.BD.03.01A x MG.BD.04.13B
MG.BT.04.02	MG.BT.04.02x MG.BD.04.03 MG.BT.04.02x MG.BD.04.04 MG.BT.04.02x MG.BD.04.05 MG.BT.04.02x MG.BD.04.06 MG.BT.04.02x MG.BD.04.07 MG.BT.04.02x MG.BD.04.08 MG.BT.04.02x MG.BD.04.09 MG.BT.04.02x MG.BT.04.10 MG.BT.04.02x MG.BT.04.11 MG.BT.04.02x MG.BT.04.12 MG.BT.04.02x MG.BD.04.13B
MG.BD.04.03	MG.BD.04.03x MG.BD.04.04 MG.BD.04.03x MG.BD.04.05 MG.BD.04.03x MG.BD.04.06 MG.BD.04.03x MG.BD.04.07 MG.BD.04.03x MG.BD.04.08 MG.BD.04.03x MG.BD.04.09 MG.BD.04.03x MG.BT.04.10 MG.BD.04.03x MG.BT.04.11 MG.BD.04.03x MG.BT.04.12 MG.BD.04.03x MG.BD.04.13B
MG.BD.04.04	MG.BD.04.04x MG.BD.04.05 MG.BD.04.04x MG.BD.04.06 MG.BD.04.04x MG.BD.04.07 MG.BD.04.04x MG.BD.04.08 MG.BD.04.04x MG.BD.04.09 MG.BD.04.04x MG.BT.04.10 MG.BD.04.04x MG.BT.04.11 MG.BD.04.04x MG.BT.04.12 MG.BD.04.04x MG.BD.04.13B
MG.BD.04.05	MG.BD.04.05x MG.BD.04.06 MG.BD.04.05x MG.BD.04.07 MG.BD.04.05x MG.BD.04.08 MG.BD.04.05x MG.BD.04.09 MG.BD.04.05x MG.BT.04.10 MG.BD.04.05x MG.BT.04.11 MG.BD.04.05 x MG.BT.04.12 MG.BD.04.05 x MG.BD.04.13B
MG.BD.04.06	MG.BD.04.06x MG.BD.04.07 MG.BD.04.06x MG.BD.04.08 MG.BD.04.06x MG.BD.04.09 MG.BD.04.06x MG.BT.04.10 MG.BD.04.06x
	MG.BT.04.11 MG.BD.04.06x MG.BT.04.12 MG.BD.04.06x MG.BD.04.13B
MG.BD.04.07	MG.BD.04.07x MG.BD.04.08 MG.BD.04.07x MG.BD.04.09 MG.BD.04.07x MG.BT.04.10 MG.BD.04.07x MG.BT.04.11 MG.BD.04.07x MG.BT.04.12 MG.BD.04.07x MG.BD.04.13B
MG.BD.04.08	MG.BD.04.08x MG.BD.04.09 MG.BD.04.08

## 3 .RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 3.1. Présentation des prospections et des isolats obtenus de *M. graminicola*

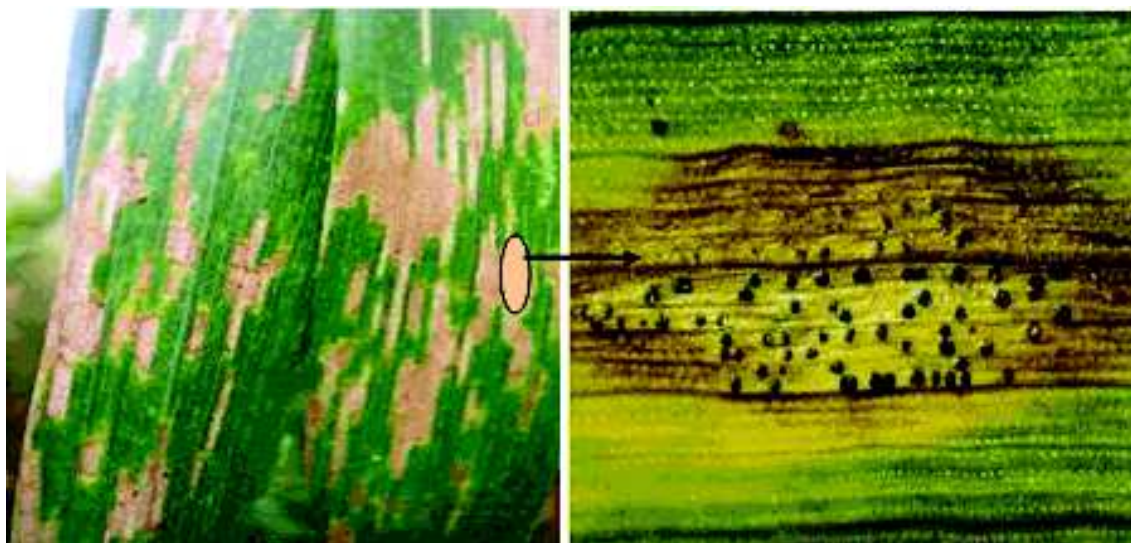
Les prospections réalisées au mois de Mai durant deux campagnes agricoles successives 2003/2004 et 2004/2005, nous ont permis de noter une forte présence de la septoriose causée par *M. graminicola* dans le Nord Est algérien (Annaba, Constantine et Tizi Ouzou) et le centre algérois (Alger). En particulier, durant la campagne 2004/2005, les prévalences notées pour *M. graminicola* au niveau de la station ITGC de Oued Smar, étaient de 60%. De plus, toutes les variétés cultivées du blé dur et tendre ont présenté une sensibilité vis-à-vis de la septoriose.

Deux méthodes d'échantillonnage ont été réalisées ; la première est complètement au hasard dont les prélèvements sont réalisés sur une vingtaine de parcelles de blé dur et tendre attaquée par la septoriose. Le deuxième échantillonnage est réalisé selon le protocole de MC Donald (1991) sur une parcelle de blé dur dont l'indice d'attaque par *M. graminicola* est de 7 sur une échelle de notation de 0 à 9. Dans le deuxième cas, les échantillons de feuilles présentant des symptômes de la septoriose à *M. graminicola*, sont examinés au laboratoire pour un diagnostic précis ; l'examen microscopique des pycnidiospores a permis d'identifier l'espèce *M. graminicola*.

Nous avons obtenu une collection de 23 isolats issus du blé dur et 04 isolats issus du blé tendre ; l'ensemble des isolats de la collection est présentés dans les tableaux 6 et 7.

Tableau 6 : Isolats de *M. graminicola* obtenus du blé dur





**Figure 13** : Pycnides noires très visibles de *M. graminicola* sur feuille de blé (G : 4x10x0.8).

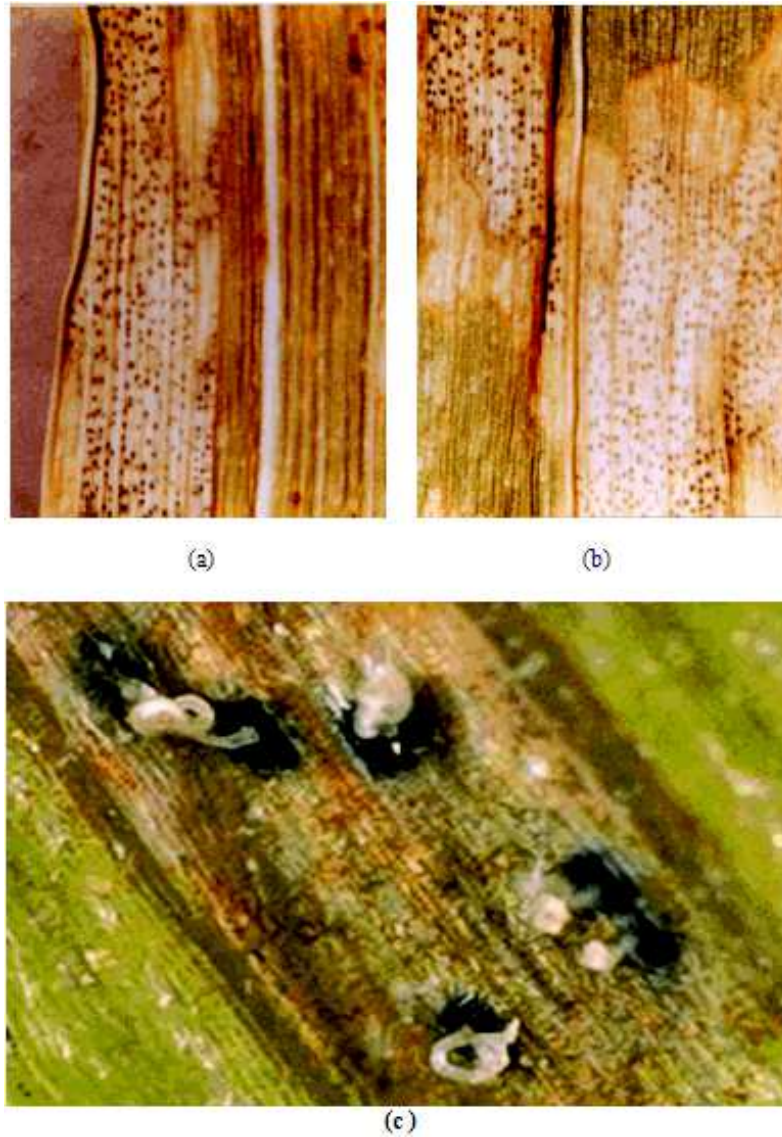
### 3.1.1 Présentation des symptômes de la tache foliaire mouchetée (Speckled Leaf Blotch) :

Des échantillons de feuilles de blé attaquées présentent des taches nécrotiques portant des pycnides noires disposées linéairement le long des nervures (Fig.13). Les nécroses de septoriose sont souvent délimitées par les nervures qui s'étendent longitudinalement et sont parsemées de pycnides noires alignées en parallèle ; l'aspect des taches est assez diversifié de couleur et de forme. Elles sont souvent irrégulières et restent localisées en des endroits comme les bords du limbe ou les espaces internervaires (Fig.14).

### 3.1.2 Description des organes de reproduction asexuée (pycnides et pycnidiospores) :

Après incubation des fragments en chambre humide, nous avons constaté qu'à partir de la 4<sup>ème</sup> heure d'incubation à une température ambiante et sous une lumière continue, les pycnides exsudent une gelée incolore transparente sous forme de tortillons, appelée cirrhe (Fig.14). Ces derniers sont très importants pour l'identification de *M. graminicola*, car ils sont visibles à l'oeil nu et à la loupe.

Les observations microscopiques montrent des pycnidiospores hyalines, filiformes et courbées à leurs extrémités, ayant 3 à 5 cloisons transversales, mesurant 35 à 98  $\mu\text{m}$  de long et 1 à 3  $\mu\text{m}$  de diamètre (Fig. 18).



**Figure 14** : Aspect des nécroses et pycnides de *M. graminicola* sur feuilles de blé (G : 1x10x0.8)

(a) Pycnides au bord du limbe ; (b) Pycnides aux espaces internervaires ; (c) Gelée exsudée par les pycnides : le cirrhe. (G : 4x10x0.8)

Caractères cultureux Isolats	TC(1)	AS(2)	CL(3)	ET(4)	FO(5)	BO(6)	SI(7)	SP(8)
MG.03.01A (I1)	ST	ST	GC	RA	C	ON	O	A
MG.03.02B (I2)	ST	ST	RE	L	I	ON	T	A
MG.03.03C (I3)	LE	ST	RC	RU	C	SO	SO	P
MG.03.04D (I4)	ST	ST	RE	RA	I	ON	T	A
MG.03.05E (I5)	ST	ST	RC	L	C	ON	O	P
MG.03.06F (I6)	M	CO	B	CO	I	F	O	A
MG.03.07G (I7)	LE	F	GC	F	I	SO	O	A
MG.03.08H (I8)	ST	ST	RC	RA	I	ON	T	P
MG.04.03 (I9)	ST	ST	RC	RA	I	ON	SO	A
MG.04.04 (I10)	LE	F	GO	RU	I	SO	O	A
MG.04.05 (I11)	ST	ST	GC	L	I	ON	T	A
MG.04.06 (I12)	LE	ST	RE	RU	C	SO	T	P
MG.04.07 (I13)	M	F	RC	F	I	F	O	A
MG.04.08 (I14)	ST	ST	RC	RA	I	ON	T	P
MG.04.09 (I15)	M	F	GC	F	I	F	O	P
MG.04.13A (I16)	LE	ST	RC	RU	C	SO	T	A
MG.04.13B (I17)	LE	F	RE	F	I	SO	O	A
MG.04.13C (I18)	ST	ST	RE	RA	I	ON	SO	P
MG.04.13D (I19)	LE	ST	GC	RU	C	SO	SO	P
MG.04.13E (I20)	ST	ST	RC	L	I	ON	T	A
MG.04.13F (I21)	LE	F	GC	RU	C	SO	SO	P
MG.04.13G (I22)	LE	F	GO	F	I	SO	O	A
MG.04.13H (I23)	ST	ST	RE	RA	I	ON	T	A

**Tableau 8:** Caractères cultureux des 23 isolats de *M. graminicola* du blé dur observés sur le milieu de culture YMA.

Caractères cultureux Isolats	TC(1)	AS(2)	CL(3)	ET(4)	FO(5)	BO(6)	SI(7)	SP(8)
MG.04.02 (I24)	ST	ST	RC	RA	I	ON	T	A
MG.04.10 (I25)	MY	CO	B	CO	I	F	O	A
MG.04.11 (I26)	ST	ST	RE	RA	I	ON	T	A
MG.04.12 (I27)	ST	ST	RE	RA	C	ON	SO	P

**Tableau 9:** Caractères cultureux des 04 isolats de *M. graminicola* du blé tendre observés sur le milieu de culture YMA.

**Légende :**

1. TC (Type de culture) : ST (Stromatique) ; LE (Levure) ; MY (Mycélienne).
2. AS (Aspect des colonies) : CO (Cotonneuse) ; F (Filamenteuse)
3. CL (Couleur) : RO (Rose obscur) ; RC (Rose clair) ; GC (Gris clair) ; GO (Gris obscur) ; RE (Rose) ; B (Blanc).
4. ET (Etendue) : L (Lisse) ; RU (Rugueuse) ; RA (Radiieuse (brillante)) ; CO (Cotonneuse) ; F (Filamenteuse).
5. FO (Forme) : C (Circulaire) ; I (Irrégulière).

6. BO (Bordure) : F (Filamenteuse) ; ON (Ondulée) ; SO (Solide).
7. SI (Structure interne) : O (Opaque) ; SO (Solide) ; T (Transparente).
8. SP (Sporulation) : A (Abondante) ; P (Pauvre).

## 3.2 .Variabilité culturelle des isolats de *M. graminicola*

### 3.2.1. Description des types cultureux de *M. graminicola* après isolement et conservation

---

Après plusieurs repiquages, les colonies monoconodiennes de *M. graminicola* ont présentées des différences culturelles très distinctes. Ces dernières ont été classées en trois types représentés comme suit :

#### 3.2.1.1 Type stromatique (crème bactérienne)

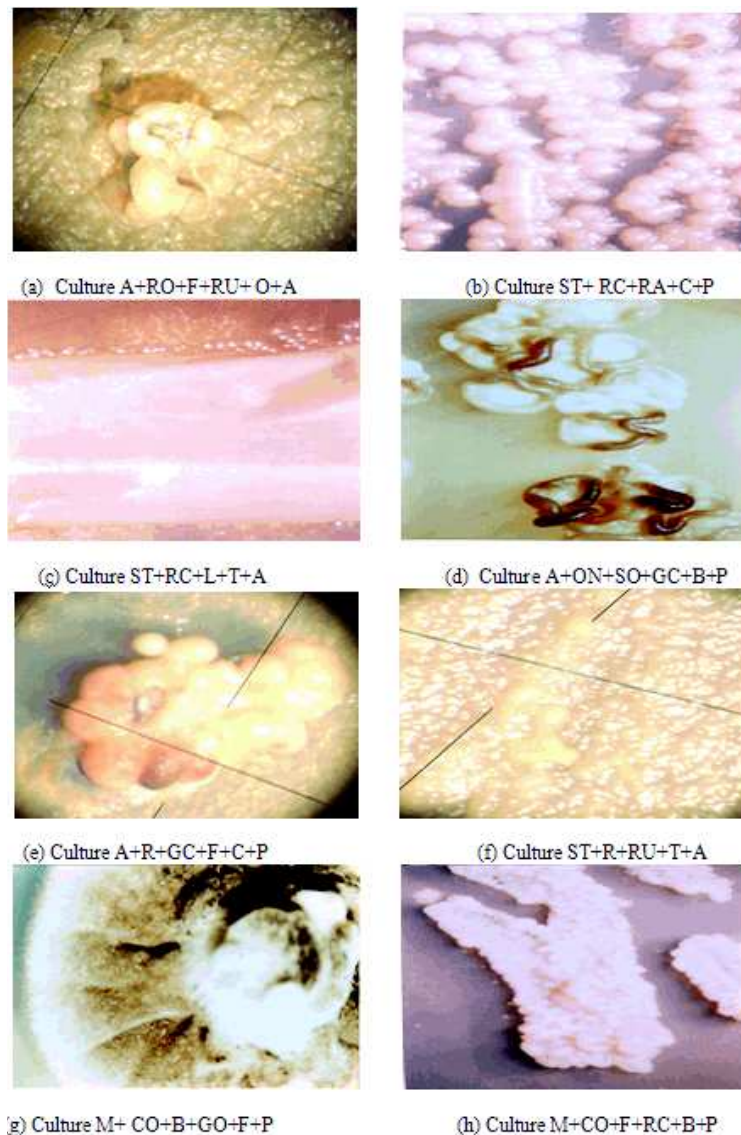
Les colonies sont minces, d'aspect mouillé comme une crème bactérienne, de forme circulaire ou parfois irrégulières, de bordure ondulée surélevée, de couleur rose clair à rose, de surface généralement radieuse et brillante (Fig. 15 b, c, et f). Ce type regroupe les isolats 11, 12, 14, 15, 18, 19, 111, 114, 118, 120 et 123 obtenus du blé dur ainsi que 124, 126 et 127 obtenus du blé tendre.

