

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Présenté par : HARRAT Wahiba
Directeur de thèse BOUZNAD Z.Pr. INA
23-06-2009

Jury **Président** KHELIFI L. M.C INA **Examineurs** MEKLOCHE A. C.C INA GUEZLANE A. M.C.
KEDAD A. C.C.

Table des matières

Remerciements . .	5
Dédicace . .	6
ص غ ل م . .	7
Résumé . .	8
Abstract . .	9
Introduction . .	10
Partie 1. Synthèse bibliographique . .	13
Chap.1. Le Blé . .	13
1.1. Présentation de l'espèce . .	13
1.2. Cycle de développement du blé . .	14
1.3. Exigences agro- écologiques . .	16
1.4. Raisonnement de la fertilisation minérale . .	20
1.5. Accidents et ennemis du blé . .	21
Chap.2. La Septoriose . .	23
2.1. Présentation de la maladie . .	23
2.2. Symptomatologie . .	24
2.3. Biologie et épidémiologie . .	24
2.5. Méthodes de lutte . .	26
Chap.3. La maladie de la tache bronzée du blé . .	28
3.1. Description et classification . .	28
3.2. Symptomatologie . .	29
3.3. Biologie et épidémiologie . .	30
3.4. Méthodes de lutte . .	32
Partie 2. Matériel et méthodes . .	33
1. Essai en plein champ . .	33
1.1. Conditions pédoclimatiques . .	33
1.2. Matériel végétal . .	34
1.3. Protocole expérimental . .	35
1.4. Itinéraire technique et fertilisation . .	37
1.5. Inoculation in situ avec <i>M. graminicola</i> . .	39
1.6. Paramètres étudiés . .	40
2. Essai in vitro . .	43
2.1. Méthode des feuilles détachées . .	44
2.2. Paramètres étudiés . .	47
3. Présentation et analyse statistique des résultats . .	48
Partie 3. Résultats et discussions . .	49
I. Influence de la fertilisation sur les composantes du rendement . .	49
I.1. Nombre de pieds par m ² . .	49
I.2. Nombre de talles herbacées par m ² . .	49
I.3. Nombre de talles fertiles par m ² . .	51

I.4. Nombre total d'épillets par épi . .	52
I.5. Nombre d'épillets stériles par épi . .	53
I.6. Nombre d'épillets fertiles par épi . .	53
I.7. Nombre de grains par épi . .	54
I.8. Poids de 1000 grains . .	54
I.9. Rendement biologique . .	55
I.10. Rendement en paille . .	55
I.11. Rendement calculé . .	56
Discussion . .	56
II. Influence des modalités de fertilisation sur la résistance de Vitron à la septoriose <i>in vivo</i> . .	58
II.1. Notation de la maladie sur les placettes inoculées par <i>M. graminicola</i> . .	59
II.2. Effet des modalités de fertilisation sur la résistance de vitron à la septoriose : influence sur les composantes du rendement . .	65
Discussion . .	75
III. Notation des feuilles détachées inoculées « in vitro » . .	77
III.1. Notation des feuilles détachées inoculées par <i>M. graminicola</i> . .	78
III.2. Notation des feuilles détachées inoculées par <i>P. tritici-repentis</i> . .	83
Discussion . .	93
Conclusion générale . .	96
Références bibliographiques . .	98
Annexe . .	107

Remerciements

Au terme de ce travail, je remercie avant Dieu tout puissant de m'avoir guidé durant toutes mes années de formation.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à Mr Bouznad, qui a bien voulu par son aimable bienveillance, diriger ce travail, sa rigueur a significativement contribué à l'aboutissement de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

Mes plus profonds remerciements à mon enseignant Mr Khelifi, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury.

Mes grands respects à Mr Mekliche, Mr Guezlane et Mr Kedad, qui ont bien voulu faire part de jury pour examiner ce travail.

Enfin je remercie les membres du personnel de la station expérimentale de l'INA et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à réaliser ce travail.

Harrat W.

Dédicace

*Je dédie ce travail à ma chère mère qui s'est tant battue pour mon bien être, pour sa bienveillance et sa force qu'elle me transmet pour traverser les plus difficiles épreuves. A mon père pour sa tendresse et sa patience. Que dieu les garde pour moi. A mes sœurs Hayet, Rahima et Fariza, ainsi qu'à mes beaux frères pour m'avoir épauler à chaque fois que j'en avais besoin. A mes neveux et nièces, pour le bonheur qu'ils me procurent. A Ghania, pour l'amour et l'affection qu'elle me donne ainsi qu'au courage et la volonté qu'elle m'inspire. Je tiens aussi à adresser mes sincères remerciements à Hoda, Kenza et Fatima pour leurs précieux conseils A mes amis Lamia, Safia, Saliha et Boualem pour m'avoir soutenu tout au long de cette épreuve. **Wahiba.***

ص خ لم

أخذت (04) نماذج للتسميد لغرض الدراسة في الحقل و مخبريا تأثير عناصر التسميد الأزوت و البوتاسيوم على مقاومة نوعين من نبات القمح : بني سليمان - Arz - (قمح لين) و هفار - Vitron - (قمح صلب) للتبغ السبثوري و الهلمنتوسبوري .

أظهرت النتائج على مستوى الحقل بعد الرش بـ (*S. tritici*) أن التسميد بالأزوت يزيد من شدة المرض عند النوع هفار . التسميد بالبوتاسيوم في طور 1 إلى 2 عقدة من انتشار المرض إلى الورقة الأخيرة من النبتة . مخبريا تم التجريب على أوراق سليمة منفصلة مأخوذة من أطوار مختلفة من النمو ، بعد الحقن بـ (*S. tritici*) أكدت النتائج بالنسبة لسلالة هفار النتائج المتحصل عليها في الحقل ، بينما ظهرت الأعراض على نوع بني سليمان مخبريا ما لم يظهر في الحقل . أما تأثير الأزوت و البوتاسيوم بعد الحقن بـ (*P. tritici-repentis*) أعطى نتائج مشابهة لتأثيرهما بعد الحقن بـ (*S. tritici*) انتشار الأعراض تأثر بطور النمو المأخوذ منه العينة ، بنوعية القمح وبنماذج التسميد المستخدمة .

كلمات المفتاح : القمح ؛ التبغ السبثوري ؛ التبغ الهلمنتوسبوري ؛ التسميد ؛ الأزوت ؛ البوتاسيوم

Résumé

Quatre modalités de fertilisation, ont été utilisées afin de tester *in vivo* et *in vitro*, l'effet des éléments N et K sur la résistance de deux variétés de blé : Arz (blé tendre) et Vitron (blé dur), à la septoriose et au tan spot.

Les notations en plein champ après inoculation par *M. graminicola*, ont montré que les apports d'engrais azotés augmentent la sensibilité de la variété Vitron à la tache septorienne. Un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds, minimise l'extension de la maladie sur la dernière feuille.

L'essai d'inoculation *in vitro* de *M. graminicola* sur feuilles détachées, a montré des résultats confirmant ceux obtenus *in vivo* pour la variété Vitron, ce qui n'est pas le cas de Arz, qui n'a pas montré de symptômes *in situ* tandis qu'*in vitro* nous avons obtenu des lésions. L'effet de N et K après inoculation par *P. tritici-repentis* a donné des résultats semblable pour l'effet de ces éléments sur la septoriose. Le développement de la lésion a été influencé par le stade de prélèvement des fragments, la variété et les modalités de fertilisation testées.

Mots clés : Blé ; *Mycosphaerella graminicola*; *Pyrenophora tritici-repentis* ; Fertilisation ; Azote, Potassium.

Abstract

Four modalities of fertilization, were used in order to test *in vivo* and *in vitro*, the effect of N and K supply, on resistance of two wheat cultivars: Arz (common wheat) and Vitron (durum wheat), to *Septoria tritici* blotch and Tan spot.

Results in field after inoculation with *M. graminicola*, show that the nitrogen supply increased the degree of disease attacks on Vitron. A potassium supply at the stage 1 to 2 nodes minimizes the extension of septoria disease on the last leaf.

In vitro inoculation test on detached leaf, show results confirming those of field test for Vitron to *M. graminicola*, this is not the case of Arz which didn't show symptoms *in situ* while *in vitro* we obtained lesions. The effect of N and K after inoculation with *P. tritici-repentis*, have a similar result for effect of these elements on *Septoria tritici* blotch on Vitron. The development of the lesion was influenced by the stage of taking the leaf fragments, the varieties and the methods of fertilization used.

Keywords: Wheat; *Mycosphaerella graminicola*; *Pyrenophora tritici-repentis*; Fertilization; Nitrogen; Potassium.

Introduction

La culture des céréales a été et restera la spéculation prédominante de l'agriculture algérienne. Elle fait partie de nos mœurs et constitue l'alimentation de base de la majorité des populations. Si les besoins du pays en céréales augmentent rapidement, il en est pas de même pour la production qui stagne et ce depuis fort longtemps.

Sur le plan spatial, les céréales occupent une large partie de la sole agricole totale et s'étendent sur des superficies qui représentent jusqu'à 30 % des terres cultivables (Chebbi et Lachaal, 2004). En Algérie, le blé et l'orge sont les trois céréales qui occupent la majorité des superficies des productions céréalières, jusqu'à 90 % (Jouve et *al.*, 2000).

Les rendements obtenus à travers les années ne connaissent pas ou peu d'évolution positive : 14,2 q/ha de blé dur et 14,9 q/ha de blé tendre en 2003 ; 15,2 q/ha de blé dur et 14,7 q/ha de blé tendre en 2006 ; tandis qu'en 2007 la diminution est considérable avec 12,9 q/ha pour le blé dur et 12,5 q/ha pour le blé tendre (Anonyme, 2008). Ce qui fait qu'une grande partie des besoins nationaux est couverte par les importations, dont le coût est de plus en plus élevé. En effet, l'Algérie est classée cinquième importateur de blé dans le monde, avec 5,1 millions de tonnes de blé importés en 2007.

Les importantes fluctuations des productions céréalières en Algérie sont dues en partie à une faible pluviométrie avec 70 % des superficies des céréales qui sont situées dans des zones où la pluviométrie est inférieure à 400 mm (Jouve et *al.*, 2000). Par ailleurs la culture du blé souffre encore de plusieurs carences techniques.

La non maîtrise de la fertilisation azotée est l'un des facteurs limitant l'intensification des céréales en Algérie. Il a été prouvé que l'azote joue un rôle déterminant dans l'élaboration du rendement des céréales et est le pivot de la fumure. En effet, pour croître et se développer, la céréale a besoin d'éléments essentiels qui sont représentés par l'azote en particulier, en présence de phosphore et de potassium (Abdellaoui et Djouhri, 2006).

La maîtrise de la fertilisation azotée n'est pas le seul aspect de l'itinéraire technique qui fait défaut, l'utilisation des pesticides présente aussi des carences quant aux conditions et au choix des produits utilisés. Il en résulte des pertes de rendement considérables causées par la nuisibilité des mauvaises herbes, des déprédateurs et des maladies fongiques.

Parmi les principales maladies foliaires observées sur le blé, la tache septorienne causée par *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. in Cohn (anamorphe : **Septoria tritici** Roberge in Desmaz.) et la maladie de la tache bronzée (Tan spot), causée par *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler (anamorphe : **Drechslera tritici-repentis** (Died.) Shoemaker).

Les pertes de rendements engendrées par *M. graminicola* peuvent atteindre 30 % durant les années pluvieuses, et en particulier lorsque les pluies printanière persistent, après l'émergence de la feuille drapeau (Danon et *al.*, 1982). Quand l'attaque est sévère, les pertes peuvent atteindre 60% du rendement total (Cook, 1999).

La maladie de la tache bronzée est également largement distribuée dans les régions productrices de blé en Algérie (Sayoud et *al.*, 1999). Tout comme la septoriose, les pertes de rendement dans le monde causées par cette maladie sont comprises entre 3 et 50 %

(Ciuffetti et Tuori, 1999) ; les plus grandes pertes qui lui sont attribuées sont de 75 % (Rees et al., 1981).

Ces pertes varient avec les conditions climatiques, les variétés cultivées et la précocité des attaques (Devale et al., 2000); la sévérité des maladies fongiques est aggravée par la déficience du sol en éléments nutritifs (Sharma et Duveiller, 2004; Regmi et al., 2002). Ainsi, la fertilisation de la culture peut influencer la sensibilité à *S. tritici* ; le niveau d'infection reflète la teneur en azote d'un sol (Tompkins et al., 1993). Par contre lorsque le sol est déficient en potassium, la sévérité de la maladie est plus prononcée lorsque celui-ci possède une teneur adéquate en cet élément (Shipton et al., 1971). D'après Duveiller (2004), des applications de K₂O peuvent être critiques pour la réduction des maladies foliaires chez le blé.

En Algérie peu de travaux ont été réalisés concernant l'impact de l'itinéraire technique sur la propagation des maladies fongiques et le rendement, alors que cette donnée pourrait être très utile aux agriculteurs, dans le but d'augmenter les rendements tout en diminuant les coûts de production.

Sur le plan phytopathologique, plusieurs travaux ont été réalisés en Algérie sur les deux maladies fongiques.

Dans le cas de *M. graminicola*, Messaoudi (1977), a mené un essai d'isolement, de culture *in vitro* et de comportement variétal vis-à-vis de la tache septorienne; les travaux de Boumediène (1986), ont porté sur la réaction de quelques lignées de blé tendre à l'égard des isolats de *M. graminicola* et la mise au point d'une technique d'inoculation artificielle sur feuilles détachées. Brahimi (1994), avait recherché une spécialisation physiologique entre deux isolats de *M. graminicola* et six variétés de blé ; Kema et al. (1996 b), ont réalisé un travail sur la variation génétique de la virulence chez 63 isolats de *M. graminicola* originaires de 13 pays, l'un d'entre eux a été prélevé à Guelma, ainsi que leurs interactions avec plusieurs cultivars dont dix sont d'origine algérienne ; Lyazidi (2002), a mené un travail d'évaluation de la résistance d'une collection de variétés sélectionnées en Algérie vis-à-vis de *M. graminicola*; Hattab-Touati (2005), a effectué une étude intéressante sur la spécialisation parasitaire et le pouvoir pathogène de 14 isolats de *M. graminicola* sur différentes variétés de blé ; le travail de Boudiaf (2006), consistait en une caractérisation culturale et morphologique de quatre isolats de *M. graminicola*. Enfin, Benkorteby (2006), a étudié dans le cadre de l'amélioration, l'hérédité de la résistance chez des hybrides F₁ et des populations F₅ de blé dur à la septoriose, en effectuant des tests au champ, sous serre et sur feuilles détachées (*in vitro*).

Les travaux sur *P. tritici-repentis* ne sont pas aussi nombreux que ceux de *M. graminicola*. Nous pouvons citer Zaamoum (2004), dont le but de son travail était de rechercher des variétés résistantes à *P. tritici-repentis* en étudiant le comportement de quelques variétés de blé dur à l'égard de ce pathogène. Tizioualou (2004), a testé l'efficacité de trois fongicides contre la tache bronzée sur deux variétés de blé et enfin, Benhaddadi (2006), a testé l'efficacité de trois fongicides sur le Tan spot (*in vitro* et *in situ*).

En complément aux travaux précédemment cités et dans le but d'étudier l'effet des éléments fertilisants sur la résistance du blé aux maladies fongiques, l'objectif de nos travaux est d'évaluer l'effet de différentes modalités de fertilisation basées sur deux éléments majeurs (**Azote** et **potassium**), sur le comportement de deux variétés de blé : **Vitron** (blé dur) et **Arz** (blé tendre), vis-à-vis de maladies foliaires préjudiciables qui sont la tache septorienne et la tache bronzée.

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Notre travail consiste dans un premier temps à effectuer une étude agronomique pour l'évaluation des effets des modalités de fertilisation qui consistent en des combinaisons d'apports d'engrais azotés et potassiques, sur les composantes du rendement de deux variétés de blé (Vitron et Arz). Ce travail est accompagné par une étude phytopathologique sur l'effet des modalités de fertilisation sur la résistance de la variété Vitron à l'inoculation *in situ* par *M. graminicola*. La méthode des feuilles détachées *in vitro*, est utilisée pour tester l'effet des modalités de fertilisation sur la résistance des deux variétés de blé à la septoriose et au Tan spot.

Partie 1. Synthèse bibliographique

Chap.1. Le Blé

Le blé

Le blé est cultivé principalement pour ses grains dont l'albumen amylicé réduit en farine ou semoule, est consommable par l'homme. Le blé est également cultivé pour les pailles et le fourrage qu'il procure à l'état vert en année de sécheresse.

1.1. Présentation de l'espèce

1.1.1. Origine et classification botanique

La plupart des recherches archéologiques ont confirmé que les origines du blé se situent dans les zones du croissant fertile. C'est à partir de cette zone que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe (Bonjean, 2001).

Le blé et les céréales en général, sont des cultures annuelles qui appartiennent à la famille des Poacées (graminées), sous-famille des Poaideae (festucoïdées). Le blé dur et le blé tendre appartiennent au genre *Triticum*.

De part leur constitution chromosomique, Simon et al. (1989) distinguent l'existence de trois groupes du genre *Triticum* :

Le groupe diploïde ($2n = 14$ chromosomes) ou engrain, comprenant le *Triticum bioticum* et le *Triticum monococcum*.

Le groupe des tétraploïdes ($2n = 28$ chromosomes) ou groupe de *Triticum dicoccum* (amidonier), comprend le *Triticum diccocoïdes* ou amidonnier sauvage, *Triticum turgidum* ou blé poulard et le *Triticum durum* ou blé dur.

Le groupe des hexaploïdes ($2n = 42$) ou groupe de *Triticum spelta* (épeautre), regroupe le *Triticum eastivum* ou blé tendre et le *Triticum compactum* ou blé hérisson.

1.1.2. Caractères morphologiques du blé

a. Le grain

Le grain de blé est un caryopse, défini comme un fruit sec indéhiscent. La couleur varie de blanchâtre à brunâtre selon l'espèce et la variété (Anonyme, 2001). D'aspect ovoïde, il est plus allongé dans le cas du blé dur et arrondi dans le cas du blé tendre.

Le caryopse nu sans glumelles est constitué du tégument, du germe et de l'albumen, qui représente la plus grande partie du caryopse (80 à 90 %) (Soltner, 2005).

b. L'appareil végétatif

Le blé est une plante herbacée qui comporte un système racinaire fasciculé de deux types : des racines primaires fonctionnelles de la levée jusqu'au début tallage et des racines secondaires ou de tallage (Simon et al., 1989).

La tige creuse ou chaume, porte des feuilles engainantes à nervures parallèles. La présence et la forme des oreillettes ou stipules et de la ligule au point d'insertion de la feuille, au niveau de la tige, permettent de déterminer l'espèce avant l'apparition des épis (Soltner, 2005).

c. L'inflorescence ou épi

Le type d'inflorescence est un épi, l'axe de l'épi ou rachis porte de 15 à 25 épillets qui sont à leur tour constitués de 3 à 4 fleurs (Anonyme, 2001).

Morphologiquement le blé dur se distingue du blé tendre par un feuillage plus claire, totalement glabre (Simon et al., 1989).

1.2. Cycle de développement du blé

Dans le cycle annuel du blé, une série d'étapes séparées par des stades repères, permettent de diviser le développement du blé en trois périodes, (Fig. 1):

La période végétative ;

La période reproduction ;

La période de maturation.

1.2.1. Période végétative

a. Phase semis- levée

Elle débute par le passage du grain de l'état de vie ralentie à l'état de vie active lors du processus de germination, qui se traduit par la sortie des racines séminales et par la croissance du coléoptile qui s'entrouvre pour laisser passer la première feuille vers la surface du sol (Gate, 1995 ; Soltner, 2005).

b. Phase deux à trois feuilles

Après la levée, les ébauches foliaires entassées à position alternée croissent et émergent les unes après les autres à un rythme régulier. A ce stade, le nombre de pieds par m² est définitivement établi (Gate, 1995).

c. La phase tallage

Le tallage est caractérisé par l'entrée en croissance de bourgeons différenciés à l'aisselle des feuilles.

Nous distinguons le début tallage, caractérisé par l'apparition de la première talle à l'aisselle de la première feuille, c'est la talle primaire. Chaque talle primaire émet une talle secondaire susceptible d'émettre une talle tertiaire (Inogat et Couvreur, 1980).

Le plein tallage, est un stade plus difficile à repérer étant donné que l'intensité du tallage varie selon les conditions climatiques et la densité de semis.

A ce stade, la plante émet de nombreuses talles primaires et secondaires tout en conservant son port rampant (Inogat et Couvreur, 1980).

En même temps que se déploie la quatrième feuille et que pointe la première talle, de nouvelles racines sortent de la base du plateau de tallage donnant les racines secondaires. Le stade fin tallage est atteint lorsque la jeune inflorescence (apex) est d'environ 1 cm au dessus du plateau de tallage (Gate, 1995).

d. Phase montaison

Elle se caractérise par la différenciation et l'élongation des ébauches des nœuds et d'entrenœuds. Le premier nœud est détectable au toucher à plus de 1 cm du plateau de tallage, la date d'apparition de ce stade est évaluée sur le maître brin (Soltner, 2005).

1.2.2. Période reproductrice

a. Stade épiaison

La gaine de la dernière feuille s'écarte progressivement suite à l'allongement des derniers entrenœuds de la tige : c'est le stade gaine écartée. Dans les jours qui suivent, le sommet de l'épi sort de la dernière gaine et atteint alors sa longueur définitive : c'est le début de l'épiaison.

b. Stade floraison

Il se caractérise par l'apparition des étamines hors des épillets. A ce stade, la croissance des tiges est terminée (Gate, 1995).

c. La période de maturation

Au cours de cette période, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substance de réserve, à savoir la phase de multiplication cellulaire, qui se termine par le stade laiteux. La phase d'accumulation des assimilats, caractérisée par la migration intensive des réserves, cette phase se termine par le stade pâteux et en fin la phase de dessiccation où on assiste à une perte rapide du poids d'eau. Le grain devient dur et sa couleur devient jaunâtre. C'est le stade de maturité physiologique (teneur en eau 13 à 14 %) (Soltner, 2005).

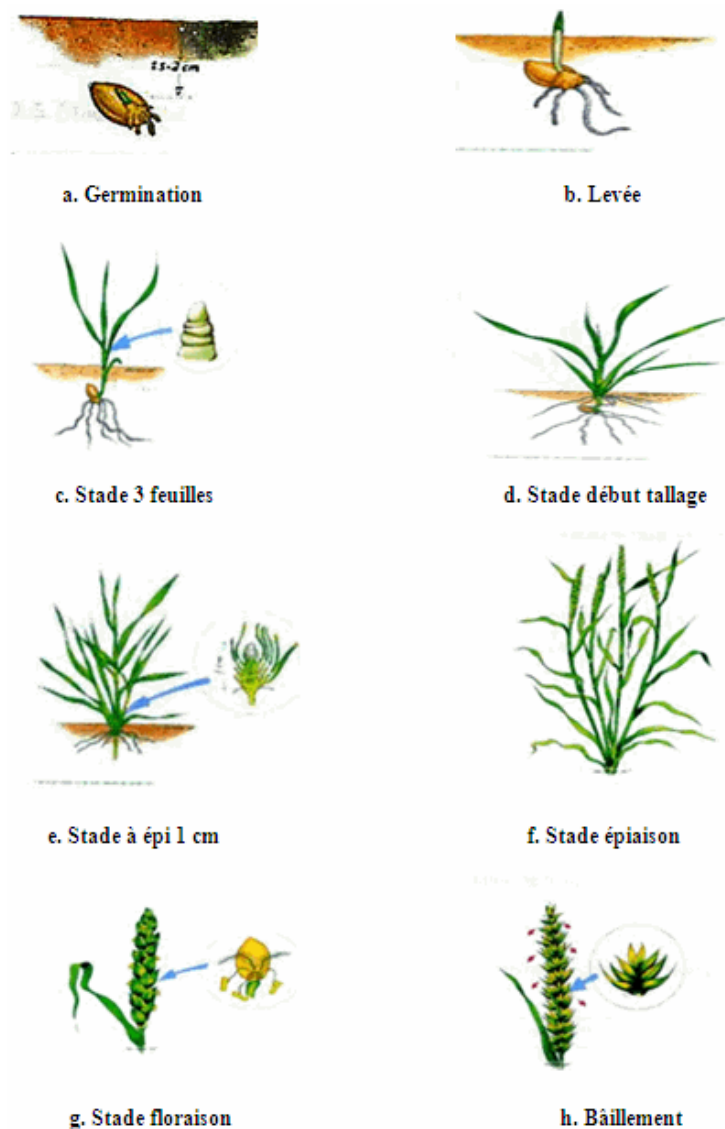


Figure 1. Différentes phases de développement du blé.

Source : Anonyme (2005)

1.3. Exigences agro-écologiques

Dans les pays du Maghreb, les plus grandes surfaces des céréales sont cultivées en conditions pluviales, particulièrement dans les zones semi-arides. Ces zones sont souvent soumises aux aléas climatiques, qui agissent sur la croissance et le développement des céréales et par conséquent sur leur productivité (Boulal et al., 2007).

1.3.1. Eau

Les blés ont des besoins de 550 mm d'eau en moyenne au cours de leur cycle de développement. De la montaison jusqu'à la floraison, ces besoins sont considérables jusqu'à 180 mm (Moule, 1980)

Selon Gate (1995) au début du cycle végétatif la sécheresse affecte l'installation de la culture alors qu'au milieu du cycle végétatif, elle affecte principalement la fertilité des organes reproducteurs de la plante ;

La sécheresse de fin de cycle végétatif affecte la formation et le remplissage du grain.

1.3.2. Température

Le zéro de germination du blé est de 0 °C, selon la sensibilité variétale, alors que le seuil thermique de mortalité varie entre - 12 et - 16 °C (Simon et al., 1989). En fonction des stades phénologiques, les effets des températures sur le rendement sont variables. Au début montaison (stade épi à 1 cm), une seule journée avec une température minimale voisine de - 4°C (sous abri) est suffisante pour la destruction partielle ou totale des épis.

Selon Cook et Veseth (1991), l'élévation des températures accélère la vitesse de croissance des grains et réduit leur durée de remplissage (Gate, 1991). Quand les feuilles de blé sont exposées aux hautes températures, la photosynthèse ralentit et s'arrête à 28 – 29°C ; le taux de respiration augmente avec l'augmentation de la température (38°C). A 35°C les enzymes clés cessent de fonctionner et peuvent être inactivés.

1.3.3. Sol

Le blé s'accommode de terres bien différentes, si on emploie les fumures et variétés appropriées. Selon Soltner (2005) trois caractéristiques font une bonne terre à blé : une texture limono-argileuse fine stable, une bonne profondeur et une richesse suffisante en colloïdes. Les moins bonnes sont les terres très argileuses, trop caillouteuses et sableuses.

1.3.4. Photopériode

Le blé est adapté aux jours longs. La floraison s'effectue plus rapidement en jours longs. Il faut que la durée d'éclairement soit d'environ 12 heures / jour pour que l'épi commence à monter dans la tige ; au dessous de cette valeur seuil de durée du jour, il n y a pas de formation de primordia d'épillets et les plantes continueront à différencier des organes végétatifs (Simon et al., 1989).

En plus de ces conditions, la culture de blé a besoin de plusieurs éléments fertilisants (majeurs et oligo-éléments) pour atteindre les rendements recherchés.

1.3.5. Nutriments inorganiques

Les céréales ont besoin de trouver dans le sol, tout au long de leur cycle, les quantités d'éléments minéraux qui leur sont nécessaires pour la croissance. Le sol fournit une partie de ces éléments, mais cette dernière est souvent insuffisante et doit être complétée par des apports d'engrais, surtout en ce qui concerne les éléments majeurs. La nutrition minérale du blé est assurée par tous les éléments fertilisants qui sont divisés en trois catégories :

Les éléments fertilisants majeurs (azote, phosphore et potassium) ;

Les éléments fertilisants secondaires (soufre, calcium et magnésium) ;

Les oligo-éléments (fer, molybdène, bore, zinc, cuivre, manganèse, cobalt, vanadium, silicium).

D'après Bockman et al. (1990), les éléments minéraux utilisés par la plante proviennent essentiellement de :

- La libération d'éléments issus des réserves du sol ;
- La décomposition des débris végétaux ;
- La fumure organique ;
- Les dépôts aériens.

a. Eléments majeurs

a1. Azote

Bien que l'atmosphère contienne environ 80% d'azote, seules quelques espèces de procaryotes, des bactéries et des cyanobactéries, sont capables d'utiliser directement l'azote gazeux. La plupart des plantes absorbent l'azote contenu dans la solution du sol sous la forme d'ions inorganiques, le nitrate (NO_3^-) et dans quelques cas l'ammonium (NH_4^+). Une fois dans la plante, le nitrate est réduit en ammonium avant d'être incorporé dans les acides aminés, les protéines ou des composés azotés organiques (Hopkins, 2003 ; Bennett, 1994).

L'azote est un constituant de nombreuses molécules importantes, comme les protéines (85%), les acides nucléiques (5%), certaines hormones (par exemple l'acide-3-indole acétique, les cytokinines) et la chlorophylle (Barker et Pilbeam, 2007). Il n'est donc pas surprenant que la plupart des symptômes d'une carence en azote se manifestent par une lente réduction de la croissance ainsi que par une chlorose générale des feuilles (Barker et Pilbeam, 2007 ; Bennett, 1994).

L'azote est fortement mobile dans la plante, lorsque les feuilles les plus âgées jaunissent et meurent, l'azote essentiellement sous forme d'amines ou d'amides solubles, est mobilisé dans les feuilles les plus jeunes qui se développent le plus rapidement. Par conséquent les symptômes de carence apparaissent généralement dans les feuilles les plus âgées et n'apparaissent dans les jeunes feuilles que lorsque la carence devient sévère (Satorre et Slafer, 1999). Un excès d'azote stimule une croissance exubérante de la partie aérienne favorisant ainsi une augmentation du rapport tiges feuilles / racines et retardant la mise à fleur de nombreuses espèces cultivées. De la même façon, une carence en azote favorise une floraison précoce (Hopkins, 2003).

a2. Phosphore

Cet élément est présent dans la solution du sol, surtout sous la forme d'un triacide : l'acide phosphorique (H_3PO_4) ; sa disponibilité dans le sol dépend du pH (Bennett, 1994). Il est absorbé par la plante sous deux formes : ion phosphate monovalent (H_2PO_4^-) ou ion phosphate bivalent ($\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$).

Le phosphore est un constituant des principaux composés des plantes comme les enzymes, les protéines, les phospholipides et les acides nucléiques. Il joue un rôle vital dans le cycle de vie de la plante, car il est impliqué dans le processus métabolique général (Bennett, 1993). Selon Hopkins (2003) et Bennett (1993), une carence en phosphore se manifeste par une intense coloration verte des feuilles, la croissance est ralentie et la maturité est tardive. Un excès engendre des effets inverses de ceux de l'azote (stimulation de la croissance de racines).

a3. Potassium

Disponible sous la forme de cation monovalent K^+ , dans la pratique agricole, il est habituellement apporté sous la forme de potasse (carbonate de potassium, K_2CO_3).

Pour la plupart des plantes, les besoins en potassium sont très importants, à cause de sa très grande solubilité ; il est très souvent présent en quantités insuffisantes dans le sol, d'autant plus qu'il y est facilement lessivé.

L'ion potassium exerce un rôle d'activation de nombreuses enzymes, en particulier celles impliquées dans la photosynthèse et la respiration. La synthèse de l'amidon ainsi que celle des protéines est également affectée par des carences en potassium (Hopkins, 2003). Le transfert de potassium est le principal facteur de mouvement des plantes, comme les mouvements d'ouverture et de fermeture des cellules de garde des stomates et les mouvements nyctipériodiques ou l'orientation des feuilles durant la journée (Bennett, 1993).

Chez les céréales, les carences en cet élément se manifestent par des lésions nécrotiques qui débutent à la pointe de la feuille, constituée des cellules les plus vieilles, puis progressent graduellement le long des bords vers les cellules plus jeunes de la partie basale de la feuille. Les tiges sont raccourcies et moins rigides et leur sensibilité aux champignons responsables de la pourriture des racines est accrue. Il en résulte que les plantes carencées en potassium versent facilement (Cottignies, 1989).

Après N, P et K, le soufre est le quatrième élément fertilisant le plus prélevé par les céréales. La cinétique du soufre au cours du cycle de développement du blé est analogue à celle de l'azote.