#### 3.2.1.2 Type mycélien filamenteux

Les colonies sont circulaires présentant un aspect mycélien ; leur surface est lisse et plane, de couleur rose chamois, portant une crête de mycélium cotonneux blanchâtre (Fig.15 g et h). Ce type regroupe les isolats 16, 113, 115 du blé dur et l'isolat 125 du blé tendre.

#### 3.2.1.3.Type albino

Les colonies présentent un aspect duveteux, de forme irrégulière dont les bordures sont ondulées et solides ; leur couleur est un mélange de rose clair, gris clair et gris foncé avec une surface rugueuse et filamenteuse (Fig. 15 a, d et e). Ce type regroupe les isolats uniquement du blé dur 13, 17, 110, 112, 116, 117, 119, 121 et 122. Nous avons supposé que le nombre d'isolats de blé tendre reste insuffisant par rapport aux isolats de blé dur, sur lequel nous avons constaté les 03 types d'aspect cultureux de *M. graminicola*.



**Figure 15 :** Différents aspects cultureux de *M. graminicola* (G : 4x10x0.8).

#### 3.2.1.4 Aspect des colonies après conservation :

Toutes les cultures de *M. graminicola* sur le milieu YMA, développent après une période de conservation de 90 à 120 jours, des plages d'aspect mycélien ramifié, de couleur marron foncé sur le pourtour de la masse rosâtre ; la culture devient par la suite complètement noire et sèche (Fig. 16).

Le repiquage de cette culture noircie et sèche sur un milieu de culture YMA, donne une masse d'une couleur grisâtre entouré d'un duvet blanc. L'observation microscopique d'un fragment de cette formation a révélé la présence d'un mycélium sous forme d'hyphes bourgeonnants.

Néanmoins certaines cultures conservées dans les mêmes conditions, présentent au bout de 30 à

60 jours de conservation, la formation de petites masses noires sur le stroma à partir de laquelle



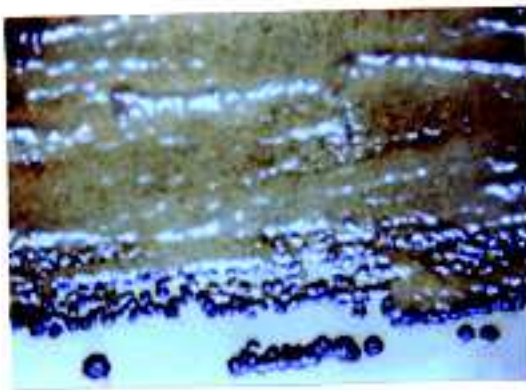
exude une crème bactérienne (Fig.17). L'examen au microscope révèle que ces formations sont constituées uniquement de mycélium.

### 3.2.2 Discussions :

La variabilité culturale de *M. graminicola* étudiée par la description des types culturaux que nous avons obtenu dans nos résultats, correspond aux fréquentes analyses de la variabilité culturale des isolats de *M. graminicola* reporté dans plusieurs études (Cordo et Lindkuist, 1987 ; Fitzgerald et Cooke, 1989).

Ainsi des variations dans les aspects de culture des colonies, ont été souvent rapportées sur les *Septoria spp.* : *Septoria lycopersici* (Perello et al, 1990), *Stagonospora nodorum* (Griffiths et Ao, 1980), *Stagonospora avenae* (Hooker, 1957) et particulièrement sur *M. graminicola* (Cordo et al, 1997). D'après ces travaux, la variabilité culturale des isolats de *M. graminicola* est exprimée par la forme des colonies, leur couleur, leur étendue, et leur bordure. De ce fait, La variabilité culturale de *M. graminicola* en Algérie est confirmée.

La variabilité culturale peut s'expliquer par la présence d'un gène inactif venant de la génération des parents qui devient actif et produit des changements dans les générations descendantes (Stakman et Harrar, 1957 in Cordo et al, 1997).



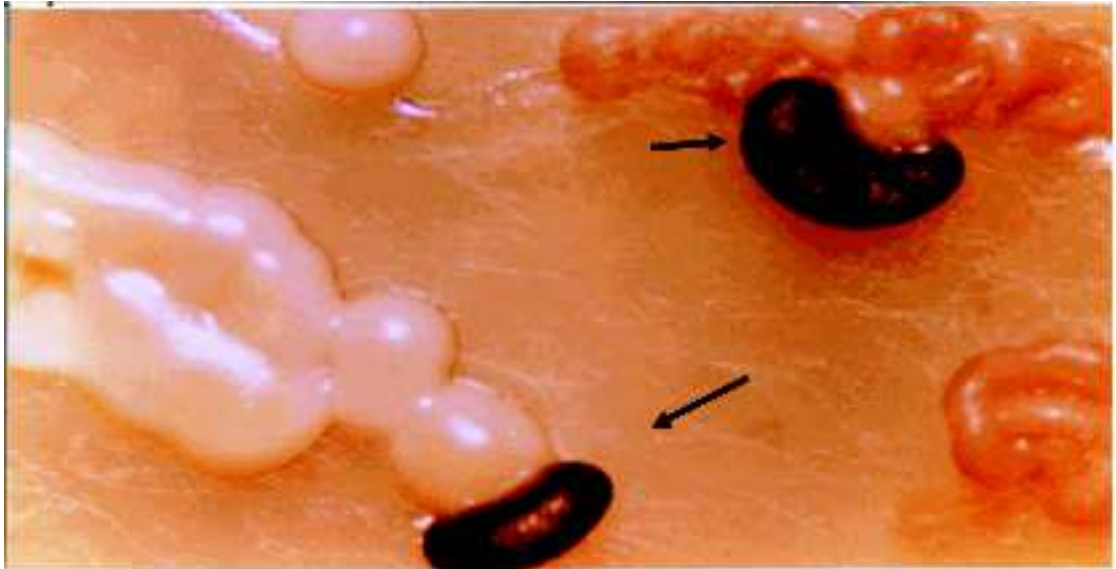
(a)



(b)

**Figure 16** : Aspect des cultures de *M. graminicola* (noire et sèche) après conservation (G : 4x10x0.8).

(a)Début de noircissement de la culture de *M. graminicola* ; (b) Culture de *M. graminicola* complètement noire et sèche.



**Figure 17** : Culture de *M. graminicola* sous forme de masse noire (flèche) à partir de laquelle exude une crème bactérienne (G : 4x10x0.8).

Pour les observations notées lors de la conservation des cultures de *M. graminicola* pour des périodes allant de 30 à 120 jours, les facteurs qui ont influencé ces variations n'ont pas pu être déterminés. Toutefois, des études rapportent que des mutations sont induites par le milieu nutritif (Griffiths et Ao, 1980) ou par des agents toxiques ou encore par des produits mutagènes (Cordo et al., 1993 ; Cordo et al., 1997) ; ces hypothèses restent à confirmer par des études plus approfondies. Il serait aussi intéressant de tester ces nouveaux types morphologiques *in vivo* afin de montrer leur effet pathologique sur le blé. Ce qui serait encore plus intéressant, c'est de réaliser une étude cytologique et moléculaire sur ces changements afin de mieux comprendre la variabilité génétique du pathogène et son comportement épidémiologique en plein champ.

### 3.3 Variabilité morphologique des pycnidiospores de *M. graminicola*

#### 3.3.1 Présentation des résultats :

L'étude morphologique des pycnidiospores de *M. graminicola* a été réalisée en mesurant la longueur et le diamètre moyen de 100 pycnidiospores prises de façon aléatoire ; ces mensurations sont présentées dans le tableau 10 où on peut distinguer les macro et micro conidies. Pour les 27 isolats, une estimation des dimensions (L) et (D), représentant successivement la longueur et le diamètre des pycnidiospores, a été faite à l'aide d'un microscope préalablement étalonné.

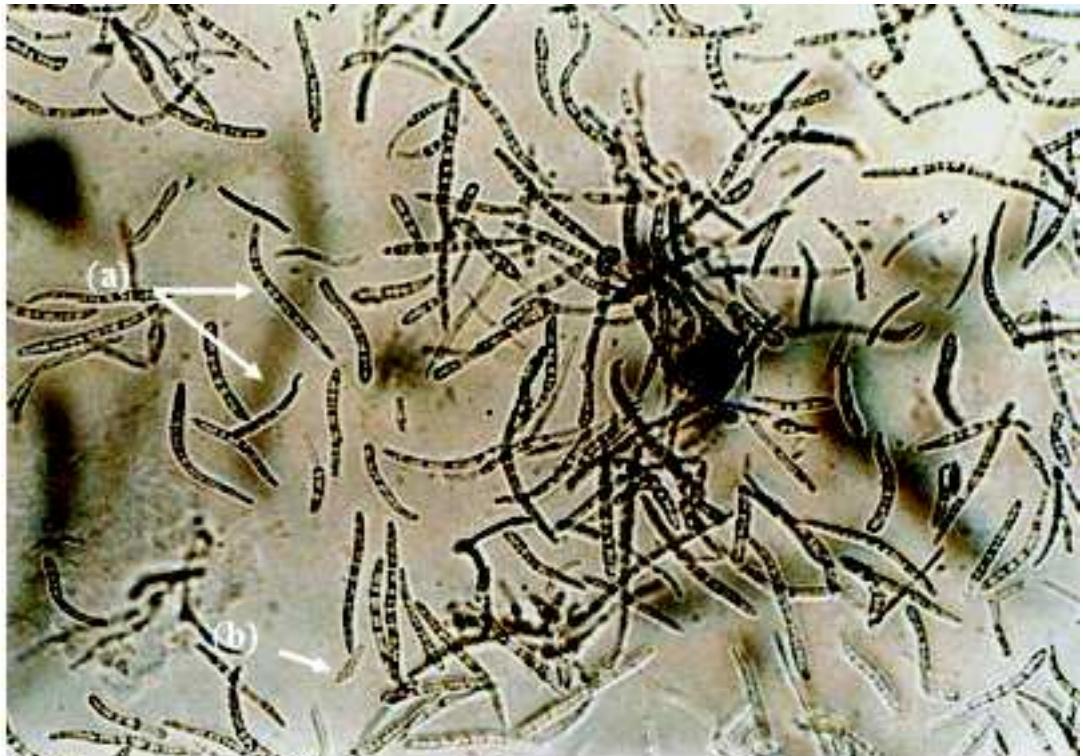
D'après les résultats obtenus, la taille des deux types de conidies de *M. graminicola*, ont montré deux types des pycnidiospores. Ces derniers sont de 35,4 à 91,9  $\mu\text{m}$  x 1,31 à 3  $\mu\text{m}$  pour les macroconidiospores qui sont hyalines, filiformes et courbées ayant 3 à 5 cloisons et de 8 à 10,22  $\mu\text{m}$  x 0,8 à 1  $\mu\text{m}$  pour les microconidiospores qui sont non cloisonnées (Fig. 18).

En effet, les mensurations de la longueur et du diamètre des pycnidiospores de *M. graminicola*, ont montré une forte variabilité morphologique entre les isolats. Les longueurs des pycnidiospores des isolats I1, I3, I5, I6 et I7 varient de 33,33 à 64,96  $\mu\text{m}$  avec des diamètres variant de 1,18 à 2,44  $\mu\text{m}$  avec une absence totale de micro-pycnidiospores. Les isolats I2 et I4 ont présentés 1 % de micro-pycnidiospores avec des mensurations de longueur et diamètre respectivement de 8,18 x 0,81  $\mu\text{m}$  et 8,5 x 0,86  $\mu\text{m}$ .

L'isolat I8 a montré plus de micro-pycnidiospores que de macro-pycnidiospores avec des mensurations de longueur et de diamètre respectivement de 9,50  $\mu\text{m}$  x 0,90  $\mu\text{m}$  et de 64,96  $\mu\text{m}$  x 1,98  $\mu\text{m}$ .

Isolats	Macro-pycnidiospores		Micro-pycnidiospores	
	Longueur moyenne ( $\mu\text{m}$ )	Diamètre moyen ( $\mu\text{m}$ )	Longueur moyenne ( $\mu\text{m}$ )	Diamètre moyen ( $\mu\text{m}$ )
I1	52.69	1.60	0.00	0.00
I2	42.49	1.48	8.18	0.81
I3	47.04	1.49	0.00	0.00
I4	50.69	1.81	8.50	0.86
I5	52.03	1.70	0.00	0.00
I6	52.72	1.71	0.00	0.00
I7	52.77	1.71	0.00	0.00
I8	33.33	1.45	9.18	0.89
I9	55.09	1.87	10.42	1.00
I10	54.51	1.88	9.52	0.98
I11	25.25	1.18	10.88	0.51
I12	30.42	1.30	10.34	0.58
I13	29.81	1.33	9.18	0.96
I14	38.56	1.44	8.16	0.81
I15	42.32	1.57	10.52	1.00
I16	47.06	1.66	8.84	0.88
I17	49.67	1.64	10.46	1.00
I18	64.96	2.44	9.50	0.90
I19	33.36	1.39	10.20	0.34
I20	46.93	1.45	8.18	0.80
I21	58.89	1.92	10.30	0.57
I22	54.14	1.85	9.88	0.95
I23	50.72	1.69	9.42	0.90
I24	45.72	1.51	9.20	0.89
I25	47.11	1.56	10.10	0.99
I26	47.43	1.56	10.34	1.00
I27	47.50	1.53	8.99	0.87

Tableau 10 : Mensuration des pycnidiospores de *M. graminicola*.



(a) Macro-conidies et (b) micro-conidies

**Figure 18 :** Types des pycnidiospores de *M. graminicola* (G : 4x10x0.8).

Il a été constaté également une différence dans la dimension des pycnidiospores au sein d'une population de *M. graminicola*, issue d'une même parcelle. Ainsi, le tableau 10 montre une variabilité intrarégionale au sein des deux groupes d'isolats obtenus à partir d'une seule parcelle de blé, composés respectivement des isolats I1 à I8 (G1) et I16 à I23 (G2). L'analyse statistique révèle des différences très hautement significatives pour les deux caractères morphologiques, longueur et diamètre des macro-pycnidiospores (Tabl. 11 et 12).

	S.C.E.	DDL	CM	Test F	Proba	E.T.	C.V.	S.S
Var.totale	20970.12	2672	7.85					
Var.Isolat	12721.09	26	489.27	156.94	0.0000			THS
Var.résiduelle 1	8249.03	2646	3.12			1.77	36.2%	

**Tableau 11 :** Analyse de la variance pour la longueur des macro-pycnidiospores de *M. graminicola*.

Le test Newman-Keuls classe les isolats en groupes homogènes selon la longueur de leurs macro-pycnidiospores.

**Test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% pour la longueur des macro-pycnidiospores**

**F1 Libelles Moyennes Groupes homogènes**

8	I8	8.85	A	
18	I18	8.66	A	
11	I11	8.36	A	
12	I12	8.31	A	
14	I14	7.42	B	
3	I3	7.13	B C	
15	I15	6.90	B C	
13	I13	6.60	C	
4	I4	5.33		D
1	I1	5.26		D
19	I19	4.73		E
2	I2	4.66		E
7	I7	4.54		E
9	I9	4.48		E
16	I16	4.48		E
10	I10	4.43		E
17	I17	4.35		E
6	I6	4.23		E
5	I5	4.07		E
27	I27	3.43		F
24	I24	2.82		G
25	I25	2.81		G
26	I26	2.72		G
21	I21	2.19		G H
20	I20	1.92		H I
22	I22	1.70		H I
23	I23	1.38		I

**Tableau 12 :** Analyse de la variance du diamètre des macro-pycnidiospores de *M. graminicola*

	S.C.E.	DDL	CM	TestF	Proba	E.T.	C.V.	S.S
Var.Totale	47.04	2672	0.02					
Var.Isolat	29.74	26	1.14	175.04	0.0000		THS	
Var.Résiduelle	17.29	2646	0.01			0.08	26.1%	

**Tableau 12 :** Analyse de la variance du diamètre des macro-pycnidiospores de *M. graminicola*

Le test Newman-Keuls a classé les isolats en groupes homogènes selon le diamètre de leurs macro-pycnidiospores.

Test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% pour le diamètre des macro-pycnidiospores :

F1 Libelles Moyennes Groupes homogènes

18	I18	0.43	A
8	I8	0.42	A B
13	I13	0.41	A B C
1	I1	0.41	A B C
12	I12	0.41	A B C
11	I11	0.40	A B C
14	I14	0.40	B C
7	I7	0.39	C D
4	I4	0.38	C D
2	I2	0.38	C D
15	I15	0.38	C D
3	I3	0.37	C D
16	I16	0.36	D E
19	I19	0.35	D E
9	I9	0.34	E F
6	I6	0.32	F
17	I17	0.32	F
5	I5	0.32	F
10	I10	0.28	G
27	I27	0.24	H
25	I25	0.22	H I
24	I24	0.22	H I
26	I26	0.20	I
22	I22	0.11	J
21	I21	0.11	J
23	I23	0.11	J
20	I20	0.10	J

### 3.3.2 Discussion

Les dimensions des pycnidiospores des 27 isolats de *M. graminicola* récoltés du blé dur et blé tendre en Algérie correspondent très sensiblement aux dimensions des pycnidiospores rapportées par Eyal et al. (1987).

La mensuration des pycnidiospores a été réalisée afin de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse de diversité morphologique. Il y a certainement une relation entre les différences constatées sur l'aspect cultural des colonies de *M. graminicola* et les mensurations de leur pycnidiospores, d'où l'intérêt de la variabilité morphologique qui a été manifesté pendant longtemps comme un indicateur privilégié de la diversité des populations. Djerbi (1978) a rapporté que le *S. tritici* montre un polymorphisme très marqué lorsqu'il est cultivé *in*

*vitro* ; pour la germination des spores, Weber (1922) avait déjà observé la production de microconidies par les pycnospores *in vitro*, Benedict (1971) en a donné une description plus détaillé et Djerbi (1972 *in* Djerbi 1978) en fait également mention *in vivo*.

## 3.4 .Variabilité pathologique des isolats de *M. graminicola*

Cette étude menée sur les différents stades de développement de la septoriose est suivi par l'évaluation des quatre paramètres de la maladie : PI, PL, SFN et DP permettant d'apprécier le pouvoir pathogène des isolats et la résistance des génotypes.

### 3.4.1 Période d'incubation (PI)

---

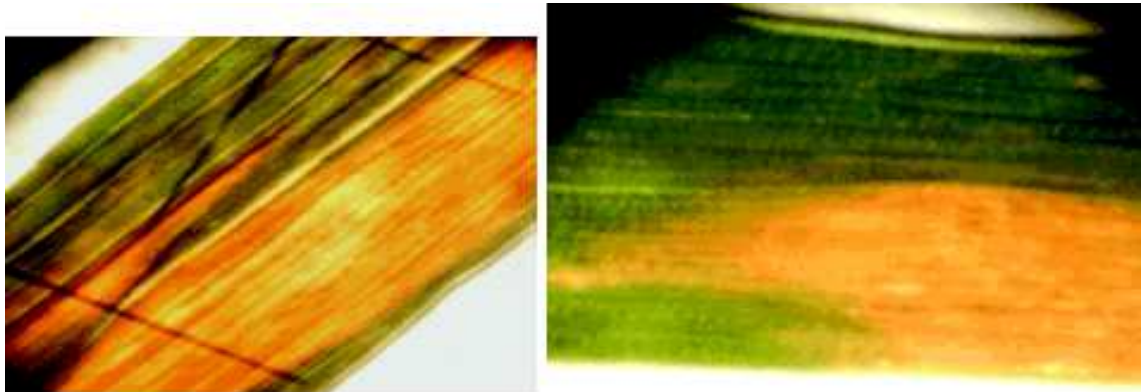
#### 3.4.1.1 Présentation des résultats

La période d'incubation se manifeste par l'apparition des premières chloroses sur les extrémités des feuilles ; cette période est variable selon les variétés. Ainsi la variété de blé tendre Mahon Demias et les variétés de blé dur Waha et Bidi17, restent vertes sans symptômes jusqu'au 10<sup>ème</sup> jour, alors que les premiers symptômes apparaissent à partir du 5<sup>ème</sup> jour pour le blé dur Vitron et pour le blé tendre HD1220 (Tabl.1 et 2 en annexe, Fig. 20 et Fig.21). Ces premiers symptômes se présentent sous forme de taches chlorotiques de couleur vert clair au début puis jaunâtre à brun brique par la suite. D'abord de forme ronde à ovale, ces taches chlorotiques prennent plus tard une forme allongée (Fig. 19).

Il apparaît donc sur une même variété de blé dur, une différence dans la période d'incubation entre les isolats I2, I5, I8 et I12 qui provoquent des chloroses sur les deux variétés Bidi17 et Vitron après seulement 5 jours d'incubation. En revanche l'isolat I17 ne donne des chloroses sur ces mêmes variétés qu'après 9 à 10 jours d'incubation. Pour l'essai blé tendre, il a été constaté que l'isolat I26 a donné des chloroses au bout du 5<sup>ème</sup> jour après inoculation (Fig. 21).

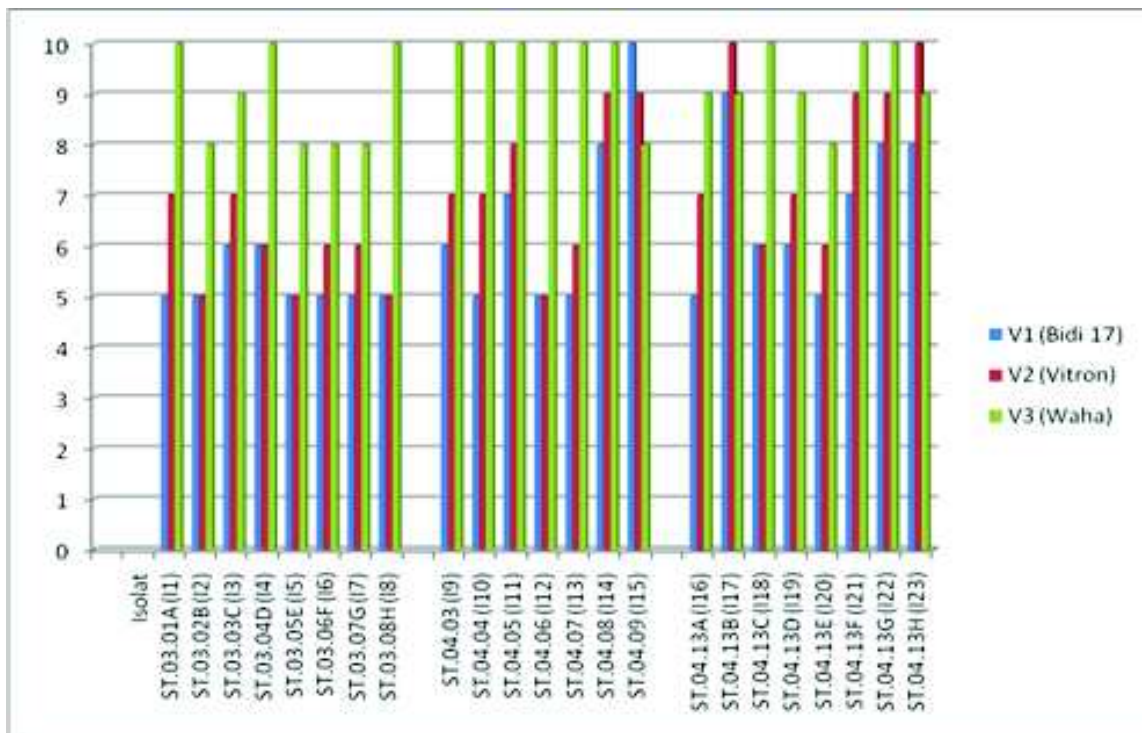
Par ailleurs l'étude des deux groupes d'isolats échantillonnés d'une même localité, a montré des différences de leur degré d'attaque sur une même variété. En effet, les six isolats I1, I2, I5, I6, I7 et I8 provoquent des chloroses sur la variété Bidi17 à partir du 5<sup>ème</sup> jour alors que les isolats I3 et I4 provoquent les nécroses au 6<sup>ème</sup> jour a peu de différence près. Nous pouvons conclure que sur cette même variété de blé dur, les 08 isolats du premier groupe ont provoqué les premiers symptômes au bout d'une même période d'incubation. Le comportement de ces 08 isolats est très différent vis-à-vis des deux autres variétés Vitron et Waha ; ils ont manifesté des chloroses entre le 5<sup>ème</sup> et le 7<sup>ème</sup> jour sur la variété Vitron et à partir du 8<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> jour sur la variété Waha. Ces 08 isolats ont marqué une nette différence de comportement entre les 03 variétés ainsi qu'au sein de la même variété. Sur la variété Vitron la plus cultivée en Algérie, les isolats I2, I5 et I7 ont montré des chloroses au bout du 5<sup>ème</sup> jour, I4, I16 et I7 au bout du 5<sup>ème</sup> jour et I1 et I3 au bout du 7<sup>ème</sup> jour, la différence est légère mais elle existe.

Concernant le 2<sup>ème</sup> groupe d'échantillonnage, les huit isolats se sont montrés très différents sur la variété Vitron. Les isolats I18 et I20 ont montré des chloroses au bout du 6<sup>ème</sup> jour, les isolats I16



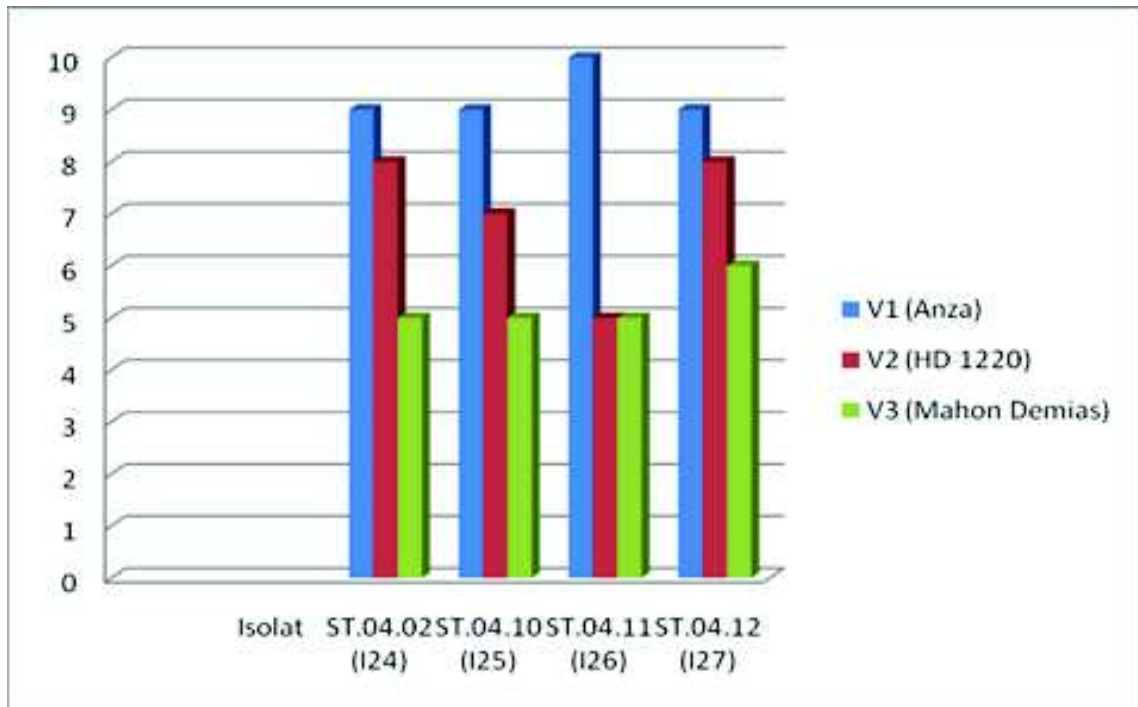
(a) Face inférieure de la feuille ; (b) Face supérieure de la feuille

**Figure 19 :** Palissement du limbe, premier symptôme provoqué par *M. graminicola* sur la feuille du blé (G : 1x10x0.8).



**Figure 20 :** Périodes d'incubation en jours obtenues sur blé dur





**Figure 21** : Périodes d'incubation en jours obtenues sur blé tendre

et I19 au bout du 7<sup>ème</sup> jour, les isolats I21 et I22 au bout du 9<sup>ème</sup> jour et les isolats I17 et I23 au bout du 10<sup>ème</sup> jour.

Autrement, quoiqu'issus d'une même localité, les isolats se comportent différemment sur une même variété. Cela supposerait l'existence d'une variabilité pathologique intra régionale chez *M. graminicola*.

L'analyse de la variance s'est révélée non significative pour la première étape de la maladie ( $P > 0,05$ ) (Tabl. 13 et 14) respectivement sur le blé dur et le blé tendre. Par contre, la même analyse a révélée des différences très hautements significatives pour les variétés du blé dur ( $P < 0,05$ ).

	S.C.E.	DDL	CM	Test F	Proba	E.T.	C.V.	S.S
Var. Totale	4055.72	206	19.69					
Var. Variété	122.59	2	61.29	3.14	0.0454			THS
Var. Isolat	445.94	22	20.27	1.04	0.4241			N.S
Var. Inter F1*2	790.52	44	17.9	0.92	0.6170			
Var. Résiduelle 1	2696.67	138	19.54			4.42	58.8%	

**Tableau 13** : Analyse de la variance de la période d'incubation (PI) sur le blé dur.

	S.C.E.	DDL	CM	Test F	Proba	E.T.	C.V.	S.S
Var. Totale	4600.55	35	131.44					
Var. Variété	539.39	2	269.69	2.08	0.1448			
Var. Isolat	237.00	3	79.00	0.61	0.6186			N.S
Var. Inter F1*2	715.50	6	119.25	0.92	0.4984			
Var. Résiduelle 1	3108.67	24	129.53			11.38	132.2%	

**Tableau 14** : Analyse de la variance de la période d'incubation (PI) sur le blé tendre.

### 3.4.1.2 Discussion

Les premiers symptômes de *M. graminicola* apparaissent généralement 5 à 6 jours après l'inoculation, sous forme de lésions chlorotiques et l'ensemble des isolats a donné des chloroses au bout du 7<sup>ème</sup> jour d'incubation ; cela correspond à ce qui est rapporté par la littérature (Eyal et al., 1976 ; Zillinsky, 1983 ; Eyal et al., 1987).

Les différences de comportement obtenues par les isolats de blé dur et blé tendre sur leurs hôtes respectifs, peuvent s'expliquer par le fait que les isolats ont reconnu leur hôte spécifique ; ce qui confirme encore une fois la spécificité parasitaire de ces deux pathosystemes.

L'hypothèse de la virulence spécifique de *M. graminicola* sur les blés (dur et tendre) a été rapportée en Algérie par Touati-Hattab (2005). Dans le monde, Eyal et al. (1973) et Kema (1996) ont précisé que les isolats du blé dur et ceux du blé tendre sont considérablement différents dans leur pathogénicité. Ce type de comportement suggère que le blé dur possède des gènes de résistance autres que ceux du blé tendre (Saâdaoui, 1987). La diversité obtenue au niveau d'une même localité n'est pas surprenante puisque Wolf (1985) a rapporté l'existence d'une diversité génétique au sein d'un seul champ de blé. Mc Dermott et Mc Donald (1993) ont signalé que plus de 1 000 isolats différents peuvent être collectés en une seule localité pour un seul pathogène.

## 3.4.2 Période de latence (PL)

### 3.4.2.1 Présentation des résultats

Les résultats obtenus pour la période de latence, nous montrent le temps en jours, qui correspond respectivement à l'apparition des pycnides pour le blé dur et le blé tendre illustré par la figure 22.

Les résultats de la période de latence (Tabl 3 et 4 en annexe) montrent que les pycnides se forment sur les nécroses à partir du 20<sup>ème</sup> jour après inoculation selon l'agressivité des isolats et la sensibilité des variétés. Les pycnides peuvent se former parfois sur les parties

vertes du limbe (Fig.25) alors que *M. graminicola* est considéré comme un nécrotrophe qui ne devrait sporuler que sur du tissu mort.

En effet, tous les isolats ont développé des pycnides au bout de 2 à 3 semaines après inoculation, avec des différences selon les isolats et les génotypes. Le 1<sup>er</sup> groupe d'isolats (I1 à I8), a montré des différences dans la période d'apparition des pycnides ; cette période varie entre 14 et 21 jours, sauf pour l'isolat I4, qui a donné des pycnides après seulement 14 jours d'incubation sur la variété Bidi 17. Les premières pycnides sont apparues au bout du 15<sup>ème</sup> jour pour les isolats du blé dur I13, I15 et l'isolat I2 du blé tendre. Pour le reste des isolats (I9 à I27), une différence de 2 à 4 jours entre les isolats est notée pour le développement des pycnides.

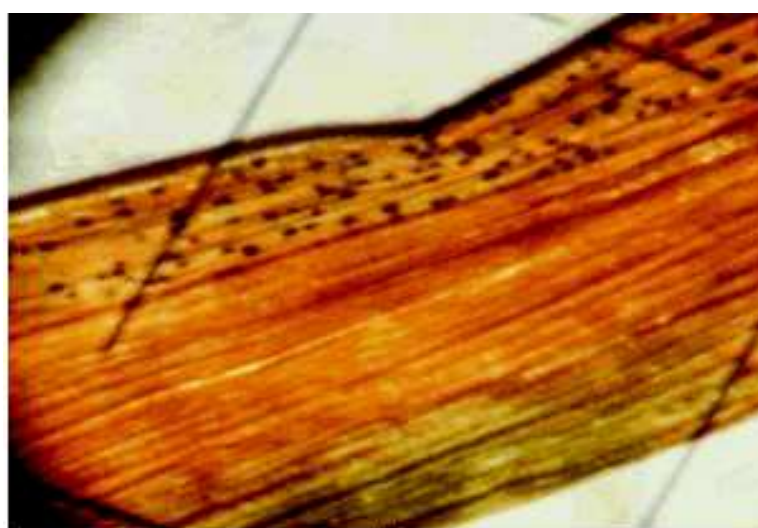
Ces différences de comportement dans l'interaction plante hôte /pathogène montrent qu'une plus grande résistance des génotypes s'est exprimée par une période de latence plus longue et dont les pycnides apparaissent plus tardivement, ou pas du tout ; en particulier l'isolat I4 s'est différencié des autres en formant de longues nécroses sans pycnides sur la variété Waha.

Toutefois, l'analyse de la variance a révélé une différence non significative entre les isolats pour la période de latence ( $P > 0,05$ ) (tabl.15 et 16 respectivement pour le blé dur et blé tendre). La même analyse a révélée des différences très hautements significatives pour les variétés du blé dur ( $P < 0,05$ ).

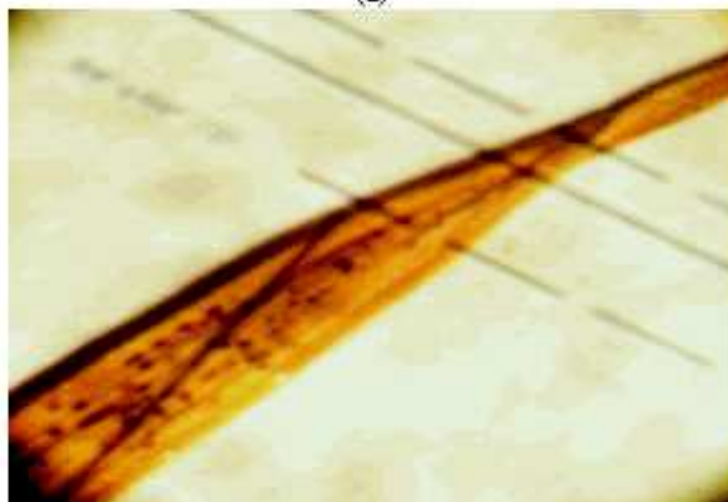
#### 3.4.2.2 Discussion

Nos résultats montrent l'apparition des pycnides entre 2 à 3 semaines d'incubation. Ces résultats correspondent à ceux rapportés par Kema et *al.* (1996a) considérant que les pycnides de *M. graminicola* apparaissent après 3 semaines d'incubation. Ces mêmes résultats ont été rapportés auparavant par Eyal et *al.* (1976) et Eyal et *al.* (1987).