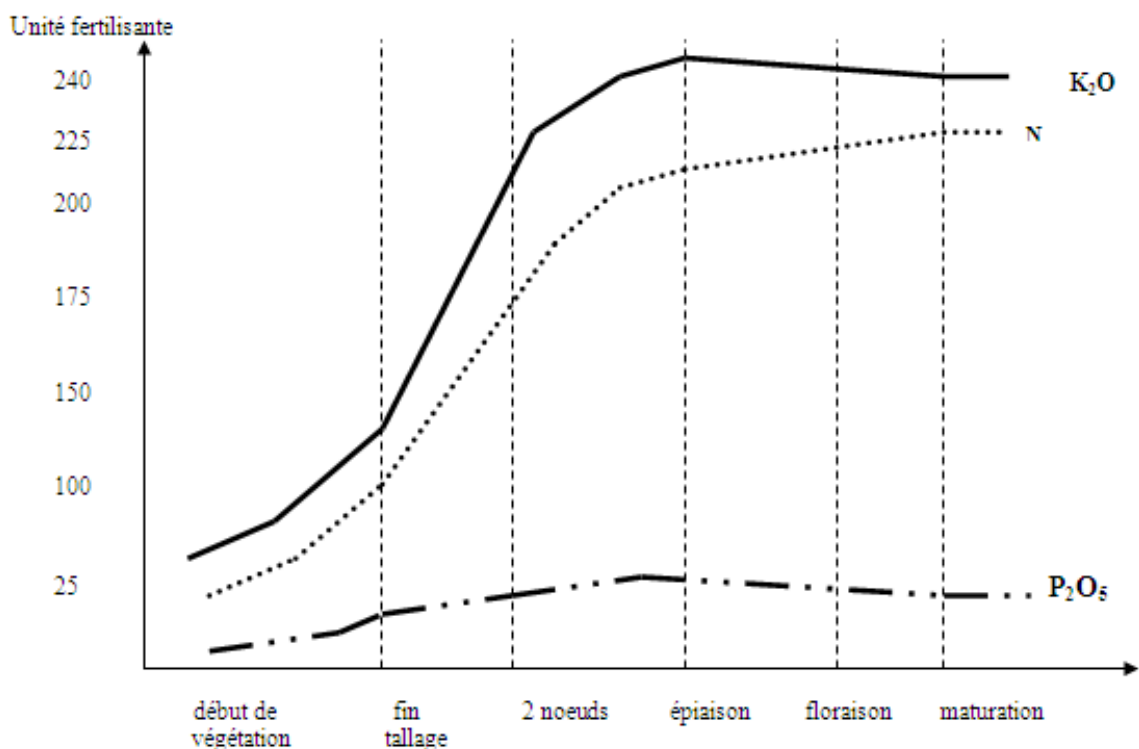


Figure 2. Evolution des besoins du blé en N.P.K. à différents stades.

Source : Anonyme (1997).

b. Oligo-éléments

Les oligo-éléments dont la nécessité absolue est parfaitement établie et le rôle en partie connu, sont les suivants : fer, manganèse, zinc, cuivre, bore et molybdène.

Selon Hopkins (2003) et Loue (1993), le fer participe activement durant la respiration et la photosynthèse au niveau des chaînes d'électrons.

Le manganèse est un activateur des enzymes d'oxydoréduction, d'hydrolyse, de photosynthèse, où il se trouve impliqué dans le système redox.

Le zinc a un rôle important dans la synthèse des acides nucléiques et des protéines par le contrôle de la synthèse du tryptophane.

Le cuivre participe à la photosynthèse et agit sur la viabilité du pollen, comme il intervient dans le rendement en grain.

Le bore intervient dans la croissance méristématique où il joue un rôle dans la migration et l'utilisation des glucides.

Le molybdène est nécessaire à l'assimilation normale de l'azote, il fait partie de la nitrate réductase et la nitrogénase.

1.4. Raisonnement de la fertilisation minérale

La fertilisation raisonnée est l'une des approches permettant de mieux valoriser l'eau et de réduire le risque de pollution des eaux surtout dans les périmètres irrigués.

Dans le sens de la durabilité, la fertilisation minérale des cultures permet de maintenir et/ou d'améliorer la fertilité des sols pour une productivité optimale. Cependant, l'utilisation rationnelle des engrais doit être basée sur la connaissance de la richesse initiale du sol en éléments fertilisants, du type de sol qui influence la disponibilité de ces éléments aux plantes et du niveau de rendement souhaité et compatible avec les conditions du milieu (Badraoui et al., 2001).

Les objectifs de la fertilisation visent :

Un rendement proche de l'optimum économique de production ;

Une production ayant une bonne qualité technologique ;

Une culture valorisant au mieux les disponibilités en fertilisants et donc respectueuse de l'environnement.

Une bonne gestion de la fertilisation minérale est donc une étape importante de la conduite culturale pour améliorer le rendement et maximiser les gains à l'hectare.

1.4.1. Fertilisation azotée

Les besoins en azote d'une culture de céréale varient au cours du cycle de la culture en fonction des différentes phases de développement.

Gate (1995), a pu évaluer les besoins en alimentation azotée des céréales sur différentes phases :

Phase levée - début tallage : Durant cette phase, les besoins en azote sont faibles ;

Phase début tallage - début montaison : La mise à la disposition des plantes de doses optimales d'azote pendant cette phase, favorise l'émission et la croissance de talles ;

Phase début montaison – floraison : l'activité intense de croissance (élongation des entrenoeuds et accumulation de la biomasse) se traduit par une forte consommation d'azote. L'absorption azotée atteint son maximum à la fin de cette phase.

Phase floraison début – maturation : l'absorption se ralentit du fait de l'arrêt de croissance des parties végétatives. L'absorption de l'azote à partir des fournitures du sol diminue progressivement et on assiste à une translocation des composés azotés protéiques depuis les organes végétatifs vers les grains.

La fertilisation azotée représente l'un des moyens privilégiés d'intervention physique dans une culture. Les besoins sont variables d'une espèce à une autre et au sein de la même espèce, d'une condition de culture à une autre.

Pour une rationalisation de la fertilisation azotée, le raisonnement de l'apport, comme indiqué à la figure 3, doit se faire selon l'objectif de rendement, la fertilité du sol, l'espèce, la variété, le précédent cultural, la pluviométrie de la zone et le mode d'apport (Abdellaoui et Djouhri, 2006).

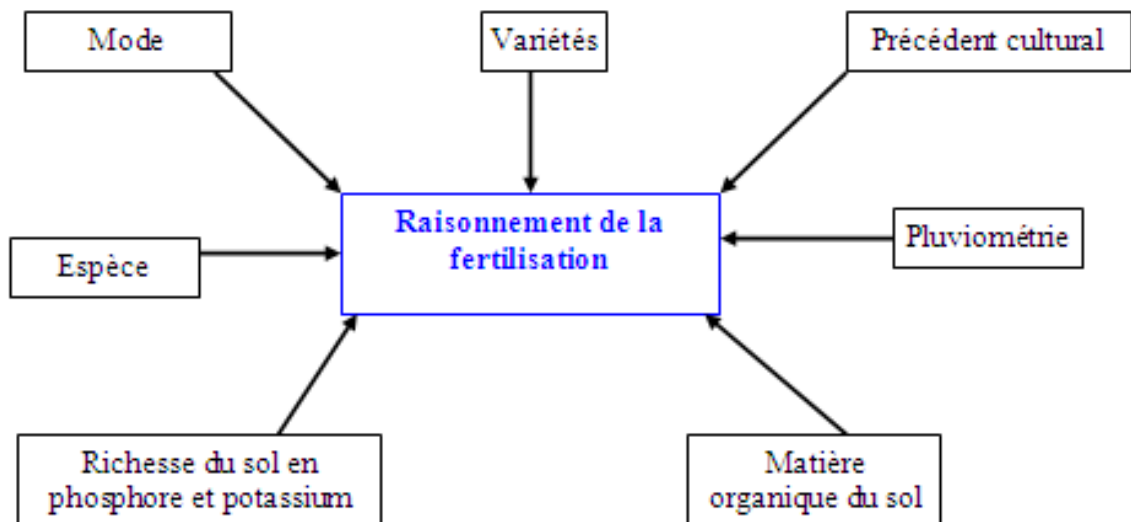


Figure 3. Facteurs influençant la fertilisation azotée.

Source : Abdellaoui et Djouhri (2006).

1.4.2. Fertilisation potassique

Le raisonnement de la fertilisation potassique tient compte de la richesse du sol en cet élément et des restitutions des résidus de la culture précédente.

Les engrais potassiques sont des engrais de fond et leur apport se fait avant ou durant le semis (Boulal H. et al., 2007).

Il est aussi apporté comme complément de fertilisation au cours de la culture mélangé avec d'autres oligoéléments pour éviter les carences.

1.5. Accidents et ennemis du blé

Au cours de tout le cycle de développement du blé, la plante est confrontée à divers stress mécaniques, physiologiques et biologiques qui interfèrent avec sa croissance et son développement. Ces stress peuvent être abiotiques (facteurs climatiques et produits

toxiques) ou biotiques tels que les insectes, les mauvaises herbes, les nématodes et les maladies (fongiques, virales et bactériennes).

1.5.1. Stress abiotiques

Les maladies non parasitaires (également appelées maladies physiologiques ou abiotiques) désignent les perturbations du métabolisme, les retards de croissance ou les anomalies du développement résultant de causes altérogènes abiotiques.

Les facteurs abiotiques qui affectent le rendement et la qualité du grain de blé sont principalement les accidents climatiques (la température et l'amplitude de variations, l'eau et sa disponibilité relative, le vent et la lumière, etc.). D'autres maladies abiotiques connaissent une extension récente : réactions aux polluants atmosphériques, aux pesticides, aux déséquilibres trophiques (Lepoivre, 2003).

1.5.2. Stress biotiques

a. Adventices

En Algérie, la nuisibilité directe des mauvaises herbes, se traduit par une chute de rendement qui varie de 25 à 50%, selon les régions, les années, les espèces cultivées et le degré d'intensification des systèmes de cultures.

Les espèces de mauvaises herbes les plus fréquemment rencontrées sont : la folle avoine (*Avena sterilis*), le ray-grass (*Lolium multiflorum*), le phalaris déformé (*Phalaris paradoxa*), *Oxalis cernua*, *Bromus rigidus* et *Bromus madritensis* (Hamadache, 1995).

b. Nématodes et les ravageurs

Les nématodes causent des pertes de rendement et de qualité de la récolte et peuvent être des vecteurs de certains virus, le plus répandu étant *Heterodera avenae* qui s'attaque au système racinaire (Zillinsky, 1983).

Les ravageurs causent des dégâts aux céréales lorsqu'ils s'en nourrissent et les blessent mécaniquement. Parmi les plus connus en Algérie, nous pouvons citer la punaise des céréales, le ver blanc, les pucerons, les moineaux et les rongeurs.

c. Maladies

- Maladies bactériennes

Elles ne sont pas bien étudiées malgré les dégâts importants qu'elles engendrent. Les principales maladies bactériennes des céréales peuvent être dues à différents germes attribués aux genres *Clavibacter*, *Erwinia*, *Pantoea*, *Pseudomonas* et *Xanthomonas*. D'après Khenfous-Djebari (2005), les bactérioses les plus répandues en Algérie sont l'agent de la strie bactérienne (*Xanthomonas translucens*), l'agent de la maladie de la semence rose (*Erwinia rhapontici*), l'agent de la maladie de la tache brune (*Pseudomonas syringae*).

- Maladies virales

Le plus important est le BYDV (agent causal de la jaunisse nanisante de l'orge) qui est largement distribué dans les régions productrices de blé en Algérie.

- Maladies fongiques

De loin les plus importantes, elles affectent les composantes qualitatives et quantitatives de la production céréalière. Ces maladies peuvent en effet s'attaquer à toutes les parties de la plante et provoquer des dégâts dévastateurs quand les conditions de l'environnement sont favorables. Parmi les plus répandues en Algérie rapportées par Sayoud et al., (1999) sont la carie "*Tilletia caries* (DC.) Tul. et C. Tul", le charbon nu "*Ustilago nuda* f. sp. *tritici* Schaffnit", l'oïdium "*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *tritici* Em. Marchal.", la pourriture racinaire "*Cochliobolus sativus* (S. Ito et Kurib.) Drechsler ex Dastur--", la rouille brune "*Puccinia recondita* Dietel et Holw.", la rouille jaune "*Puccinia striiformis* Westend.", la septoriose "*Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt.in Cohn" et la tache bronzée "*Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler".

Chap.2. La Septoriose

2.1. Présentation de la maladie

La tache septorienne est une maladie foliaire du blé dur et tendre, causée par [Mycosphaerella graminicola](#) (Fuckel) J. Schröt. in Cohn dont l'anamorphe est *Septoria tritici* Desm. Roberge in Desm., causant des pertes majeures des rendements à travers le monde (Cowger et al. ,2000 ; Eyal et al., 1987).

Sur les céréales on ne rencontre le plus fréquemment que trois espèces de *Septoria* : *S. nodorum* (Berk.) Berk. in Berk et Broome et *S. tritici* Rob. in Desm., sur blé et *S. avenae* Frank., sur avoine (Rapilly, et al., 1971 ; Dileone et al., 1996).

Initialement, toutes les espèces responsables de la tache septorienne ont été désignées comme espèces de *Septoria*. Depuis plusieurs espèces sont placées dans le genre *Stagonospora* ; le premier critère de séparation de ces deux genres est le type de conidies. Ainsi, *Stagonospora nodorum* (Berk.) E. Castellani et E.G. Germano est la nouvelle dénomination de l'agent causal de la tache des glumes de blé, à la place de *Septoria nodorum* et *Stagonospora avenae* f. sp. *tritici* (A.B. Frank.) Bissett à la place de *Septoria avenae* (A.B. Frank) Bissett f. sp. *tritici*, agent causal de la tache mouchetée de l'avoine (Cunfer et Ueng, 1999).

Le téléomorphe du genre *Stagonospora* est *Phaeosphaeria* synonyme de *Leptosphaeria*.

Ces deux genres comportent plus de 2000 espèces, dont la majorité sont des agents pathogènes de plantes cultivées (Scharen, 1999).

Au Maghreb, la septoriose est considérée comme l'une des maladies qui cause le plus de dégâts sur le blé (Ezzahiri, 2001).

Le téléomorphe *M. graminicola* a été décrit en Europe en 1984 par Cohn, mais il n'a pas été identifié comme le téléomorphe de *S. tritici* que vers 1972 par Sanderson (Sanderson, 1977).

La classification de *M. graminicola* selon Palmer et Skinner (2002), sont notées dans le tableau 1.

Tableau 1. Classification de *M. graminicola*.

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Formes	M. graminicola
Règne	Fungi
Phylum	Ascomyota
Classe	Loculoascomycetes (ascomycètes filamenteux)
Ordre	Dothideales (Capnodiales)
Famille	Mycosphaerellacei
Genre	Mycosphaerella
Espèce	Mycosphaerella graminicola

Source : Palmer et Skinner (2002).

2.2. Symptomatologie

La septoriose attaque principalement le feuillage, et s'identifie par des nécroses allongées et délimitées par les nervures (Duncan et Howard, 2000 ; Sayoud et al., 1999). Les taches de couleur vert clair, puis jaune, deviennent brunes à leur périphérie, tandis que le centre se dessèche en raison de la mort des tissus ; les nécroses sont très souvent allongées, parsemées de très nombreux points noirs (les pycnides) (Rapilly et al., 1971).

Les pycnides sont formées exclusivement à l'intérieur des cavités sub-stomatales et ainsi paraissent rangées parallèlement aux nervures vasculaires du limbe (Palmer et Skinner, 2002). Les symptômes commencent généralement à se manifester sur les feuilles du bas, particulièrement celles qui sont en contact avec le sol (Sayoud et al., 1999).

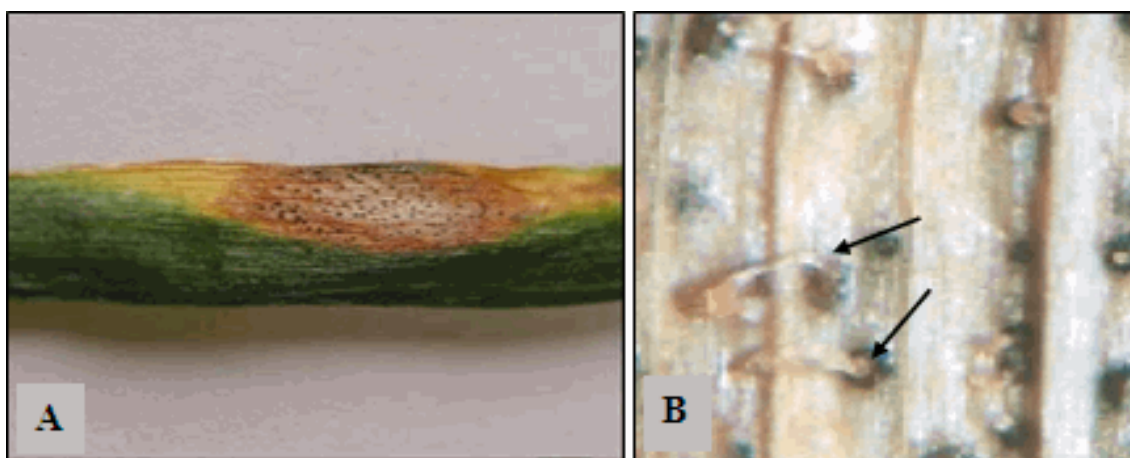


Figure 4. A : Symptômes de la tache septorienne causée par *Septoria tritici*; B : Photo représentant des cirrhes blanchâtre sortant des pycnides .

Source : Lipps et Mills (2002).

2.3. Biologie et épidémiologie

M. graminicola est un ascomycète haploïde, hétérothallique (bipolaire MAT-1 et MAT-2) avec un cycle biologique qui inclut à la fois la reproduction sexuée et la reproduction asexuée (Zan, et al., 2006).

Deux formes de spores ont été décrites, les unes contenues dans des pycnides, c'est la forme asexuée (pycnidiospores), les autres (ascospores) correspondent à la forme sexuée du champignon contenu dans des pseudothèces (Verreet et Klink, 2002).

Ces deux formes constituent les caractères morphologiques de classification de ce champignon :

M. graminicola développe des pycnidiospores hyalines, étroites, courbes et filiformes (Scharen, 1999). Les pycnidiospores peuvent être présentes sous deux formes à l'intérieur de la pycnide, les macropycnidiospores (35 à 98 × 1 à 3 µm), présentent 3 à 5 cloisons et les micropycnidiospores (8 à 10,5 × 0,8 à 1 µm), non cloisonnées. Ces deux formes sont capables d'infecter le blé (Eyal et al., 1987).

La forme sexuée *M. graminicola*, développe des pseudothèces sous épidermiques, globuleux, de couleur brun foncé avec une paroi à deux couches cellulaire (Eyal et al., 1987), contenant huit ascospores hyalines, elliptiques, bicellulaires et disposées irrégulièrement à l'intérieur de l'asque (Sanderson, 1977).

Tableau 2. Mensuration de *M. graminicola* (anamorphe de *S. tritici*).

Forme asexuée	Pycnide (µm)	Pycnidiospore (µm)	Nombre de septa	Nombre de chromosomes
<i>Septoria tritici</i>	60-200	20-98 × 1,4-3,8	3-5	14-19
Forme sexuée	Pseudothèce (µm)	Ascospores (µm)	Nombre de cellules	
<i>Mycosphaerella graminicola</i>	70-100	10-15 × 2-3	1-2	

Source : Barry et al. (1999) et Scharen (1999)

Les ascospores sont disséminés par le vent, qui peuvent rester viables pendant plusieurs mois sur les chaumes infectés, constituent l'inoculum primaire (Palmer et Skinner, 2002). La période de libération des ascospores à partir de l'atmosphère dans la région de l'hémisphère Sud intervient entre février et avril (Scharen, 1999). En présence d'eau libre, les ascospores sont libérées des pseudothèces matures durant toute l'année (Zhan et al., 1998).

Les spores de la forme asexuée appelées pycnidiospores, sont plus importantes comme inoculum secondaire local au moment de la croissance de la plante, elles peuvent être disséminées par éclaboussures de gouttelettes de pluie à partir des feuilles basales de la plante vers les feuilles supérieures du végétal (transport vertical), ou aux feuilles adjacentes (transport horizontal), ou encore par simple contact entre les feuilles infectées et les feuilles saines (Palmer et Skinner, 2002 ; Shaw, 1999).

La densité de l'infection initiale est telle qu'une fois que des lésions apparaissent sur un m², la maladie est polycyclique, se succède sur les étages foliaires (Shaw, 1999).

Les pycnides sont produites approximativement durant le 14ème et le 21ème jour après l'infection, en fonction de la température et du cultivar hôte (Dileone et al., 1996).

Durant les périodes humides, les pycnides germent et libèrent des exsudats contenant les pycnidiospores (cirrhes). La libération des pycnidiospores est graduelle, dont la majeure partie est exsudée durant les premières phases humides, et le reste durant les phases humides ultérieures.

Le nombre de pycnidiospores de *S. tritici* libérées de la pycnide peut être compris entre 5 et 10×10^3 (Eyal, 1971).

Pour germer et pénétrer dans l'hôte, les pycnidiospores ont besoin d'eau libre sur les feuilles. Après une pluie, une contamination réussie nécessite une période d'humidité relative de 15 à 20 h (Shanner et Finny, 1976) ; L'infection peut se produire entre 5 et 35°C, mais l'optimum est entre 20 et 20°C (Dileone et al., 1996).

2.4. Processus infectieux

Les pycnidiospores de *M. graminicola* germent après 12 h de contact avec la surface de la feuille, en présence d'eau libre (Cunfer, 1999). Le tube germinatif se développe aléatoirement sur la feuille, la pénétration se fait préférentiellement par les stomates ouverts ou fermés (Cohen et Eyal, 1993; Hilu et Bever, 1957). La formation des pycnides sur les feuilles infectées par *M. graminicola* se produit uniquement en conjonction avec les stomates ; l'arrangement linéaire des pycnides suit l'emplacement linéaire des stomates tout au long des nervures. Selon Kema et al. (1996, a), la forme de la pycnide paraît être déterminée par le contour de la chambre sub-stomatale dans laquelle elle est formée.

Une fois à l'intérieur de la feuille, le champignon colonise les tissus intercellulaires du mésophylle, sans former des haustoria (Palmer et Skinner, 2002). Les relations hôte-pathogène sont les mêmes chez les blés résistants ou sensibles. La germination des spores sur la surface foliaire est similaire sans tenir compte de la sensibilité. Le nombre des pénétrations est environ le même, mais la croissance des hyphes est beaucoup plus élevée chez les cultivars sensibles, ce qui aboutit à des chloroses puis nécroses plus importantes (Cohen et Eyal, 1993; Hilu et Bever, 1957). Chez les cultivars de blé résistants inoculés par *M. graminicola*, il n'y a pas ou peu de pycnides ; le mycélium est restreint dans les cavités sub-stomatales (Kema et al., 1996).

En dépit des preuves indirectes (désorientations de la compartimentation cellulaire, dégradation des tissus de l'hôte et nécrose) qui suggèrent l'implication d'une ou de plusieurs phytotoxines dans le processus de l'infection du blé par *M. graminicola*, aucune substance biologique de nature fongique n'a pu être isolée (Eyal, 1999). Mais il est possible que des composés toxiques et leur effet cumulatif, provoque un stress à l'intérieur des tissus de l'hôte, ce qui a une relation avec la formation des symptômes (nécrose, pycnides) (Zelikovitch et al., 1992).

2.5. Méthodes de lutte

La lutte contre la tache septorienne vise à minimiser et retarder le développement de la maladie, afin d'éviter qu'elle n'atteigne les feuilles supérieures qui contribuent à plus de 50 % au remplissage du grain (Lacroix, 2002).

Les méthodes de lutte peuvent être chimiques, culturales ou génétiques, mais il est préférable d'intégrer ces différentes méthodes dans un seul programme, ce qui reviendra moins cher pour l'agriculteur (Eyal, 1999).

2.5.1. Lutte culturale

Pour atténuer la sévérité de la maladie, les chercheurs recommandent l'application des pratiques culturales et les rotations avec des cultures nettoyantes (Shipton et al., 1971). King et al. (1983) ont noté que pendant longtemps, il a été recommandé de brûler les résidus de culture. Actuellement ce n'est plus le cas, car il arrive que des températures atteintes

par cette action ne soient pas assez efficaces pour éliminer tous les débris et laissent de ce fait suffisamment de restes infectés pour maintenir l'inoculum à une autre culture de blé (Eyal, 1981).

2.5.2. Lutte chimique

La lutte chimique avec des produits systémiques peut être efficace pour protéger les étages supérieurs de la plante (Farid et al., 1996).

Parmi les matières actives efficaces contre la septoriose, nous pouvons citer : l'Epoxiconazole, le Fultriafol, le Propiconazole, le Tébuconazole, le Tétraconazole et des mélanges comme le Hexaconazole + le Carbendazime, le Flutrifol + le Carbendazime et le Flusilasol + le Carbendazime (Sayoud et al., 1999).

2.5.3. Lutte génétique

La sélection pour la résistance génétique à *M. graminicola* reste la méthode de lutte rapportée comme la plus efficace et la moins coûteuse (Rapilly, 1991). En effet l'utilisation de cultivars résistants réduit la conservation du pathogène dans les chaumes (Krupinsky, 1999).

En matière de résistance variétale à la tache septorienne, plusieurs variétés à des niveaux de résistance acceptables existent en Algérie par exemple : les variétés Ziad et Mohamed Ben Bachir (Sayoud et al., 1999).

Au cours des dernières années, 12 gènes de résistance chez le blé vis-à-vis de *M. graminicola*, Stb1 jusqu'à Stb12, ont été identifiés. La relation gène pour gène a été montrée pour le Stb6; c'est le gène le plus répandu comme source de résistance à travers le monde (Arraiano et al., 2006).

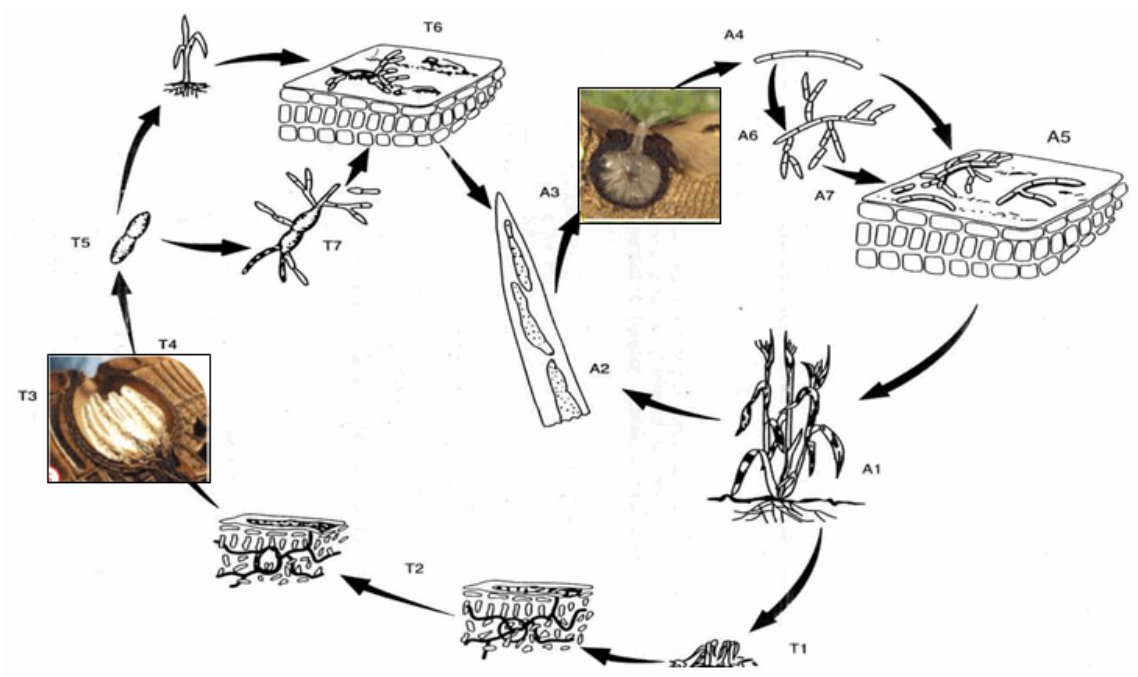


Figure 5. Cycle biologique de *Mycosphaerella graminicola* (anamorphe : *Septoria tritici*). (T : forme sexuée ; A : forme asexuée)

Source : Madariaga (1993) ; Verreet et klink (2002).

Chap.3. La maladie de la tache bronzée du blé

[Pyrenophora tritici-repentis](#) (Died.) Drechsler, dont l'anamorphe étant [Drechslera tritici-repentis](#) (Died.) Shoemaker, Synonyme de *Helminthosporium tritici-repentis* Died. (1902), est un ascomycète homothallic responsable de la tache bronzée du blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) et du blé tendre (*T. aestivum*) (Ronis et Semaskiene, 2006 ; Hosford et Morrall, 1975).

3.1. Description et classification

La propagation de cette maladie se fait par les deux voies : sexuée (ascospores) et asexuée (conidies).

Chez cette dernière forme les conidiophores sont érigés et simples avec une base enflée de couleur brun foncé, cloisonnés, mesurant de 100 à 400 µm × 6 – 8 µm qui engendrent des conidies subhyalines, cylindriques, caractérisées par 4 à 7 cloisons, multinuclées, de couleur jaune pâle et mesurant 80 – 250 × 14 – 20 µ (Ciuffetti et Tuori, 1999 ; Zillinsky, 1983 ; Champion, 1997).

Les pseudothèces de *P. tritici-repentis* sont de couleur noire, en saillie, ornés de poils situés autour d'un col court. Les ascospores matures sont de couleur brun jaunâtre, ovoïdes, munies de trois cloisons transversales, et d'une ou deux cloisons longitudinales (Wiese, 1987, Zillinsky, 1983).

D'après Erikson et Winka (1997), la classification de *P. tritici-repentis* est comme suit :

Règne	Fungi
Phylum	Ascomycota
Classe Sous classe	Dothideomycetes Dothideomycetes
Ordre	Pleosporales
Famille	Pleosporaceae
Genre	Pyrenophora
Espèce	Pyrenophora tritici-repentis

3.2. Symptomatologie

Le champignon pénètre directement l'épiderme et croit entre les cellules du mésophylle (Loughman et Deverell, 1986). Les symptômes caractéristiques de la maladie de la tache bronzée de blé se manifestent sur les feuilles par des taches qui peuvent apparaître précocement en produisant des plages chlorotiques et nécrotiques sur les limbes des feuilles jeunes ou adultes (Strelkov et al., 2002 ; Sayoud et al., 1999 ; Devale et al., 2000).

Lamari et Bernier (1989-1991), montrent que des interactions spécifiques entre certains isolats du champignon et le génotype du blé aboutissent au développement de nécrose et/ou chlorose. De part les symptômes homologues, cette maladie peut facilement être confondue avec la septoriose du blé. Les deux champignons provoquent sur le feuillage des taches losangiques bordées par une zone chlorotique jaunâtre. *P. tritici-repentis* laisse apparaître au centre des taches un point brun ou un cercle plus foncé (Champion, 1997), au stade jeune de la nécrose.

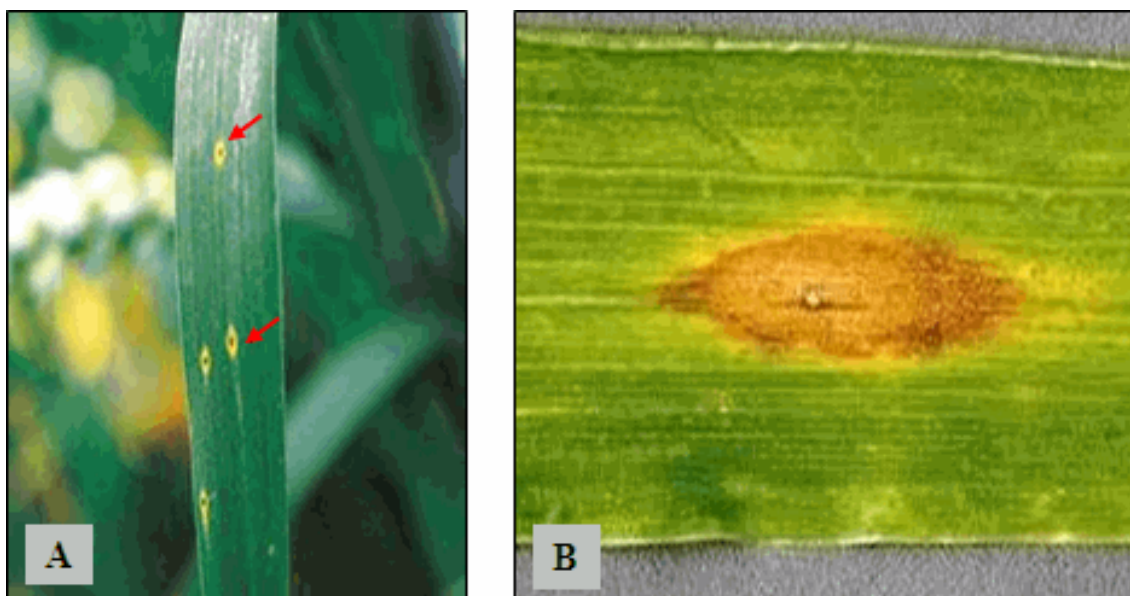


Figure 6.A : Stade initial de l'helminthosporiose du blé due à *P. tritici-repentis*; B : Symptôme de la tache bronzée causée par *P. tritici-repentis* sur feuille de blé à un stade avancé.

Source : Anonyme (2006).

En cas de fortes attaques, la maladie peut se propager à la gaine, aux glumes et infecter les graines, en occasionnant des colorations rougeâtres (Devale et al., 2000).

Les interactions compatibles entre des souches du champignon et des génotypes sensibles de blé sont déterminées par des toxines spécifiques à l'hôte, qui correspondent à des gènes de sensibilité chez l'hôte.

Trois toxines spécifiques appelées : Ptr ToxA, Ptr ToxB et Ptr ToxC, sont les plus connues. La Ptr ToxA provoque la nécrose, les deux autres causent la chlorose (Strelkov et al., 2006).

3.3. Biologie et épidémiologie

Le pathogène se conserve sous forme de pseudothèces qui apparaissent à l'automne sur les chaumes (Sayoud et al., 1999 ; Wiese, 1987). La formation des asques et des ascospores matures se fait dans les pseudothèces au début du mois de mars, et peut se poursuivre jusqu'en juin (Le Quintec, 1999).

Les gouttes de pluie provoquent l'ouverture des pseudothèces et entraînent ainsi la libération des asques, puis des ascospores. Ces derniers sont ensuite disséminés par le vent à une faible hauteur et peuvent infecter les feuilles basses du blé (Devale et al., 2000). Les ascospores sont responsables des contaminations primaires des parcelles qui se traduisent par l'apparition de points nécrotiques comme conséquence à la pénétration du tube germinatif de l'ascospore dans les tissus de la feuille (Ciufftti et Tuori, 1999 ; Le Quintec, 1999).

Rapidement le mycélium du champignon colonise les cellules voisines et provoque une nécrose des feuilles, bordée d'un halo jaunâtre. Sur les nécroses de forme losangique, se développent des conidies qui représentent la forme asexuée du champignon; ces dernières

sont responsables des contaminations secondaires et de la propagation de la maladie dans les parcelles (Le Quintrec, 1999).

Une troisième source d'inoculum peut provenir des semences de blé infectées, où le champignon se conserve sous forme de mycélium et peut se propager à la plantule lors de la germination ; le mycélium produit alors des conidies qui infectent la plante (Devalé et al., 2000).

La germination des conidies et l'infection des tissus sont favorisées par une durée d'humectation de 6 à 24h ; les températures optimales pour l'infection se situent entre 18 et 28°C. Il n'y a pas d'infection à des températures inférieures à 6°C ou supérieures à 32°C (Sayoud et al., 1999).

Ce cycle de reproduction nécessite une alternance d'une période sèche pour la dissémination au cours de la journée (Engleet al., 2004).

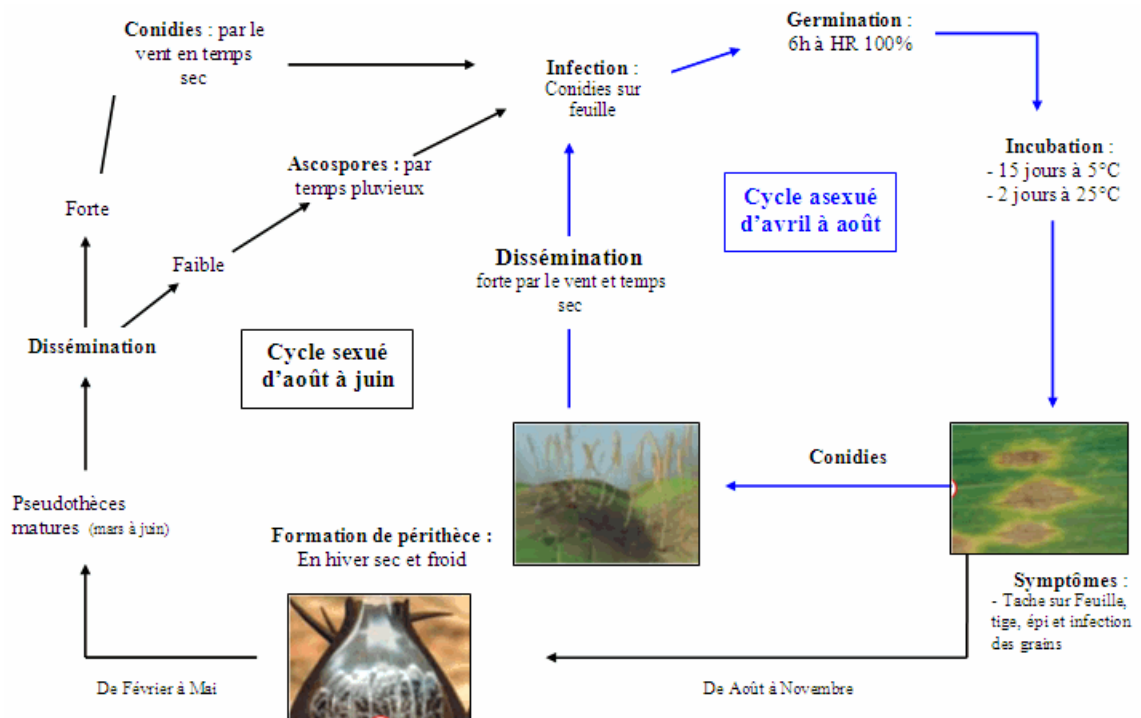


Figure 7. Cycle biologique de *pyrenophora tritici-repentis* (forme asexuée *drechslera tritici-repentis*).

source :devalé et al.(2000) ;verreet et klink (2002). 3.4. Méthodes de lutte

3.4. Méthodes de lutte

Comme pour la septoriose, la lutte contre la tache bronzée du blé peut être culturale, chimique et génétique.

3.4.1. Lutte culturale

Elle vise à limiter l'augmentation du taux d'inoculum primaire dans le sol (Rapilly et al., 1971). Pour cela les techniques culturales recommandées pour réduire la sévérité de la tache bronzée sont les mêmes que celles recommandées pour la septoriose précédemment traitée (Chap. 2).

Par ailleurs, l'utilisation des semences indemnes de la maladie, l'espacement large entre les rangs et la fertilisation adéquate non excessive, limitent le développement de la maladie en réduisant la densité du feuillage et l'humidité relative à l'intérieur de la couverture végétale (Zillinsky, 1983 ; Sayoud et al., 1999 ; Wiese, 1987).

3.4.2. Lutte chimique

En cas d'épidémie ou dans le cas d'utilisation de variétés sensibles, il est nécessaire de faire une ou deux applications de fongicides systémiques bien positionnées durant le cycle végétatif de la culture. A cet effet plusieurs fongicides sont utilisés contre la tache bronzée : le Quadrix (azoxystrobine), le Stratego (propinconazole + trifloxystrobine), le PropiMax EC, le Tilt (Propiconazole), le Mancozebe, le Dithane et le Pencozebe (Watkins, 2003). Cependant, ces applications restent conditionnées par l'importance des pertes potentielles et le degré d'intensification de la culture (Sayoud et al., 1999). En outre, les traitements de semences doivent être exécutés pour réduire l'importance de l'inoculum primaire introduit par la semence.

3.4.3. Lutte génétique

Si la résistance variétale est la solution idéale, en Algérie les variétés locales sont très sensibles alors qu'une résistance variétale notable existe chez plusieurs cultivars améliorés : INRAT69 et Ziad (Sayoud et al., 1999).

Les mécanismes de résistance de certaines variétés de blé dur à l'égard de *P. tritici-repentis* sont encore discutés, mais l'hypothèse retenue met en jeu une molécule émise par le végétal inhibant le développement du mycélium au sein du mésophylle foliaire. Ainsi une variété résistante se caractérise par des taches moins étendues autour du point noir marquant le site d'infection (Hosford et al., 1989).

Partie 2. Matériel et méthodes

Afin d'évaluer l'influence de la fertilisation azotée et potassique sur la résistance du blé aux deux maladies fongiques considérées (septoriose et tache bronzée), notre travail a été mené en deux étapes :

Un essai en plein champ qui consistait à inclure deux variétés de blé et le facteur fertilisation (azotée et potassique), ainsi que l'inoculation *in situ* de *M. graminicola*.

Un essai *in vitro* d'inoculation par les deux maladies sur des fragments de feuilles détachées et échantillonnées à partir des microparcelles ayant subi différents types de fertilisation au champ.

1. Essai en plein champ

1.1. Conditions pédoclimatiques

La station expérimentale de l'INA (El Harrach) est située à l'Est d'Alger et au Sud / Nord de la plaine sub-littorale de la Mitidja, cette zone est caractérisée par un climat méditerranéen à hiver doux et humide avec une pluviométrie moyenne de 600 mm et des gelées rares, avec alternance d'une saison sèche et chaude.

a. Conditions édaphiques

En se basant sur les analyses granulométriques et chimiques (Harrat, 2005), le sol présente une texture sablo-argileuse, un pH légèrement alcalin et un taux de calcaire total faible.

b. Conditions climatiques

Les précipitations totales durant la campagne agricole 2007-2008 sont de 722,1mm réparties sur 105 jours (**Tab. 3**). Les pluies ont été concentrées le plus durant le dernier trimestre de l'année 2007.

La période de Janvier à Avril, durant laquelle la consommation en eau de la culture est importante, a connu un déficit hydrique prononcé.

Ce déficit a été comblé par une irrigation assurée par un système d'irrigation installé au niveau de la serre grillagée, à chaque fois que l'humidité du sol baisse pour éviter un stress hydrique à la culture.

Tableau 3. Températures mensuelles et précipitations enregistrées durant la campagne 2007-2008.

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Mois	T°C min	T°C max	T°C moy	Précipitation (mm)	Nombre de jours pluvieux
Sep.	19,0	28,9	23,9	33,4	7
Oct.	15,2	25,8	20,5	98,4	9
Nov.	8,9	17,5	13,2	297,8	16
Dec.	6,8	16,2	11,5	74,6	23
Jan.	6,4	17,8	12,1	29,7	20
Fev.	7,9	18,3	13,1	23,8	9
Mar.	8,6	19,1	14,8	55,9	9
Avr.	10,8	21,6	16,2	20,5	6
Mai	12,9	22,2	17,6	88,0	6

Source : Station météorologique de l'INA (El Harrach).

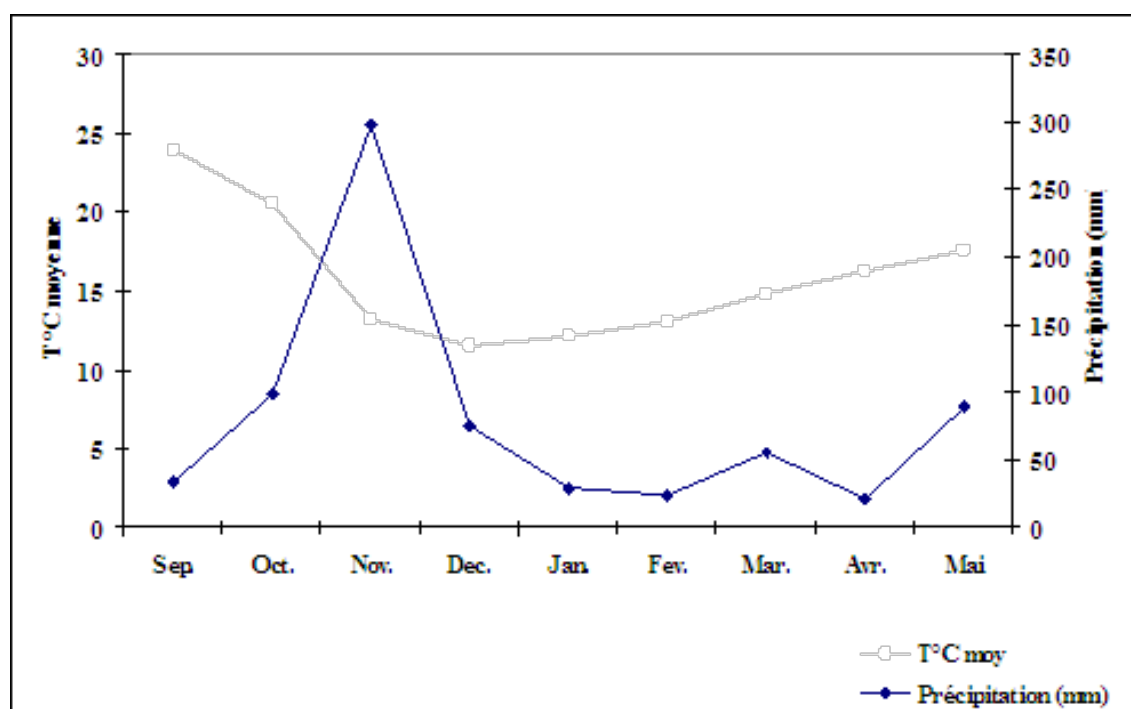


Figure 8. Diagramme Ombro-thermique de la campagne agricole 2007-2008.

1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de deux variétés de blé, Vitron (blé dur) et Arz (blé tendre).

La moyenne du poids de 1000 grains chez Vitron est de 46,1 g et celle d'Arz est estimée à 36,53 g.

Le test de la faculté germinative nous a révélé un pourcentage de 99% de grains qui ont germé.

Tableau 4. Caractéristiques des variétés utilisées.

Caractéristiques	Vitron (Hoggar)	Arz (Beni Slimane)
Origine	Espagne	CIMMYT (Mexique)
Demandeur	ITGC	ITGC
Type de variété	Lignée pure	Lignée pure
Zones d'adaptation	Hauts-plateaux, plaines intérieures et les zones sahariennes (sous pivot)	Littoral et les plaines intérieures
Caractéristiques morphologiques	Compacité de l'épi : compacte Couleur de l'épi : blanc Hauteur de la plante à maturité : 90-100 cm	Compacité de l'épi : lâche Couleur de l'épi : fortement coloré Hauteur de la plante à maturité : 95-100 cm
Caractéristiques culturales	Alternativité : hiver Cycle végétatif : semi-précoce Tallage : moyen Résistances : - au froid : résistante à la verse : tolérante à la sécheresse : sensible	Alternativité : hiver Cycle végétatif : semi-précoce Tallage : fort Résistances : - au froid : résistante - à la verse : résistante - à la sécheresse : résistante

Source : Boufenar et Zaghouan (2006).

1.3. Protocole expérimental

L'expérimentation au champ a été menée selon un dispositif en Split Plot à quatre répétitions, où chaque bloc est constitué de 8 parcelles élémentaires représentées par les deux variétés, ainsi que les quatre modalités de fertilisation (**Figs. 9-10**).

L'essai comporte au total 32 microparcelles, dont chacune mesure 2 m de long et 1,20 m de large, soit une superficie de 2,40 m².

Les blocs ainsi que les parcelles élémentaires sont espacés de 40 cm; la distance entre les lignes étant de 20 cm (5 lignes).

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

V2M2	V2M4	V2M1	V2M3	V1M3	V1M4	V1M2	V1M1	B1
V2M4	V2M1	V2M2	V2M3	V1M2	V1M3	V1M4	V1M1	B2
V1M2	V1M3	V1M4	V1M1	V2M2	V2M4	V2M3	V2M1	B3
V2M3	V2M1	V2M4	V2M2	V1M3	V1M4	V1M2	V1M1	B4

Le facteur modalités de fertilisation

M₁ : Témoin *sans* fertilisation azotée et potassique ;

M₂ : 2 q/ha avant le semis de *Bioactyl* ;

M₃ : 3 q/ha avant le semis de *Bioactyl* + 1 q/ha d'*Urée* au tallage et 1 q/ha au stade épi 1 cm ;

M₄ : Traitement 3 + 5 l/ha d'*Agripotash* (2,5 l/ha au stade 1 nœud et le reste 15 jours après).

Les caractéristiques des engrais utilisés sont mentionnées en page 36.

Figure 9. Plan de l'essai en plein champ.



Figure 10. Vue d'ensemble de l'essai sous serre grillagée (Stade épiaison).

1.4. Itinéraire technique et fertilisation

Le précédent cultural est une culture de soja menée en irrigué durant l'été et début d'automne 2007, et dont les opérations culturales ont été réalisées dans l'ordre chronologique suivant :

- Un labour à une profondeur de 20 cm, le 10/12/2007.
- Préparation du lit de semence, le 20/12/2007.

Il faut signaler que le sol était très humide lors du semis, suite aux fortes précipitations survenues à cette période.

Le semis a été réalisé le 09/01/2008, avec une densité de semis de 400 plants par m².

Une fumure de fond à base de phosphore a été apportée au moment de la préparation du lit de semence, à raison de 2 q/ha. Un apport d'Agriphos au stade fin tallage a été réalisé pour éviter les carences en oligoéléments.

Les engrais azotés et potassiques sont apportés selon les indications du dispositif, en fonction des stades phénologiques de la plante.

Tableau 5. Calendrier et nature des apports d'engrais azotés et potassiques.

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Produits utilisés	Traitement correspondant	Dates
Bioactyl	M ₂ , M ₃ et M ₄	08/01/2008
Urée	M ₃ et M ₄	11/02/2008
Urée	M ₃ et M ₄	02/03/2008
Agripotash	M ₄	10/03/2008
Agripotash	M ₄	24/03/2008

Caractéristiques des produits utilisés

- Bioactyl superbe (8-10-22), est un engrais complexe dont le composant actif est le bioactyl et l'élément fertilisant dominant est le K₂O.

- Urée, est un corps du groupe des amides, à 46 % d'azote uréique.

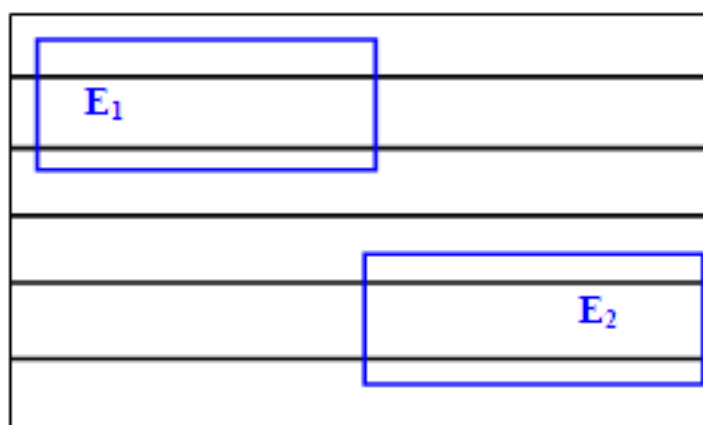
L'urée est conditionnée en petites perles de un à deux mm, d'où le nom de perlurée donné à cet engrais.

- Agripotash, est une solution liquide à base de potassium (33 % = 500 g/l de K₂O). Il est utilisé pour le traitement foliaire de la carence en potassium et l'amélioration de la qualité des productions.

Au cours de la culture, nous avons procédé à plusieurs désherbages manuels et un seul désherbage chimique au stade 3 feuilles avec un herbicide sélectif (HUSSAR OF).

Afin de lutter contre les limaces, nous avons effectué plusieurs épandages de Methaldéhyde après leur détection sur les microparcelles. Par ailleurs deux pulvérisations de Pychlorex 48, contre les pucerons au stade plein tallage a été réalisé.

La récolte a été faite le 01/06/2008, manuellement par arrachage des plants. Pour les microparcelles de la variété Vitron, nous avons récolté deux échantillons renfermant deux lignes sur 1 m (E₁ et E₂) et pour celles de Arz nous n'avons prélevé que l'échantillon de la placette E2 (Fig. 11).



— Lignes de semis

E₁ : Echantillon inoculé par *S. tritici*.

E₂ : Echantillon sans inoculation (Témoin).

Figure 11. Schéma représentant la méthode de prélèvement des échantillons au moment de la récolte sur les parcelles élémentaires.

1.5. Inoculation in situ avec *M. graminicola*

L'isolat de *M. graminicola*, (ST-03-01G) qui a servi à notre expérimentation provient de la collection du laboratoire de mycologie (INA) et dont l'isolement a été réalisé en 2003, à partir de la variété de blé dur Vitron.

1.5.1. Technique d'inoculation in situ

L'inoculum est obtenu à partir d'une culture de colonies âgées de 7 à 10 jours, ayant l'aspect d'une crème légèrement rosâtre, rappelant l'apparence d'une culture bactérienne (Fig. 12).

Cette crème contenant les conidies est raclée à l'aide d'une spatule et mise en suspensions dans de l'eau distillée stérile à un certain volume connu pour pouvoir ajuster par la suite à 106 spores/ml, après comptage à l'aide d'une cellule de Malassez.

Pour que les gouttelettes adhèrent bien aux feuilles de blé après pulvérisation, nous avons ajouté 5 gouttes de Tween 20 par litre de suspension.

En raison de l'emplacement de notre essai (plein champ), nous avons couvert les échantillons (représentés par E1 au niveau de la figure 11), avec du plastique blanc translucide et bien fixé pour éviter le dessèchement des feuilles par le vent.

Trois heures avant l'inoculation, nous avons procédé à une pulvérisation d'eau sur les plants à l'intérieure des échantillons sous forme de fines gouttelettes, afin de préserver un taux d'humidité relative adéquat avant l'inoculation.

L'inoculation a été faite le 04/02/2008, ce qui correspond au stade 3 à 4 feuilles de notre culture, le soir et à temps couvert.

Les échantillons ont été recouverts soigneusement après l'inoculation. La figure 13, représente une vue d'ensemble de l'essai le jour de l'inoculation.

Le plastic de couverture a été enlevé au bout de 48h. Durant la période d'incubation (de l'inoculation à l'apparition des symptômes) nous avons effectué des pulvérisations de fines gouttelettes d'eau à une fréquence de deux à trois pulvérisations par jour en fonction du taux d'humidité.

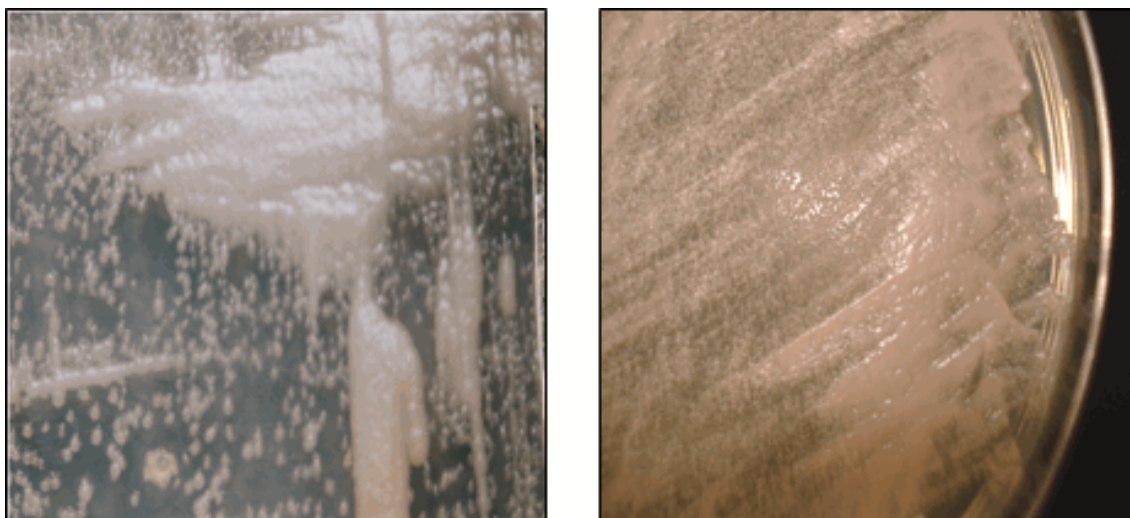


Figure 12. Stroma de *M. graminicola*, sous l'aspect d'une culture bactérienne.



Figure 13. Technique d'inoculation de *M. graminicola* (in situ).

1.6. Paramètres étudiés

Les notations des différentes composantes de rendements ont été effectuées au niveau des placettes E₁ et E₂ de chaque parcelle élémentaire, sur lesquelles nous avons déterminé par comptage, mesures et pesées les paramètres étudiés notés ci-dessous.

1.6.1. Dates de notation des stades phénologiques

Les stades repères élaborés par Baggiolini (Gate, 1995), ont été utilisés pour l'épandage et la pulvérisation des engrais ainsi que pour la notation de la maladie.

Tableau 6. Dates de réalisation des différents stades de développement du blé au niveau du champ expérimental.

Dénomination des stades repères	Dates de réalisation des stades
Semis	09/01/2008
A- Levée	19/01/2008
B, C et D- Stade 2 à 3 feuilles	26/01/2008
E- Début tallage	09/02/2008
F- Plein tallage	25/02/2008
G- Fin tallage	01/03/2008
H- Stade épi 1 cm	03/03/2008
I et J- Stade 1 à 2 nœuds	11/03/2008
K et L- Stade méiose pollinique	22/03/2008
M, N et O- Epiaison	31/03/2008
P et Q- Floraison	07/04/2008
La formation du grain R- Grain formé S- Grain laiteux T- Grain pâteux V- Grain jaune	16/04/2008 21/04/2008 06/05/2008 21/05/2008
Récolte (W- Grain mûre)	01/06/2008

1.6.2. Composantes du rendement

Les notations des différentes composantes du rendement sur les placettes E₁ et E₂ ont été effectuées aux stades opportuns à savoir :

- Nombre de pieds par m² (stade 3 feuilles) ;
- Nombre de tiges herbacées par m² (stade fin tallage) ;
- Nombre de talles fertiles par m² (stade épiaison) ;
- Nombre d'épillets par épi (total, fertiles et stériles), nombre de grains par épi, poids de 1000 grains (après la récolte).

A partir de ces données, les rendements ont été estimés :

- Rendement biologique (biomasse totale à maturité) ;
- Rendement en paille (biomasse à maturité des plants sans racines ni épis);
- Rendement estimé en grain, il est calculé selon la formule suivante décrite par Briffaux (1987) :

$$\text{Rendement calculé (q/ha)} = \text{nombre d'épi/m}^2 \times \text{nombre de grains / épi} \\ \times \text{poids de 1000 grains} \times 10^{-4}$$

1.6.3. Notation de la maladie

L'estimation de la sévérité de la maladie causée par *M. graminicola* sur le blé, selon les différents traitements de fertilisation (azotée et potassique), est réalisée par trois notations des paramètres ci-dessous sur la placette E₁, après le 25^{ème} jour (plein tallage), au 50^{ème} jour (stade gonflement), après l'inoculation ; la dernière notation est effectuée au stade remplissage du grain:

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

- Le nombre de plantules attaquées par *S. tritici* (**NPA**), c'est-à-dire montrant les symptômes de la maladie ;
- Le nombre de feuilles atteintes (**NFA**) ;
- Le nombre de lésion par feuille (**NL**) ;
- Hauteur relative à la maladie (**H**), en suivant l'échelle de 0 à 9, décrite par Saari et Prescott (**Fig. 14**) ;

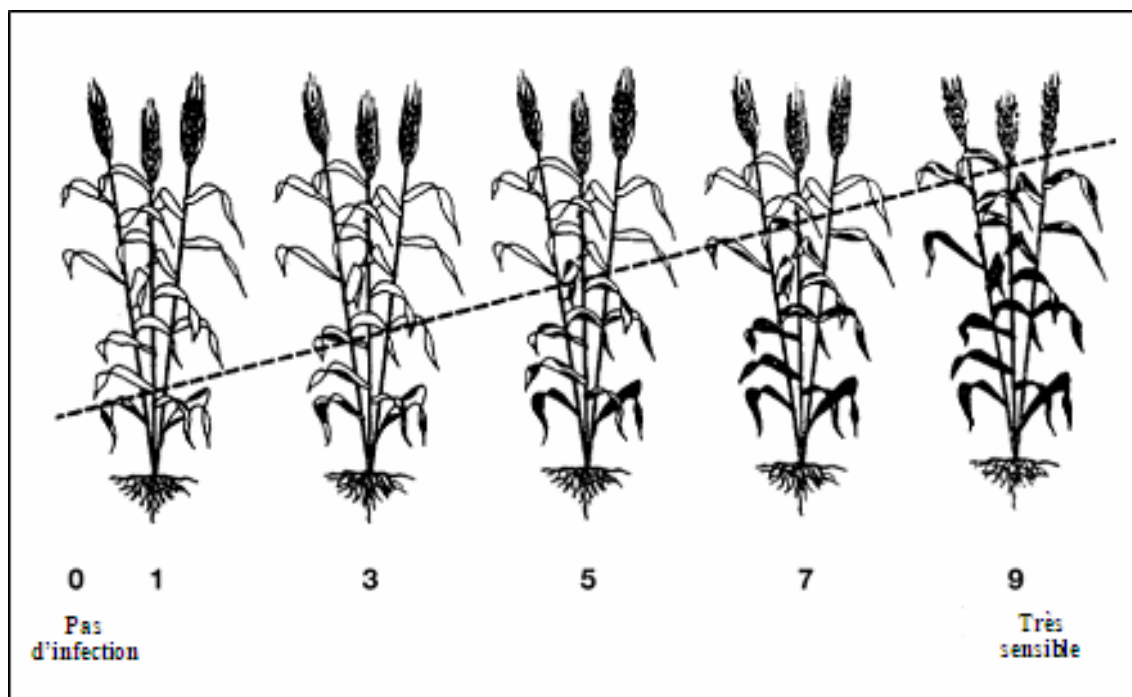


Figure 74. Echelle (0 à 9) de Saari et Prescott, estimation de la hauteur relative des maladies foliaires chez le blé et l'orge.

Source : Saari et Prescott (1975).

- Estimation du pourcentage de l'étendue de la maladie selon l'échelle de Eyal et Ziv (1974) citée par Eyal et al. (1987), basée sur le recouvrement pycnidial sur feuilles (**Fig. 15**) ;

Tableau 7. Niveau de la réaction des plantes à la maladie en fonction du pourcentage de la densité pycnidienne moyenne.

Niveau de la réaction des plantes	Pourcentage de la densité pycnidienne moyenne (%)
Très résistant (TR)	0 – 5
Résistant (R)	5 - 15
Modérément résistant (MR)	15 - 30
Modérément sensible (MS)	30 - 40
Sensible (S)	40

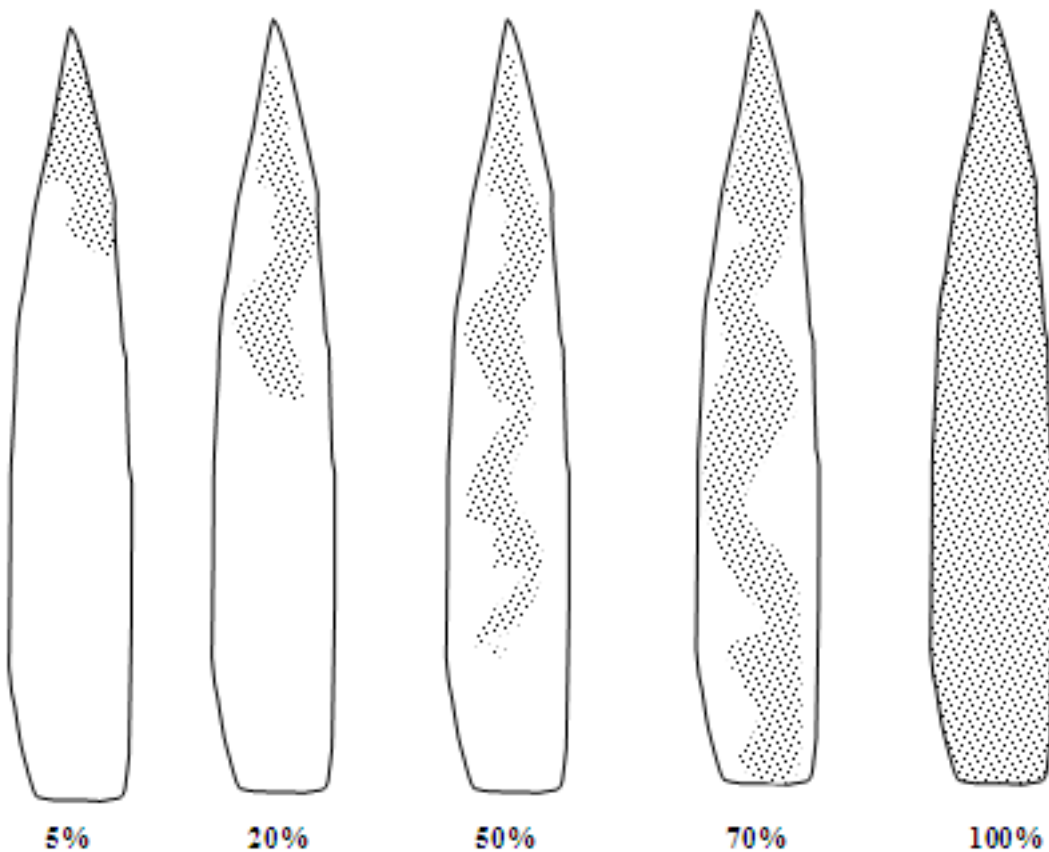
Source : Eyal et al. (1987).