L'apparition des pycnides notée après 18 jours d'incubation est localisée au niveau des nécroses disposées parallèlement aux nervures dans les cavités somatiques ; elles peuvent apparaître sur les deux faces de la feuille comme rapporté par Ezzahiri et *al.* (1996).



(a)



(b)

Figure 22: Pycnides de *M. graminicola* formés après inoculation (G : 1x10x0.8).

	S.C.E.	DDL	CM	Test F	Proba	E.T.	C.V.	S.S
Var. Totale	3129.31	206	15.19					
Var. Variété	131.14	2	65.57	3.95	0.0211			THS
Var. Isolat	279.09	22	12.69	0.76	0.7639			N.S
Var. Inter F1*2	429.75	44	9.77	0.59	0.9779			
Var. Résiduelle 1	2289.33	138	16.59			4.07	23.0%	

Tableau 15 : Analyse de la variance pour la période de latence (PL) sur le blé dur.

	S.C.E.	DDL	CM	Test F	Proba	E.T.	C.V.	S.S
Var. Totale	407.56	35	11.64					
Var. Variété	0.39	2	0.19	0.01	0.9868			
Var. Isolat	29.33	3	9.78	0.71	0.5588			N.S
Var. Inter F1*2	47.17	6	7.86	0.57	0.7511			
Var. Résiduelle	1 330.67	24	13.78			3.71	22.0%	

*Tableau 16 : Analyse de la variance pour la période de latence (PL) sur le blé tendre.*

### 3.4.3 Surface foliaire nécrosée (SFN)

#### 3.4.3.1 Présentation des résultats

La surface foliaire nécrosée (SFN), notée au 24<sup>ème</sup> jour après les inoculations du blé dur (Tabl.17) et blé tendre (Tabl. 18), montre que leur indice varie de 1.33 à 9 pour les variétés de blé dur. De ce fait, les isolats I9 et I15 ont manifesté un comportement très agressif sur les trois variétés avec un indice moyen d'attaque respectivement de 8.66 et 7.88.

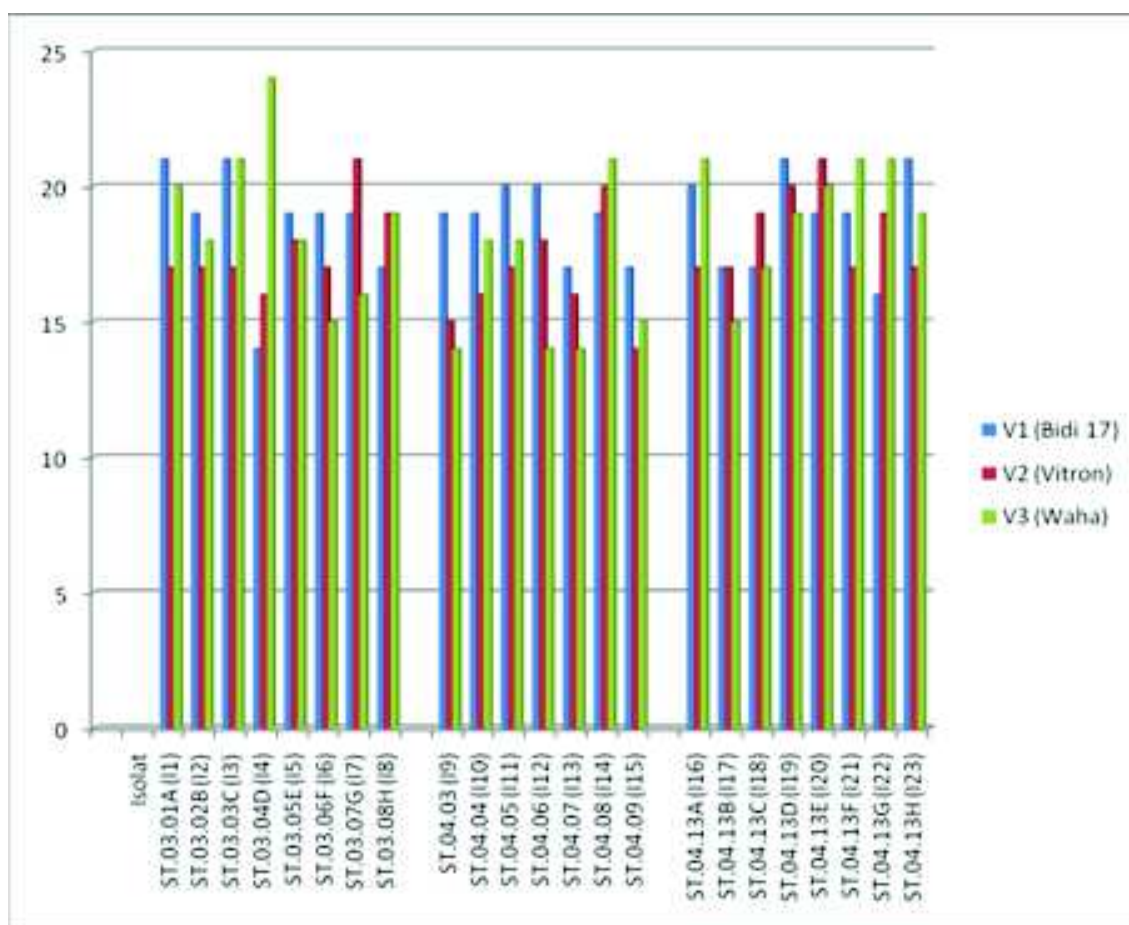


Figure.23 : Périodes de latence en jours obtenues avec les isolats de blé dur

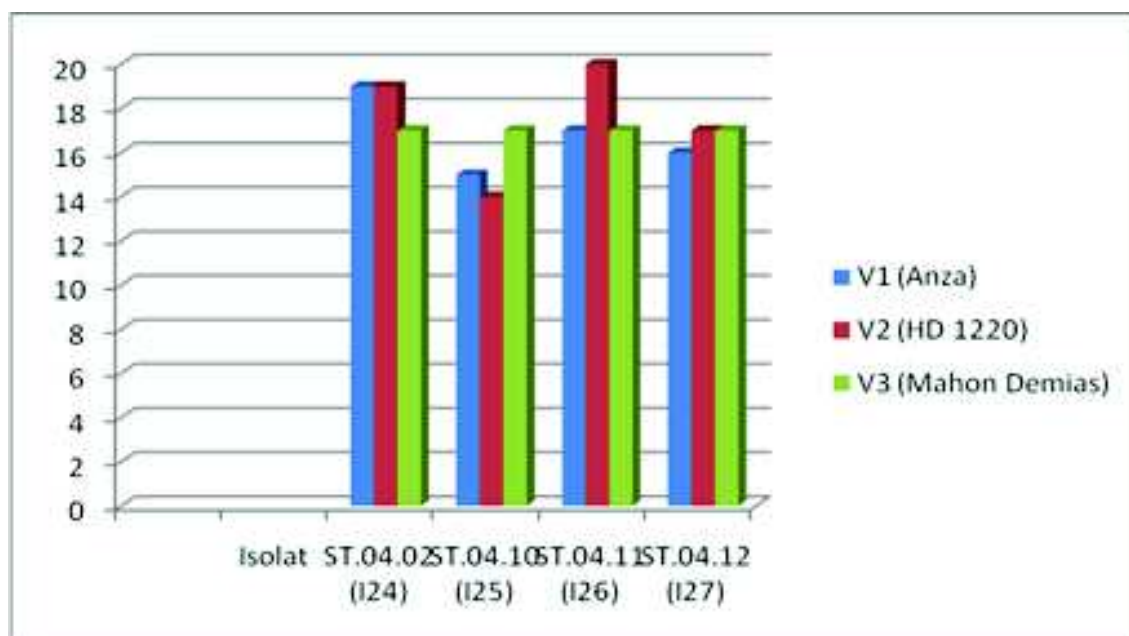
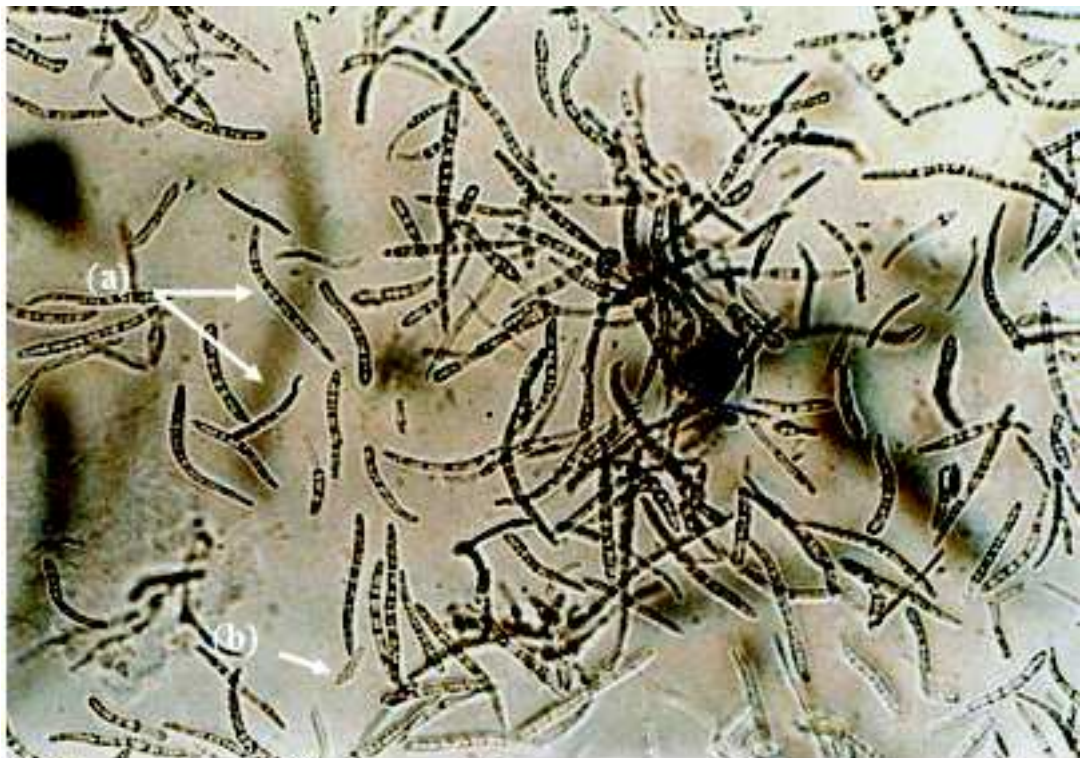


Figure.24 : Périodes de latence en jours obtenues avec les isolats de blé tendre

La surface foliaire nécrosée pour le blé tendre varié de 3 à 9 ou l'isolat I25 s'est montré très agressif avec un indice de SFN de 8.22 suivi de I27 avec un indice de SFN de 7.33, de l'isolat I26 avec un indice de SFN de 7.00 et enfin de l'isolat I24 avec un indice de SFN de 5.88. On peut conclure que, tous les isolats se sont montrés agressifs à très agressifs sur les trois variétés du blé tendre étudiées.

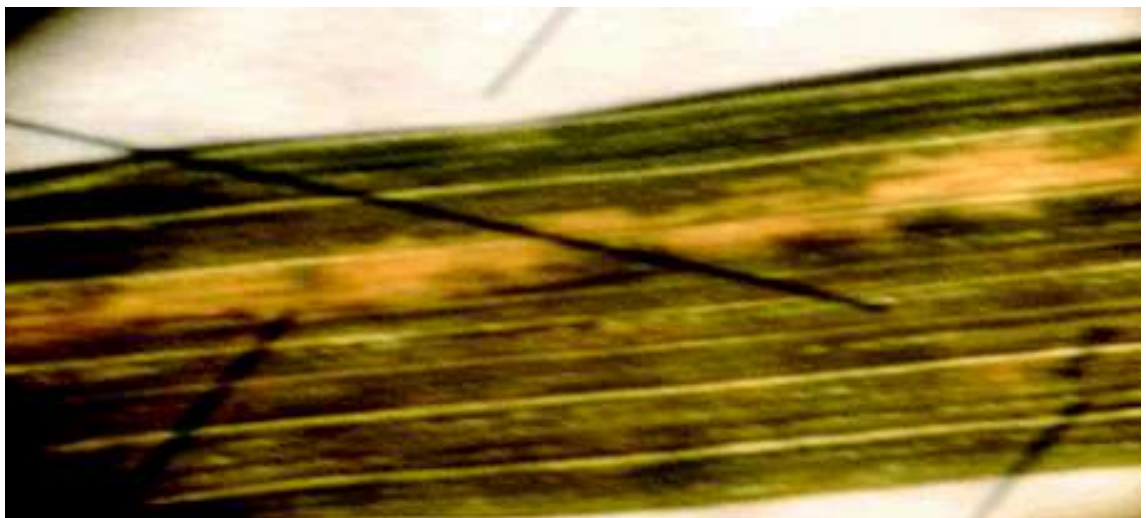
<b>Variétés</b> <b>Isolats</b>	<b>V1 (Bidi 17)</b>	<b>V2 (Vitron)</b>	<b>V3 (Waha)</b>	<b>Indice moyen</b>
<b>MG.03.01A (I1)</b>	7.33	8.00	2.33	5.88
<b>MG.03.02B (I2)</b>	6.66	7.33	6.66	6.88
<b>MG.03.03C (I3)</b>	8.33	6.33	6.00	6.88
<b>MG.03.04D (I4)</b>	7.66	8.66	1.66	5.99
<b>MG.03.05E (I5)</b>	6.66	7.00	3.33	5.66
<b>MG.03.06F (I6)</b>	5.66	5.00	1.66	4.10
<b>MG.03.07G (I7)</b>	7.33	4.33	2.33	4.66
<b>MG.03.08H (I8)</b>	6.33	5.66	1.33	4.44
<b>MG.04.03 (I9)</b>	8.33	9.00	8.66	8.66
<b>MG.04.04 (I10)</b>	5.66	6.33	1.66	4.55
<b>MG.04.05 (I11)</b>	5.33	6.00	1.66	4.33
<b>MG.04.06 (I12)</b>	6.33	8.33	5.00	6.55
<b>MG.04.07 (I13)</b>	6.66	6.00	3.33	5.33
<b>MG.04.08 (I14)</b>	5.66	3.00	2.33	3.66
<b>MG.04.09 (I15)</b>	6.00	9.00	8.66	7.88
<b>MG.04.13A (I16)</b>	7.00	5.33	3.66	5.33
<b>MG.04.13B (I17)</b>	6.33	4.66	4.66	5.21
<b>MG.04.13C (I18)</b>	6.66	6.33	4.66	5.88
<b>MG.04.13D (I19)</b>	6.33	5.33	3.66	6.44
<b>MG.04.13E (I20)</b>	7.33	8.00	4.00	6.44
<b>MG.04.13F (I21)</b>	4.00	6.33	3.66	4.66
<b>MG.04.13G (I22)</b>	7.33	9.00	4.00	6.88
<b>MG.04.13H (I23)</b>	7.66	8.66	4.33	6.88

*Tableau 17 : Indice de la SFN, obtenu sur les feuilles de blé dur.*



(a) Macro-conidies et (b) micro-conidies

*Tableau 18 : Indice de la SFN, obtenu sur les feuilles de blé tendre.*



*Fig. 25: Pycnides se formant sur les parties vertes de la feuille de blé (G : 1x10x0.8).*





**Figure. 26** : Différents niveaux de SFN sur les feuilles de blé (G : 1x10x0.8).

Les variétés de blé dur et du blé tendre se sont révélées de moyennement sensibles à sensibles vis-à-vis des isolats étudiés. Pour l'essai sur blé dur, la variété Vitron s'est montrée la plus sensible vis-à-vis des deux isolats les plus agressifs I9 et I15 avec une SFN de 9,00, suivi de la variété Waha avec une SFN de 8,66 et enfin la variété Bidi17 avec une SFN de 6,00.

Selon les groupes d'échantillonnages obtenus, nous notons une variabilité du pouvoir pathogène chez les isolats étudiés de *M. graminicola*. Au sein du premier groupe d'isolats (I1 à I8), il ya une nette différence dans leur pathogénicité vis-à-vis des trois variétés étudiées des deux espèces de blé. Toutefois, seuls les deux isolats I2 et I3 ont montré un même indice de SFN (6,88), le reste des isolats ont montré des indices de SFN très différents.

Pour l'échantillonnage au hasard, les isolats du 3<sup>ème</sup> groupe (I16 à I23), se caractérisent par une nette variabilité de leur agressivité sur les trois variétés étudiées. A l'exception des deux isolats I22 et I23, qui ont manifesté un même indice de SFN (6.88), les autres isolats se sont montrés très variables les uns par rapport aux autres. Par conséquent, nous déduisons qu'au sein d'un même champ de blé, les isolats de *M. graminicola* peuvent être pathologiquement éloignés les uns des autres. La figure 26 montre les différents niveaux de SFN sur les feuilles de blé.

L'analyse de la variance pour ce caractère (SFN) s'est révélée très hautement significative pour les isolats du blé dur ( $P < 0,05$ ) (Tab.19) et significative pour les variétés de blé tendre (Tabl.20). Le test de NEWMAN-KEULS nous a permis de classer les isolats de blé dur et les variétés de blé tendre respectivement en cinq et deux groupes homogènes. L'analyse de la variance a révélée des différences très hautements significatives pour les variétés du blé dur et tendre ( $P < 0,05$ ).

	S.C.E.	DDL	CM	Test F	Proba	E.T.	C.V.	S.S
Var. Totale	1689.59	206	8.20					
Var. Variété	449.78	2	224.89	48.94	0.0000			T.H.S
Var. Isolât	277.13	22	12.60	2.74	0.0002			THS
Var. Inter F1*2	328.56	44	7.47	1.63	0.0180			
Var. Résiduelle 1	634.11	138	4.60			2.14	45.1%	

Tableau 19 : Analyse de la variance de la SFN pour le blé dur.

Libelles	Moyennes	Groupes homogènes
9 I9	7.11	A
22 I22	6.37	A B
15 I15	6.33	A B
23 I23	6.33	A B
12 I12	5.92	A B C
2 I2	5.88	A B C
4 I4	5.15	A B C
20 I20	5.00	A B C
18 I18	4.81	A B C
5 I5	4.78	A B C
6 I6	4.77	A B C
3 I3	4.74	A B C
19 I19	4.59	A B C
8 I8	4.55	A B C
10 I10	4.48	A B C
17 I17	4.48	A B C
1 I1	4.15	A B C
13 I13	4.00	A B C
16 I16	4.00	A B C
11 I11	3.37	B C
7 I7	3.22	B C
14 I14	3.04	B C
21 I21	2.33	C

Test NEW-MEN et KEULS à 5% (Blé dur):

	S.C.E.	DDL	CM	Test F	Proba	E.T.	C.V.	S.S
Var. Totale	252.75	35	7.22					
Var. Variété	109.30	2	54.65	12.87	0.0002			H.S
Var. Isoalt	27.45	3	9.15	2.16	0.1184			
Var. Inter F1*2	14.12	6	2.35	0.55	0.7632			
Var. Résiduelle 1	101.88	24	4.24			2.06	30.1%	

Tableau 20 : Analyse de la variance pour de la SFN pour le blé tendre.

**Fl Libeles Moyennes Groupes homogènes**

3	V3	8.39	A
2	V2	7.75	A
1	V1	4.41	B

Test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% (Blé tendre)

**3.4.3.2 Discussion**

La surface foliaire nécrosée (SFN) est considérée comme un des principaux paramètres d'évaluation de la septoriose à l'égard de *M. graminicola*, comme signalée par plusieurs auteurs (Eyal et al., 1985 ; Saâdaoui, 1987 ; El Bouami et Jlibene, 1996).

D'autres auteurs considèrent que la résistance peut s'exprimer par une réduction de la densité des pycnides, une réduction de leur dimension ainsi qu'une diminution de la quantité de pycnidiospores produites (Shaner et al., 1976 ; Googh, 1978 ). En effet, la zone des tissus infectés recouverte de pycnides est l'un des paramètres importants qui conditionnent l'extension d'une épidémie de la septoriose à *M. graminicola*. La quantité de pycnidiospores produites et dissimulées à partir des fructifications dépend de l'extension de l'épidémie, d'où l'importance de l'utilisation de ce paramètre en sélection (El Bouami et Jlibene, 1996). D'après Perello et al (1991), la SFN reste un bon indicateur du développement de la maladie au niveau des variétés.

**3.4.4 Densité pycnidienne (DP)****3.4.4.1 Présentation des résultats**

Faisant suite à la surface foliaire nécrosée, la formation des pycnides (Fig.27), exprimée par la densité pycnidienne (DP) est notée au 24<sup>ème</sup> jour après inoculation (Tab.21 et 22).

Ce stade de la maladie nous a permis d'évaluer la sévérité des isolats, mais surtout d'apprécier le niveau de résistance des variétés étudiées. D'après nos résultats, nous constatons que les isolats ont présenté des différences significatives de leur densité pycnidienne (DP) pour les deux espèces de blé étudiées. Pour le blé dur, les 23 isolats ont manifesté des différences très hautement significatives sur les trois variétés étudiées (Tabl. 23).

Ainsi la variété Bidi 17 a révélé des différences de comportement à l'égard des isolats qui s'établissent comme suit :

- Résistante (R) vis à vis de l'isolat I11 avec une de DP de 0,33.
- Moyennement résistante (MR) vis-à-vis des isolats I1, I4, I5, I6, I7, I10 I12, I13, I17, I19 et I21 avec des DP de 1 à 2.
- Moyennement sensible (MS) à l'égard des isolats I8, I9, I14, I16, I18 et I20 avec des DP de 2 à 3.
- Sensible (S) vis-à-vis des isolats I2, I3, I15, I22 et I23 avec des DP de 3 à 4.

Variétés Isolats	V1 (Bidi 17)	V2 (Vitron)	V3 (Waha)
MG.03.01A (I1)	1.33	2.00	2.33
MG.03.02B (I2)	3.00	2.00	3.66
MG.03.03C (I3)	3.66	3.00	2.00
MG.03.04D (I4)	1.33	1.33	0.66
MG.03.05E (I5)	1.33	3.66	2.66
MG.03.06F (I6)	1.33	1.00	0.66
MG.03.07G (I7)	1.66	2.33	1.33
MG.03.08H (I8)	2.66	3.33	1.33
MG.04.03 (I9)	2.33	4.00	3.66
MG.04.04 (I10)	1.33	1.66	2.66
MG.04.05 (I11)	0.33	1.66	2.66
MG.04.06 (I12)	2.00	3.66	1.00
MG.04.07 (I13)	1.66	3.66	2.66
MG.04.08 (I14)	2.33	2.66	3.00
MG.04.09 (I15)	3.66	4.00	4.00
MG.04.13A (I16)	2.66	1.00	0.66
MG.04.13B (I17)	2.00	3.33	4.00
MG.04.13C (I18)	2.66	2.33	2.00
MG.04.13D (I19)	2.00	3.33	3.00
MG.04.13E (I20)	2.33	3.00	2.00
MG.04.13F (I21)	2.00	4.00	2.33
MG.04.13G (I22)	3.66	3.66	3.00
MG.04.13H (I23)	3.66	4.00	4.00

Tableau 21 : Densités pycnidiennes obtenues avec les isolats de blé dur.

Variétés Isolats	V1 (Anza)	V2 (HD 1220)	V3 (Mahon Demias)
MG.04.02 (I24)	3.33	4.00	3.66
MG.04.10 (I25)	3.00	4.00	3.33
MG.04.11 (I26)	3.00	3.66	3.33
MG.04.12 (I27)	3.33	4.00	3.00

Tableau 22 : Densités pycnidiennes obtenues avec les isolats de blé tendre.

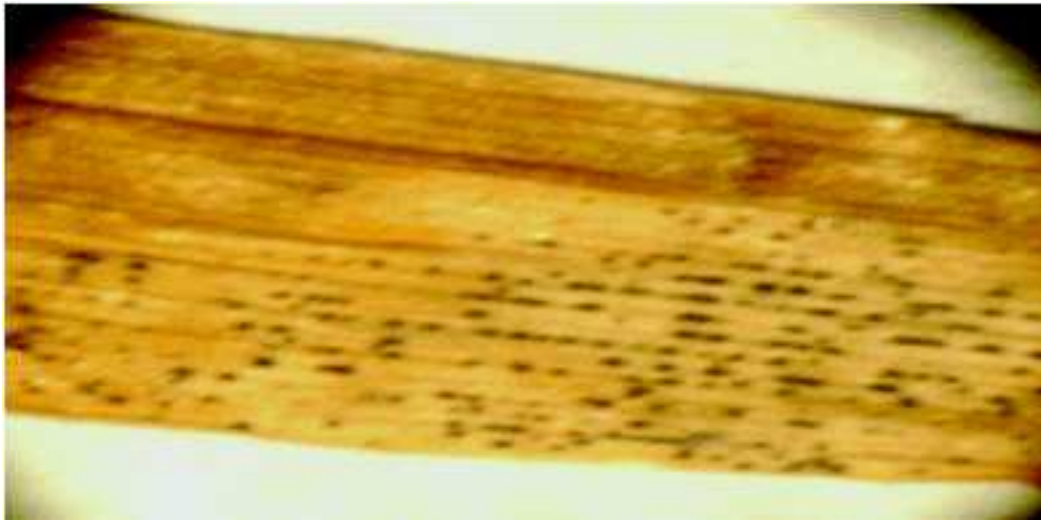


Figure. 27 : Densité pycnidienne sur la feuille de blé (G : 1x10x0.8).

Variétés	V1 (Bidi 17)	V2 (Vitron)	V3 (Waha)
<b>Isolats</b>			
MG.03.01A (I1)	MR	MR	MS
MG.03.02B (I2)	MS	MR	S
MG.03.03C (I3)	S	MS	MR
MG.03.04D (I4)	MR	MR	R
MG.03.05E (I5)	MR	S	MS
MG.03.06F (I6)	MR	R	R
MG.03.07G (I7)	MR	MS	MR
MG.03.08H (I8)	MS	S	MR
MG.04.03 (I9)	MS	S	S
MG.04.04 (I10)	MR	MR	MS
MG.04.05 (I11)	R	MR	MS
MG.04.06 (I12)	MR	S	R
MG.04.07 (I13)	MR	S	MS
MG.04.08 (I14)	MS	MS	MS
MG.04.09 (I15)	S	S	S
MG.04.13A (I16)	MS	R	R
MG.04.13B (I17)	MR	S	S
MG.04.13C (I18)	MS	MS	MR
MG.04.13D (I19)	MR	S	MS
MG.04.13E (I20)	MS	MS	MR
MG.04.13F (I21)	MR	S	MS
MG.04.13G (I22)	S	S	MS
MG.04.13H (I23)	S	S	S

Tableau 23 : Réponse des variétés étudiées vis-à-vis des isolats de blé dur.

Pour la variété Vitron, les isolats se sont comportés également différemment :

· Résistante (R) vis-à-vis des isolats I6 et I16 avec une DP de 1.

- Moyennement résistante (MR) à l'égard des isolats I1, I2, I4, I10 et I11 avec une DP de 1 à 2.
- Moyennement sensible (MS) vis-à-vis des isolats I3, I7, I14, I18 et I20 avec une DP de 2 à 3.
- Sensible (S) à l'égard des isolats I5, I8, I9, I12, I13, I15, I17, I19, I21, I22 et I23 avec une DP de 3 à 4.

La troisième variété Waha, a montré le comportement suivant :

- Résistante (R) vis-à-vis des isolats I4, I6, I12 et I16 dont la DP varie de 0 à 1.
- Moyennement résistante (MR) à l'égard des isolats I3, I7, I8, I18 et I20 dont la DP varie de 1 à 2.
- Moyennement sensible (MS) envers les isolats I1, I5, I10, I11, I13, I19 et I21 dont la DP varie de 2 à 3.
- Sensible (S) à l'égard des isolats I2, I9, I14, I15, I17, I20, I22 et I23 dont la DP varie de 3 à 4.

D'après ces résultats, nous constatons que les trois variétés de blé dur ont manifesté un comportement moyennement sensible à sensible à l'égard de la majorité des isolats. Bien que des différences significatives de densité pycnidienne (DP) ont été notées pour chaque isolat et sur chaque variété, les isolats qui ont montré une grande agressivité sur les trois variétés sont :

- L'isolat I2 sur les deux variétés Bidi 17 et Waha.
- Les isolats I9 et I17 sur les deux variétés Vitron et Waha.
- Les isolats I15, I22 et I23 sur les trois variétés Bidi 17, Vitron et Waha.

En revanche, toutes les variétés du blé tendre ont présenté une sensibilité remarquable à l'égard de tous les isolats (Tabl.24) ; nous supposons que le nombre restreint d'isolats de blé tendre ne nous permet pas de juger la diversité de leur réponse à l'égard de leur hôte.

Variété \ Isolat	V1 (Anza)	V2 (HD 1220)	V3 (Mahon Demias)
<b>MG.04.02 (I24)</b>	S	S	S
<b>MG.04.10 (I25)</b>	MS	S	S
<b>MG.04.11 (I26)</b>	MS	S	S
<b>MG.04.12 (I27)</b>	S	S	MS

**Tableau 24** : Réponse des variétés étudiées vis-à-vis des isolats de blé tendre.

L'analyse de la variance pour les isolats étudiés a révélée une différence très hautement significative pour les isolats de blé dur avec une probabilité de 0,0000 (Tabl. 25) ; le test deNEWMAN-KEULS a permis de classer les isolats en 16 groupes homogène; contrairement à l'essai sur le blé tendre où la différence est non significative (Tabl.26).

	S.C.E.	DDL	CM	Test F	Proba	E.T.	C.V.	S.S
Var. Totale	306.07	206	1.49					
Var. Facteur 1	2.36	2	1.18	1.73	0.1787			
Var. Facteur 2	154.24	22	7.01	10.28	0.0000			T.H.S
Var. Inter F1*2	55.35	44	1.26	1.84	0.0040			
Var. Résiduelle 1	94.13	138	0.68			0.83	46.1%	

**Tableau 25:** Analyse de la variance de la densité pycnidienne (DP) sur le blé dur.**Test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5% (Blé dur)**

F2	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes
15	I15	3.55	A
23	I23	3.11	A B
9	I9	2.85	A B C
22	I22	2.74	A B C D
21	I21	2.66	A B C D
17	I17	2.26	B C D E
14	I14	2.22	B C D E
19	I19	2.22	B C D E
18	I18	2.18	B C D E
2	I2	2.07	B C D E
3	I3	2.00	B C D E F
20	I20	1.89	B C D E F G
8	I8	1.78	C D E F G H
12	I12	1.59	C D E F G H I
5	I5	1.44	D E F G H I J
10	I10	1.33	E F G H I J
13	I13	1.33	E F G H I J
7	I7	1.22	E F G H I J
1	I1	0.81	F G H I J
16	I16	0.70	G H I J
11	I11	0.55	H I J
4	I4	0.44	I J
6	I6	0.29	J

**Tableau 26 :** Analyse de la variance pour de la densité pycnidienne (DP) sur le blé tendre.

	S.C.E.	DDL	CM	Test F	Proba	E.T.	C.V.	S.S
Var. Totale	38.60	35	1.10					
Var. Facteur 1	6.51	2	3.25	2.82	0.0779			
Var. Facteur 2	1.60	3	0.53	0.46	0.7143			N.S
Var. Inter F1*2	2.80	6	0.47	0.40	0.8691			
Var. Résiduelle 1	27.69	24	1.15			1.07	38.0%	

**Tableau 26 :** Analyse de la variance pour de la densité pycnidienne (DP) sur le blé tendre.

### 3.4.4.2 Discussion

Nos résultats montrent que l'agressivité des isolats est très différente d'un isolat à un autre. Cela a été confirmé par Person (1957) in Kema (1996) qui avait expliqué l'interaction entre le pathogène et la plante hôte par la relation gène pour gène. Autrement, il existerait un

locus dans le génome de la plante hôte qui maîtrise sa résistance ou bien sa sensibilité envers les pathogènes. Comme il existe un locus dans le génome du pathogène qui maîtrise sa virulence et son avirulence. De plus, Perello et al,(1991) ont rajouté que la réaction des variétés traduit les différents comportements des souches, et cela à travers les deux variables, à savoir la surface foliaire nécrosée (SFN) et la densité pycnidienne (DP). En effet, ces deux variables permettent de séparer les isolats en fonction de leur comportement, mais avec un net avantage pour la densité pycnidienne (DP).

Durant notre expérimentation, la densité pycnidienne (DP) des isolats nous a permis de les classer selon leur degré de virulence sur chaque variété. En effet, Van der Plank (1968) a introduit deux méthodes pour déterminer les différentes interactions isolats x variétés. La première est l'analyse de la variance pour tester la signification de l'interaction isolat x variété ; la deuxième consiste à classer les isolats selon leur degré de virulence sur chaque variété testée. De plus, les différences significatives de l'interaction isolats x variétés révèlent l'existence de spécialisations physiologiques (Narvaez, 1957 in Perello et al, 1991 ; Scharen et al., 1985).

D'après Eyal et al (1973), la variabilité de la virulence chez *M. graminicola* débute par une spécialisation physiologique du pathogène. La spécialisation physiologique de *M. graminicola* a été signalé aux USA (Prests et Hendrix, 1977 in Eyal et al., 1987), en Australie (Ballantyne 1985 in Eyal et al., 1987), Uruguay (Diaz, 1983 in Eyal et al., 1987), en Israël, au Brésil et au Chili (Halpein et al., 1996) ainsi qu'en Algérie (Touati-Hattab, 2005).

Il y a eu plusieurs études sur la spécialisation physiologique de *M. graminicola* sur le blé (Eyal et al, 1973 ; Diaz, 1993 ; Perello et al, 1987) qui sont généralement réalisées selon des conditions de travail bien définie tel que : l'âge des plants, la concentration de l'inoculum ou bien l'évaluation de la résistance variétale. Afin de pouvoir comparer les résultats de ces études à l'échelle internationale, le besoin de standardiser les conditions de travail s'impose d'une manière à obtenir les mêmes résultats concernant les interactions *M. graminicola* et *Triticum* sp.

### **3.5 Obtention et description du téléomorphe *Mycosphaerella graminicola***

Les inoculations des fragments de chaumes de blé par les différentes combinaisons d'isolats réalisées deux à deux en conditions contrôlées, a permis l'obtention de pseudothèques représentant la forme parfaite de *M. graminicola*, pour seulement deux couples d'isolats compatibles sur les 79 de réalisés.