Indice d'attaque moyen (**IAM**), dans le cas de notre étude, cet indice est calculé afin d'évaluer l'intensité de la maladie et de quantifier l'agressivité de l'isolat à l'égard des différentes modalités de fertilisation, selon la formule indiquée par Rapilly (1991):

$$IAM = \frac{\sum \text{des degrés d'attaque}}{\text{Nombre total de plantules utilisées}}$$

Pour mieux exprimer la signification de ce paramètre, nous avons utilisé l'échelle de notation du double digit décrite par Eyal et *al.* (1987). Il s'agit d'une échelle de notation à 10 degrés, où seront retenus pour chaque degré deux chiffres d'où son nom.

Le premier chiffre correspond à la hauteur relative de la maladie, en utilisant l'échelle de 0 à 9 décrite par Saari et Prescott (1975) et Le deuxième chiffre correspond au pourcentage de la sévérité de la maladie par estimation du recouvrement pycnidien, en utilisant l'échelle de Eyal et Ziv (1974).



Source : Eyal et al. (1987).

2. Essai in vitro

2.1. Méthode des feuilles détachées

A titre comparatif à l'essai de plein champ, nous avons utilisé en conditions contrôlées un dispositif expérimental en randomisation totale à 5 répétitions pour les prélèvements à partir du stade début montaison jusqu'au stade floraison (après le dernier apport de fertilisation); 4 répétitions pour les prélèvements des dernières feuilles à partir du stade floraison jusqu'à épuisement d'échantillons valables sont considérées.

Cette méthode consiste à maintenir des fragments de feuilles en survie sur un milieu spécifique, afin de pouvoir notifier leur réponse vis-à-vis des deux maladies fongiques foliaires du blé *M. graminicola* et *P. tritici-repentis*.

La méthode utilisée est décrite par Arraiano et al. (2001) et Véchet et Vojackova (2005), avec quelques différences qui seront citées par la suite.

Le prélèvement des échantillons de feuilles s'est fait à partir de toutes les parcelles élémentaires, en évitant de toucher aux plants appartenant aux deux placettes E₁ et E₂ et en s'assurant que la feuille provient d'un plant sain des deux maladies testées ou d'autres maladies qui pourraient fausser les résultats.

Ces prélèvements ont été faits peu avant le test, pour éviter un stress hydrique et /ou thermique.

Les échantillons de feuilles sont ramenés au laboratoire, découpées en plusieurs fragments de 3 cm (en ne prenant que la partie centrale du limbe), désinfectées par un bain d'eau de javel à 2 % p puis rincées soigneusement à deux reprises.

Les fragments de feuilles sont par la suite déposés sur un milieu gélosé contenant 10 g L⁻¹ d'agar et 100 mg L⁻¹ de Benzimidazole, dans des boîtes de Pétri.

Le Benzimidazole est un fongicide, qui a la propriété de retarder la sénescence des feuilles.

Afin de prévenir une évaporation d'eau et une contamination par d'autres microorganismes, une portion d'1 cm de large et 5 cm de longueur du milieu utilisé a été prélevée au centre de la boîte de Pétri, les fragments de feuilles sont juxtaposés sur le vide.

La gélose prélevée est découpée sur deux et placée sur les extrémités des fragments dans le but d'éviter leur exposition à l'air et retarder la sénescence.

Nous avons déposé trois fragments de feuilles par boîte, afin de laisser assez d'espace entre les fragments, (**Fig. 18, A**).

Le premier fragment est inoculé par l'isolat de *M. graminicola* (**ST-03-01G**) nouvellement isolé à partir de plants pour préserver sa virulence.

Le deuxième avec de l'eau distillée stérile et le troisième avec *P. tritici-repentis*, dont la méthode d'obtention d'inoculum est décrite ci-après.

Les deux suspensions ont été ajustées à une concentration de 10⁶ spores/ml à l'aide d'une cellule de Malassez; nous avons ajouté une petite goutte de Tween 20 un mouillant pour favoriser l'adhésion de la suspension au fragment foliaire. L'inoculation est réalisée en déposant des gouttes de 20 µl de chaque suspension.

Les boîtes sont ensuite bien fermées puis mises à l'obscurité et à 20°C, pendant 48 heures. Au bout de cette période, les boîtes sont mises sous des conditions de température

20 ± 2 °C et une photopériode de 16 h de lumière et 8 h d'obscurité pendant 14 jours (début de jaunissement du témoin).

2.1.1. Préparation des inocula

Préparation de l'inoculum de *M. graminicola*

Afin de préserver l'agressivité de l'isolat testé de *M. graminicola*, nous avons procédé à des isollements à partir de feuilles de blé de la variété Vitron présentant les symptômes de la maladie de tache septorienne, après l'inoculation au champ par l'isolat testé. Les méthodes d'isolement et de conservation sont décrites ci-dessus.

L'isolement est réalisé à partir de petits fragments de feuilles présentant des pycnides caractéristiques, qui ont été découpés et désinfectés par une solution d'hypochlorite de sodium à 2° pendant 5 min, suivie de 3 rinçages à l'eau distillée stérile pendant 2 à 3 min. Ces fragments sont déposés sur papier buvard stérile imbibés avec de l'eau distillée stérile et dans une boîte de Pétri en verre stérilisée. La boîte est mise à incuber pour 24 heures, sous une température de 18 à 20 °C et une lumière continue. Les pycnides laissent exsuder une gelée sporifère de couleur blanc crème qui constitue le cirrhe (Fig. 17) contenant des pycnidiospores (Fig. 16, B₂ et B₃).

Des cultures monopycnidiennes du champignon sont réalisées par le transfert de cirrhes d'une seule pycnide sur milieu YMA (Annexe 1), un milieu favorable à la production de spores (Fig. 16, B₁), car le champignon se développe rapidement et se multiplie par bourgeonnement à la manière d'une levure, puis l'incubation est réalisée à une température de 18 à 20 °C. Au bout de 5 à 7 jours sous lumière continue la culture est repiquée à l'aide d'une pipette Pasteur lancéolée, en étalant la colonie sur toute la surface de la boîte de Pétri contenant le même milieu de culture. L'isolat du champignon est conservé au réfrigérateur dans des tubes à essai en verre contenant un milieu nutritif (YMA) ; cette conservation ne doit pas dépasser 5 à 6 mois.

b. Préparation de l'inoculum de *P. tritici-repentis*

L'isolat I-107 de *P. tritici-repentis*, est isolé à partir du blé tendre (Hiddab) dans la région de Constantine.

Les étapes de la sporulation de *P. tritici-repentis* ont été décrites par Lamari et Bernier (1989), à savoir :

- Le champignon est repiqué sur le milieu V8-PDA (**Annexe1**);
- La culture est incubée à 20°C jusqu'à ce que la colonie soit à 2 cm du bord de la boîte ;
- La colonie est inondée avec 3 à 5 ml d'eau distillée stérile ;
- Le mycélium est abaissé à l'aide de la base d'un tube en verre bien stérilisé et l'excès d'eau est éliminé de la boîte ;
- Le champignon est ensuite incubé à 20 ± 4°C et sous des conditions de lumière continue, durant 18 h ;
- Les boîtes sont ensuite mises à 15°C et à l'obscurité durant 18 à 20 h ; au bout de cette période les boîtes sont remises aux conditions d'incubation initiales ;
- Après 24 h, nous remarquons l'apparition de conidies (**Fig. 16, A**); ces dernières sont récupérées par inondation de la boîte avec 5 ml d'eau distillée stérile, puis à l'aide d'une tige en verre tordue, la surface contenant les conidies est raclée et les conidies sont transférées dans un tube en verre stérile à l'aide d'une micropipette stérile.

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Afin d'avoir une suspension d'inoculum disponible à chaque test, l'eau distillée est remplacée par une solution de glycérol à 2 %, ensuite la suspension est mise dans le congélateur pour le conditionnement. Au moment de l'utilisation la suspension est décongelée à des températures graduelles.

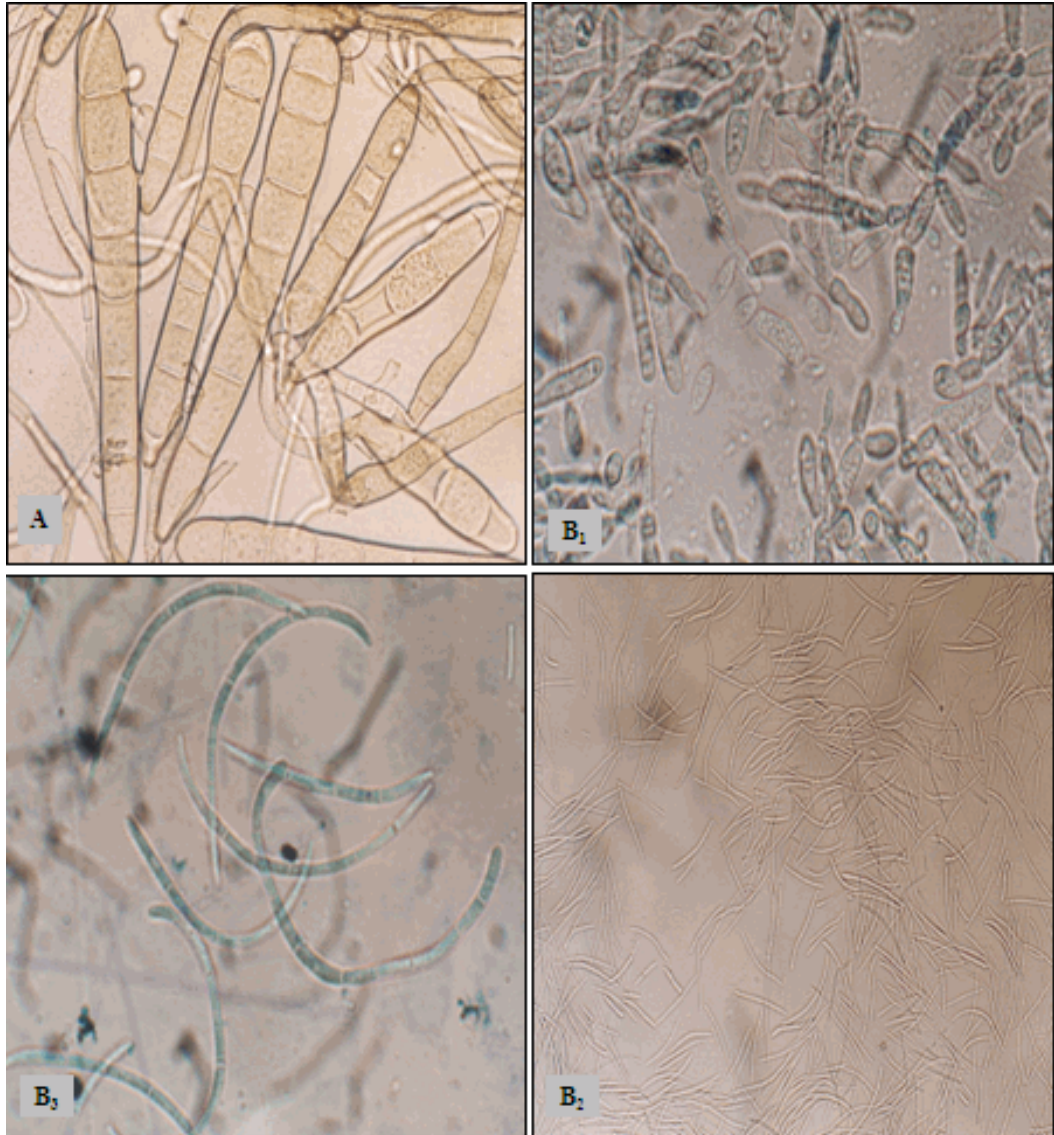


Figure 16. A : Conidies de *D. tritici-repentis* (G : 25 × 3,2); B : (1) Pycnidiospores de *M. graminicola*, par bourgeonnement (G : 100 × 3,2); (2) Pycnidiospores de *M. graminicola* issues des cirrhes (G : 25 × 3,2) et (3) avec G : 100 × 3,2.

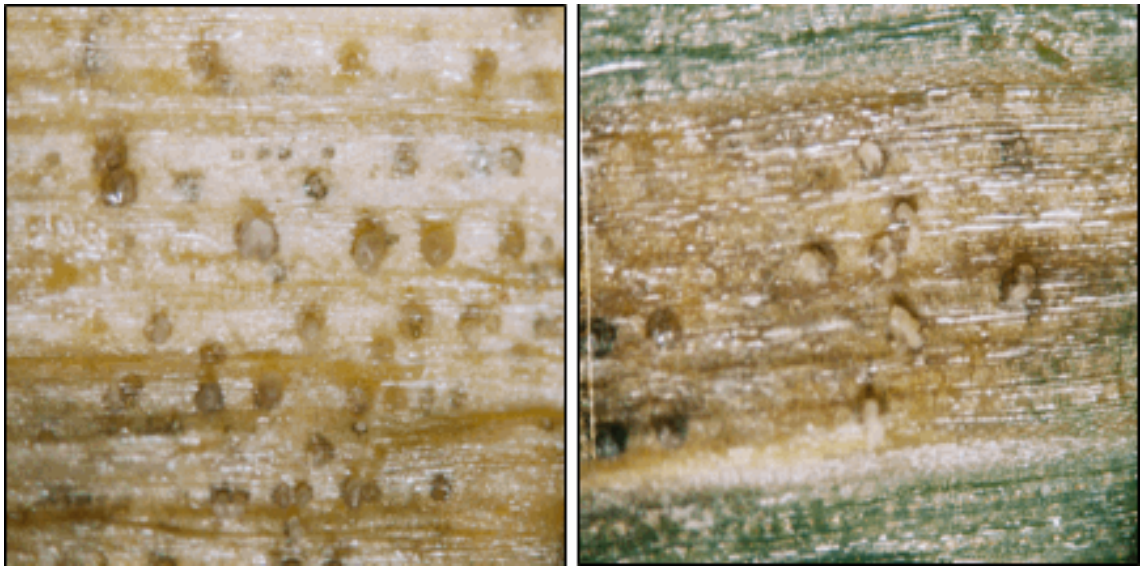


Figure 17. Différentes formes de cirrhes obtenues sur feuilles de la variété Vitron sous la loupe (G : 4 × 10 × 0,8).

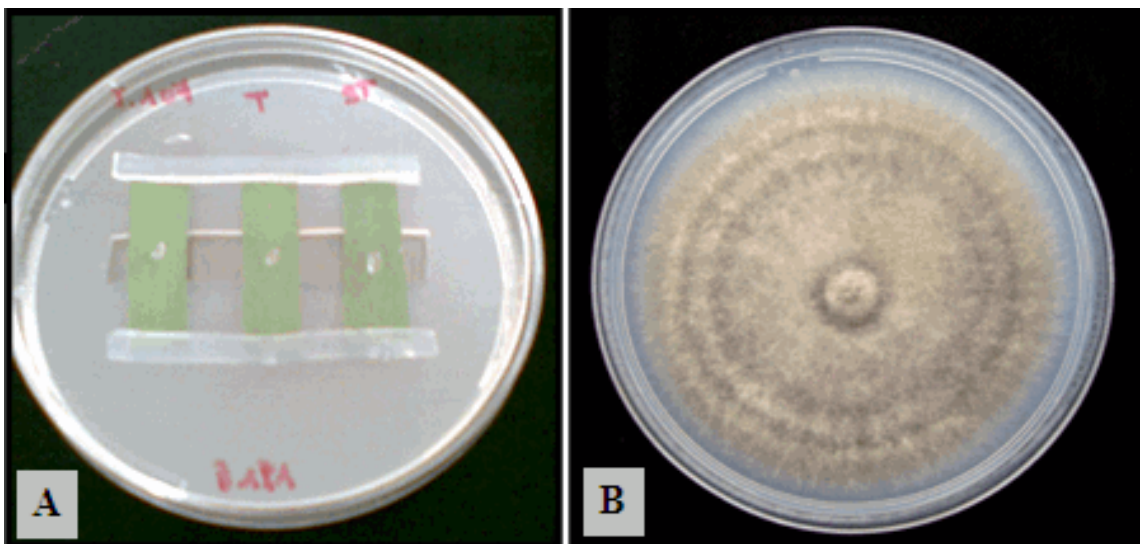


Figure 18. A : Présentation du test des feuilles détachées; B : Aspect d'une culture mycélienne de *D. tritici-repentis* sur milieu PDA.

2.2. Paramètres étudiés

Les notations ont été réalisées sur trois composantes de la résistance à une fréquence de 4 jours jusqu'au 16^{ème} jour, en calculant le pourcentage de recouvrement de la lésion.

La période d'incubation (PI) : Période qui s'étale du jour d'inoculation à de l'apparition des taches chlorotiques dues au pathogène (Du et al., 1999);

La longueur de la lésion (L) : longueur finale de la lésion au 16^{ème} jour de l'inoculation, mesurée en mm;

L'extension de la lésion au cours du temps (EXT) : elle correspond à l'évolution de la longueur de la tache au cours du temps, obtenue à partir de la différence moyenne entre les longueurs mesurées sur les 16 jours d'observation (mm),

$$\text{EXT} = [(L_{j8} - L_{j4}) + (L_{j12} - L_{j8}) + (L_{j16} - L_{j12})] \times 1/3$$

$$\text{Avec } L_{ji} = (\sum L_n) / n$$

EXT : extension de la lésion (mm) ;

L_i : longueur par intervalle de temps (i : nombre de jours égale à 4) ;

L_n : longueur moyenne par traitement (n est le nombre de répétitions égales à 5).

Calcul de la vitesse d'extension de la lésion

En utilisant la formule classique de la vitesse d'un objet en déplacement, nous avons estimé la vitesse d'extension de la lésion. Dans notre cas, c'est le rapport entre la surface atteinte par la nécrose et le temps écoulé (en mm/j).

Ainsi la formule de la vitesse d'extension de la lésion (V) serait comme suit :

$$V_{\text{moy}} = \left[\frac{L_{j8} - L_{j4}}{t_8 - t_4} + \frac{L_{j12} - L_{j8}}{t_{12} - t_8} + \frac{L_{j16} - L_{j12}}{t_{16} - t_{12}} \right] \times \frac{1}{3}$$

V_{moy} : vitesse moyenne (mm/jour) ;

L : longueur de la lésion atteinte au temps t (mm) ;

T : temps écoulé mesuré en jours (correspondant à 4 jours).

3. Présentation et analyse statistique des résultats

Pour mieux exprimer et interpréter nos résultats, nous avons utilisé des histogrammes de fréquence et des courbes.

L'analyse de la variance a été faite à l'aide du logiciel "STATISTICA 6". La comparaison des moyennes a été réalisée à l'aide du test PPDS (plus petite différence significative).

Partie 3. Résultats et discussions

Afin de faire ressortir l'effet des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et au tan spot, nous avons utilisé une combinaison de 4 modalités de fertilisation basées sur des apports d'engrais azotés et potassiques, fractionnés tout au long du cycle de la culture. A l'aide de tests réalisés *in vivo* et *in vitro*, nous avons obtenus les résultats qui suivent.

I. Influence de la fertilisation sur les composantes du rendement

I.1. Nombre de pieds par m²

L'observation de l'essai en plein champ au stade trois feuilles, révèle un aspect plus ou moins homogène du peuplement végétal pour toutes les parcelles élémentaires cela est montré au niveau de la **figure 20**.

L'analyse de la variance ne montre aucun effet des modalités de fertilisation sur le nombre de pieds des variétés étudiées, cependant les meilleures moyennes sont enregistrées au niveau de la variété Arz (324,84 pieds/m²).

Tableau 8. Valeurs moyennes du nombre de pieds par m².

Facteur étudié	Nombre de pieds / m ²	Interprétation statistique
Variété Arz	277,03	Effet variété NS CV : 38,18 p.100
	324,84	
Modalité 3 4	321,87	Effet modalité NS CV : 64,83 p.100
	294,68	
	303,43	
	283,75	

I.2. Nombre de talles herbacées par m²

Les modalités de fertilisation ont eu un effet marqué sur le tallage ; les parcelles ayant subi des applications d'engrais azotés sont les plus développées (**Fig. 21**).

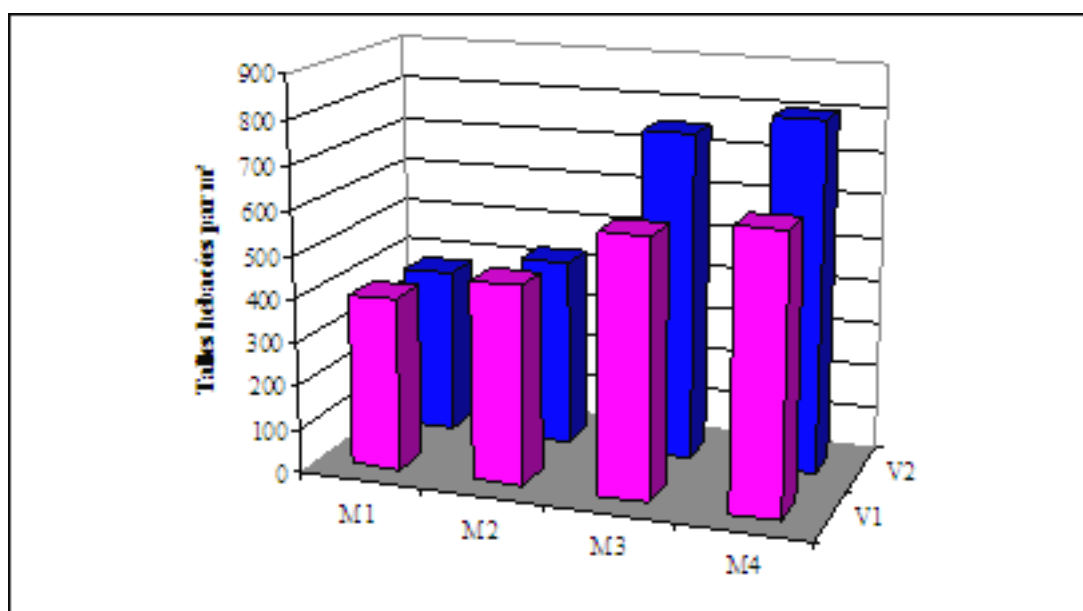
En effet l'analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif des modalités de la fertilisation sur le nombre de talles (**Annexe 2**). Par contre le facteur variété ne présente pas d'effet significatif ; le groupe B présente les moyennes les plus élevées. Il comporte la modalité 3 caractérisées par un apport de Bioactyl lors du semis et des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm et la modalité 4 ayant les mêmes apports que la modalité

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

3 avec un apport foliaire d'Agripotash au stade 1 à 2 nœuds. Le témoin sans fertilisation (modalités 1) et l'apport de Bioactyl lors du semis (modalité 2), constituent le groupe A avec les moyennes les plus faibles. (**Tab. 9** et **Fig. 19**).

Tableau 9. Valeurs moyennes de talles herbacées par m².

Facteur étudié	Nombre de talles herbacées / m ²	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Variété Vitron Arz	519,37	-	Effet variété NS CV : 33,26 p.100
	592,81		
Modalité 3 4	390,00	A	Effet modalité THS CV : 74,89 p.100
	444,68	A	
	673,12	B	
	716,56	B	



M : modalité de fertilisation ; **V1** : Vitron, **V2** : Arz)

Figure 19. Nombre de talles herbacées par m².



Figure 20. Photo représentante du stade levée en plein champ.



Figure 21. Photo représentante de l'influence des différentes modalités de fertilisation sur le couvert végétal des deux variétés étudiées au stade montaison.

I.3. Nombre de talles fertiles par m²

L'analyse de la variance révèle des effets hautement significatifs pour le facteur variété. Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes : A (Vitron) et B (Arz).

La fertilisation a donc un effet très hautement significatif sur ce paramètre et le test de la PPDS révèle l'existence de trois groupes homogènes (A, B et C), le groupe C est constitué

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

des modalités de fertilisation présentant des apports azotés (modalités 3 et 4), dont lequel nous avons noté les plus hautes moyennes L'interaction entre les deux facteurs étudiés a un effet significatif sur le nombre d'épi par m² (**Tab. 10** et **Fig. 22**).

Tableau 10. Valeurs moyennes de talles fertiles par m².

Facteur étudié	Nombre de talles fertiles / m ²	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Variété Mitron Arz	252,65	A B	Effet variété <i>HS CV</i> : 7,92p.100
	299,21		
Modalité 3 4	206,25	A	Effet modalité <i>THS CV</i> : 19,78 p.100
	255,00	B	
	316,25	C	
	326,25	C	

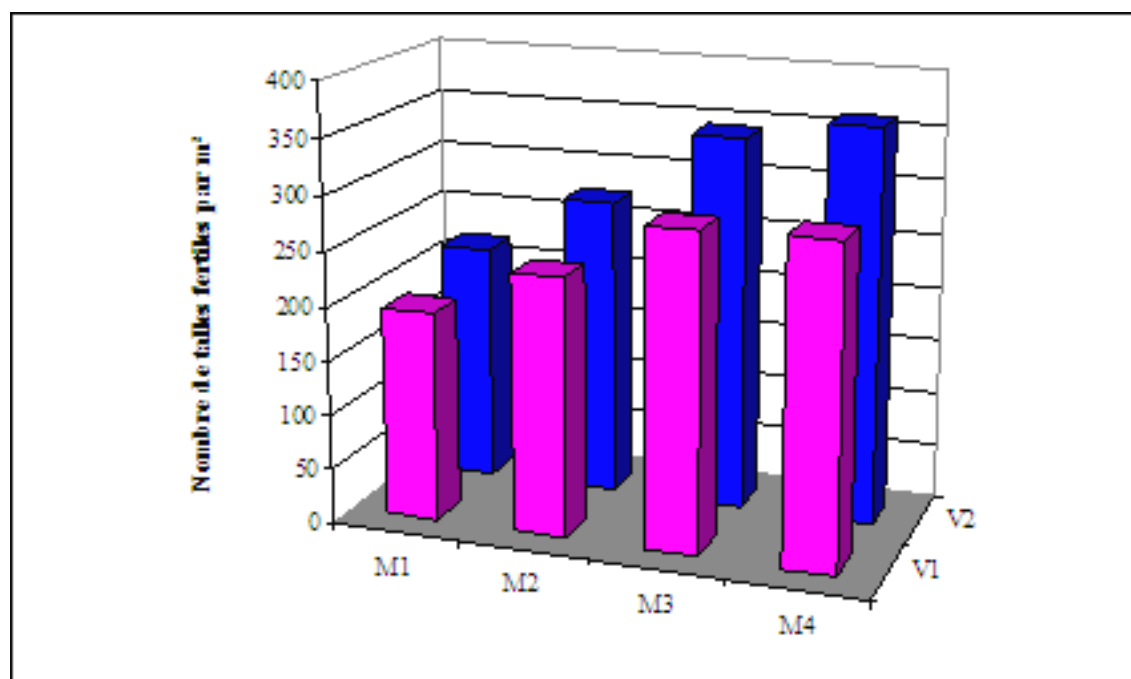


Figure 22. Nombre de talles fertiles par m².

I.4. Nombre total d'épillets par épi

Dans ce cas, le facteur variété n'a aucun effet significatif, tandis que le facteur modalités de fertilisation a un effet très hautement significatif.

Le test de la PPDS, montre que les modalités de fertilisation se répartissent en trois groupes; le troisième groupe est concerne les modalités avec des apports d'engrais azotés, qui présentent les moyennes les plus élevées, (**Tab. 11**).

Tableau 11. Valeurs moyennes du nombre total d'épillets par épi.

Facteur étudié	Nombre d'épillets total par épi	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Variété Mitron Arz	16,675	-	Effet variété <i>NS</i> CV : 16,18p.100
	17,950		
Modalité 3 4	15,925	A	Effet modalité <i>THS</i> CV : 16,37 p.100
	16,850	B	
	18,200	C	
	18,275	C	

I.5. Nombre d'épillets stériles par épi

Les facteurs étudiés (variétés et modalités de fertilisation) ont des effets significatifs sur le nombre d'épillets stériles. L'analyse de la variance a montré un effet significatif pour le facteur variété, et très hautement significatif pour les modalités de fertilisation.

Le test de la PPDS, montre que chaque variété représente un groupe homogène et les modalités de fertilisation représentent trois groupes homogènes constitués par : le témoin sans fertilisation (groupe A) et l'apport de Bioactyl au semis (groupe B); les modalités 3 et 4 ayant des apports d'Urée, constituent le groupe C, avec les moyennes les plus élevées (**Tab. 12**).

Tableau 12. Valeurs moyennes du nombre d'épillets stériles par épi.

Facteur étudié	Nombre d'épillets stériles par épi	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Variété Mitron Arz	0,700	A B	Effet variété <i>S</i> CV : 75,58p.100
	1,788		
Modalité 3 4	1,55	A	Effet modalité <i>HS</i> CV : 13,41 p.100
	1,33	B	
	0,35	C	
	0,48	C	

I.6. Nombre d'épillets fertiles par épi

L'analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif pour les modalités de fertilisation, tandis que l'effet du facteur variété est non significatif. Le test de la PPDS, pour les modalités de fertilisation distingue trois groupes homogènes. Le témoin sans fertilisation (groupe A) et l'apport de Bioactyl au semis (groupe B); Le groupe C est composé par les modalités avec les apports d'engrais azotés (modalité 3 et 4), qui présentent les moyennes les plus élevées du nombre d'épillets fertiles par épi (**Tab. 13**).

Tableau 13. Valeurs moyennes du nombre d'épillets fertiles par épi.

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Facteur étudié	Nombre d'épillets fertiles par épi	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Variété Mitrion Arz	15,98 16,16	-	Effet variété <i>NS</i> CV : 13,51 p.100
Modalité 3 4	14,20 15,50 17,33 17,25	A B C C	Effet modalité <i>THS</i> CV : 22,76 p.100

I.7. Nombre de grains par épi

Ce paramètre est influencé par les modalités de fertilisation et l'analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif ; il ne semble pas être influencé significativement par le facteur variété.

Le test de la PPDS révèle la présence de trois groupes homogènes (A, B et C). Malgré que les modalités 3 et 4 présentant des apports d'engrais azotés, appartiennent au même groupe homogène (groupe C), mais la moyenne la plus élevée a été notée au niveau de la modalité 4 ayant un apport foliaire au stade 1 à 2 nœuds (**Tab. 14**). La plus faible moyenne est notée pour le témoin sans fertilisation (modalité 1). L'interaction entre les deux facteurs a un effet significatif (**Annexe 2**).

Tableau 14. Valeurs moyennes du nombre de grains par épi.

Facteur étudié	Nombre de grains par épi	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Variété Mitrion Arz	40,09 36,49	-	Effet variété <i>NS</i> CV : 19,96 p.100
Modalité 3 4	29,20 35,48 42,73 45,75	A B C C	Effet modalité <i>THS</i> CV : 31,41 p.100

I.8. Poids de 1000 grains

Les modalités de fertilisation ainsi que les variétés semblent avoir en effet sur le poids de 1000 grains. En effet, l'analyse de la variance montre un effet hautement significatif pour le facteur variété et très hautement significatif pour le facteur modalité de fertilisation.

Le test de la PPDS distingue trois groupes homogènes pour le facteur modalité de fertilisation, dont la meilleure moyenne est notée au niveau de la modalité de fertilisation qui présente un apport d'engrais potassique au semis, des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm et un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds (modalité 4). Le facteur variété quant à lui présente deux groupes homogènes (A et B) dont chaque groupe représente une variété (**Tab. 15**).

Tableau 15. Valeurs moyennes du poids de 1000 grains.

Facteur étudié	Poids de 1000 grains	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Variété Vitron Arz	51,35	A B	Effet variété <i>HS CV</i> : 10,29p.100
	39,65		
Modalité 2 3 4	44,72	A	Effet modalité <i>THS CV</i> : 17,09 p.100
	47,85	B	
	52,68	C	
	54,56	C	

I.9. Rendement biologique

Les résultats obtenus montrent que ce rendement n'est pas influencé par les variétés, alors que les modalités de fertilisations ont un effet hautement significatif sur ce paramètre. Le test de la PPDS distingue quatre groupes homogènes pour la fertilisation. L'apport de Bioactyl lors du semis (modalité 2) représentée un groupe intermédiaire BC avec la modalité 3 caractérisée par un apport d'engrais potassique au semis et des apports d'urée aux stades tallage et épi 1 cm. Les rendements les plus élevés sont notés au niveau du groupe D avec la modalité 4 ayant les mêmes apports que la modalité 3 en ajoutant un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds (**Tab. 16**).