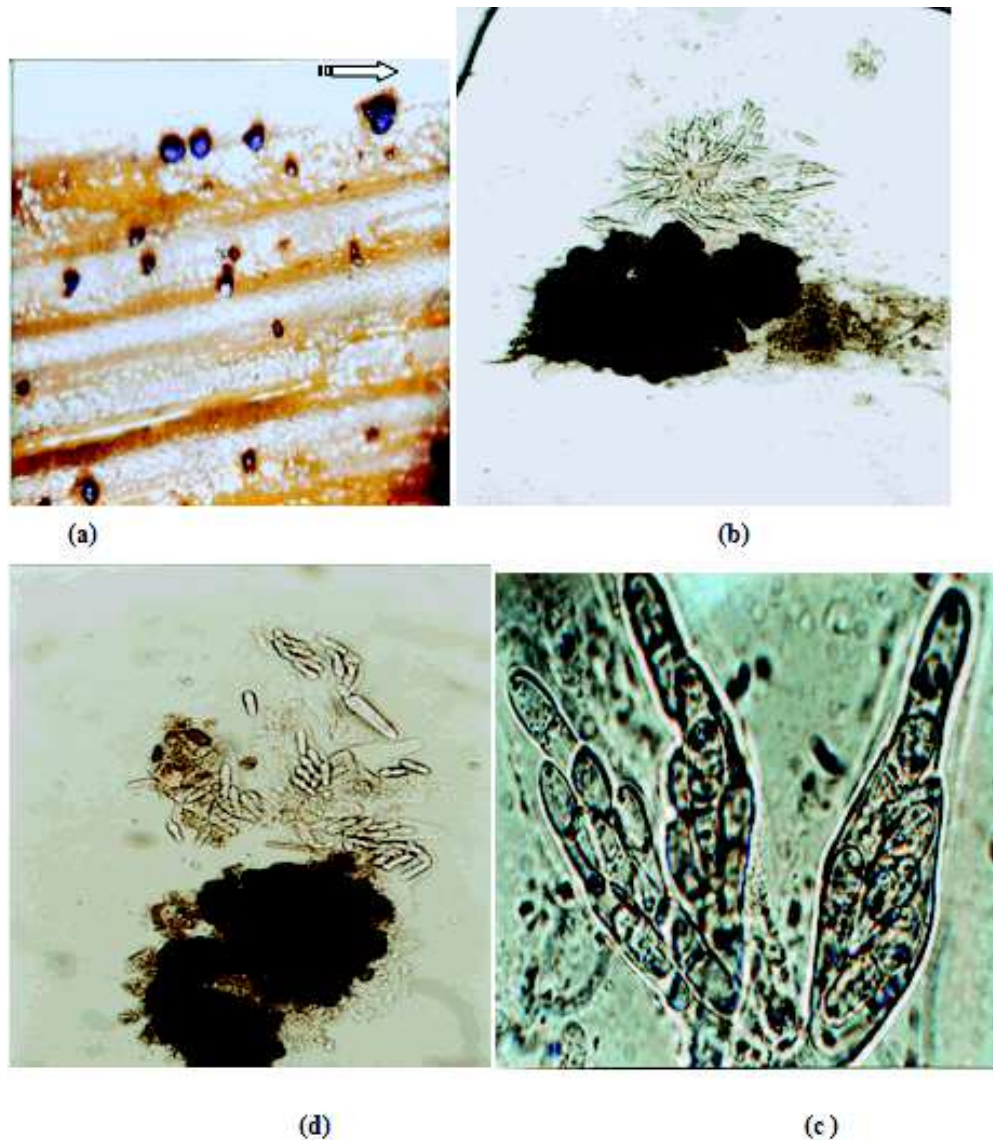
En effet, à partir de la 5<sup>ème</sup> semaine d'incubation, le début de formation des petits stromas noirs enfoncés dans les tissus végétaux sont visibles. Ces organes prélevés puis observés au microscope, montrent la présence d'asques immatures. Ce n'est qu'après une période d'incubation d'environ huit semaines, que des pseudothèques murs avec des ascospores bicellulaires bien formées caractéristiques de *M. graminicola* sont observés (Fig.28-a).

Les deux couples hétérothalliques compatibles sont représentés : MG.BT.04.02 x MG.BT.04.11 et MG.BT.04.02 x MG.BT.04.10.



Par conséquent nous supposons que les mating types MAT 1-1 et MAT 1-2 sont représentés d'une part par l'isolat MG.04.02 et d'autre part les deux isolats MG.BT.04.10 et MG.BT.04.11.

Nous constatons que les isolats qui ont permis la formation de pseudothèces sont tous issus du blé tendre obtenus de la variété HD 1220 et provenant de deux régions géographiques



**Figure 28** : Formation des pseudothèces de *M. graminicola*, et libération des ascospores.

- (a) Formation d'un Pseudothèce, légèrement enfoncé dans les tissus de blé (chaume) (G : 1x10x0.8).
- (b) Eclatement d'un pseudothèce et libération des asques (G : 100x3.2)
- (c) Libération des ascospores (G : 100x3.2)
- (d) Aspect des asques et ascospores bicellulaires de *M. graminicola* (G : 100x3.2)

différentes. Il s'agit de l'isolat MG.BT.04.02 provenant de la région de Constantine (*Beni Mestina*) ; et des isolats MG.BT.04.10 et MG.BT.04.11 de la région de Tizi Ouzou respectivement de Fréha et de Mekla

### 3.5.1 Description des pseudothèces, asques et ascospores de *M. graminicola*

---

Les observations au stéréomicroscope montrent la formation de pseudothèces légèrement enfoncés dans les tissus végétaux par rapport aux pycnides. Ils sont d'une couleur maron foncé à noir et de forme généralement sphérique (Fig.28-b).

Le nombre des pseudothèces formés est très réduit et mesurant 98,4 à 107,7  $\mu\text{m}$  de diamètre. Des pseudothèces prélevés à l'aide d'une aiguille stérile, sont écrasés entre lames et lamelles dans une goutte d'eau stérile puis observés sous microscope binoculaire pour une description de leur contenu.

Ainsi, les asques produits dans ces pseudothèces sont bituniqués, obpiriformes, contenant 08 ascospores hyalines, bicellulaires et irrégulièrement arrangées (Fig.28-d). Ils mesurent de 45,4 à 59,7  $\mu\text{m}$  de long et 7,7 à 10,7  $\mu\text{m}$  de diamètre ; les ascospores mesurent de 11,4 à 15,1  $\mu\text{m}$  de long et 2,2 à 4,1  $\mu\text{m}$  de diamètre.

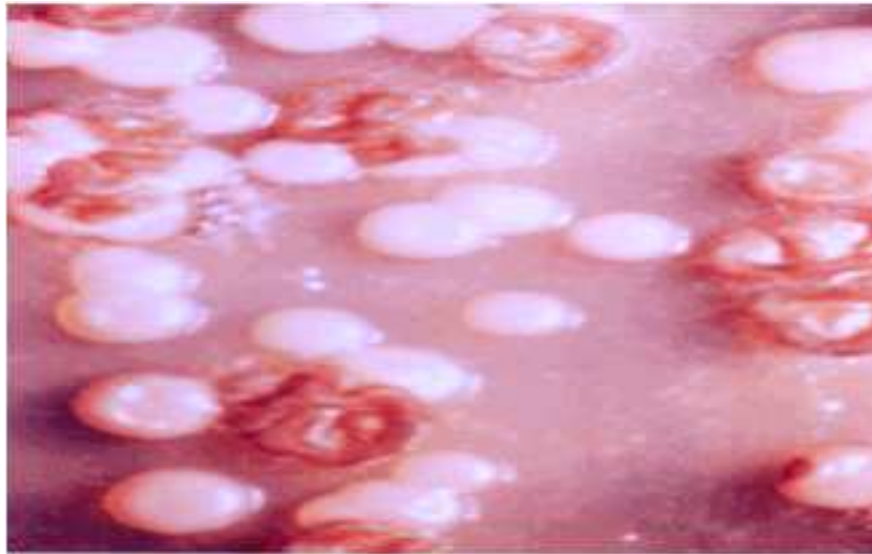
### 3.5.2 Obtention de la forme asexuée *Septoria tritici* à partir des ascospores

---

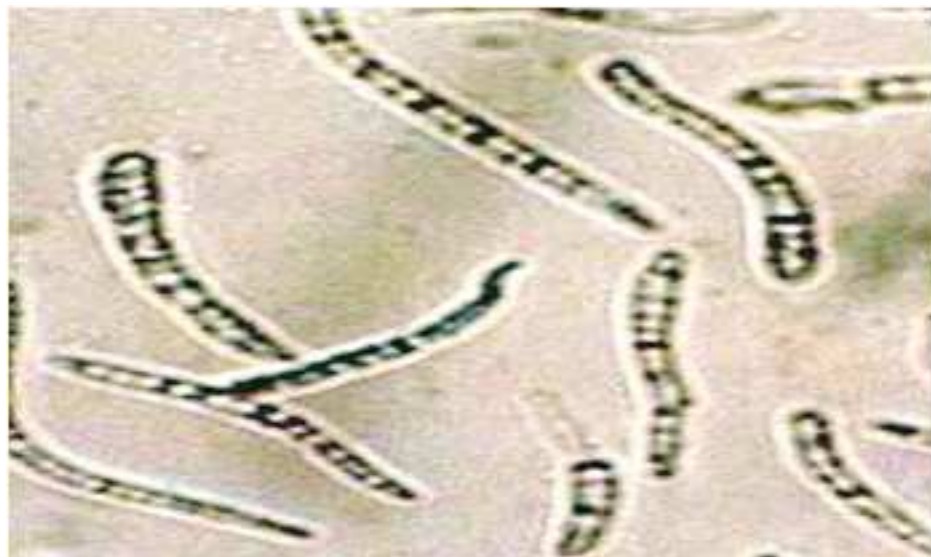
La forme asexuée *Septoria tritici* est obtenue à partir d'un pseudothèce écrasé. Après incubation à la température ambiante du laboratoire (22°C), le repiquage des ascospores germées en boîte de Pétri, a permis d'obtenir une culture stromatique typique de *Septoria tritici* et cela après une période d'incubation de 9 à 11 jours (Fig. 29).

Les observations microscopiques montrent que les nouvelles cultures présentent les mêmes conidies que celles issues des cultures de *S.tritici* (Fig. 30). Ces dernières confirment l'identité de la forme parfaite *M. graminicola* obtenue. Autrement les pseudothèces obtenus correspondent parfaitement à la forme *M. graminicola* décrite par Sanderson (1972) in Hoorn et al (2002). En effet, ce dernier auteur a signalé que la mise en culture des ascospores de *M. graminicola* sur un milieu synthétique adéquat, produit des conidies typiques à celles de *S.tritici*.

Nos résultats, nous montrent que seules les confrontations des isolats issus de blé tendre ont permis l'obtention de la forme parfaite *M. graminicola*. En effet, Shaw et Royle (1989) ont



**Figure 29 :** Aspect des stromas à partir d'une culture d'ascospores de *M. graminicola* sur le milieu PDA.



**Figure 30 :** Conidies issues à partir des stromas de cultures de *M. graminicola* (G : 4x10x0.8).

rapporté que la reproduction sexuée est initiée par une plasmogamie entre deux gamétanges suivies par la fusion de deux noyaux (caryogamies) qui soient génétiquement compatibles. D'après ces auteurs le système d'incompatibilité homogénique empêche le croisement entre deux souches portant les mêmes gènes dits « de type conjugant » ou « Mating type ». Ainsi, les champignons qui possèdent un système d'incompatibilité sont dits hétérothalliques ou auto-stériles.

Dans notre cas, la détermination des types hétérothalliques (Mating type) des 27 isolats obtenus de *M. graminicola* par la technique « de croisements des isolats deux à deux » a révélé l'existence des deux types MAT1-1 et MAT1-2 sur le blé tendre. Ce résultat indique que la forme sexuée *M. graminicola* pourrait exister en conditions naturelles en Algérie et constituer une source d'inoculum primaire dans le développement de l'épidémie de la

séptoriose du blé. Cette forme pourrait engendrer une recombinaison génétique importante et met la résistance variétale en péril par son contournement (AG, 2008).

### 3.5.3 Discussion

---

Il faut noter que le stade parfait *M. graminicola* joue un rôle considérable dans l'épidémiologie de la tache foliaire septorienne du blé, car les ascospores sont capables d'initier l'infection à de grandes distances du lieu de leur production (Sanderson (1978) *in* Halama (1996).

Nos résultats confirment les observations de Kema et *al* (1996b) rapportant que les ascospores ne se forment pas exclusivement sur des débris de cultures, mais aussi peuvent être obtenues par des techniques *in vivo*. Par ailleurs, les observations de Scott et *al.*(1988) indiquent que la formation du téléomorphe *M. graminicola* peut avoir lieu dans la nature à partir des pycnides formées aussi bien sur les feuilles que sur les débris de cultures.

Hunter et *al.*(1999) rapportent que la phase sexuée du champignon joue un rôle considérable dans le développement de la maladie. Cependant, il est probable que le développement des pseudothèces durant la saison de croissance de la culture du blé contribue à la variation génétique des populations de *M. graminicola* durant l'année, et par là dans la diversité génétique des populations (Feau et *al.*, 2004 ; Zhan et Mc Donald, 2004). Cette recombinaison sexuelle joue également un rôle majeur dans la résistance aux fongicides (Shaw et Royle, 1989 ; Goodwin et Kema, 1995 ; Siah et *al.*, 2010).

---

## Conclusion générale :

Nos travaux confirment que le blé reste une culture fortement menacée par la septoriose en Algérie dont l'agent causal *M. graminicola* un pathogène très répandu là où le blé est cultivé constituant un facteur limitant de la production. Au cours de notre étude, nous avons constitué une collection de 27 isolats, provenant de différentes régions d'Algérie, notamment de Annaba, Constantine, Tizi Ouzou et Alger.

La caractérisation des isolats étudiés par différents critères, nous montre une diversité inter et intra régionale de l'agent pathogène *M. graminicola*. Cette étude constitue une première approche en Algérie à l'étude de la variabilité pathologique et génétique de ce pathogène.

L'étude culturale des isolats de *M. graminicola* montre une variabilité importante de cet agent pathogène. Cette variabilité culturelle rapportée fréquemment dans d'autres pays du monde, est confirmée en Algérie par nos résultats. Ainsi nos isolats sont classés en trois groupes bien distincts : le groupe stromatique, le groupe mycélien et le groupe lévuroïde.

En particulier, l'étude morphologique des isolats par la mensuration des deux types de pycnidiopores montre également une variabilité de la taille des macro-pycnidiopores et des micro-pycnidiospores. L'analyse de la mensuration des pycnidiospores, habituellement utilisée pour identifier l'espèce *M. graminicola*, montre une taille très variable des pycnidiospores. Dans notre cas, le classement des isolats selon leur taille, se fait indépendamment de leur origine géographique et de la plante hôte (blé dur, blé tendre).

Quant à l'étude du pouvoir pathogène, nous notons une variabilité de la pathogénicité des isolats de *M. graminicola* dont la majorité des isolats prélevés sur blé dur et blé tendre ne sont agressifs que sur leur hôte respectif blé dur et blé tendre. Ces résultats confirment la spécialisation physiologique et parasitaire de ce pathogène ; les isolats montrent des différences dans leur degré d'agressivité sur le blé dur et tendre ; les analyses statistiques confirment cette variabilité pathologique des isolats étudiés.

Cette première partie d'étude phénologique de l'agent pathogène ayant porté sur la caractérisation culturale, morphologique et pathologique est très utile, mais elle reste insuffisante pour différencier clairement les souches de *M. graminicola*.

D'autres méthodes de caractérisation moléculaires sont à mettre en œuvre afin d'approfondir nos connaissances sur les populations de *M. graminicola*, et ainsi permettre une meilleure connaissance de leur diversité génétique.

La deuxième partie d'étude met en évidence l'existence en Algérie des deux groupes mating type compatibles pour la formation du téléomorphe *M. graminicola*. Ce résultat répond davantage à l'hypothèse d'une probable diversité génétique de *M. graminicola*, sachant que la reproduction sexuée en général, joue un rôle très important dans la structure génétique des champignons phytopathogènes.

Ainsi le téléomorphe *M. graminicola* signalé dans plusieurs pays dans le monde, est aujourd'hui obtenu en Algérie et la probabilité de sa formation en condition de culture n'est pas à exclure. Il reste que pour le moment, les deux mating types qui ont donné naissance à des pseudothèces, ne sont originaires que de deux seules régions très différentes à savoir :

Constantine et Tizi Ouzou. Nous confirmons également que les pseudothèces ne sont pas produits exclusivement sur les débris de cultures, mais peuvent être obtenus également *in vitro* en conditions contrôlées par des techniques d'inoculation artificielles des fragments de blé.

Notre étude, nous indique également que l'hypothèse de la formation du téléomorphe dans la nature est fort probable et peut avoir lieu sur les débris de blé en Algérie. Les ascospores produites principalement durant la saison de culture de blé, constituent alors l'inoculum primaire lors de la première phase de l'épidémie.

Nos présents travaux apportent donc des données nouvelles sur la connaissance de *M. graminicola* en Algérie. Elles ouvrent des perspectives intéressantes pour des études épidémiologiques et de diversité génétique des populations de ce pathogène. Des études ultérieures sur un plus grand nombre d'isolats et une gamme d'hôte différentielle bien définie au préalable permettront de préciser le type de relation hôte-pathogène (relation gène pour gène) et de déterminer les différents pathotypes ou races physiologiques existant en Algérie.

Les outils moléculaires seront d'un apport précieux dans les programmes de sélection pour la résistance, ainsi que pour la mise en place de méthodes de lutte efficaces aussi bien pour assurer une excellente qualité sanitaire en culture, que pour la conservation des semences saines.

Enfin nous pouvons conclure que, l'existence en Algérie du téléomorphe *M. graminicola* ouvre des perspectives de recherche nouvelles très intéressantes, comme l'étude génétique du champignon et la relation hôte-pathogène. Nous suggérons, également une étude plus approfondie du pathogène par une approche moléculaire afin de mieux le caractériser, et répondre d'une manière plus précise à la connaissance de la diversité génétique de ce pathogène en Algérie.

---

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AG, 2008. Face aux résistances de *Septoria tritici* aux fongicides uni-sites. ARKEMA GROUP.
- Alexopolous, C.J., C.W. Mims, and M. Blackwell, 1996. Introductory to mycology. Edits: John Willey and sons, Inc. Production editor Sandra Russell. 869p.
- Ali Dib, T., et Ph.Monneveux, 1992. Adaptation à la sécheresse et notion d'idéo type chez le blé dur. I. Caractères morphologiques d'enracinement. *Agronomie*, 12 : 371-379.
- Alligham, E.A, and L.F. Jackson, 1981. Variation in pathogenicity, virulence and aggressiveness of *Septoria nodorum* in Florida. *Phytopathology* 71 : 1080-1085.
- Arabi, M.I.E., M. Jawhar, and N. Mir Ali, 2007. The effects of *Mycosphaerella graminicola* infection on wheat protein content and quality. *Cereal Research Communications* 35 (1): 81-88.
- Arriano, L.S., P.A. Brading, et K.M. Brown, 2001. A detached seedling leaf technique to study resistance to *Mycosphaerella graminicola* (anamorph *Septoria tritici*). *Phytopathology* 93: 1158-1164.
- ARVALIS, 2003. Fongicides céréales : une campagne riche en évènement malgré une pression de maladies très faible. ARVALIS- Institut du végétal, Novembre 2003.
- ARVALIS, 2005. Protection fongicides des céréales à paille : la bataille contre la septoriose se durcit. Arvalis – Institut du végétal – communiqués : 08/11/2005.
- Bathgate, J. A., and R. Loughman, 1994. Are ascospores a significant source of primary inoculum of *Leptosphaeria nodorum*, *L.avenaria* f.sp *avenaria* and *Mycosphaerella graminicola* in the Northern wheat belt of Western Australia. In proceeding of the 4th international workshop on *Septoria* of cereals. July 4-7 IAAR. Radzikow; Poland: 271-275.
- Beck, J.J., and J.M. Ligon, 1995. Polymerase chain reaction assays for the detection of *Stagonospora nodorum* and *Septoria tritici* in wheat. *Phytopathology* 85 (3): 319-324.
- Benkorteby, H., 2006. Etude de la tache foliaire à *Septoria tritici* Rob ex Desm. (*Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J.Schröt) chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Héritabilité de la résistance chez des hybrides F1 et des populations F5. Mém. Magister. INA – El Harrach- Alger, 118p.
- Benlaribi, M., et P. Monneveux, 1988. Etude comparative en situation de déficit hydrique de deux variétés algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) adaptées à la sécheresse. *C.R. Séances Acad. Agr.Fr.* 74 (5) : 73-83.
- Ben Mohamed, L., M. Rouaissi, A. Sebei, S. Hamza, et M. Harrabi, 2007. Effet du génotype, de la date de semis, de la fertilisation azotée et potassique et des fongicides sur le développement de *Septoria tritici*. CIHEAM – Option Méditerranennes : 349 -356.