Tableau 16. Valeurs moyennes du rendement biologique.

Facteur étudié	Rendement biologique (g)	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Variété Vitron Arz	1197,81	-	Effet variété <i>NS CV</i> : 43,07p.100
	1235,31		
Modalité 2 3 4	975,00	A	Effet modalité <i>HS CV</i> : 86,95 p.100
	1141,88	BC	
	1241,25	C	
	1508,13	D	

I.10. Rendement en paille

La production de matière sèche est influencée par les deux facteurs considérés. Le facteur variété a un effet hautement significatif, tandis qu'il est très hautement significatif pour le facteur modalités de fertilisation. L'interaction entre les deux facteurs a aussi un effet significatif; le tableau détaillé des résultats de l'analyse de la variance est donné à l'annexe 2.

Le test de la PPDS, distingue deux groupes homogènes pour les variétés et trois groupes pour les modalités de fertilisation. La moyenne la plus élevée pour les modalités de fertilisation est notée chez la modalité 4 qui présente un apport d'engrais potassique au semis, des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm et un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds (groupe D). La plus faible étant obtenu au niveau du témoin sans fertilisation (groupe A). Les rendements en paille de la variété Arz sont plus élevés que ceux de la variété Vitron (**Tab. 17**).

Tableau 17. Valeurs moyennes du rendement en paille.

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Facteur étudié	Rendement en paille (g)	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Variété Vitron Arz	631,64	A B	Effet variété <i>HS</i> CV : 7,92p.100
	748,05		
Modalité 3 4	515,63	A	Effet modalité <i>THS</i> CV : 19,78 p.100
	637,50	B	
	790,63	C	
	815,63	C	

I.11. Rendement calculé

A partir de tous les paramètres précédemment étudiés nous montrons que le rendement calculé est influencé par les deux facteurs étudiés, mais à différents niveaux de significations. Ainsi le facteur variété a un effet significatif, tandis que le facteur modalités de fertilisation a un effet très hautement significatif.

Le test de la PPDS montre que chaque variété représente un groupe homogène où la variété Vitron présente un meilleur rendement calculé que la variété Arz. Pour les modalités de fertilisation nous distinguons quatre groupes homogènes dont le meilleur rendement est obtenu au niveau du groupe D (modalité 4 caractérisée par un apport d'engrais potassique au semis, des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm et un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds); le plus faible concerne la modalité 1 qui est le témoin sans fertilisation au niveau du groupe A (**Tab. 18**).

Tableau 18. Valeurs moyennes du rendement calculé.

Facteur étudié	Rendement calculé (q/ha)	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Variété Vitron Arz	54,92	A B	Effet variété <i>S</i> CV : 22,16p.100
	45,83		
Modalité 3 4	23,81	A	Effet modalité <i>THS</i> CV : 43,56 p.100
	39,63	B	
	64,68	C	
	73,39	D	

Discussion

Les résultats et les analyses effectuées montrent que les modalités de fertilisation testées, ont eu des effets plus ou moins importants sur les différents caractères étudiés dès l'installation de la culture jusqu'au rendement.

Les apports d'engrais azotés au début du cycle et au stade tallage ont permis l'augmentation du nombre de talles herbacées par m². Gate (1995), a noté que le nombre de talles herbacées est d'autant plus élevé que la quantité d'azote est grande. L'azote absorbé est rapidement utilisé à la formation de talles (Selles et al., 1999). D'après Ben-hammouda et Boubaker (2000), la capacité de tallage d'une céréale est essentiellement déterminée par la

variété, la densité de semis et l'apport de fertilisation azotée. Nos résultats sont similaires à ceux de Mosseddaq et Moughli (1999), qui ont montré que plus la quantité d'azote apportée au début du cycle est importante, plus la production en talles herbacées est élevée.

Contrairement au nombre de talles herbacées le nombre d'épi par m² est influencé par le facteur variété. La variété blé tendre (Arz) a présenté plus de talles fertiles que la variété blé dur (Vitron). Selon Ramon (1986), le peuplement épi est la composante du rendement qui explique au mieux l'effet de l'azote. Gate (1995), apporte qu'en dehors des facteurs climatiques, comme la sécheresse et l'excès thermique, l'azote a un effet majeur sur la montée en épi des talles herbacées. Nos résultats correspondent aux conclusions de ces deux auteurs et celles de Ghour (2006).

Ce n'est pas seulement la montée en épi qui est influencée par les modalités de fertilisation, la fertilité de l'épi l'est aussi. Les modalités ayant des apports d'Urée notent le nombre le plus élevé d'épillets total. Nos résultats ne sont pas soutenus par Gate (1995), qui indique que la nutrition azotée a peu d'effet sur l'élaboration de ce paramètre dont le déterminisme est avant tout climatique (somme des températures entre le stade début tallage et la montaison, photopériode). Alors que Vez (1975), note qu'un apport d'azote avant la montaison peut favoriser le nombre d'épillets total. Une carence en azote en début montaison peut provoquer une diminution du nombre d'épillets fertiles, cela affecte en priorité les épillets situés à la base de l'épi (Gate, 1995). Nos résultats du nombre d'épillets fertiles, correspondent à ceux de Mosseddaq et Moughli (1999), qui indiquent qu'une meilleure disponibilité en azote au début montaison entraîne une amélioration de la fertilité de l'épi.

Conséquemment le nombre de grains par épi a été très hautement influencé par les modalités de fertilisation, au même titre que le nombre d'épi par m², ce qui n'est pas le cas pour le facteur variété dont l'effet n'est pas significatif. Selon Couvreur (1981), le nombre de grains par épi est très influencé par le nombre d'épis/m². Il est déterminé par le nombre potentiel d'épillets par épi et sa fertilité (Mosseddaq et Moughli, 1999). Selon Jonard (1964), les variations du nombre de grains par épi sont surtout dues aux conditions nutritives minérales, dont l'azote.

En effet, Taureau (1987) et Gate (1995), ont noté qu'une carence en azote vers le stade fécondation, réduit le nombre de grains par épi en augmentant le nombre de fleurs avortées. Le nombre de grains par épi est conditionné en particulier par l'apport azoté et sa date d'intervention. L'azote apporté tardivement favorise notamment la fertilité des épillets; ce qui confirme les résultats obtenus pour les modalités présentant des apports azotés. De même, les apports de potassium aux stades montaison et épiaison ont permis d'obtenir la plus haute moyenne pour ce paramètre. Nos résultats correspondent à ceux obtenus par Halilat (2004), qui a étudié l'effet de la fertilisation azotée et potassique sur le blé.

L'effet de la modalité 4 qui représente une interaction entre les apports d'azote et de potassium fractionnés à travers le cycle de culture, a un effet positif sur le poids de 1000 grains. Selon Batten (1992), ce paramètre est influencé par les conditions de nutrition minérale et surtout potassique. Dans notre cas, cette augmentation proviendrait de l'influence de l'apport foliaire potassique sur le remplissage des grains, qui est presque toujours significatif (Loué, 1982). Selon Gate et al. (1996), ce poids diminue considérablement sous l'effet des fortes températures et d'un déficit hydrique au moment du remplissage du grain. Il dépend aussi de la continuité de la nutrition azotée jusqu'à la maturation (Soltner, 1999).

Les résultats notés concernant les différents rendements, obtenus étaient significatifs pour les deux facteurs étudiés, sauf celui du rendement biologique concernant le facteur variété.

Les résultats obtenus pour le rendement biologique et le rendement en paille correspondent à ceux de Mosseddaq et Moughli (1999), qui indiquent que les quantités d'azote apportées et la date d'application affectent très fortement la production de biomasse ce qui signifie que les apports au début du cycle se traduisent par une grande production de biomasse. Dans notre cas la meilleure combinaison de fertilisation est représentée par la modalité 4, qui comporte des apports des deux éléments. Selon Mengel et Kirkby (1987), l'effet positif de K ne s'observait que si la nutrition azotée était abondante durant la période de remplissage des grains. L'interaction N × K, principalement pour le blé, est généralement positive (Loué, 1979). Aissa et M'hiri (2002), notent que la mise à disposition du potassium facilement métabolisable à la plante, entraîne une meilleure assimilation de l'azote disponible dans le sol et par conséquent assure un rendement plus élevé. De même Mercx (1983), a souligné que l'efficacité du potassium est aussi améliorée par la richesse du sol en azote assimilable. Selon Chalamet et al. (1987), l'évolution des nitrates et leur incorporation dans la fraction protéique, sont importantes en présence du potassium.

Syers (1990), indique que les analyses foliaires du blé à différents stades végétatifs et le suivi de la croissance de la culture, ont montré qu'aux stades de pleine croissance (montaison et épiaison), les besoins instantanés en potassium nécessaire à l'activation des métabolismes de synthèse et de translocation des glucides, ne sont pas immédiatement satisfaits par les réserves du sol en cet élément et qu'un apport foliaire peut être très bénéfique. Cet apport appliqué à faibles doses et à des périodes échelonnées, pourrait garantir une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation et des autres engrais chimiques et permettant alors, une amélioration des rendements de blé.

Selon Aissa et M'hiri (2002), l'apport d'engrais potassique au semis, favorise une augmentation de rendement en grain. De même l'application foliaire de potassium au stade montaison et épiaison, a un intérêt dans le maintien d'un approvisionnement en potassium nécessaire à l'activation enzymatique du métabolisme de synthèse des glucides. Steineck (1974), a montré que les fonctions physiologiques de l'azote et du potassium dans la production végétale étaient étroitement reliées. En effet le potassium par son action spécifique, permet à la plante de synthétiser les composés organiques liés à l'absorption d'azote.

Dans cet essai, les composantes du rendement ont été influencées par les différentes modalités de fertilisation. Les meilleurs rendements ont été obtenus par la combinaison de la modalité 4 (3 q/ha avant le semis de **Bioactyl** + 1 q/ha d'**Urée** au tallage et 1 q/ha au stade épi 1 cm + 5 l/ha d'**Agripotash** aux stades premier nœud et épiaison). Tandis que le témoin et la modalité 2 qui ne comporte pas d'apports azotés principalement à base de potassium avant le semi, ne présentent pas des rendements satisfaisants.

II. Influence des modalités de fertilisation sur la résistance de Vitron à la septoriose *in vivo*

II.1. Notation de la maladie sur les placettes inoculées par *M. graminicola*

Les symptômes caractéristiques de la septoriose sont apparus sous forme de taches chlorotiques avec la présence de petits points noirs qui sont les pycnides. Au début, les taches sont réparties sur les extrémités du limbe et au cours du temps, les lésions sont soit plus larges et prennent des formes irrégulières réparties sur tout le limbe avec une couleur plus brunâtre et des pycnides plus apparentes, soit petites et localisées.

Dans notre cas l'évaluation de la maladie est exprimée par plusieurs critères basés sur les notations de la progression de la maladie, évalués à trois stades de croissance de la culture : plein tallage, gonflement et remplissage du grain.

II.1.1. Nombre de plantules attequées par *M. graminicola* (NPA)

Ce critère montre que la fertilisation n'a pas eu d'effet significatif au stade plein tallage. L'analyse de la variance a révélé un effet très hautement significatif des modalités de fertiliation aux stades gonflement et remplissage du grain (**Annexe 3**).

Le test de la PPDS distingue trois groupes homogènes des modalités de fertilisation au stade gonflement, le nombre le plus élevé de pieds malades à ce stade est noté au sein du groupe C, tandis que le plus faible est noté au niveau de l'apport de Bioactyl avant le semis (modalité 2), caractéristique du groupe B.

Au stade remplissage du grain (**Tab. 19**), la fertilisation distingue quatre groupes homogènes. Le plus grand nombre de pieds malades est noté au niveau de la modalité 3 qui est caractérisée par un apport de Bioactyl avant le semis, des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm, tandis que le plus faible est toujours noté au niveau la modalité 2 (**Fig. 23**).

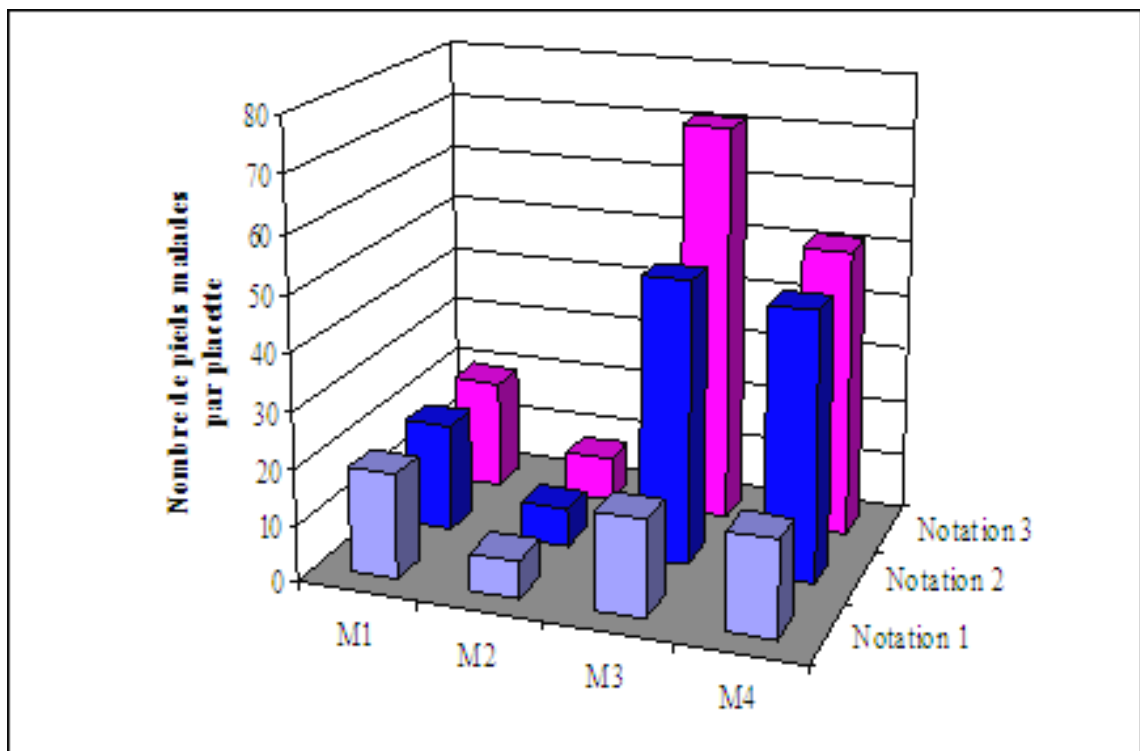


Figure 23. Nombre moyen de pieds malades par placette.

II.1.2. Nombre de feuilles attaquées (NFA)

Les modalités de fertilisation n'ont pas eu d'effet sur ce paramètre au stade plein tallage. Par contre l'analyse de la variance a révélé un effet très hautement significatif de ce facteur aux stades gonflement et remplissage du grain.

Au stade gonflement, le test de la PPDS révèle l'existence de trois groupes homogènes et un groupe intermédiaire entre AC pour la modalité 4 présentant un apport de Bioactyl avant le semis, des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm et un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds ; le plus faible nombre de feuilles attaquées est noté au niveau de l'apport de Bioactyl lors du semis (modalité 2) qui représente le groupe B.

Au stade remplissage du grain, chaque modalité représente un groupe homogène. Le plus grand nombre de feuilles attaquées est noté au niveau de la modalité 3, présentant les mêmes apports que la modalité 4, sauf l'apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds (groupe C), suivi du groupe A (**Tab. 20**), tandis que le plus faible nombre se trouve au niveau de la modalité 2 (**Fig. 24**).

II.1.3. Nombre de lésions par feuille (NL)

Le **tableau 21**, montre que les modalités de la fertilisation ont des effets significatifs sur le nombre de lésions sur les feuilles aux différents stades de notation. En effet, l'analyse de la variance a révélé un effet hautement significatif des modalités de fertilisation aux stades plein tallage et gonflement et un effet très hautement significatif au stade remplissage du grain

Le test de la PPDS distingue trois groupes homogènes pour le stade plein tallage ; les plus grands nombres de lésions sur feuilles atteintes à ce stade sont enregistrés au sein du groupe C et le plus faible étant noté au niveau de l'apport de Bioactyl lors du semis (modalité 2), représentant le groupe B.

Pour le stade gonflement, nous avons noté deux groupes homogènes. Les résultats du groupe B, représenté par la modalité 3 caractérisée par un apport de Bioactyl avant le semis et des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm ainsi que la modalité ayant les mêmes apports que la modalité 3, avec un apport d'engrais potassique foliaire, sont beaucoup plus élevés que ceux du groupe A (modalité 1 c'est-à-dire le témoin sans azote et modalité 2).

Au stade remplissage du grain, les modalités se distinguent en trois groupes homogènes, le plus grand nombre de lésions sur les feuilles atteintes est noté chez la modalité 3 (groupe B) suivi du groupe C, tandis que le plus faible est noté au niveau des modalités 1 et 2, représentant le groupe A.

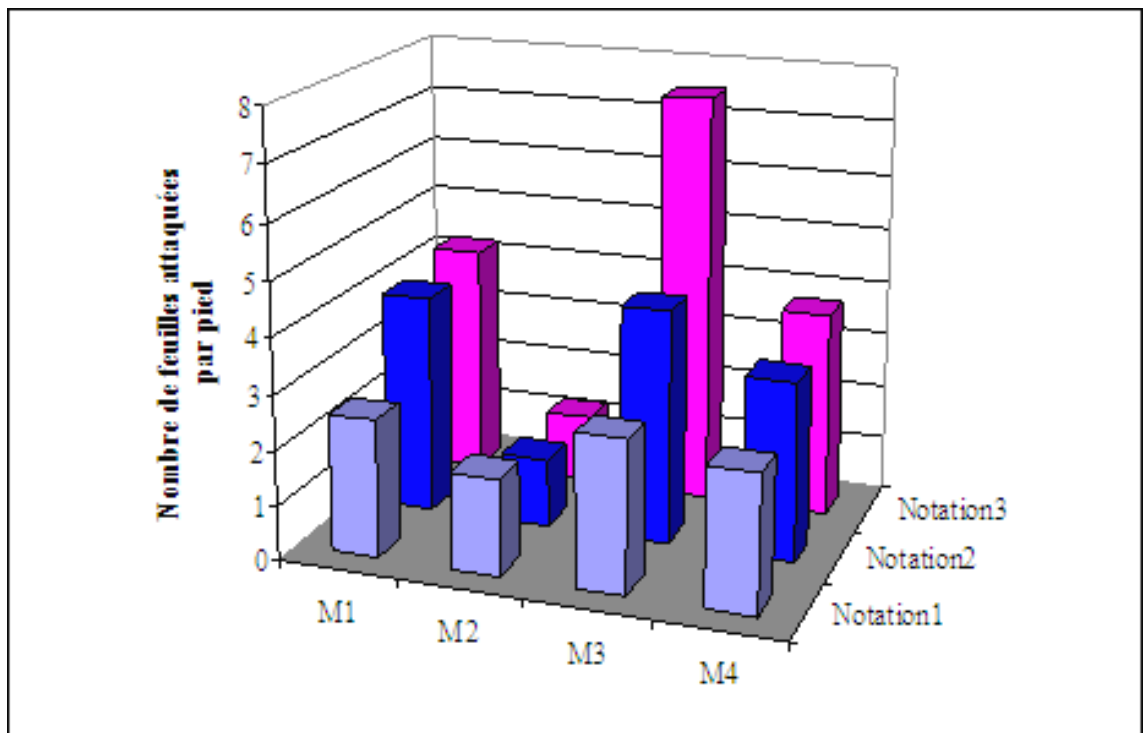


Figure 24. Nombre moyen de feuilles attaquées par pied.

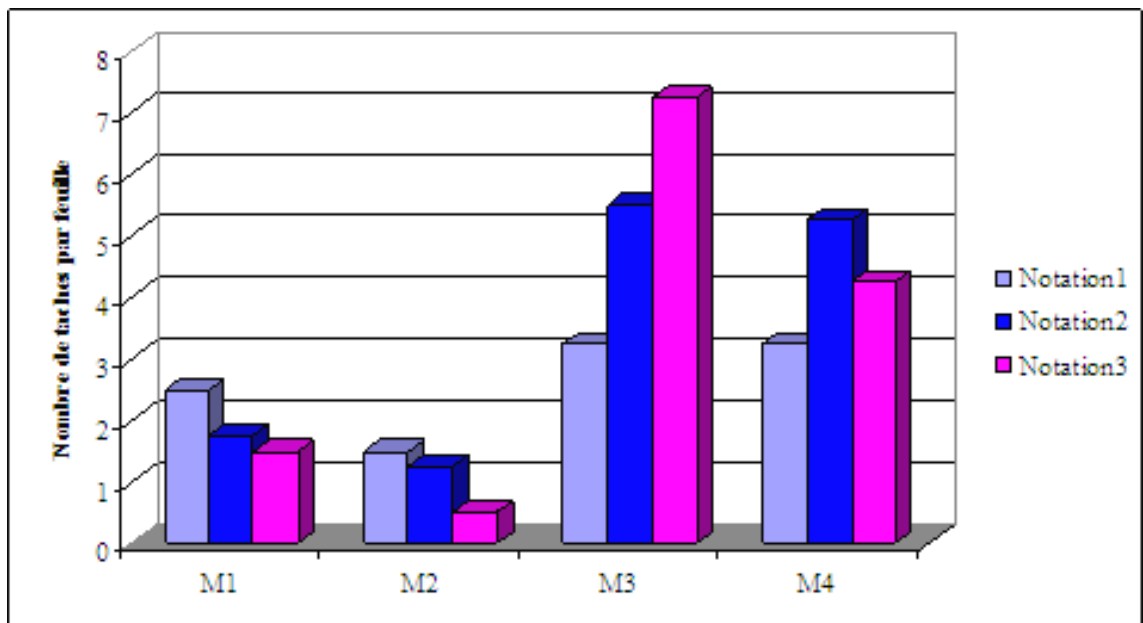


Figure 25. Nombre de taches par feuille.

II.1.4. Progression en hauteur relative de la maladie (H)

Dans ce cas, les modalités de la fertilisation n'ont pas eu d'effet significatif sur la progression en hauteur de la maladie au stade plein tallage, alors que l'analyse de la variance révèle un effet significatif de ce facteur au stade gonflement et très hautement significatif au stade remplissage du grain.

Le test de la PPDS montre trois groupes homogènes au stade gonflement; les plus grandes hauteurs que la maladie a pu atteindre à ce stade sont enregistrées au sein des groupes A, avec les modalités présentant les apports d'engrais azotés ; la plus faible moyenne est notée au niveau de l'apport de Bioactyl lors du semis (modalité 2) caractéristique du groupe B, (**Tab. 22**). Au stade remplissage du grain, les modalités sont divisées en trois groupes homogènes, la moyenne la plus élevée est notée au niveau du groupe B, tandis que les plus faibles attaques sont notées au sein du groupe A avec le témoin sans fertilisation et l'apport de Bioactyl lors du semis.

II.1.5. Estimation du pourcentage de pycnides

Les modalités de fertilisation n'ont pas eu d'effet sur l'importance de l'apparition des pycnides au stade plein tallage, alors que l'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif aux stades gonflement et remplissage du grain.

Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes pour le stade gonflement, dont les pourcentages les plus élevés de pycnides sont enregistrés au sein du groupe B, avec les modalités présentant des apports azotés ; le plus faible étant noté au niveau de l'apport de Bioactyl lors du semis (modalité 2) et du témoin sans fertilisation (groupe A). Au stade remplissage du grain, on relève trois groupes homogènes, le pourcentage le plus élevé est noté au niveau de la modalité 3 caractérisée par un apport de Bioactyl lors du semis et des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm (groupe B); le groupe A (témoin et modalité 2) présente les plus faibles pourcentages.

Le niveau de la réaction des plantes à la septoriose en fonction du pourcentage de la densité pycnidienne moyenne a été établi selon l'échelle établie par Eyal et al. (1987), (mentionné en bleu sur le **tableau 23**). Au stade plein tallage, les plants ayant subi des apports azotés se sont montrés modérément sensibles; ils deviennent sensibles aux stades gonflement et remplissage du grain. Les modalités sans apports azotés ont montré une réaction de résistance au stade gonflement et remplissage du grain.

II.1.6. Indice d'attaque moyen (IAM)

Les analyses statistiques montrent que les modalités de fertilisation n'ont pas eu d'effet sur l'importance de la maladie au stade plein tallage, alors que l'analyse de la variance a révélé un effet très hautement significatif aux stades gonflement et remplissage du grain.

Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes pour le stade gonflement, dont les moyennes les plus élevées de l'indice sont enregistrées au sein du groupe B et la plus faible est notée au niveau du témoin sans fertilisation et de l'apport de Bioactyl lors du semis (groupe A). Au stade remplissage du grain, les modalités présentent trois groupes homogènes, dont le plus grand pourcentage est noté au niveau de la modalité 3 caractérisée par un apport de Bioactyl lors du semis, des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm (groupe B) suivi du groupe C ; le groupe A (modalités 1 et 2) étant celui qui présente les plus faibles indices.

La **figure 28**, montre que l'intensité de la maladie augmente considérablement pour les modalités 3 et 4, jusqu'au stade gonflement, puis c'est les valeurs de la modalité 3 qui continuent à augmenter, tandis que ceux de la modalité 4 ayant les mêmes apports que la modalité 3 avec un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœud, se stabilisent.

L'évolution de l'intensité de la maladie au niveau de la modalité 2 est presque nulle, et celle du témoin sans fertilisation régresse à partir du stade gonflement.

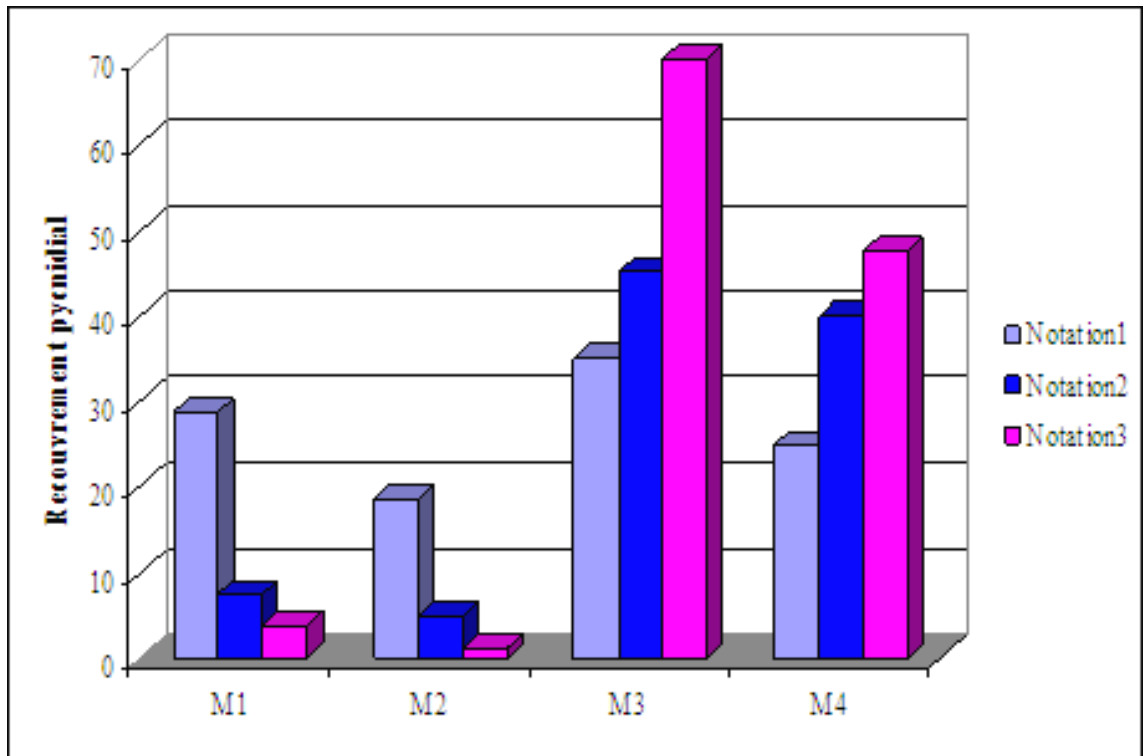


Figure 26. Pourcentage de recouvrement pycnidial.

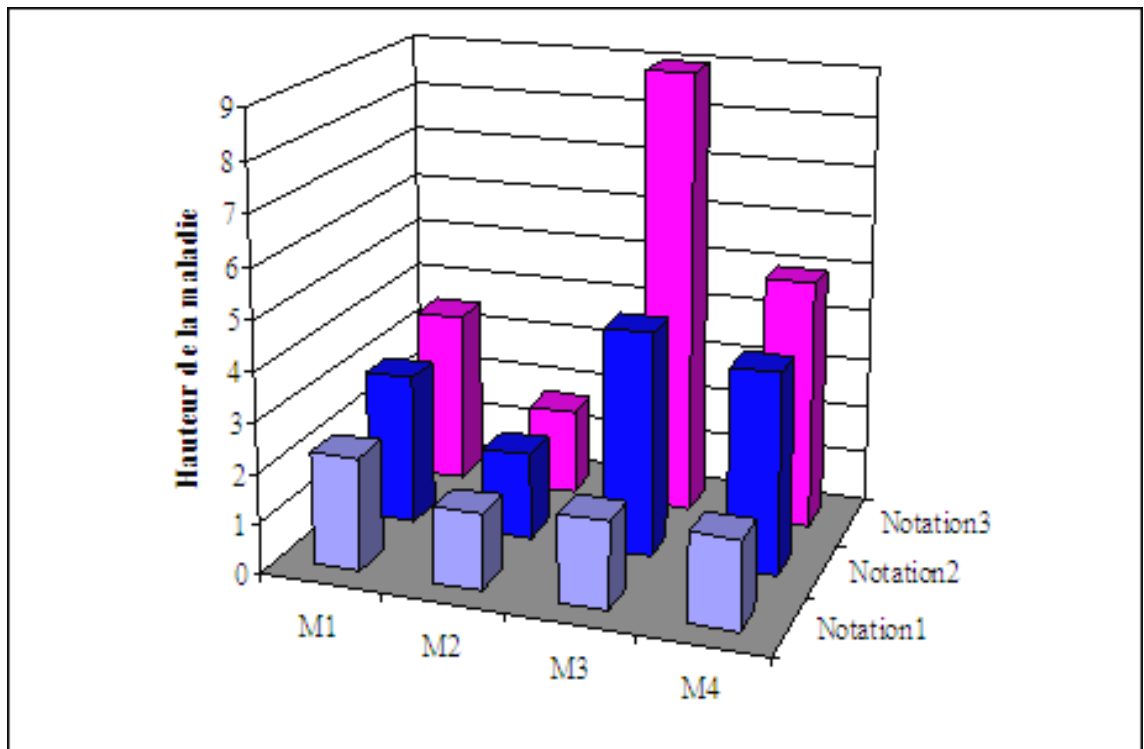


Figure 27. Hauteur relative de la maladie.

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

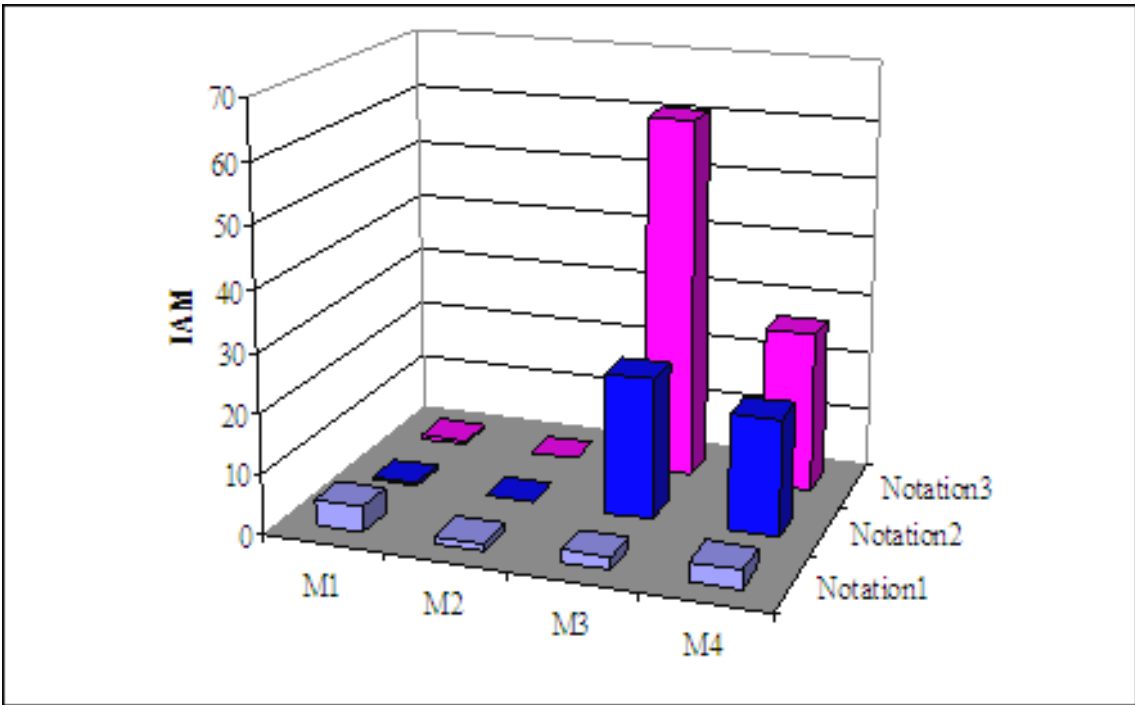


Figure 28. Indice d'attaque moyen.