- Benedict, W.G. 1971. Differential effect of light intensity of the infection of wheat by *Septoria tritici* Desm. Under controlled environmental conditions. *Physiol. Plant Pathol.*, (1) : 55-56.
- Bissett, J., 1982. *Stagonospora avenae*. Fungi Canadenses No. 239. National Mycological Herbarium, Biosystematics Research Institute Agriculture Canada, Ottawa
- Boeger, J.M., R.S. Chen, and B.A. Mc Donald, 1993. Gene flow between geographic populations of *Mycosphaerella graminicola* (anamorph. *Septoria tritici*) detected with restriction fragment length polymorphism markers. *Phytopathology* (83): 1148-1154.
- Boerema, G. H., R. Pieters, and M.E. C. Hamers, 1992. Check-list for scientific names of common parasitic fungi. Suppl. Ser. 2b (additions and corrections): Fungi on field crops: Cereals and grasses. *Neth. J. Plant Pathol.* 98 Suppl. 1:1-32.
- Boumedienne, N., 1986. Comportement de différentes variétés et lignées de blé tendre à l'égard de *Septoria tritici* Rob. Ex Desm. et variabilité du pouvoir pathogène des isolats du champignon. Mémoire. Ing. Institut National Agronomique. El Harrach. 42p.
- Bousquet, J.F., H. Belhomme de Franqueville, A. Kollmann, et R. Fritz, 1980. Action de la septorine, phytotoxine synthétisée par *Septoria nodorum*, sur la phosphorylation oxydative dans les mitochondries isolées de coléoptiles de blé. *Can. J. Bot.* 55 : 2575-2580.
- Burdon, J.J., and J. Silk, 1997. Sources and patterns of diversity in plant pathogenic fungi. *Phytopathology* 87 (7) : 664-669.
- Burleigh, J.R., B. Ezzahiri, and A.P. Roelfs, 1991. Assessment of cultivar performance and plant disease impact on cereals in Morocco. *Plant Dis.* 75: 65-73.
- Camacho-Gasas, M.A., W.E. Kronstat, et A.L. Sharen, 1995. *Septoria tritici* resistant and association with agronomics traits in a wheat cross. *Crop Science*, 35: 971-976.
- Carlier, J., 2005. Structure génétique des populations de *Mycosphaerella fijiensis*. InfoMusa- Vol. 13 – N°2 (CIRAD).
- Caron, D., 2000. Maladies des blés et des orges. ITCF (Novembre 2000).
- Chehat, F., 2007. Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger : 7-9 avril 2007.
- Coakley, S.M., L.R. Mc Daniel, and G. Shaner, 1985. Model for predicting severity of *Septoria tritici* blotch on winter wheat. *Phytopathology* (81): 1245-1251.
- Cook R.J., and M.R. Thomas, 1990. Influence of site factors on yield response of winter wheat to fungicides programmes in England Wales, 1979 – 1987. *Plant Pathol.*, (39) 3, 548-557.
- Coppin, E., R. Debuchy, S. Arnaise, and M. Picard, 1997. Mating types and sexual development in filamentous ascomycetes. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 61, 411-428.
- Cordo, C.A., and J.C. Lindquist, 1987. Analisis cualitativo de la variabilidad cultural de *Septoria tritici*. *Boletín de la sociedad Argentina de Botánica* 25 : 59-77.
- Cordo, C.A., H.E.A. Perello, et H.O. Arriaga, 1993. Estabilidad de la virulencia sobre trigo en aislamiento de *Mycosphaerella graminicola*. *Fitopatología Brasileria* 18 : 317-378.



- Cordo, C.A., H.E.A. Perello, et H.O. Arriaga, 1997. Morpho cultural variants of *Septoria tritici* isolates. *Rev.Iberoam Micology* 14: 168-172.
- Cowger, C., B. A. Mc Donald, and C. C. Mundt, 2002. Frequency of sexual reproduction by *Mycosphaerella graminicola* on partially resistant wheat cultivars. *Phytopathology* 92 : 1175-1181.
- Crous P.W., J.C. Kang, and U. Braun, 2001. A phylogenetic redefinition of anamorph genera. In *Mycosphaerella* based on I.T.S. DNA sequence and morphology. *Mycologia* 93 (6) : 1081-1101.
- Culbreath, A.K., T.B. Brennman, K. Bondari, K.L. Reynolds, and H.S. Mclean, 1995. Late leaf spot, southern stem rot, and peanut yield responses to rate of cyproconazole and chlorothanonil applied alone and in combination. *Plant Dis.*, 79: 1121-1125.
- Cunfer, B.M. et P.P. Ueng, 1999. Taxonomy and identification of *Septoria* and *Stagonospora* species on small-grain cereals. *Ann.Rev.Phytopath.*37: 267-284.
- Delourme, R., Chèvre, A.M., Brun, H., Rouxel, T., Balesdent, M.H., Dias, J.S., Salisbay, P.A., Renard, M., Rimmer, S.R., 2006. Major gene and polygenic resistance to *Leptosphaeria maculans* in oilseed rape (*Brassica napus*). *European Journal of Plant Pathology* (114) : 41-52.
- Diaz de Akermann, M., 1993. Chemical control of *Septoria tritici* on spring wheat. In Proceeding of a *Septoria* workshop. 20-24 September 1993. CIMMYT, Mexico : 147-151.
- Dileone, J., 1997. Biology of control of *Septoria* diseases of winter wheat in western Oregon. In: [www.css.orst.edu/cereals/wheat/disease/septoria.htm](http://www.css.orst.edu/cereals/wheat/disease/septoria.htm).
- Djerbi M., A.Ghodbane, A. Daaloul, et G. Varughese, 1974. Identification de source de résistance à la septoriose du blé (*Septoria tritici* Rob ex Desm.) pp 190 – 193. Comptes rendus des quatrièmes journées de phytiatrie et de phytopharmacie, circum Mediterraneees Montpellier. In : thèse des études sur la septoriose du blé due à *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Shroter (*Septoria tritici* Rob. Ex Desm.) au Maroc.
- Djerbi, M. 1978. Contribution à l'étude de la fusariose à *Fusarium roseum* (Link) Snyder et Hans. et de la septoriose à *Septoria tritici* Rob. Et Desm. du blé. Thèse de doctorat d'état es science naturelle. Université Pierre et Marie Curie. Paris VI. 180p.
- Djermoun, A. 2009. La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie* (01) : 45 - 53
- Doussinault, G., M.T. Pavoine, B. Jaudeau, et J. Jahier, 2001. Evolution de la variabilité génétique chez le blé. Dossiers de l'environnement de l'INRA, N°21.
- El bakaly Ay., A. Ramdani, B.Tisserant, C. Deweer, A. Siah, Ph. Reignault, and P. Halama, 2010. Both mating types of the wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola* are present in Morocco. Poster, 62<sup>nd</sup> International Symposium on Crop Protection, Gand, Belgique. *Communication in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 75: 643-647.
- El Bouami, F., et M. Jlibene, 1996. Hérité de la résistance partielle à *Septoria tritici* chez le blé, *Triticum aestivum* L. *Al Awamia* 95, 21-38.

- Erikson, L., M.W. Shaw, and H. Ostergard, 2001. A model of the effect of pseudothecia on genetic recombination and epidemic development in populations of *Mycosphaerella graminicola*. Analytical and theoretical Plant Pathology. *Phytopathology* 91: 240-248.
- Eyal, Z., 1971. The genetic of pycnidiospore liberation in *Septoria tritici*. *Can.J.Botany* 49: 1095-1099.
- Eyal, Z., Z. Amiri, and L. Wahl, 1973. Physiologic specialization of *Septoria tritici*. *Phytopathology* 63: 1087-1091.
- Eyal, Z. and O. Ziv, 1974. The relationship between epidemics of *Septoria* leaf blotch and yield losses in spring wheat. *Phytopathology* 64: 1385-1389.
- Eyal, Z., and M.B. Brown, 1976. A quantitative method estimating density of *Septoria tritici* pycnidia on wheat leaves. *Phytopathology* 66: 11-14.
- Eyal, Z., 1981. Integrated control of *Septoria* diseases of wheat. *Plant Dis.* 65: 763-768.
- Eyal, Z., A.L.Scharen, M.D. Huffman, et J.M. Prescott, 1985. Global insights into virulence frequencies of *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology*. 75 (12): 1456-1462.
- Eyal, Z., A.L. Scharen, J.M. Prescott, et M.Van Ginkel, 1987. The *Septoria* diseases of wheat. Concepts and methods of disease management. Mexico, D.F: CIMMYT 52.
- Ezzahiri B., A. Farih, et M. Toufiq 1996. Surveillance des maladies du blé et d'orge au Maroc. Symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires. 11-14 Novembre, Rabat, Maroc. PNUD/RAB/91/007.
- Ezzahiri, B., 2010. Maladies fongiques foliaires du blé. Quelle menace pour la campagne en cours? *Céréaliculture Agriculture du Maghreb* N° 41 : 71-74.
- FAO, 2007. Statistical database of the food and agriculture organisation of the United Nations.
- Feau, N., G.R. Stanosz, R.C. Hamelin, et L. Bernier, 2004. Diversité génétique de sept populations de *Septoria musiva*, agent responsable de la tache foliaire et du chancre chez les peupliers hybrides. Journées Jean Chevaugéon. Ve rencontres de phytopathologie /mycologie. Aussois, Savoie, France. 18-22 Janvier 2004. (Résumé).
- Fitzgeraldw, and B.M. Cook, 1989. Spore germination and pycnidial development in wheat and barley isolates of *Septoria nodorum* on cellulose film. In: III International workshop on *Septoria* species of cereals. Dublin, Department of plant pathology, Faculty of Agriculture, 4.
- Fraaije B.A., D.J, and Lovelle and S. Baldwin, 2002. *Septoria* epidemics on wheat: combined use of visual assessment and PCR – Based diagnostics to identify mechanisms of disease escape. *Plant protection science*, 38: 421-424.
- Garcia, C., and D. Marshall, 1992. Observation on the ascogenous stage of *Septoria tritici* in Texas. *Mycol. Res.* 96: 65-70.
- Gautier, M.E.F., 1930. Cahiers du centenaire de l'Algérie III. L'évolution de l'Algérie de 1830 à 1930.
- Gautier, X., 2005. Protection fongicide des céréales à paille. ARVALIS, Institut du végétal ; 14p.

- Gilchrist, L., B.Gomez, R. Gonzales, S. Fuentes, A. Mujeeb-kazi, W. Pfeiffer, S. Rajaram, R. Rodriguez, B. Skovmand, M. Van Ginkel, et C. Velasquez, 1999. In: Proceeding of the 5th International *Septoria* workshop – *Septoria* and *Stagonospora* diseases: A compilation of global research. 20 -24 September 1999. CIMMYT, Mexico: 134-139.
- Gisi, U. 1996. Synergistic interaction of fungicides in mixtures. *Phytopathology* 86, 1273-1279.
- Gough, F.G., 1978. Effect of wheat host cultivars on pycnidiospore production by *Septoria tritici*. *Phytopathology* 68: 1343-1345.
- Goodwin, S.B., and V.C. Zismann 2001. Polygenetic analyses of the ITS region of ribosomal DNA reveal the *Septoria passerini* from barley is closely related to the wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola*. *Mycologia* 93: 5, pp934-946.
- Griffiths, E. and H.C. Ao, 1980. Variation in *Septoria nodorum*. *Ann.Rev.Appl.Biology* 94: 294-296.
- Halama, P., 1996. The occurrence of *Mycosphaerella graminicola*, teleomorph of *Septoria tritici* in France. *Plant pathol.* 45, 135-138.
- Halpein T., S. Schuster, S. Puini-cohen, A. Zilberstein, and Z. Eyal, 1996. The suppression of pycnidial production on wheat seedlings following sequential inoculation by isolates of *Septoria tritici*. *Phytopathology* 86: 728-732.
- Hansen, J.G., B.J.M Secher, L.N. Jorgonson, and B. Willing, 1994. Thresholds for the control of *Septoria spp.* In winter wheat based on precipitation and growth stage. *Plant Pathol.* 43 (1): 183-189.
- Hazmoune, T., 1999. Erosion des variétés de blé dur cultivées en Algérie. Perspectives. ITGC, ferme expérimentale, El Khroub, 25 100 Algérie : 291-294.
- Hooker, A.L., 1957. Cultural variability in *Septoria avenae* through successive single-macrospore transfers. *Phytopathology* 47: 460-468.
- Horne, C., L. Lamari, J. Gilbert, and G.M. Balance, 2002. First report of *Mycosphaerella graminicola*, the sexual state of *Septoria tritici*, in Manitoba, Canada. *Can. J. Plant Pathol.* 24: 445-449.
- Hunter, T., R.R. Coker, and D.J. Royal, 1999. The teleomorph stage, *Mycosphaerella graminicola*, in epidemics of *Septoria tritici* blotch on winter wheat in the UK. *Plant Pathol.* 48: 51-57.
- Hunter, G.C., P.W. Crous, J. Roux, B.D. Wingfield and M.J. Wingfield, 2004. Identification of *Mycosphaerella* species associated with *Eucalyptus nitens* leaf defoliation in South Africa. CSIRO PUBLISHING –*Austral. Plant Pathol.* 33 (3):349-355.
- IDGC, 1974. Les principales caractéristiques des variétés de céréales cultivées en Algérie. MARA projet céréales. IDGC, Alger. 41p.
- INRA, 2006. La septoriose du blé résiste aux fungicides. Fiche de Presse Info (FPI). Service presse INRA. 11/07/2006.
- INRA, 2008. Nouvelles techniques économiques et respectueuses de l'environnement pour la protection des plantes. Rapport d'activité INRA France. Protection des plantes 11p

- ITGC, 1995. Les principales variétés de céréales cultivées en Algérie. ITGC, Alger. 13 p.
- Jenkyn, G. F., and F.E. King, 1977. Observation on the origins of *Septoria nodorum* infection of winter wheat. *Plant Pathol.* 26: 153 - 160.
- Jlibene M., 1996. Etat des recherches sur la séptoriose au Maroc. Proceedings du symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires. Pp 11-14. Novembre. Edit. INRA Rabat. Maroc.
- Jlibene M., H. Mazry, A. Farih, and E.M. Saadaoui, 1993. Host pathogen interaction of wheat (*Triticum aestivum*) and *Septoria tritici* in Morocco. Proceeding of a *Septoria tritici* work shop. Lucy Cilchnist.s. Maarteur, Van Ginkel, Alama, Mcnab, and Gert.H.J, Kema, editors.pp 20-24. September. Cimmyt. Mexico.
- Jouve, A.M., S. Belghazi, et Y. Kheffache, 1995. La filière des céréales dans les pays du Maghreb: constant des enjeux, évolution des politiques. Options Méditerranéennes, Sér. B / n°14, 1995 - Les agricultures maghrébines à l'aube de l'an 2000.
- Kabbage M., J.F. Leslie, K.A. Zeller, S.H. Hulbert, and W.W. Bockus, 2008. Genetic diversity of *Mycosphaerella graminicola*, the causal agent of *Septoria tritici* blotch, in Kansas winter wheat. *Journal of Agricultural, Food, and Environmental Sciences* 2 (1) : 1934-7235
- Kema G.H.J., 1996. *Mycosphaerella graminicola* on wheat genetic variation and histopathology. Thesis Wagening ISBN 90-9009486-5, 141p.
- Kema G.H.J, Y.D Dazhoo, F.H.J Rjimberg, M.W Shaw, and R.P. Bayen 1996a. Histology of pathogenesis of *Mycosphaerella graminicola* in wheat. *Phytopathology* 86 (7): 777-786.
- Kema G.H.J, J.G Annone, R. Sayoud, C.H. Van Silfhout, M. Van Ginkel, and J. De Bree, 1996b. Genetic variation for virulence and resistance in wheat *Mycosphaerella graminicola* pathosystem. Interaction between pathogene isolates and host cultivars. *Phytopathology* 86: 200-212.
- Kema G.H.J, S.B. Goodwin, S. Hamza, E.C.P. Verstappen, J.R. Cavaletto, Vanderlee, T.A.J. De Weerd, M. Bonants, and P.J.M. Ceeswaalwijk, 2002. A compined amplified fragment length polymorphism and randomly amplified polymorphism DNA Genetic linkage map of *Mycosphaerella graminicola*, the *Septoria tritici* leaf blotch pathogen of wheat. *Genetics*, (161): 1497-1505.
- Keon, J.P.R., and J.A. Hargreaves, 1994. The response of barley leaf epidermal cells to infection by *Septoria nodorum*. *New Phytol.* 98: 387-398.
- Koenig, R.L., Poloetz, R.C., and Kistler, H.C. 1997. *Fusarium oxysporum f.sp. cubense* consists of a small number of divergent and globally distributed clonal lineages. *Phytopathology* 87 : 915-923.
- Kolmer, J.A. 1991. Evolution of distinct populations of *Puccinia recondita f.sp.tritici* in Canada. *Phytopathology* 81: 316-322.
- Komijani, S. M. Razavi, et H. Aminian, 2010. Study on the genetic diversity of *Mycosphaerella graminicola* cause of *Septoria* leaf blotch of wheat in Iran using SSR, SCAR and REP-PCR markers. *Iran.J.Plant Path.*,. 45 (4) : 79-81.