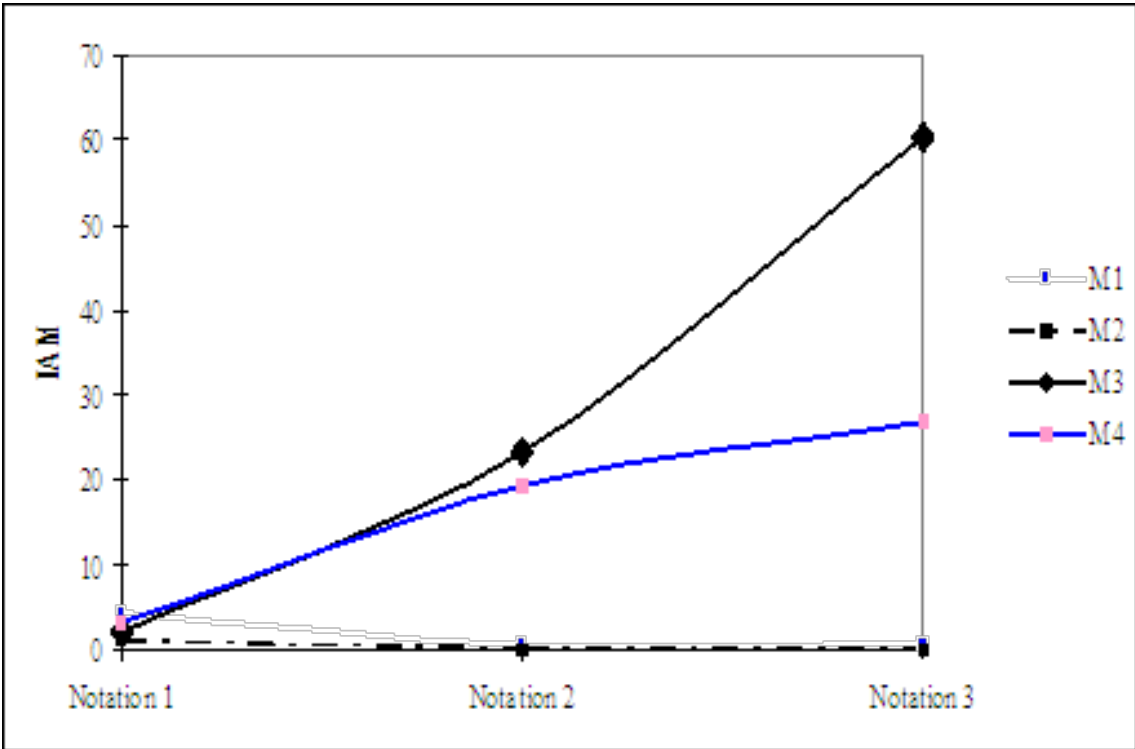


Figure 29. Evolution de l'indice d'attaque moyen.

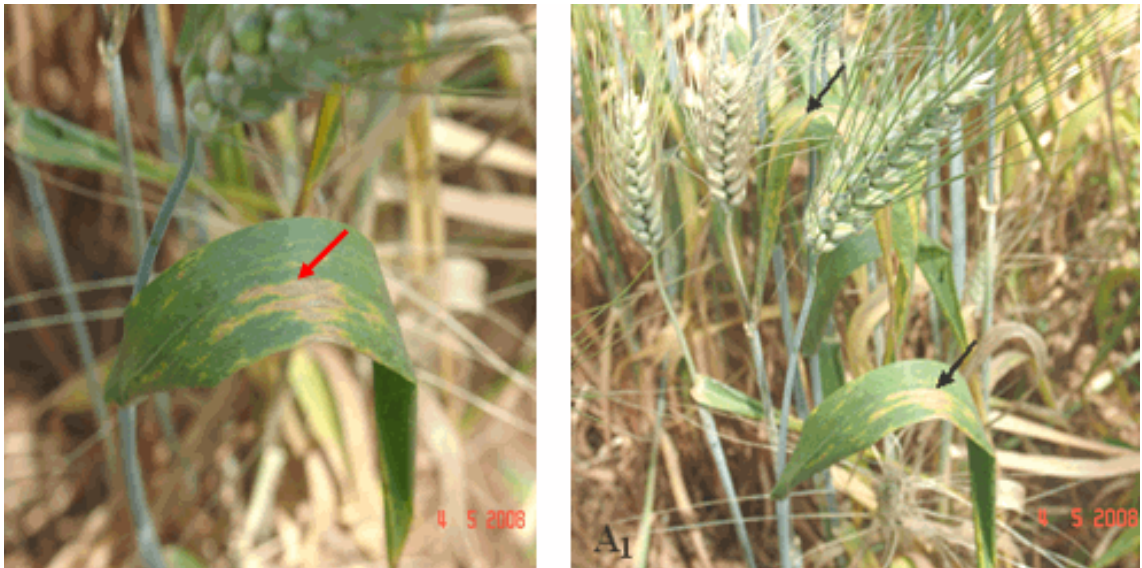


Figure 30. Symptômes causés par *M. graminicola* sur les dernières feuilles de la variété Vitron sous la modalité de fertilisation 3, en plein champ.

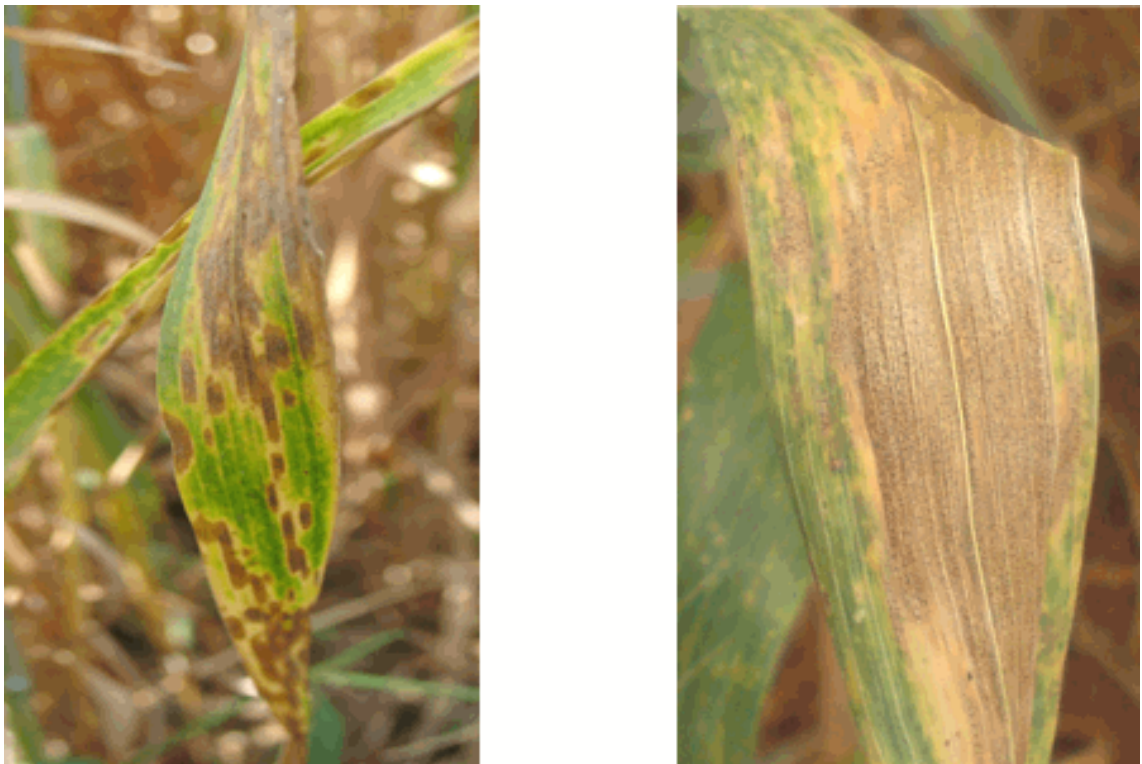


Figure 31. Différents symptômes causés par *M. graminicola* sur feuilles de la variété Vitron.

II.2. Effet des modalités de fertilisation sur la résistance de vitron à la septoriose : influence sur les composantes du rendement

Les premiers symptômes causés par *M. graminicola*, ont été obtenus 18 jours après l'inoculation; ils sont apparus en premier lieu sur les plants des parcelles élémentaires de

la variété Vitron qui représentent le témoin sans fertilisation dans l'essai. Pour les autres parcelles, les symptômes sont apparus dans les trois jours qui suivent. Nous n'avons pas noté de symptômes caractéristiques de la septoriose sur les plants inoculés de la variété Arz.

Les modalités de fertilisation, ont eu une influence marquée sur le développement de la maladie, et de ce fait sur les composantes du rendement. Les analyses statistiques ont révélé des effets très hautement significatifs pour l'ensemble des composantes de rendement et ce pour les deux facteurs étudiés, à savoir l'effet inoculation par *M. graminicola* et modalités de fertilisation.

II.2.1. Nombre de talles fertiles par m²

Les notations au stade épiaison, nous ont révélé que l'inoculation a induit une diminution du nombre de talles fertiles par m² par rapport à celui noté sur les placettes non inoculées.

La diminution est d'autant plus grande chez les modalités avec les apports azotés fractionnés à différents stades, à savoir la modalité 3 avec un apport d'engrais potassique au semis et des apports d'urée aux stades tallage et épi 1 cm et la modalité 4 ayant les mêmes apports que la modalité 3 avec un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds.

L'analyse de la variance montre que les deux facteurs étudiés ont un effet très hautement significatif sur le nombre d'épis par m². L'interaction des deux facteurs a également un effet significatif (**Annexe 2**).

Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes pour le facteur traitement et trois groupes pour le facteur modalités. Le plus grand nombre de talles fertiles a été noté chez le groupe (C) représenté par les modalités avec les apports azotés (**Tab. 25 et Fig. 32**).

Tableau 25. Valeurs moyennes du nombre de talles fertiles par m².

Facteur étudié	Nombre de talles fertiles / m ²	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Traitement Inoculée Non inoculée	204,84	A B	Effet traitement <i>THS</i> CV : 16,83p.100
	252,66		
Modalité 3 4	179,06	A	Effet modalité <i>THS</i> CV : 15,85 p.100
	225,94	B	
	252,50	C	
	257,50	C	

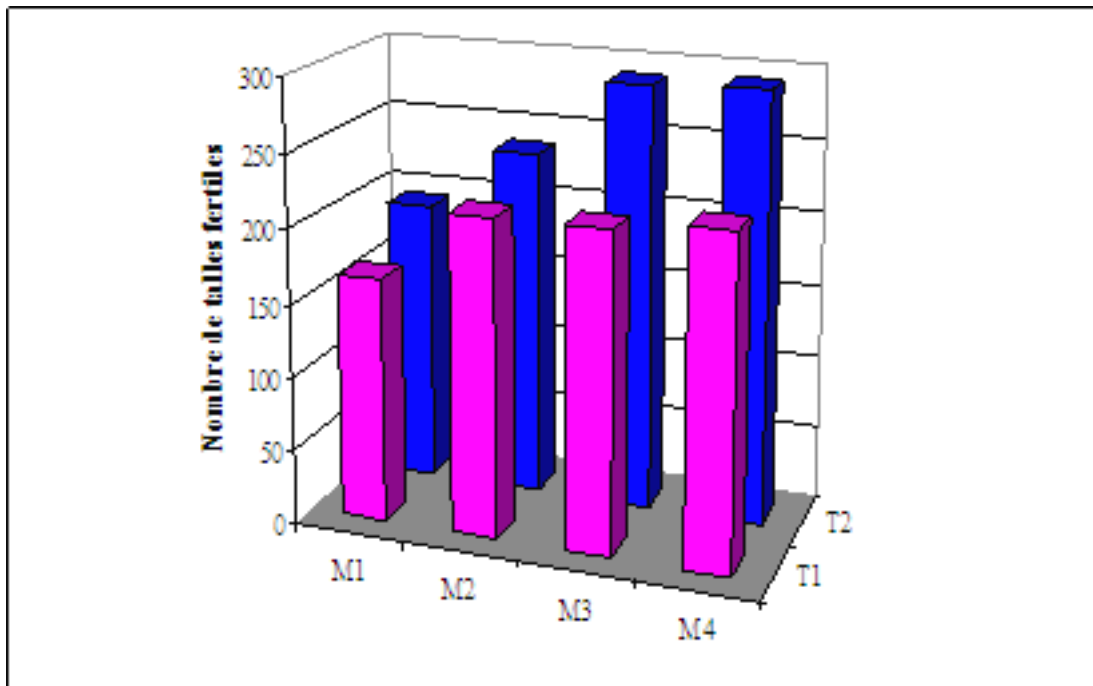


Figure 32. Comparaison du nombre de talles fertiles par m^2 , entre traitements : avec inoculation (T1) et sans inoculation (T2) de *M. graminicola*, sous l'effet des modalités de fertilisation.

II.2.2. Nombre total d'épillets par épi

La comparaison entre les notations réalisées sur le témoin sans inoculation et celui prélevé sur des plants inoculés avec *M. graminicola*, a montré une diminution du nombre total d'épillets par épi causée par la maladie, dont le développement est influencé par les modalités de fertilisation (**Fig. 33**). L'analyse statistique a confirmé ces résultats en révélant un effet très hautement significatif des deux facteurs étudiés sur le nombre d'épillets total par épi.

Le test de la PPDS distingue pour d'inoculation deux groupes homogènes, les parcelles inoculées présentent moins d'épillets par épi que les parcelles non inoculées. De même les modalités de fertilisation sont classées en deux groupes homogènes (A et B) (**Tab. 26**), dont le nombre épillets est plus élevé au niveau du groupe B représenté par les fertilisations avec des apports d'engrais azotés (modalités 3 et 4).

Tableau 26. Valeurs moyennes du nombre total d'épillets par épi.

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Facteur étudié	Nombre d'épillets total par épi	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Traitement Inoculée Non inoculée	15,54	A B	Effet traitement <i>THS</i> CV : 3,73 p.100
	16,68		
Modalité 3 4	14,83	A A B B	Effet modalité <i>THS</i> CV : 12,44 p.100
	15,30		
	17,10		
	17,33		

II.2.3. Nombre d'épillets stériles par épi

Le comptage du nombre d'épillets stériles par épi, a montré que les modalités de fertilisation ont eu une influence sur l'augmentation de ce nombre au niveau des plants inoculés par *M. graminicola*.

Les pertes sont d'autant plus grandes chez les modalités présentant les apports d'engrais azotés des modalités 3 et 4 (**Fig. 34**). L'analyse de la variance a révélé des effets très hautement significatifs des facteurs inoculation et modalités de fertilisation, sur le nombre d'épillets stériles.

Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes pour les inoculations ; les plants non inoculés présentent le plus faible nombre d'épillets stériles par épi. Deux groupes homogènes sont notés aussi pour la fertilisation et appartiennent au même groupe (A). Tandis que les modalités avec les apports d'engrais azotés, caractérisent le groupe B, avec les plus hautes moyennes.

Tableau 27. Valeurs moyennes du nombre d'épillets stériles par épi.

Facteur étudié	Nombre d'épillets stériles par épi	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Traitement Inoculée Non inoculée	1,15	A B	Effet traitement <i>THS</i> CV : 37, 97 p.100
	0,70		
Modalité 3 4		A	Effet modalité <i>THS</i> CV : 15,74 p.100
		B	
		C	
		D	

II.2.4. Nombre d'épillets fertiles par épi

Contrairement au nombre d'épillets stériles, le nombre d'épillets fertiles a diminué sous l'influence de l'inoculation. Malgré que le nombre d'épillets stériles soit à son maximum pour les modalités 3 et 4 qui présentent des apports azotés, le nombre d'épillets fertiles reste élevé en comparaison avec les modalités de fertilisation qui ne présente pas d'apports d'engrais azoté.

L'analyse de la variance a révélé des effets très hautement significatifs pour les facteurs inoculation et modalité de fertilisation. Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes pour les inoculations; le meilleur résultat est obtenu chez le traitement non

inoculé. Trois groupes homogènes ont été distingués pour les modalités de fertilisation, dont le plus grand nombre d'épillets fertiles est localisé au niveau du groupe C (modalité 3 et 4) (Tab. 28 et Fig. 35).

Tableau 28. Valeurs moyennes du nombre d'épillets fertiles par épi.

Facteur étudié	Nombre d'épillets fertiles par épi	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Traitement Inoculée Non inoculée	14,39	A B	Effet traitement <i>THS</i> CV : 5,79p.100
	15,98		
Modalité 3 4	13,28	A B C C	Effet modalité <i>THS</i> CV : 17,53 p.100
	13,98		
	16,75		
	16,85		

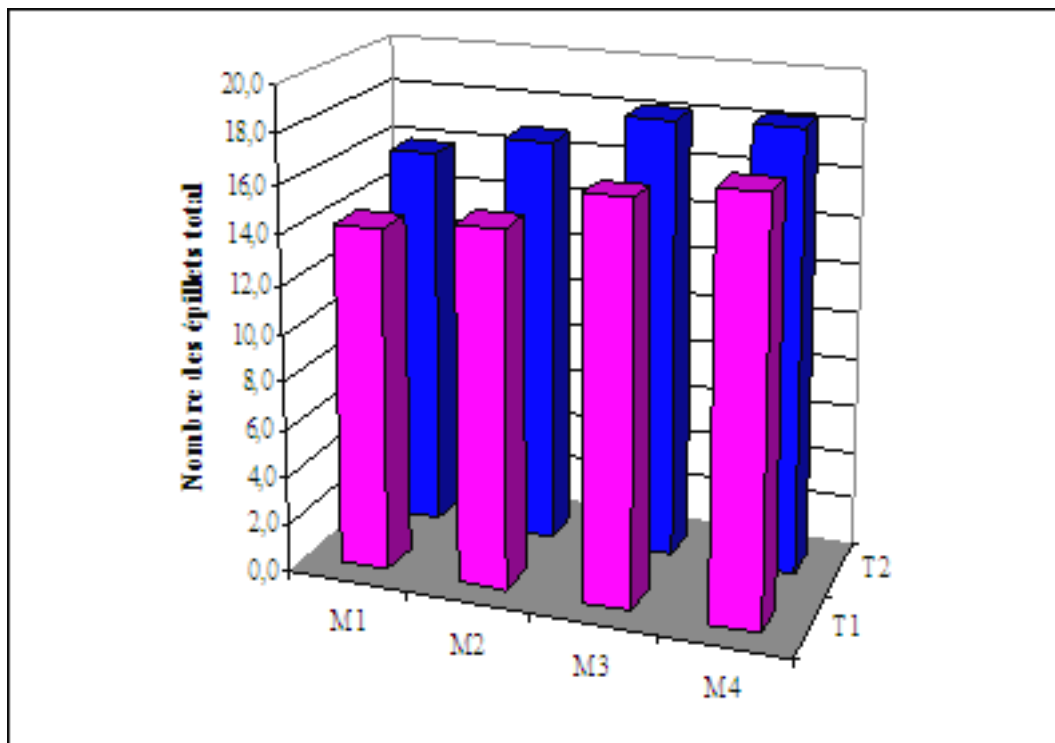


Figure 33. Comparaison nombre d'épillets total par épi, entre traitements : avec inoculation (T1) et sans inoculation (T2) de *M. graminicola*, sous l'effet des modalités de fertilisation.

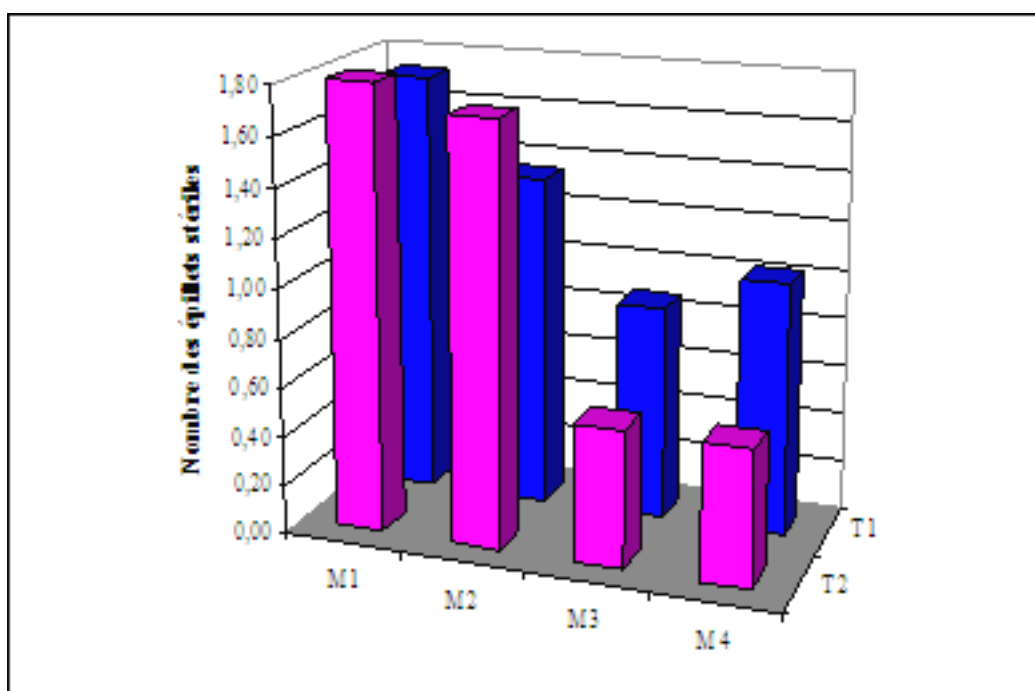


Figure 34. Comparaison du nombre d'épillets stériles, entre traitements : avec inoculation (T1) et sans inoculation (T2) de *M. graminicola*, sous l'effet des modalités de fertilisation.

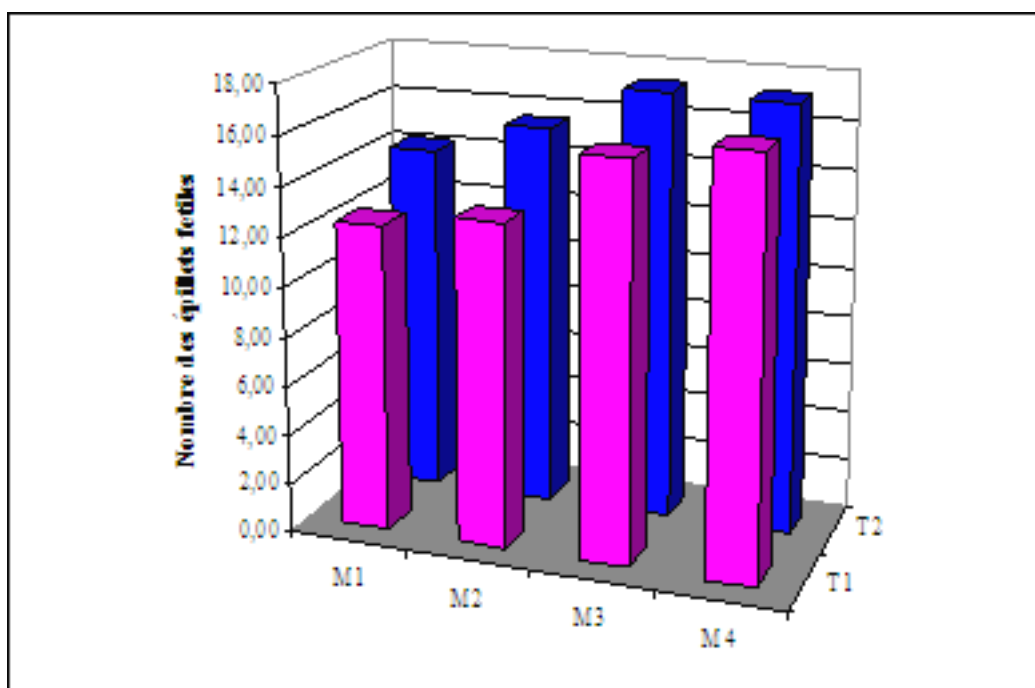


Figure 35. Comparaison du nombre d'épillets fertiles, entre traitements : avec inoculation (T1) et sans inoculation (T2) de *M. graminicola*, sous l'effet des modalités de fertilisation.

II.2.5. Nombre de grains par épi

La comparaison entre les comptages réalisés sur l'échantillon du témoin sans inoculation et celui prélevé sur des plants inoculés avec *M. graminicola*, a montré une diminution du nombre de grains par épi causée par la septoriose, les meilleurs résultats sont obtenus au niveau des modalités de fertilisation présentant des apports azotés (modalités 3 et 4), malgré que nous avons noté les plus grandes pertes (**Fig. 36**).

L'analyse de la variance a révélé un effet très hautement significatif pour les facteurs inoculation et modalité de fertilisation. Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes pour les inoculations et quatre pour les modalités de fertilisation. Les meilleurs résultats sont obtenus sans inoculation et pour la modalité de fertilisation 4, caractérisée par un apport d'engrais potassique au semis, des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm et un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds (**Tab. 29**).

Tableau 29. Valeurs moyennes du nombre de grains par épi.

Facteur étudié	Nombre de grains par épi	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Traitement Inoculée Non inoculée	33,00	A B	Effet traitement <i>THS</i> CV : 7,61p.100
	40,09		
Modalité 3 4	25,95	A B C D	Effet modalité <i>THS</i> CV : 36,79 p.100
	34,45		
	41,00		
	44,78		

II.2.6. Poids de 1000 grains

Comme pour le nombre de grains par épi, l'inoculation a induit une baisse du poids de 1000 grains, les meilleurs résultats sont obtenus pour les modalités 3 et 4 qui présente des apports azotés; l'un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds a un effet positif sur le poids de 1000 grains. Ces résultats ont été confirmés par l'analyse statistique dont l'inoculation a un effet très hautement significatif sur ce, tous comme pour le facteur modalités de fertilisation.

Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes pour les inoculations et quatre groupes pour le facteur modalité de fertilisation, dont les moyennes les plus élevées appartiennent aux groupes C et D représentés par les modalités avec des apports azotés (**Tab. 30** et **Fig. 37**).

Tableau 30. Valeurs moyennes du poids de 1000 grains.

Facteur étudié	Poids de 1000 grains (g)	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Traitement Inoculée Non inoculée	48,55	A B	Effet traitement <i>THS</i> CV : 3,63p.100
	51,35		
Modalité 3 4	44,72	A B C D	Effet modalité <i>THS</i> CV : 17,17 p.100
	47,85		
	52,68		
	54,56		

II.2.7. Rendement en paille

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Les résultats montrent que le rendement en paille est influencé par les facteurs inoculation et modalités de fertilisation. Le rendement le plus élevé est obtenu au niveau de la modalité 4, caractérisée par un apport d'engrais potassique au semis, des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm et un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds. L'analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif pour les plants inoculés, et de même pour la fertilisation.

Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes pour les traitements dont le meilleur rendement est noté au niveau des échantillons non inoculés. Chaque modalité de fertilisation représente un seul groupe, la moyenne la plus élevée est notée au niveau de la modalité 4 (groupe D) (**Fig. 38**).

Tableau 31. Valeurs moyennes du rendement en paille.

Facteur étudié	Rendement en paille (g/m ²)	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Traitement Inoculée Non inoculée	505,00	A B	Effet traitement <i>THS</i> CV : 41,74p.100
	631,64		
Modalité 3 4	470,63	A B C D	Effet modalité <i>THS</i> CV : 50,74 p.100
	427,34		
	626,09		
	749,22		

II.2.8. Rendement calculé

En se basant sur les résultats précédemment cités, le rendement calculé est influencé par l'inoculation de *M. graminicola* et par les modalités de fertilisation. Les rendements les plus élevés sont obtenus sur les placettes non inoculées et ayant subi la modalité 4, caractérisée par un apport d'engrais potassique lors du semis, des apports d'Urée aux stades tallage et épi 1 cm et un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds. L'analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif vis-à-vis des facteurs inoculation et modalités de fertilisation. L'interaction des deux facteurs a un effet significatif et le test de la PPDS permet de distinguer deux groupes homogènes pour le facteur inoculation et quatre groupes pour le facteur modalité de fertilisation.

Les plants non inoculés semblent avoir de meilleurs rendements (groupe B) que les plants inoculés. Par ailleurs, la modalité 4 présente le rendement calculé le plus élevé (groupe D), tandis que le plus faible rendement est noté au niveau du témoin sans fertilisation, (**Tab. 32** et **Fig. 39**).

Tableau 32. Valeurs moyennes du rendement calculé.

Facteur étudié	Rendement calculé (q/ha)	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Traitement Inoculée Non inoculée	34,26	A B	Effet traitement <i>THS</i> CV : 36,02p.100
	54,92		
Modalité 3 4	20,96	A B C D	Effet modalité <i>THS</i> CV : 42,75 p.100
	37,81		
	55,80		
	63,79		

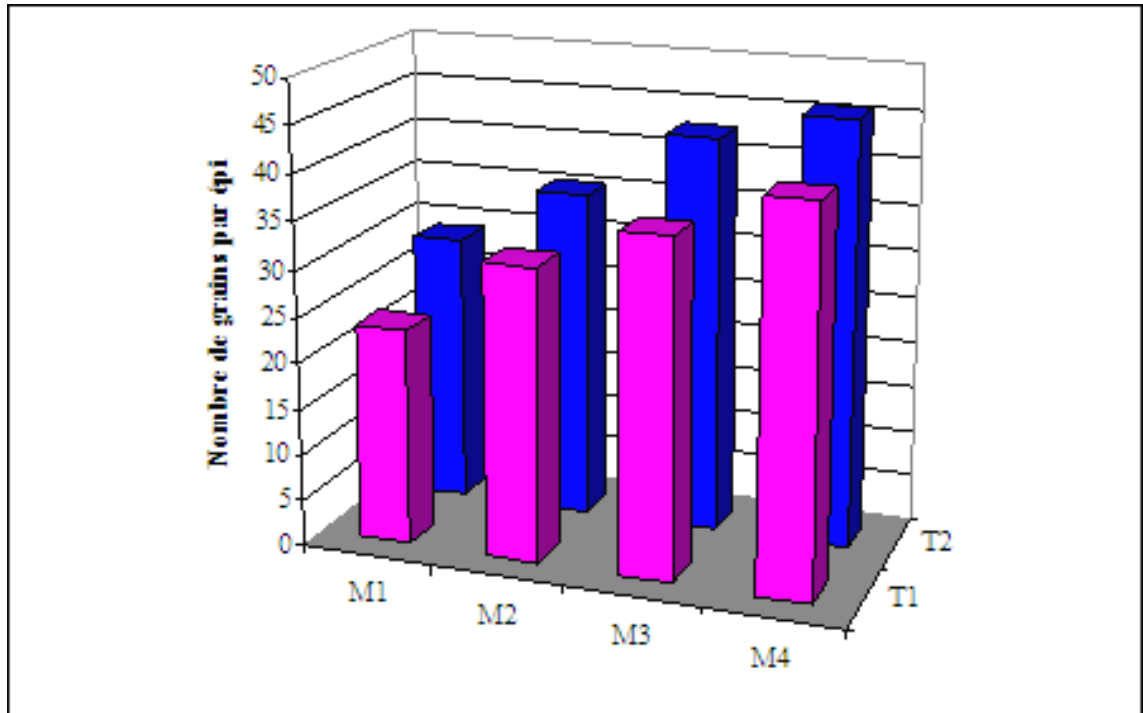


Figure 36. Comparaison du nombre de grains par épi, entre traitements : avec inoculation (T1) et sans inoculation (T2) de *M. graminicola*, sous l'effet des modalités de fertilisation.

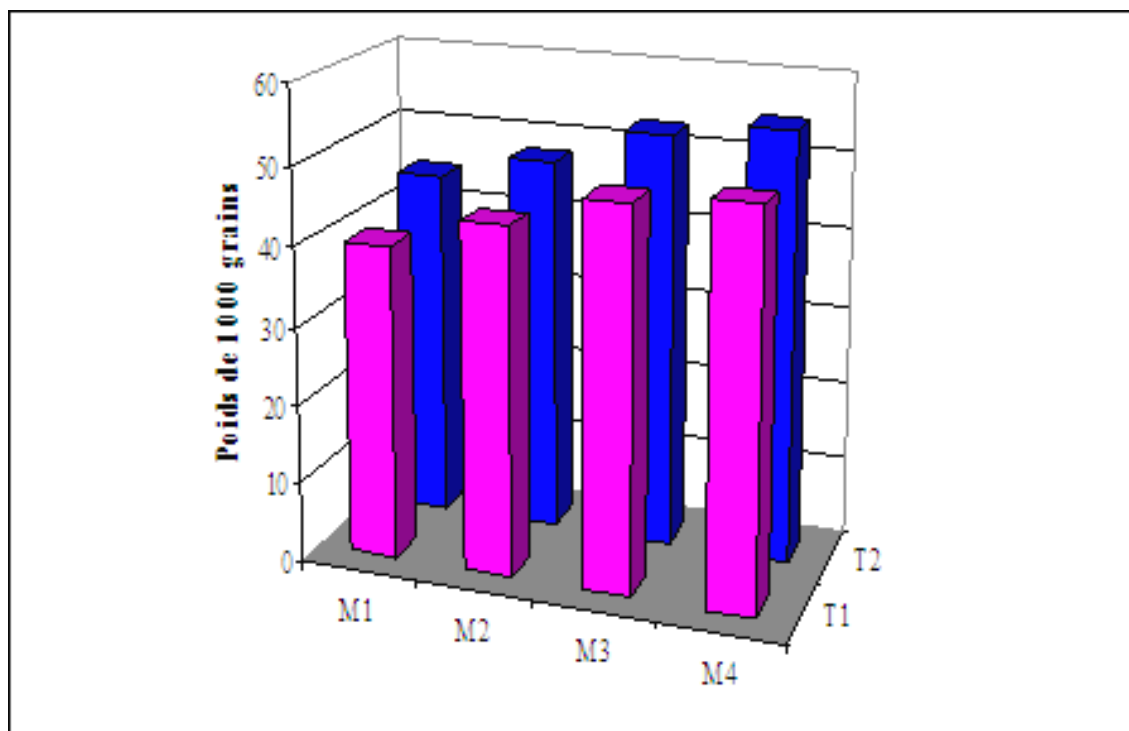


Figure 37. Comparaison du poids de 1000 grains, entre traitements : avec inoculation (T1) et sans inoculation (T2) de *M. graminicola*, sous l'effet des modalités de fertilisation.

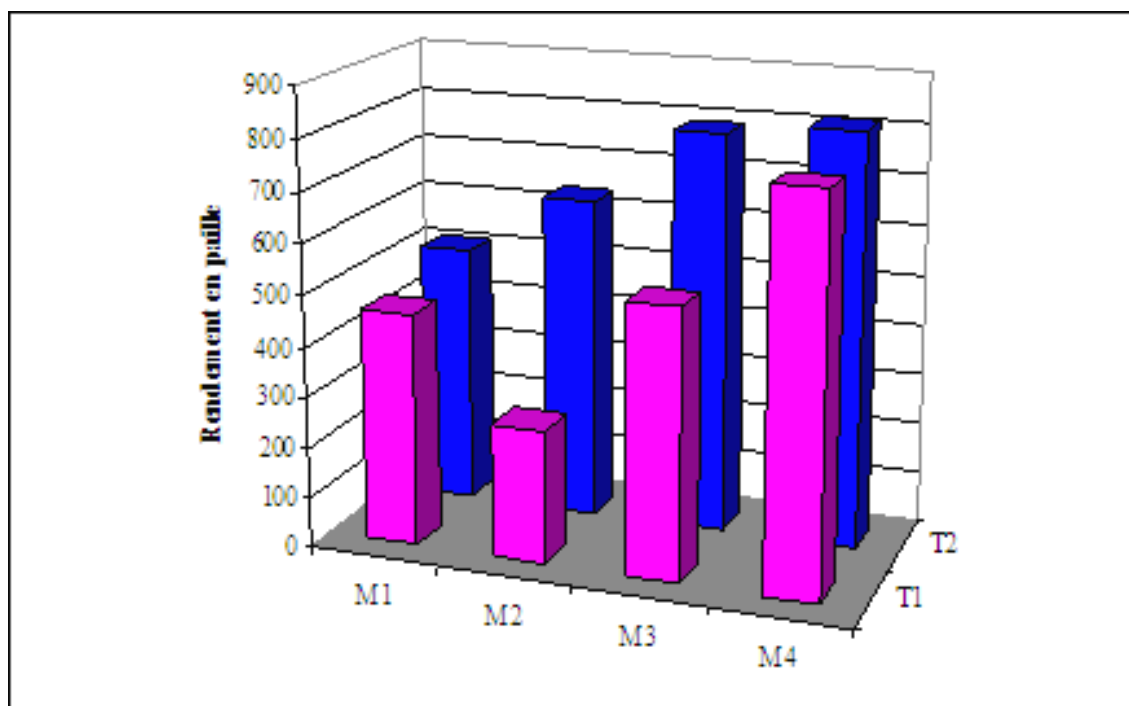


Figure 38. Comparaison du rendement en paille, entre traitements : avec inoculation (T1) et sans inoculation (T2) de *M. graminicola*, sous l'effet des modalités de fertilisation.

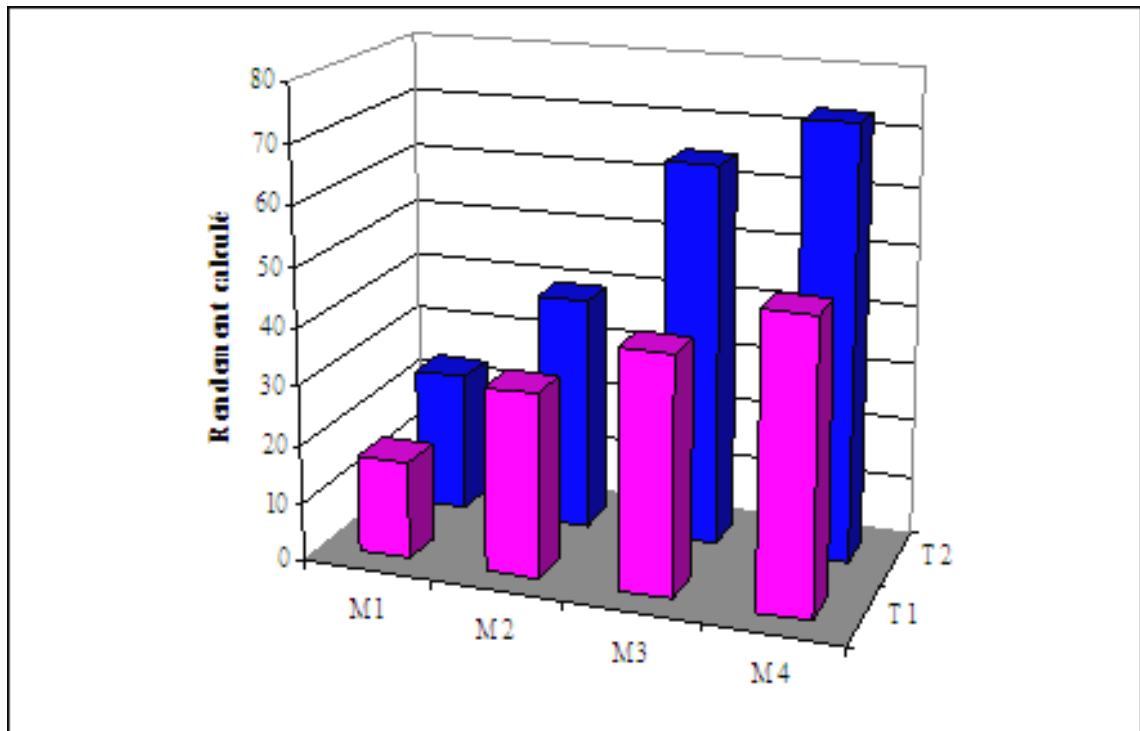


Figure 39. Comparaison du rendement calculé, entre traitements : avec inoculation (T1) et sans inoculation (T2) de *M. graminicola*, sous l'effet des modalités de fertilisation.

Discussion

Les deux variétés testées soumises aux mêmes effets du milieu et de *M. graminicola*, ont exprimé une grande variabilité quant à leurs réponses à l'attaque de l'agent pathogène. La variété Vitron (blé dur), s'est montrée plus ou moins sensible à l'égard de *M. graminicola* selon les modalités de fertilisation appliquées, tandis que nous n'avons pas pu détecter de symptômes caractéristiques de la septoriose au niveau des parcelles élémentaires de la variété Arz (blé tendre), et ce quelque soit la modalité de fertilisation appliquée aux parcelles élémentaires. En se basant sur les travaux déjà réalisés, la variété Vitron confirme sa sensibilité à l'égard de *M. graminicola*, mais nous n'avons pas d'indications concernant le comportement de la variété Arz vis-à-vis du même pathogène.

Selon Ziblerstein et *al.* (1985), les cultivars de blé peuvent montrer à l'égard de *S. tritici* une résistance vraie et une tolérance. La résistance vraie peut se traduire soit par une manifestation réduite des symptômes, soit par une densité réduite des pycnides au niveau des nécroses (Eyal et *al.*, 1987). Dans notre cas, l'apparition des symptômes sur la variété de blé tendre (Arz), a pu être inhibée par les conditions du milieu (humidité et température) ou bien il se peut qu'il existe une spécificité entre l'isolat testé et les variétés utilisées surtout que l'isolat du pathogène utilisée a été isolée à partir d'un échantillon de la variété Vitron.

Les notations de la maladie causée par *M. graminicola* effectuées au 25^{ème} jour après inoculation (stade plein tallage), ont révélé un effet non significatif similaire pour tous les paramètres sauf pour le nombre de lésions a montré un l'effet très hautement significatif. A ce stade de culture, les symptômes sont apparus sur un nombre similaire de plants sur les différentes placettes.

Le nombre de lésions par feuille était plus élevé au niveau des modalités 3 et 4 qui présentent des apports d'engrais azotés au stade début tallage, ce qui aurait favorisé le tallage herbacé. Ce résultat est soutenu par ce que Leicht et Jenkins (1994) et Eyal (1999).

Etant donné que le développement de la maladie est influencé par les facteurs climatiques (Ezzahiri, 2001), dans notre cas si les températures moyennes enregistrées durant cette période, au contraire l'humidité n'était pas adéquate, d'où les pulvérisations effectuées 2 à 3 fois par jour, selon le taux d'humidité de la journée, qui ont aidé l'apparition des symptômes.

Au stade gonflement, les notations ont montré des différences significatives des modalités de fertilisation sur les paramètres étudiés. La sévérité de la maladie était plus élevée au niveau des deux modalités avec des apports d'engrais azotés. Le rôle du potassium dans l'acquisition de la résistance vis-à-vis de *M. graminicola*, est mis en évidence en comparant les résultats de la modalité 2 (apport de Bioactyl au semis) avec ceux de la modalité 1 (témoin). Ben Mohamed et al. (2001), ont obtenu des résultats similaires.

Le stade remplissage du grain, a été caractérisé par l'apparition sévère de la maladie sur la dernière feuille au niveau de la modalité 3 (sans apport foliaire d'engrais potassique), en comparaison avec la modalité 4 ayant un apport foliaire de potassium au stade montaison, sur laquelle nous avons noté une diminution de la sévérité de la maladie après les pulvérisations.

Les conditions climatiques étaient favorables pour le développement de la maladie au cours de ce stade. En effet les fortes températures ont été accompagnées par des taux d'humidités élevés suite aux pluies survenues à cette période.

L'attaque sévère au niveau de la dernière feuille pour la modalité 3, a provoqué des baisses de rendement considérables suite au rôle de cette dernière. Selon Auriou et al. (1992), la majorité des assimilés stockés dans les grains est issue de la photosynthèse post-floraison de la dernière feuille.

Le faible développement de la maladie au niveau de la modalité 2, pourrait être expliqué par la réponse initiale de l'hôte à l'inoculation. Malgré que la sévérité de la maladie fût réduite, les rendements n'ont pas été plus élevés par comparaison aux autres modalités; ce qui confirme le rôle de l'azote comme pivot de la culture de céréales.

Les attaques aux premiers stades de croissance du blé, affectent le nombre de talles et la fertilité des épis ainsi que la qualité des grains; elles détruisent une surface importante des tissus foliaires causant une réduction des potentiels photosynthétiques de la plante. Les attaques au dernier stade de croissance sont les plus graves, elles ont pour conséquences, des pertes de la vigueur et de la productivité (Sharen et Krupinsky, 1978).

Nous avons noté des diminutions significatives des composantes du rendement, surtout lorsque les niveaux d'apports azotés sont élevés. L'apport d'engrais à base de potassium au sol avant le semis, a permis aux plants ayant subi la modalité 2 d'acquérir une résistance à l'attaque par *M. graminicola*. De ce fait, le rendement n'a pas subi une diminution significative, cela a été prouvé en comparaison avec le témoin sans fertilisation.

D'après Leicht et Jenkins (1994) et Eyal (1999), l'augmentation de la fertilisation azotée en culture de blé va généralement augmenter la croissance du peuplement végétal, la teneur en azote et le nombre d'épis. L'augmentation de la teneur en azote des tissus peut être un facteur d'aggravation de maladies fongiques notamment la septoriose du blé.

L'augmentation de l'expression de *M. graminicola* en fonction de la présence ou absence des apports azotés, pourrait être expliquée à travers le rôle de l'élément N dans la culture de blé comme un facteur qui engendre à la fois des changements morphologiques et physiologiques au niveau des cellules de l'hôte. En effet l'apport azoté stimule la croissance végétative du blé et il en résulte un potentiel de tallage élevé induisant une augmentation au niveau de la densité de la culture. Dans ce cas l'architecture de la plante accentue le risque d'attaque par des agents pathogènes. Par ailleurs au niveau des tissus de l'hôte, l'application de l'azote change la composition du milieu cellulaire et augmente sa valeur nutritionnelle (Ben Mohamed et *al.*, 2001).

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, la phényl-alanine et la tyrosine. Ainsi les plantes excessivement fertilisées en azote sont plus susceptibles à l'attaque, car le pathogène s'y installe et utilise leurs protéines pour assurer son propre développement, tout au long de son cycle biologique.

Leitch et Jenkins (1995), ont trouvé que les rendements augmentent dans le cas d'utilisation de fongicides en association avec des conditions de fertilisation optimales, par augmentation du poids du grain. Johnston et *al.* (1979), ont effectué des analyses sur le poids du grain et le rendement en grain. Ils ont trouvé que l'accroissement de la fertilisation azotée, associé à des pulvérisations de fongicides, implique un accroissement des rendements, accompagné par une réduction de la sévérité de la septoriose. Dans ces deux travaux, le rendement et ses composantes diminuent sous l'effet de *M. graminicola* quand le dosage d'azote est augmenté sans pulvérisation de fongicide. Sharma et *al.* (2005), ont noté que le rendement en grain ainsi que le poids moyen du grain, augmentent avec l'application d'engrais potassiques avec ou sans applications de fongicides.

Les résultats obtenus sont en accord avec Ben Mohamed et *al.* (2001), qui ont utilisé des apports au sol d'engrais potassiques. Shipton et *al.* (1971) et Sharma et *al.* (2005), travaillant sur la relation entre la sévérité de *S. nodorum* et du taux de l'élément potassium dans le sol, sont arrivés aux mêmes résultats.

En se basant sur les conclusions précédentes, nous pouvons constater que les apports d'engrais azotés augmentent la sévérité de la tache septorienne, ce qui peut engendrer une diminution du rendement et de ses composantes. Par ailleurs l'azote étant l'élément le plus important dans l'élaboration du rendement, une carence en cet élément peut avoir des conséquences négatives sur la production. Il est possible d'y remédier par des apports potassiques au sol avant le semis et des apports foliaires au stade montaison et épiaison, et adopter des pulvérisations de fongicides à l'itinéraire technique.

III. Notation des feuilles détachées inoculées « in vitro »

Le test des feuilles détachées, nous a permis de tester l'effet de la fertilisation azotée et potassique sur la résistance du blé à la septoriose et à la maladie de la tache bronzée du blé (tan spot). Les symptômes se sont présentés sous forme de taches chlorotiques apparues à partir du point où la goutte de la suspension d'inoculum a été déposée ; les taches s'élargissent davantage en prenant une couleur jaunâtre à brunâtre.

Les observations ont été réalisées sur des fragments prélevés au stade début montaison-floraison et sur la dernière feuille, afin de comparer la résistance du blé aux attaques du pathogène au cours de ces deux stades, et selon le type de fertilisation.

III.1. Notation des feuilles détachées inoculées par *M. graminicola*

Le développement de la lésion causée par *S. tritici* n'a pas montré de pycnides visibles à l'œil nu, néanmoins nous avons pu observer sous la loupe, des petites pycnides de couleur marron clair et vides, (**Fig. 40**).

L'évaluation de la résistance des variétés à l'égard de *M. graminicola*, a été réalisée selon plusieurs critères basés sur le développement de la lésion au cours du temps.

III.1.1. Période d'incubation (PI)

La période de latence a été influencée par les modalités de fertilisation. La réponse des fragments prélevés au stade début montaison-floraison et sur la dernière feuille ont eu la même réponse à l'inoculation, ce qui n'est pas le cas pour le facteur variété. Les résultats obtenus par l'analyse de la variance ont montré une différence très hautement significative au niveau de tous les stades de prélèvement.

Les symptômes sont apparus plus rapidement pour la variété Vitron (au bout de 3 à 4 jours), que pour la variété Arz (au bout de 5 à 6 jours), ce qui indique que Vitron est plus sensible qu'Arz à l'isolat de *M. graminicola* utilisé. Aussi cette période diffère selon les stades de prélèvements, (**Tab. 33**); les fragments des dernières feuilles se sont avérés plus résistants. Les périodes de latence étaient plus longues pour les plants sans azote et les témoins sans fertilisation (**Fig. 44**).

Pour chaque stade de prélèvement, le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes pour le facteur variété et quatre groupes pour le facteur type de fertilisation. Au stade dernière feuille, la fertilisation fait ressortir deux groupes bien séparés (A et D) et deux groupes intermédiaires avec le groupe A (AB et AC).

Facteur étudié		PL (jour)	Groupes homogènes	Interprétation statistique		
Prélèvement aux stades début montaison- floraison	Variété	Vitron	3,891	A	Effet variété <i>IHS</i> CV : 13,25 p.100	
		Arz	5,031	B		
	Modalité	1	4,094	A	Effet modalité <i>IHS</i> CV : 29,29 p.100	
		2	5,906	B		
		3	3,531	C		
		4	4,313	D		
	Prélèvement au stade dernière feuille	Variété	Vitron	4,89	A	Effet variété <i>IHS</i> CV : 11,17 p.100
			Arz	6,16	B	
Modalité		1	5,09	A	Effet modalité <i>IHS</i> CV : 33,66 p.100	
		2	6,78	AB		
		3	4,78	AC		
		4	5,44	D		

Tableau 33. Valeurs moyennes de la période de latence pour *M. graminicola*

III.1.2. Longueur de la lésion (L)

Les modalités de fertilisation ainsi que le facteur variété ont influencé la longueur de la lésion. Ainsi les longueurs obtenues pour la variété Vitron sont plus grandes que pour la variété Arz, et ce quelque soit le stade considéré de prélèvement (début montaison – floraison ou dernière feuille).

Les modalités de fertilisation sur lesquels nous avons notée les plus grandes longueurs sont la modalité 3 qui présente un apport d'engrais potassique au semis et des apports d'urée aux stades tallage et épi 1 cm. La longueur est plus réduite pour la modalité 4 ayant les mêmes apports que ceux de la modalité 3 plus un apport foliaire d'engrais potassique au stade 1 à 2 nœuds.

La modalité 3 présente la plus grande valeur (21,95 mm) pour les prélèvements effectués au stade début montaison–floraison (**Fig. 46**).

L'analyse de la variance a révélé un effet très hautement significatif pour les modalités de fertilisation et les variétés testées.

Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes pour les variétés, dont la longueur de lésion la plus grande est notée au niveau de la variété Vitron (groupe A), tandis que pour la fertilisation, quatre groupes se distinguent, dont la plus grande valeur est notée au niveau des modalités avec des apports d'engrais azotés c'est-à-dire groupes C et D (**Tab. 34**).

Facteur étudié		L (mm)	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Prélèvement aux stades début montaison- floraison	Variété	Vitron	18,12	A
		Arz	11,15	B
	Modalité	1	13,47	A
		2	6,30	B
	3	21,95	C	
	4	16,81	D	
Prélèvement au stade dernière feuille	Variété	Vitron	16,85	A
		Arz	9,55	B
	Modalité	1	11,29	A
		2	7,39	B
	3	19,33	C	
	4	14,78	D	
				Effet variété <i>IHS</i> CV : 29,03 p.100
				Effet modalité <i>IHS</i> CV : 27,60 p.100
				Effet variété <i>IHS</i> CV : 21,75 p.100
				Effet modalité <i>IHS</i> CV : 27,78 p.100

Tableau 34. Valeurs moyennes de la longueur de la lésion pour *M. graminicola*

III.1. 3. Extension de la lésion au cours du temps (EXT)

L'extension de la lésion au cours du temps a été influencée par les modalités de fertilisation, et il existe une nette différence entre la variété Vitron pour laquelle nous avons obtenus les plus grandes valeurs d'extension de la lésion et la variété Arz. L'extension de la lésion est plus faible pour la fertilisation avec un apport potassique avant le semis et sans apports azotés, tandis que les valeurs les plus élevées sont notées au niveau de la modalité 3 présentant un apport d'engrais potassique au semis et des apports d'urée aux stades tallage et épi 1 cm (**Tab. 35**).

Les fragments prélevés au stade début montaison-floraison montre plus de sensibilité à la septoriose que ceux prélevés sur la dernière feuille (**Figs. 45 et 46**).

Pour chaque stade de prélèvement, l'analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif pour les deux facteurs étudiés. Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes correspondants à chacune des deux variétés et quatre groupes homogènes pour le facteur modalités de fertilisation.

Facteur étudié		EXT (mm / 4 jour)	Groupes homogènes	Interprétation statistique		
Prélèvement aux stades début montaison-floraison	Variété	Vitron	5,62	A	Effet variété <i>IHS</i> CV : 31,00 p.100	
		Arz	3,46	B		
	Modalité	1	4,39	A	Effet modalité <i>IHS</i> CV : 30,00 p.100	
		2	2,05	B		
		3	6,48	C		
		4	5,24	D		
	Prélèvement au stade dernière feuille	Variété	Vitron	5,36	A	Effet variété <i>IHS</i> CV : 21,98 p.100
			Arz	3,03	B	
Modalité		1	3,71	A	Effet modalité <i>IHS</i> CV : 34,12 p.100	
		2	2,43	B		
		3	5,92	C		
		4	4,71	D		

Tableau 35. Valeurs moyennes de l'extension de la lésion au cours du temps pour *M. graminicola*

III.1. 4. Vitesse d'extension de la lésion

Les résultats de la vitesse moyenne d'extension de la lésion confirment les notations sur les paramètres de longueur de la lésion et son extension au cours du temps. Les plus grandes moyennes sont obtenues avec la variété Vitron et les apports azotés (modalité 3), surtout sur les fragments prélevés au stade début montaison-floraison. La vitesse moyenne d'extension de lésion diminue avec la fertilisation présentant des apports potassiques, lors du semis. Pour la modalité 4, l'apport foliaire au stade 1 à 2 nœuds, la différence de la modalité 3 qui ne présente pas cet apport; ce dernier semble avoir un effet de diminution de la vitesse d'extension de lésion.

L'analyse de la variance révèle des effets très hautement significatifs pour le facteur variété et celui de la fertilisation, et ce pour les deux stades de prélèvement. Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes pour le facteur variété et quatre pour la modalité de fertilisation, (Tab. 36).

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Facteur étudié		V moy (mm / jour)	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Prélèvement aux stades début montaison- floraison	Variété	Vitron	1,41	A
		Arz	0,86	B
	Modalité	1	1,10	A
		2	0,51	B
	3	1,62	C	
	4	1,31	D	
Prélèvement au stade dernière feuille	Variété	Vitron	1,34	A
		Arz	0,76	B
	Modalité	1	0,93	A
		2	0,61	B
	3	1,48	C	
	4	1,18	D	
				Effet variété <i>IHS</i> CV : 31,00 p.100
				Effet modalité <i>IHS</i> CV : 30,00 p.100
				Effet variété <i>IHS</i> CV : 21,98 p.100
				Effet modalité <i>IHS</i> CV : 34,12 p.100

Tableau 36. Valeurs moyennes de la vitesse d'extension de la lésion pour *M. graminicola*

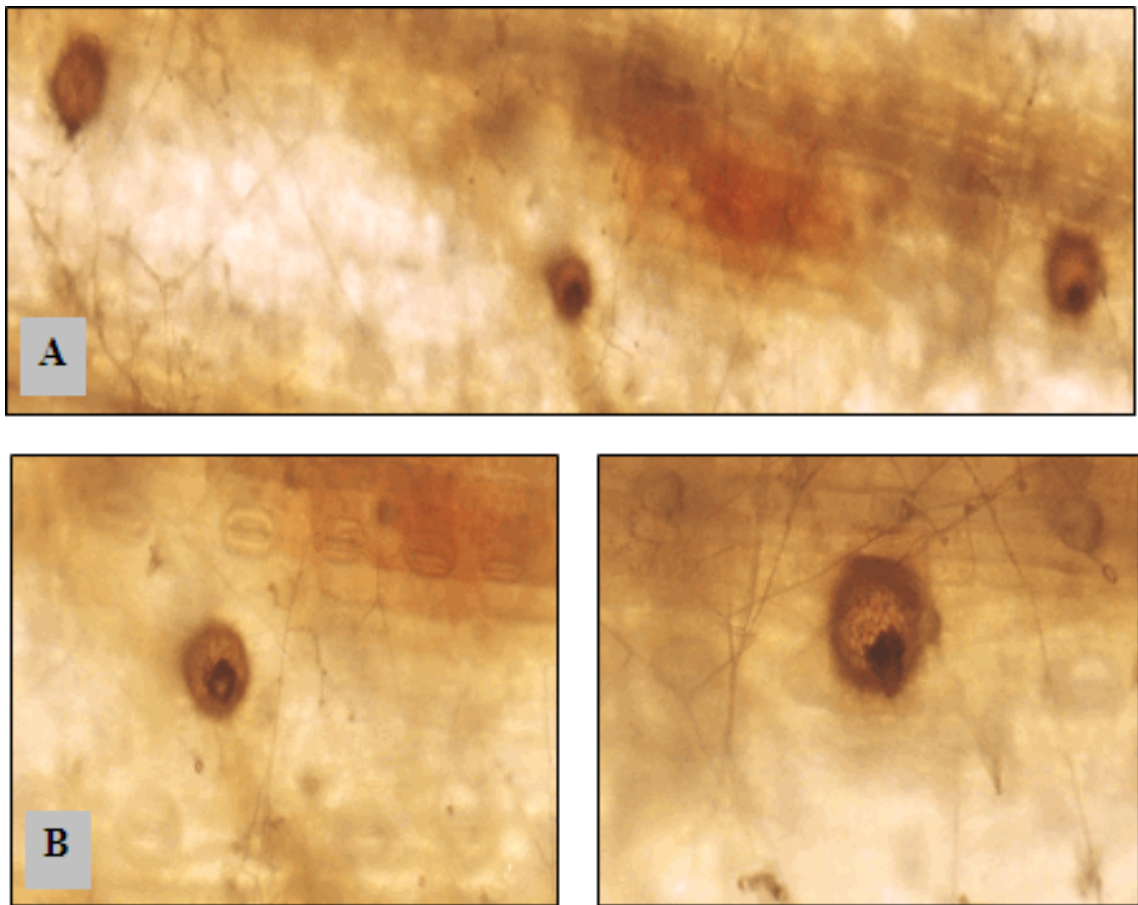


Figure 40. A : Pycnidies de *M. graminicola*, observés sous la loupe (G : 4 × 10 × 0,8) ; B : sous microscope (G: 25 × 3,2).

III.2. Notation des feuilles détachées inoculées par *P. tritici-repentis*

Les symptômes causés par *P. tritici-repentis*, sont caractérisés par un point brunâtre à l'endroit où la suspension fongique a été déposée, entouré de tissus jaunis qui finissent par brunir au cours du temps (Figs. 45 et 46). La durée de l'essai pour les notations est de 16 jours.

En conservant les boîtes plus de 35 jours, sous les mêmes conditions expérimentales, nous avons noté l'apparition de pseudothèces. En les écrasant, nous avons observé sous le microscope, des asques contenant des ascospores caractéristiques de la forme parfaite de *P. tritici-repentis*(Fig. 41).

III.2.1. Période d'incubation (PI)

Le facteur variété n'a pas eu d'influence sur la période d'apparition des symptômes, toutefois la période de latence est plus longue d'environ une journée pour les prélèvements faits sur la dernière feuille. La plus longue période de latence est notée pour la fertilisation avec apport de Bioactyl au semis, tandis que la plus petite période est notée lorsqu'il y a des apports de Bioactyl au moment du semis et d'Urée durant le cycle de culture (**Tab. 37** et **Fig. 44**).

L'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif pour les différentes fertilisations, et ce pour les différents stades de prélèvements (début montaison – floraison

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

et dernière feuille). Le test de la PPDS distingue quatre groupes homogènes pour le facteur fertilisation et pour chaque stade de prélèvement.

Facteur étudié		PL (jour)	Groupes homogènes	Interprétation statistique		
Prélèvement aux stades début montaison-Floraison	Variété	Vitron	4,58	-	Effet variété NS	
		Arz	4,30			CV : 17,48 p.100
	Modalité	1	3,69	A	Effet modalité <i>THS</i> CV : 32,91 p.100	
		2	6,53	B		
		3	3,28	C		
		4	4,25	D		
	Prélèvement au stade dernière feuille	Variété	Vitron	5,61	-	Effet variété NS
			Arz	5,56		
Modalité		1	5,28	A	Effet modalité <i>THS</i> CV : 28,85 p.100	
		2	7,44	B		
		3	4,47	AC		
		4	5,16	D		

Tableau 37. Valeurs moyennes de la période de latence pour *P. tritici-repentis*.

III.2.2. Longueur de la lésion (L)

La longueur de la lésion a été fortement influencée par le facteur variété, et les valeurs élevées des longueurs de lésion obtenues montrent que la variété Arz est plus sensible au tan spot. Ce résultat est en contradiction avec le test d'inoculation avec *S. tritici*. La modalité 3 concernant l'apport d'engrais potassique au semis et des apports d'urée aux stades tallage et épi 1 cm, semble favoriser l'extension de la lésion, surtout pour les fragments prélevés au stade début montaison –floraison et dernière feuille, (**Fig. 46**).

L'analyse de la variance pour la longueur de la lésion montre des effets très hautement significatifs pour les différentes fertilisations ainsi que des variétés; les groupes homogènes obtenus par le test de la PPDS (**Tab. 38**).

Facteur étudié		L (mm)	Groupes homogènes	Interprétation statistique		
Prélèvement aux stades début montaison- floraison	Variété	Vitron	11,80	A	Effet variété <i>IHS</i> CV : 7,17 p.100	
		Arz	20,06	B		
	Modalité	1	14,14	A	Effet modalité <i>IHS</i> CV : 36,64 p.100	
		2	9,41	B		
		3	22,94	C		
		4	17,23	D		
	Prélèvement au stade dernière feuille	Variété	Vitron	10,37	A	Effet variété <i>IHS</i> CV : 8,92 p.100
			Arz	18,52	B	
Modalité		1	12,60	A	Effet modalité <i>IHS</i> CV : 33,77 p.100	
		2	8,28	B		
		3	21,10	C		
		4	15,81	D		

Tableau 38. Valeurs moyennes de la longueur de la lésion pour *P. tritici-repentis*.

III.2. 3. Extension de la lésion au cours du temps (EXT)

Les résultats obtenus diffèrent pour les deux variétés étudiées ; la variété Arz présente les plus grandes valeurs d'extension de la lésion au cours du temps. Il en est de même pour les modalités de fertilisation où l'apport de Bioactyl au semis (modalité 2) ne favorise pas l'extension de la lésion, contrairement aux modalités d'apport azoté (modalités 3 et 4). L'analyse statistique révèle des effets très hautement significatifs pour les facteurs étudiés aux deux stades de prélèvement (stade début montaison –floraison et dernière feuille) (**Figs. 45 et 46**).

Le test de la PPDS, distingue deux groupes homogènes pour le facteur variété, dont chaque variété représente un groupe. Pour le facteur fertilisation quatre groupes homogènes se distinguent (**Tab. 39**). Les moyennes les plus élevées de l'extension de la lésion sont au niveau des modalités ayant des apports azotés c'est-à-dire groupes C et D.