- Kronstad, J.W., and C. Staben, 1997. Mating types in filamentous fungi. *Annu. Rev. Genet.* 31: 245-276.
- Krupinsky, J.M., 1999. Influence of cultural practices on *Septoria/Stagonospora* diseases. In proceeding of the 5th International *Septoria* Workshop – *Septoria* and *Stagonospora* diseases of cereals: A compilation of global research. 20-24 September 1999. CIMMYT, Mexico: 105-110.
- Laumont, P., et J. Erroux, 1961. Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. Mémoires de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du Nord, 5: 96.
- Leath, S., A.L. Sharen, R.E. Lund, and M.E. Dietz-Holmes, 1993. Factors associated with global occurrences of *Septoria nodorum* blotch and *Septoria tritici* blotch of wheat. *Plant Dis.* 77: 1266-1270.
- Le Henaf G., B. Oste, Y. Dacquary, M. Delos, J. Gatellet, A. Faure, P. Lepoutre, O. Pillon, et A. Vergnaud, 2000. Bilan phytosanitaire 1999/2000 des blés et orges. Phytoma. La défense des végétaux-N°533 Décembre.
- Levy, A.A., M. Feldman, 2002. The impact of polyploidy on grass genome evolution. *Plant Physiol.* 130: 1587-1593.
- Linde, C., J. Zhan, and B. A. Mc Donald, 2002. Population structure of *Mycosphaerella graminicola*: From lesions to continents. *Phytopathology* 92 : 946-955.
- Lounis-Lalou, F., 2005. Bilan d'activité 2004/2005. Amélioration des céréales. Ferme expérimentale de démonstration et de production de semence d'Oued Smar, ITGC. 35p.
- Lyazidi, M., 2002. Etude de la séptoriose des blés causée par *Septoria tritici* Rob.ex Desm : évaluation de la résistance d'une collection de variétés sélectionnées en Algérie ; Mémoire Ing. El Harrach, 57p.
- Mac Key, J., 2005. Wheat: Its concept, evolution and taxonomy. In: Conxita, R., Nachit, M., di Fonzo, N., Araus, J.L., Pfeiffer, W.H., and Slafer, G.A. (Eds.). Durum wheat breeding: current approaches and future strategies. Food products press. 3-61.
- MADR, 2007. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Annuaire statistique, série B.
- Mamluk A.F., D.G. Gilchrist, and M. Singh, 1995. Variation in virulence in isolates of *Mycosphaerella graminicola* from six geographical wheat growing regions. *Phytopathology. Medit* 34 : 45-51.
- Mazouz H., M. Saadaoui, M. Jlibene et A. Lyamani, 1995. Importance des septorioses du blé au Maroc en 1991. *Al Awamia* 91 : 63-69.
- Mazouz, H., E.M. Saadaoui, et M. Jlibene, 2000. Hérité de la résistance à *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Shroter (*Septoria tritici* Rob. Ex Desm.) chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Al Awamia* 102 : 23-36.
- Mc Dermott J.M, and B.A. Mc Donald, 1993. Gene flow in plant pathosystems. *Annu. Rev. Phytopathol.* 31: 353-373.
- Mc Donald, B.A., 1991. Gametic disequilibrium among anonymous, nuclear RFLP loci in a *Septoria tritici* population. *Phytopathology* 81 : 1190.

- Mc Donald B.A. and J.P. Martinez, 1990a. DNA restriction fragment length polymorphism among *Mycosphaerella graminicola* (anamorph *Septoria tritici*) isolates collected from a single wheat field. *Phytopathology* 80 : 1368-1373.
- Mc Donald B.A. and J.P. Martinez, 1990b. Restriction fragment length polymorphisms in *Septoria tritici* occur at a high frequency. *Current genetics* 17 : 133-138.
- Mc Donald B.A. and J.P. Martinez, 1991. DNA fingerprinting of the plant pathogenic fungus *Mycosphaerella graminicola* (anamorph *Septoria tritici*) in experimental. *Mycology*.15: 146-158.
- Mc Donald, B.A., R.E. Pettway, R.S. Chen, J.M. Boeger, and J.P. Martinez, 1995. The population genetics of *Septoria tritici* (teleomorph *Mycosphaerella graminicola*). *Can. J. Bot.* 73 (suppl): S292-S301
- Medini, M., S. Hamza, and M. Harrabi, 1999. Pathogenetic characterization of *Septoria tritici* variants and polymerase chain reaction assay for the detection of *Stagonospora nodorum* and *Septoria tritici* in wheat. In proceeding du deuxième symposium regional sur les maladies des cereals et légumineuses alimentaires. Nabeul, Tunisie. Novembre 10-12.
- Medini, M. et S. Hamza, 2008. Pathotype and molecular characterization of *Mycosphaerella graminicola* isolates collected from Tunisia, Algeria, and Canada. *Journal of plant pathology*, 90 (1), 65-73.
- Mercer, P., and A. Ruddock, 1998. Disease management in winter wheat. ARINI. Recent press articles.
- Palmer, C.L et W. Skinner, 2002. *Mycosphaerella graminicola*: latent infection, crop devastation and genomics. *Mol. Plant Pathol.* 3 (2): 63-70.
- Pederson, E.A, and G.R. Hughes, 1993. Relative occurrence of *Phaeosporia nodorum* and *Mycosphaerella graminicola* in spring wheat at Saskatchewan. *Can.J.plant pathol.* 15: 113-118.
- Pelzer, E.L. 2008. Modélisation des effets des systèmes de culture et de leur repartition spatiale sur le phoma du colza et l'adaptation des populations pathogènes responsable de la maladie (*Leptosphaeria maculans*) aux résistances variétales. Thèse Doctorat. Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (AgroTech). 246p.
- Perello, A., F. Babinec, C.A. Cordo, 1987. Especializacion fisiologica en cepas argentinas de *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Schroter (anamorph *Septoria tritici*). Taller de Septorios del trigo. MAP/IPO/CIMMIT, Nov 9-14, 1987, La Estanzuela, Uruguay.
- Perello A, C.a.y. Cordo, H.E. Alippi, 1990. Caracteristicas morfologicas y pathogenicas de aislamientos de *Septoria tritici* Rob. Ex. Desm. *Agronomie* 10, 641-648.
- Perello A, Wolcan, S., Alippi H.E. 1991. Una variante miceliar albino de *Septoria lycopersici* (Speg). *Turrialba*, 41: 190-195.
- Pinochet, X., Balesdent, M.H., Salvi, F., Mestries, E., Rouxel, T. 2004. Identification of specific plant resistance factors to phoma (*Leptosphaeria maculans*) among winter

- oilseed rape varieties: interest for variety testing and for the promotion of a first step of a durable management of resistances. *Bulletin OILB* (27) : 101-108.
- Rapilly F., 1976. Essai de modélisation d'une épidémie de septoriose à *Septoria nodorum* Berk sur le blé. Recherche de critères de résistance horizontale. Thèse doctorat Es Sciences Université de Paris. Sud – Orsay. 108 p.
- Rapilly F., J.M Lemaire, et R. Cassini, 1973. Les principales maladies cryptogamiques des céréales. Ed. INRA. 189P.
- Rapilly, F. 1991. L'épidémiologie en pathologie végétale des mycoses aériennes. INRA. Paris : 337p.
- Ricardo M., B., and A.L. Sharen, 1985. *Septoria tritici* blotch in Chilean wild coat. *Plant Dis.* 69 (2) : 126 - 127.
- Robert, O., Guerreiro, L., et Kema, G. 2011. Développement d'un nouvel outil d'aide à la sélection des variétés de blé résistant à la septoriose. Rencontre scientifique. FSOV.
- Royle, D.J., 1994. Understanding and predicting epidemics: a commentary based on selected pathosystems. *Plant pathol.* 43 : 777-789.
- Ross Mc Kenzie. 1998. Wheat nutrition and fertiliser requirements-Nitrogen. In: [www.agri.gov.ab.ca/crops/wheat/wt.mg](http://www.agri.gov.ab.ca/crops/wheat/wt.mg) .
- Rouxel, T., Penaud, A., Pinochet, X., Brun, H., Gout, L., Delourme, R., Shmit, J., Balesdent, M.H. 2003. A 10 year survey of populations of *Leptosphaeria maculans* in France indicates a rapid adaptation towards the RLml resistance gene of oilseed rape. *European Journal of plant Pathology* (109): 871-881.
- Rudd, J., R. Carzaniga, and K. Hammond-Casak, 2004. Identification and functional characterisation of fungal genes and pathways involved in wheat infection by *Mycosphaerella graminicola*. *Fungal Genet. Biol.* 29: 118-133.
- Saadaoui E.M., 1987. Physiologic specialization of *Septoria tritici* in Morocco. *Plant Dis.* 71(2) 153-161.
- Saari E.E. and R.D. Wilcoxson, 1974. Plant disease situation of hielding dwarf wheats in Asia and Africa. *Ann. Rev. Phytopathol.* 12p: 49-68.
- Scottish Agricultural College (SAC), 2008. Winter wheat disease control. The Scottish Agricultural College. ISSN 0142 7695. 8p.
- Sayoud R et K. Ben Belkacem, 1996. Situation des maladies des céréales en Algérie. In proceeding du symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires. 11-14 Novembre. Rabat Maroc.
- Schuh, W., 1990. Influence of tillage systems on disease intensity and spatial pattern of *Septoria* leaf blotch. *Phytopathology* 80 : 1337-1340.
- Scott, P.R., F.R. Sanderson, and P.W. Benedikz, 1988. Occurrence of *Mycosphaerella graminicola*, teleomorphe of *Septoria tritici*, on wheat debris in the UK. *Plant Pathol.* 37 : 285-290.
- Shaner G., R.E Finney and F.L. Patterson, 1982. Expression and effectiveness of resistance in wheat to *Septoria* leaf blotch. *Phytopathology* 65 : 761-766.

- Shaner G. and R.E. Finney, 1976. Weather and epidemics of *Septoria* leaf blotch of wheat. *Phytopathology* 66: 781-785.
- Shaw, M.W., and D.J. Royle. 1989. An epidemiologically based forecasting scheme for *Septoria tritici*. P. 107-109. In P.M.Fried (Ed) Proc. In: Workshop Sept. Dis. Cereales, 3rd, Zurich, Switzerland.
- Siah, B. Tisserant, L. El-Chartouni, F. Duyme, C. Deweer, C. Fichter, J. Sanssené, R. Durand, Ph. Reignault and P.Halama. 2008. Frequencies and Molecular polymorphism of mating type idiomorphs in a french population of the wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola*. 7<sup>th</sup> International *Mycosphaerella* and *Stagonospora* Symposium. Monte Verità Conference Center, Ascona, Switzerland. August 18-22 2008. GIS PhyNoPI: Groupement d'Intérêt Scientifique "Phytopathologie Nord-Picardie".
- Siah A., B. Tisserand, L. El-Chartouni, F. Duyme, C. Deweer, C. Fichter, J. Sanssené, R. Durand, Ph. Reignault, and P.Halama, 2010. Mating type idiomorphs from a french population of wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola*: widespread distribution and low but distinct levels of molecular polymorphis. *Fungal Biology*, 114: 980-990.
- Simon, M., 1983. Les maladies des céréales. Principales maladies cryptogamiques. INRA. Paris.
- Simon, M.R. 2003. Genetic environmental and cultural factors influencing the resistance to *Septoria tritici* blotch (*Mycosphaerella graminicola*) in wheat. Wageningen University dissertation n° 3478 Summary.pp: 1-4.
- Shipton, W.A., W.R.J. Boyd, A.A Rosielle, and B.L. Shearer, 1971. The common *Septoria (Triticum aestivum)* limitation of pycnidia and spore production. *Agronomie* 17 : 343-347.
- Sutton B.C., Waterston, J.M., 1966. *Septoria tritici*. CMI Descriptions of fungi and bacteria, N°. 9. kew, UK: Commonwealth Agriculture Bureaux.
- Tompkins, D.K., D.B. Fowler, and A.T. Wright, 1993. Influence of agronomic practices on canopy microclimate and *Septoria* development in no-till winter wheat produced in the Parkland region of Saskatchewan. *Can. J. Plant .Sci.* 73 : 331-344.
- Touati-Hattab S., 2005. Etude de la séptoriose du blé à *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt (*Septoria tritici* Rob. Ex Desm) en Algérie : spécialisation parasitaire et pouvoir pathogène. Mém. Magister. INA. El Harrach, Alger. 87p.
- Van Beuningen L.T, et M.M. Kohli, 1990. Deviation from the regression of infection on heading and height as a measure of resistance to *Septoria tritici* blotch in Wheat. *Plant dis.*74 (7) : 488-493.
- Van Ginkel M., and A.L. Scharen, 1988. Host-pathogen relationships of wheat and *Septoria tritici*. *Phytopathology*. 78: 762-766.
- Van Ginkel, M., Mc Nab, A., and Krupinsky, J. 1999. *Septoria* and *Stagonospora* Diseases of Cereals: A compilation of global research. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Waalwijk, C., O. Mendes, E.C.P. Verstappen, M.A. de Waard, G.H.J. Kema, 2002. Isolation and characterization of the mating type idiomorphs from the wheat septoria leaf blotch fungus *Mycosphaerella graminicola*. *Fungal Genet. Biol.* 35, 277-286.



- Weber, G. 1922. Septoria disease of wheat. *Phytopathology*, 12: 537-585.
- Yechilevich-Auater M, E Levi and Z. Eyal, 1983. Assessment of interactions between cultivated and wild wheats and *Septoria tritici*. *Phytopathology* 73 : 1077-1083.
- Zahri, S., A. Farih, A. Badoc, et A. Douira, 2008. Efficacité de plusieurs fongicides contre la séptosiose du blé. *Bull.Soc.Pharm.Bordeaux* (147) : 39-48.
- Zhan, J., C.C.Mundt, and B.A. Mc Donald, 1998. Measuring immigration and sexual reproduction in field of *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* 88: 1330-1337.
- Zhan, J., C.C. Murdt, and B.A. Mc Donald, 2001. Using restriction fragment length polymorphisms to assess temporal variation and estimate these numbers of ascospores that initiate epidemics in field population of *M. graminicola*. *Phytopathology* 91 (10): 1011-1017.
- Zhan, J., G.H.J., Kema, C., Waalwijk, and B.A. McDonald, 2002. Distribution of mating type alleles in the wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola* over spatial scales from lesions to continents. *Fungal Genetics and Biology* 36, 128-136.
- Zhan J.R, and B.A. Mc Donald, 2004. Global genetic structure in the natural populations of *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* 91: 12-14.
- Zillinsky F.J., 1983. Maladies communes des céréales à paille. Guide d'identification. Guide d'identification. CIMYT, Mexico. 141p.
- Wolf, M.S., 1985. The occurrence status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance. *Annu. Rev. Pytopathol.* 23: 251-273.

## Annexes

Variétés / Isolats	V1 (Bidi 17)	V2 (Vitron)	V3 (Waha)
MG.03.01A (I1)	5	7	10
MG.03.02B (I2)	5	5	8
MG.03.03C (I3)	6	7	9
MG.03.04D (I4)	6	6	10
MG.03.05E (I5)	5	5	8
MG.03.06F (I6)	5	6	8
MG.03.07G (I7)	5	6	8
MG.03.08H (I8)	5	5	10
MG.04.03 (I9)	6	7	10
MG.04.04 (I10)	5	7	10
MG.04.05 (I11)	7	8	10
MG.04.06 (I12)	5	5	10
MG.04.07 (I13)	5	6	10
MG.04.08 (I14)	8	9	10
MG.04.09 (I15)	10	9	8
MG.04.13A (I16)	5	7	9
MG.04.13B (I17)	9	10	9
MG.04.13C (I18)	6	6	10
MG.04.13D (I19)	6	7	9
MG.04.13E (I20)	5	6	8
MG.04.13F (I21)	7	9	10
MG.04.13G (I22)	8	9	10
MG.04.13H (I23)	8	10	9

Tableau 1 : Périodes d'incubation obtenues sur blé dur.

Variétés / Isolats	V1 (Anza)	V2 (HD 1220)	V3 (Mahon Demias)
MG.04.02 (I24)	9	8	5
MG.04.10 (I25)	9	7	5
MG.04.11 (I26)	10	5	5
MG.04.12 (I27)	9	8	6

Tableau 2 : Périodes d'incubation obtenues sur blé tendre.

Variétés	V1 (Bidi 17)	V2 (Vitron)	V3 (Waha)
<b>Isolats</b>			
MG.03.01A (I1)	21	17	20
MG.03.02B (I2)	19	17	18
MG.03.03C (I3)	21	17	21
MG.03.04D (I4)	14	16	24
MG.03.05E (I5)	19	18	18
MG.03.06F (I6)	19	17	15
MG.03.07G (I7)	19	21	16
MG.03.08H (I8)	17	19	19
MG.04.03 (I9)	19	15	14
MG.04.04 (I10)	19	16	18
MG.04.05 (I11)	20	17	18
MG.04.06 (I12)	20	18	14
MG.04.07 (I13)	17	16	14
MG.04.08 (I14)	19	20	21
MG.04.09 (I15)	17	14	15
MG.04.13A (I16)	20	17	21
MG.04.13B (I17)	17	17	15
MG.04.13C (I18)	17	19	17
MG.04.13D (I19)	21	20	19
MG.04.13E (I20)	19	21	20
MG.04.13F (I21)	19	17	21
MG.04.13G (I22)	16	19	21
MG.04.13H (I23)	21	17	19

*Tableau 3 : Périodes de latence obtenues avec les isolats de blé dur.*

Variétés	V1 (Anza)	V2 (HD 1220)	V3 (Mahon Demias)
<b>Isolats</b>			
MG.04.02 (I24)	19	19	17
MG.04.10 (I25)	15	14	17
MG.04.11 (I26)	17	20	17
MG.04.12 (I27)	16	17	17

*Tableau 4 : Périodes de latence obtenues avec les isolats de blé tendre.*