Facteur étudié		EXT (mm / 4 jour)	Groupes homogènes	Interprétation statistique
Prélèvement aux stades début montaison- floraison	Variété	Vitron	3,74	A
		Arz	5,73	B
	Modalité	1	4,02	A
		2	2,87	B
	3	6,82	C	
	4	5,23	D	
Prélèvement au stade dernière feuille	Variété	Vitron	3,33	A
		Arz	5,52	B
	Modalité	1	3,77	A
		2	2,61	B
	3	6,39	C	
	4	4,93	D	

Tableau 39. Valeurs moyennes de l'extension de la lésion au cours du temps pour *P. tritici-repentis*.

III.2. 4. Vitesse d'extension de la lésion

Les résultats obtenus montrent que la vitesse moyenne d'extension de la lésion, est plus rapide pour Vitron que pour la variété Arz. La modalité 3 caractérisée par un apport d'engrais potassique au semis et des apports d'urée aux stades tallage et épi 1 cm, présente les plus grandes valeurs de vitesse d'extension. La vitesse est d'autant plus élevée pour les fragments prélevés au stade début montaison-floraison que pour ceux prélevés sur la dernière feuille, qui semblent avoir plus de résistance au pathogène.

L'analyse de la variance montre des effets très hautement significatifs pour la vitesse d'extension de la lésion, tout comme le montrent les résultats de l'extension de la lésion (Tab. 40).

Le test de la PPDS distingue deux groupes homogènes où chaque variété représente un groupe. Pour la fertilisation, quatre groupes se distinguent, pour les deux stades le groupe C et D représenté par les modalités avec des apports azotés ayant les moyennes les plus élevées.

Facteur étudié		V moy (mm / jour)	Groupes homogènes	Interprétation statistique		
Prélèvement aux stades début montaison- floraison	Variété	Vitron	0,93	A	Effet variété <i>IHS</i> CV : 13,35 p.100	
		Arz	1,43	B		
	Modalité	1	1,00	A	Effet modalité <i>IHS</i> CV : 37,60 p.100	
		2	0,72	B		
		3	1,70	C		
		4	1,31	D		
	Prélèvement au stade dernière feuille	Variété	Vitron	0,83	A	Effet variété <i>IHS</i> CV : 15,35 p.100
			Arz	1,38	B	
Modalité		1	0,94	A	Effet modalité <i>IHS</i> CV : 33,30 p.100	
		2	0,65	B		
		3	1,60	C		
		4	1,23	D		

Tableau 40. Valeurs moyennes de la vitesse d'extension de la lésion *P. tritici-repentis*.

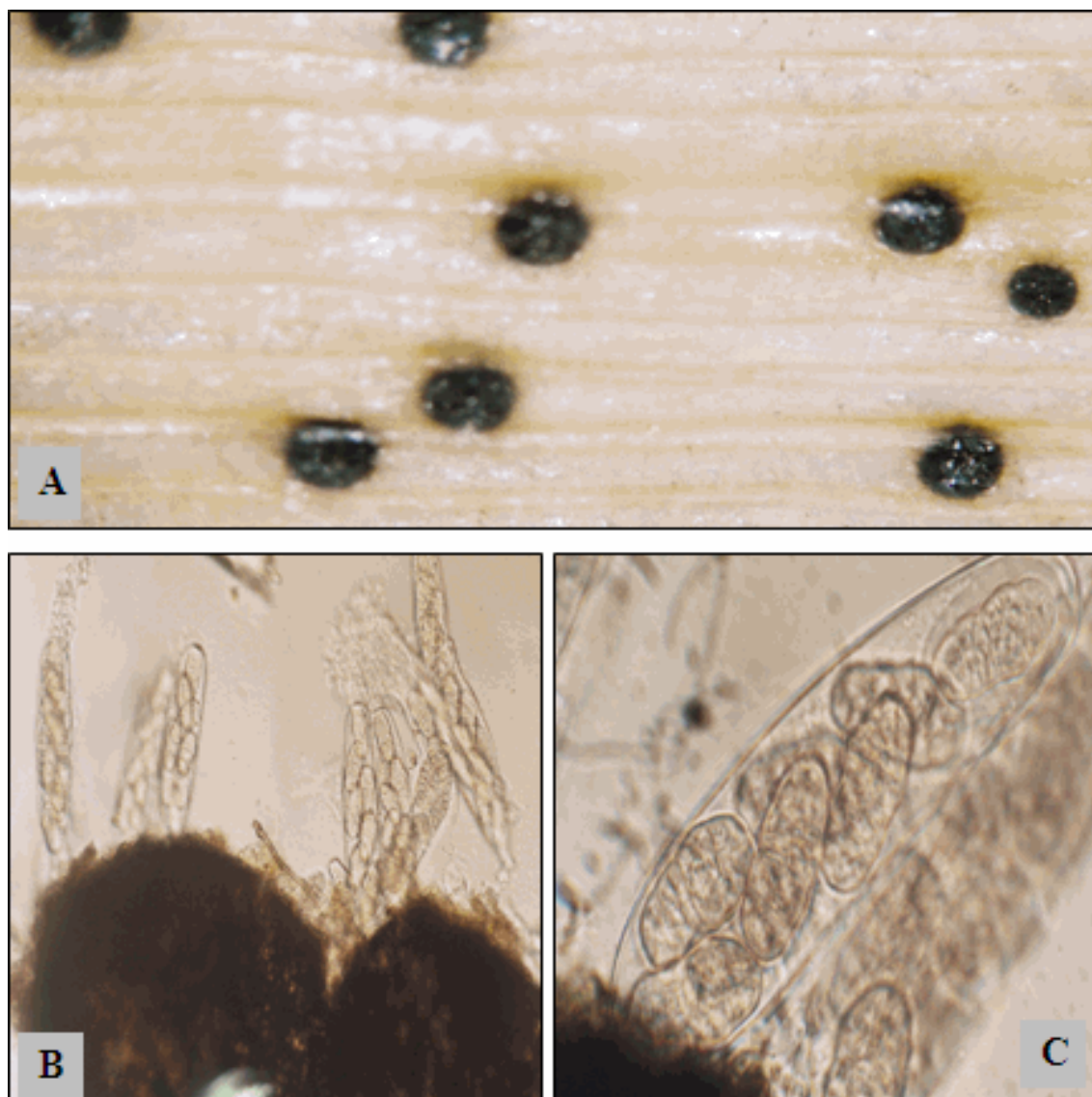
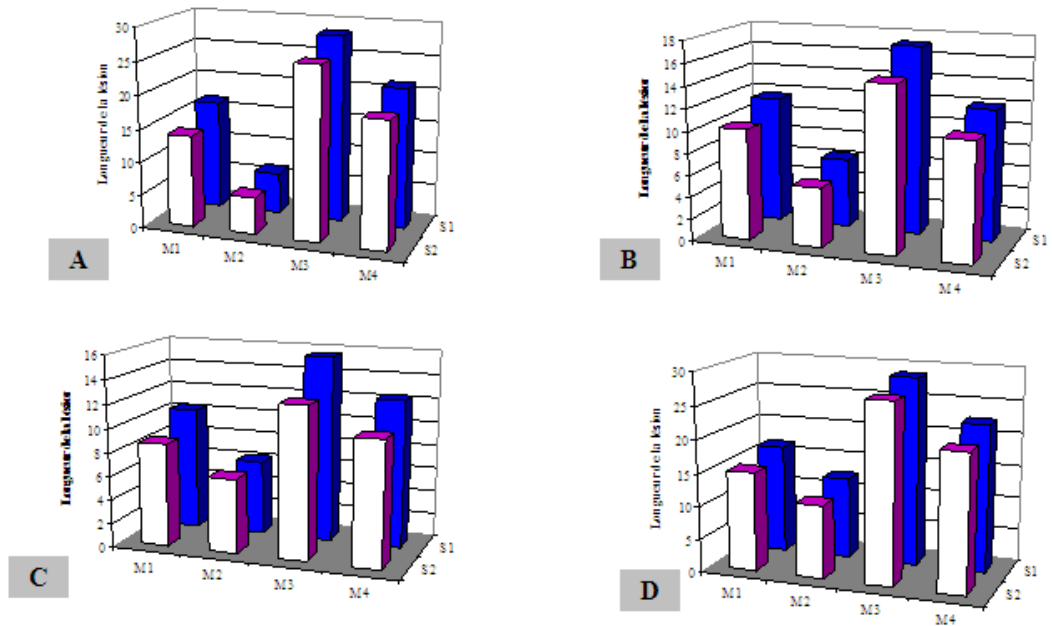


Figure 41. A : Pseudothèces de *P. tritici-repentis*, sur fragments de la variété Arz ; observées sous la loupe (G : 4 × 10 × 0,8). B : Pseudothèces écrasées avec asques observées au microscope (G : 25 × 3,2). C : Asques avec ascospores, (G : 100 × 3,2).

Les figures qui suivent représentent des comparaisons de l'influence des modalités de fertilisation sur la réponse des différentes combinaisons agent pathogène- variété étudiées,, testées *in vitro* aux stades début montaison- floraison et sur la dernière feuille.

L'examen des résultats de la **figure 42**, montre que la longueur de la lésion est plus développée pour les fragments prélevés au stade début montaison-floraison que pour ceux prélevés au stade dernière feuille. Les modalités de fertilisation ont la même influence sur la longueur de la lésion chez toutes les combinaisons agent pathogène- variété. Les plus faibles valeurs sont notées pour l'apport potassique avant semis (modalité 2), tandis que les plus grandes valeurs sont notées pour l'apport potassique au semis suivi de deux apports azotés durant le cycle végétatif de la culture (modalité 3). Les lésions sont plus développées pour la variété Vitron avec *S. tritici* qu'avec *P. tritici-repentis*. Dans le cas de la variété Arz, les lésions sont plus importantes avec *P. tritici-repentis* que pour la septoriose.

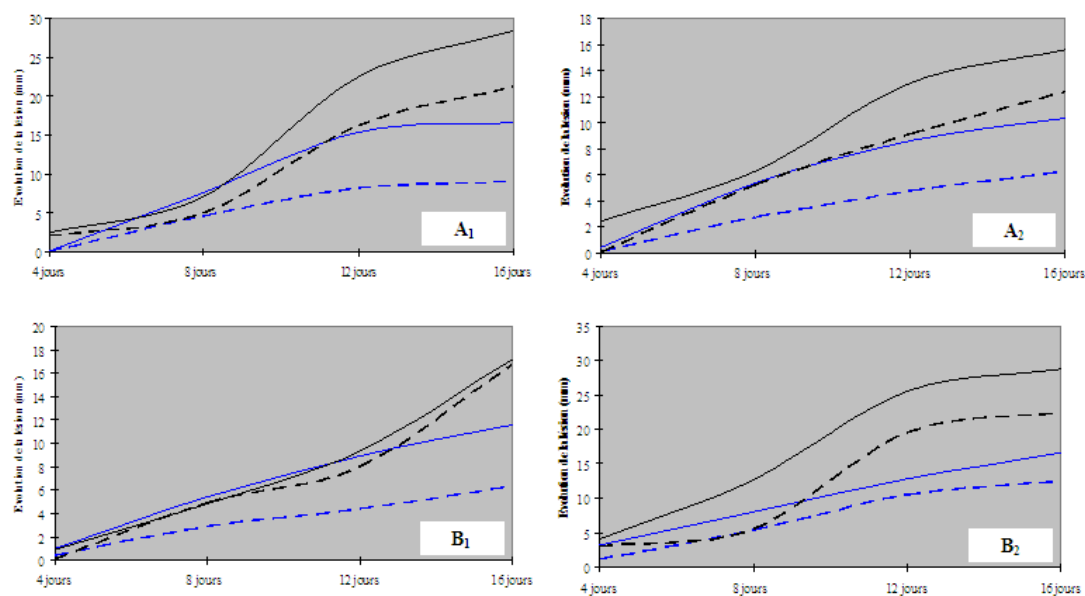
La **figure 43**, montre que pour les fragments prélevés aux stades début montaison-floraison, l'évolution des lésions est supérieure pour les modalités avec des apports azotés (modalités 3 et 4), tandis que pour l'apport de Bioactyl lors du semis (modalité 2) l'évolution de la lésion est lente.



M1 : Témoin sans fertilisation, M2 : 2 q/ha avant le semis de Bioactyl, M3 : 3 q/ha avant le semis de Bioactyl + 1 q/ha d'Urée au tallage et 1 q/ha au stade épi 1 cm et M4 : Traitement 3 + 51/ha d'Agripotash.

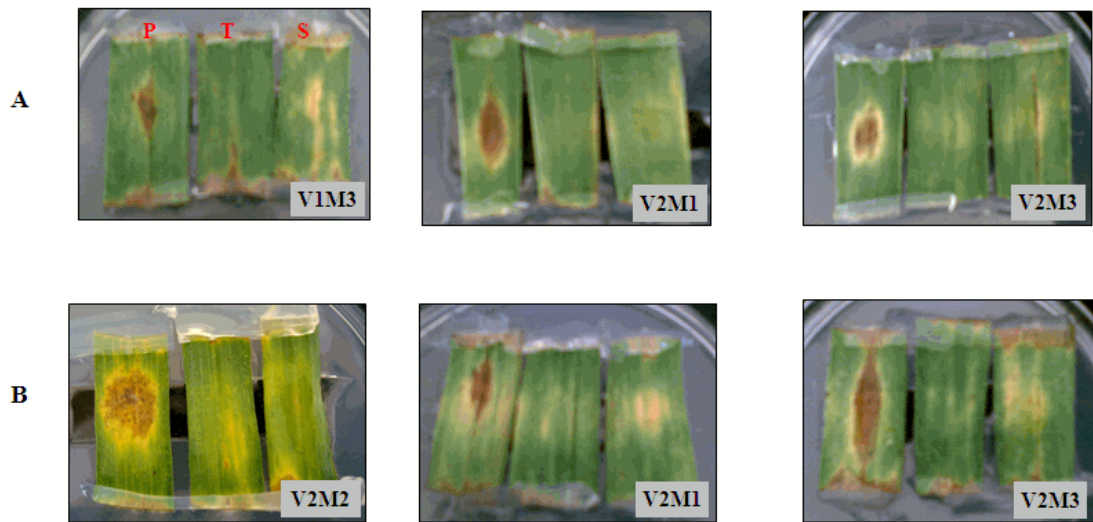
Figure 42. Comparaison entre la longueur de la lésion sur les fragments prélevés au stade début montaison- floraison (S1) et sur la dernière feuille (S2), selon les combinaisons agent pathogène- variété suivantes. A : *M. graminicola* × Vitron ; B : *M. graminicola* × Arz ; C : *P. tritici-repentis* × Vitron ; D : *P. tritici-repentis* × Arz.

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).



M1 : Témoin sans fertilisation, M2 : 2 q/ha avant le semis de Bioactyl, M3 : 3 q/ha avant le semis de Bioactyl + 1 q/ha d'Urée au tallage et 1 q/ha au stade épi 1 cm et M4 : Traitement 3 + 5 l/ha d'Agripotash.

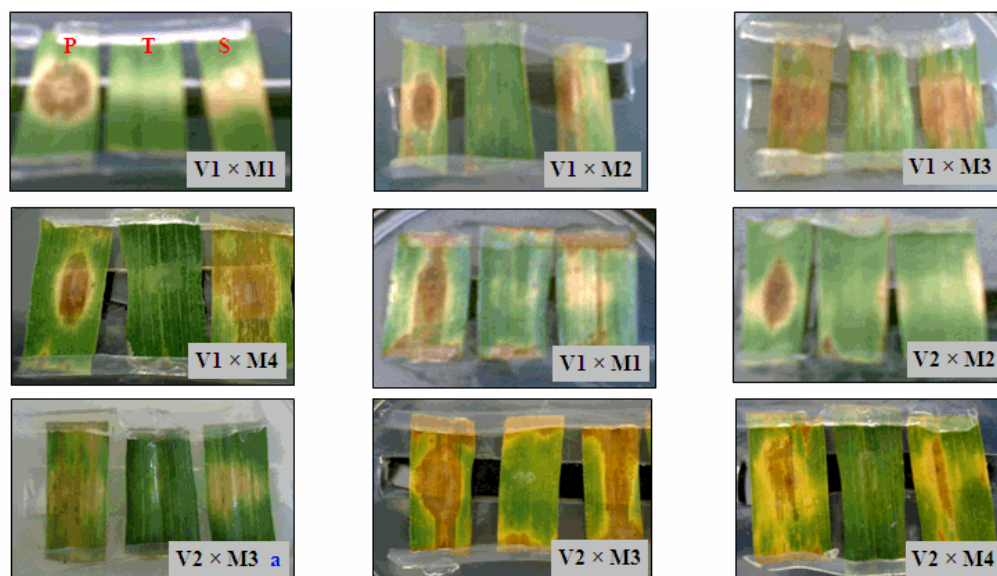
Figure 43. Evolution de la lésion selon les combinaisons agent pathogène- variété, sur des fragments prélevés aux stades début montaison –floraison. A₁ : *M. graminicola* × Vitron ; A₂ : *M. graminicola* × Arz ; B₁ : *P. tritici-repentis* × Vitron ; B₂ : *P. tritici-repentis* × Arz.



V1 : Vitron, V2 : Arz ; M1 : Témoin sans fertilisation, M2 : 2 q/ha avant le semis de Bioactyl, M3 : 3 q/ha avant le semis de Bioactyl + 1 q/ha d'Urée au tallage et 1 q/ha au stade épi 1 cm et M4 : Traitement 3 + 5 l/ha d'Agripotash ; P : inoculé par *P. tritici-repentis*, S : inoculé par *M. graminicola*, T : témoin.

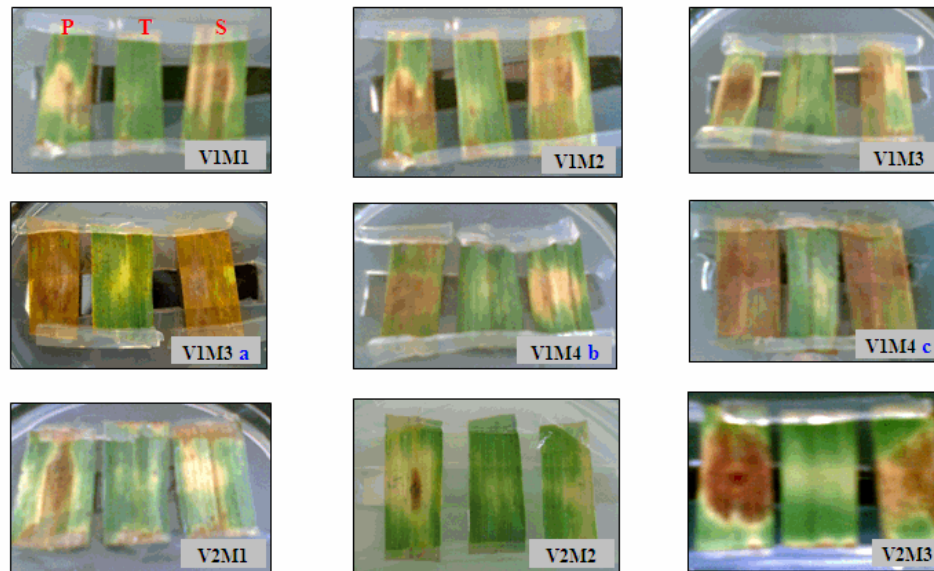
Figure 44. Symptômes de septoriose et de Tan spot, sur feuilles détachées : au 4ème jour (rongé A) et 8ème jour (rongé B).

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).



V1 : Vitron, V2 : Arz, M1 : Témoin sans fertilisation, M2 : 2 q/ha avant le semis de Bioactyl, M3 : 3 q/ha avant le semis de Bioactyl + 1 q/ha d'Urée au tallage et 1 q/ha au stade épi 1 cm et M4 : Traitement 3 + 5 l/ha d'Agripotash; P : inoculé par *P. tritici-repentis*, S : inoculé par *M. graminicola*, T : témoin.

Figure 45. Symptômes de septoriose et de Tan spot, sur feuilles détachées au 12ème jour. (a : représente des symptômes sur un fragment de la dernière feuille).



(V1 : Vitron, V2 : Arz, M1 : Témoin sans fertilisation, M2 : 2 q/ha avant le semis de Bioactyl, M3 : 3 q/ha avant le semis de Bioactyl + 1 q/ha d'Urée au tallage et 1 q/ha au stade épi 1 cm et M4 : Traitement 3 + 5 l/ha d'Agripotash; P : inoculé par *P. tritici-repentis*, S : inoculé par *M. graminicola*, T : témoin).

Figure 10. Symptômes de septoriose et de Tan spot, sur feuilles détachées au 16ème jour : a et c, état extrême de l'extension de la lésion chez les modalités 3 et 4 ; b : les fragments sont prélevés à partir de la dernière feuille.

Discussion

La technique des feuilles détachées nous a permis d'obtenir des symptômes par l'inoculation de *S. tritici* et *P. tritici-repentis*, sur les fragments des variétés Vitron et Arz. Ces symptômes diffèrent selon les modalités de fertilisation. Les lésions se propagent et peuvent occuper toute la surface du fragment dont les pycnides de *M. graminicola* ne sont pas très visibles à l'œil nu, à cause de leur couleur brun clair : Elles sont confondues avec les tissus nécrosés, probablement dû aux conditions artificielles de l'essai. Benkorteby (2006) et Lyazidi (2002), ont obtenu les mêmes symptômes dans des études de comportement variétal vis-à-vis de la résistance à la septoriose.

La réponse des fragments prélevés au stade début montaison-floraison est comparable à celle obtenue avec des fragments prélevés sur la dernière feuille; ces derniers montrent

plus de résistance à l'attaque des agents pathogènes. L'expansion de la lésion nous renseigne sur l'aptitude du champignon à coloniser les tissus, et aussi sur la sensibilité ou la résistance des variétés sous l'effet de la fertilisation. Certains travaux rapportent que l'expansion de la lésion dépend aussi de la position de la feuille atteinte sur la plante et elle ralentit avec le stade physiologique croissant de l'hôte (Shaner, 1983 ; Berger *et al.*, 1997).

Les symptômes de sensibilité (la plus courte période de latence, la plus longue lésion atteinte et le plus rapidement), ont été notés au niveau des modalités de fertilisation ayant des apports azotés, cela est soutenu par Ross (1998), qui note les plantes excessivement fertilisées en azote, sont plus sensibles à l'attaque des pathogènes, car le pathogène s'y installe en utilisant les protéines fortement disponibles pour assurer son propre développement, tout au long de son cycle de développement.

Lepoivre (2003), indique que comme le potassium intervient dans la plupart des processus métaboliques, la carence en cet élément est associée à une sensibilité accrue à de nombreuses maladies, ce qui explique les résultats obtenus pour les apports potassiques qui ont eu une influence négative sur l'expansion de la lésion et donc un effet positif sur la résistance des variétés aux maladies testées.

Les résultats obtenus *in vitro* confirment ceux du plein champ pour la variété Vitron concernant la septoriose. Ce n'est pas le cas de la variété Arz qui n'a pas présenté de symptômes caractéristiques *in vivo*, mais a montré des lésions sur les feuilles détachées inoculées *in vitro* par *M. graminicola*. Les symptômes de tan spot ont été notés en plein champ sur la variété Arz où l'inoculum a dû être transmis par la semence.

Les différences de réponses pour les essais *in vivo* et *in vitro*, vis-à-vis de la réaction à l'égard de *M. graminicola*, peuvent être la conséquence de l'influence de facteurs limitant le développement du pathogène, tels que l'humidité, la température et l'âge du tissu végétal (Caron, 1993 ; Diaz de Ackermann *et al.*, 1999). En effet, en plein champ, les deux facteurs (température et humidité) étaient fluctuants. D'après Caron (1993), si l'humidité n'est pas assez importante, les taches septoriennes n'évoluent pas et restent très localisées sur les feuilles. Quant à Wiese (1998), il rapporte que la septoriose du blé est favorisée par des températures entre 15 et 20°C, avec des températures limites de 5 et 35°C. Les périodes sèches empêchent non seulement la réalisation de l'infection, mais aussi arrêtent le développement des lésions et des pycnides. Les conditions optimales pour l'infection selon Palmer et Skinner (2002), sont de 20 à 25°C et une humidité relative très élevée jusqu'à 85 %. Par contre pour les conditions de l'essai *in vitro*, les conditions de température et d'humidité étaient réunies pour permettre au champignon de se développer dans le tissu végétal.

Le prolongement des conditions artificielles utilisées (16h de lumière à 20°C) pendant 30 jours, a permis l'obtention de la forme téléomorphe de *P. tritici-repentis*. Friesen *et al.* (2003), ont défini des conditions de laboratoire permettant une production efficace de téléomorphes sur des feuilles de maïs. Les conditions optimales pour obtenir des pseudothèces matures rapidement (26 jours), consistent en une photopériode de 12h, sur des feuilles vertes en boîtes de Petri contenant un milieu Agar.

L'essai *in vitro* a confirmé les résultats obtenus au champ pour l'influence de la fertilisation azotée et potassique sur l'interaction Vitron / *M. graminicola*. L'influence des conditions externes peu contrôlables en plein champ, sur la réponse de l'hôte à l'attaque du pathogène, a été mise en évidence par cet essai, comme c'est le cas de la variété Arz. La variété blé dur (Vitron) s'est avérée plus sensible à *M. graminicola* que la variété blé tendre Arz, qui montre une sensibilité au tan spot.

Les apports azotés augmentent la sensibilité du blé à la septoriose et au tan spot, par contre les apports potassiques aident à minimiser la sévérité de ces maladies.

Conclusion générale

Ce travail nous a permis de tester *in vitro* et *in vivo* (*in situ*), l'effet de l'azote et du potassium, en utilisant une combinaison de plusieurs modalités de fertilisation, sur la résistance du blé à la septoriose et au tan spot (tache bronzée), qui sont des maladies foliaires courantes en Algérie causée respectivement par les deux agents pathogènes *M. graminicola* et *P. tritici-repentis*.

Les résultats obtenus pour les composantes de rendement, montrent l'influence positive des éléments fertilisants N et K sur l'élaboration du rendement. En effet, les plus hauts rendements ont été obtenus au niveau des modalités présentant des apports de potassium au sol avant le semis, des apports d'engrais azotés au sol fractionnés durant le cycle de la culture (modalité 3) et encore plus lorsque des pulvérisations d'engrais foliaires fractionnées sont apportés au stade un à deux nœud (modalité 4). Le témoin sans fertilisation ainsi que la modalité 2 qui ne comporte qu'un apport principalement à base de potassium avant le semis, ne donnent pas des rendements satisfaisants.

Les résultats obtenus avec des essais d'inoculation en plein champ d'une suspension de *M. graminicola*, nous a permis de conclure que les apports d'engrais azotés augmentent la sévérité de la tache septorienne, ce qui influence le rendement et ces composantes. L'azote étant considéré comme l'élément déterminant dans la culture de céréales, une carence en cet élément peut avoir des conséquences néfastes sur la production. Nous pouvons remédier à cela par des apports potassiques au sol avant le semis et des apports foliaires au stade montaison et épiaison (la modalité 4). Cette dernière peut être améliorée par des pulvérisations de fongicides spécifiques testés contre les maladies qui attaquent fréquemment le blé, afin d'éviter les pertes de rendement.

Le développement de la septoriose après l'inoculation a été suivi au cours des différents stades de la culture sur la variété Vitron ; en revanche nous n'avons noté aucun symptôme caractéristique de la tache septorienne sur la variété Arz. Cela serait peut être dû aux conditions climatiques ou bien à la résistance de la variété à cette maladie. En effet, les résultats des notations et les pertes de rendements enregistrées à la suite de l'inoculation, montrent que les apports azotés augmentent la sévérité de la maladie causée par *M. graminicola* et les apports potassiques diminuent la sévérité de la maladie, ce qui permet l'augmentation du rendement en grain.

Les résultats du test *in vitro* sont comparables aux résultats obtenus *in vivo*, en ce qui concerne l'influence des modalités de fertilisation sur l'interaction Vitron / *M. graminicola*. Ce test a fait ressortir aussi l'influence des conditions climatiques et autres conditions peu contrôlables au champ, qui peuvent influencer la réaction de l'hôte à l'attaque du pathogène, comme le cas de la variété Arz. La variété de blé dur Vitron s'est avérée plus sensible à l'isolat utilisé de *M. graminicola* que la variété blé tendre Arz qui est quant à elle, plus sensible à l'isolat testé de *P. tritici-repentis*. Les fragments prélevés des parcelles élémentaires ayant subi les modalités 3 et 4 cités ci-dessus, se sont montrés plus sensibles aux deux maladies étudiées. Les résultats obtenus montrent que ces modalités d'apports azotés échelonnés dans le temps, augmentent la sévérité de la maladie. En revanche comme pour les résultats en plein champ, les apports d'engrais potassique diminuent la

longueur de la lésion et son extension au cours du temps et de ce fait la sévérité de l'attaque fongique est limitée.

Cette étude indique que le test des feuilles détachées est intéressant pour étudier la résistance du blé à *M. graminicola* et *P. tritici-repentis*, elle a aussi le potentiel d'être utilisée dans l'étude des interactions génétiques hôte-pathogènes. Néanmoins, il faut noter que cette méthode doit être considérée comme un complément des résultats obtenus aux tests effectués sous des conditions naturelles.

Il serait intéressant de compléter ce travail en utilisant les résultats obtenus des tests *in vitro* et *in vivo* pour effectuer une étude d'une large gamme de variétés et d'isolats afin de révéler leur résistance aux maladies fongiques. Aussi nous devons confirmer le comportement de la variété Arz vis-à-vis de *M. graminicola*, et si sa résistance est confirmée, il serait intéressant d'introduire cette variété dans les programmes d'amélioration.

Références bibliographiques

- Abdellaoui Z.** et **Djoughri M.**, 2006. Evaluation des conditions de pratique de la fertilisation azotée au niveau des exploitations adhérentes au PIC (résultats de deux années d'enquête 2002-2003 et 2003-2004). **Céréaliculture** . 46, pp: 43-50.
- Aissa D.A.** et **M'hiri A.**, 2002. Fertilisation phospho-potassique du blé en culture intensive en Tunisie. **Cah. Agric.** 11 (6), pp: 391-397.
- Anonyme**, 1997. La fertilisation du blé. I.T.G.C., El Harrach. 3p.
- Anonyme**, 2001. Stades et variétés de blé. I.T.G.C., El Harrach. 22 p.
- Anonyme**, 2008. Statistiques agricoles : Superficies et production « Série B ». Direction des statistiques agricoles et des systèmes de production.M.A.D.R., Alger. 60p.
- Arraiano L.S., Brading P.A.** et **Brown J.K.M.**, 2001. A detached seedling leaf technique to study resistance to *Mycosphaerella graminicola* (anamorph: *Septoria tritici*) in wheat. **Plant Pathol** . 50 (3), pp: 339-346.
- Arraiano L.S., Chartrain L., Bossolini E., Slatter H.N., Keller B.** et **Brown J.K.M.**, 2007. A gene in European wheat cultivars for resistance to an African isolate of *Mycosphaerella graminicola*. **Plant pathol.** 56, pp: 73-78.
- Auriau P., Doussinault G., Jahier J.** et **Leconte C.**, 1992. Le blé : amélioration des espèces cultivées. Eds. INRA, France. pp: 23-38.
- Badraoui M., Agbani M., Bouabid R.** et **Zeraoui M.**, 2001. Nouvelles normes pour fertiliser le blé en irrigué dans le Gharb. Eds. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTT. Coll. Transfert de technologies en agriculture. MADREF, Maroc. n °84. 4p.
- Barker A.** et **Pilbeam D.**, 2007. Handbook of plant nutrition. Eds. Taylor et Fransis Group, USA. 313p.
- Batten D.**, 1992. A review of phosphorus efficiency in wheat. **Plant and soil** . 146, pp: 163-168.
- Benhaddadi K.**, 2006. Etude de l'efficacité de quelques fongicides contre le *Pyrenophora tritici-repentis*, agent de l'helminthosporiose du blé. Mémoire Ingénieur, INA (El Harrach). 70 p.
- Ben Mouhamed L., Rouaissi M., Sebei A., Hamza S.** et **Harrabi M.**, 2001. Effet du génotype, de la date de semis, de la fertilisation azotée et potassique et des fongicides sur le développement de *Septoria tritici*. **Ciheam-Options méditerranéennes** . pp : 349-356.
- Ben-hammouda M.** et **Boubaker M.**, 2000. Production du blé en fonction de la variété et du régime hydrique en Tunisie. **Cah. Agric.** 9 (6), pp: 511-514.
- Benkorteby H.**, 2006. Etude de la tache foliaire à *Septoria tritici* Rob. in Desm. Chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : héritabilité de la résistance chez des hybrides F₁ et des populations F₅. Mémoire de Magister, INA (El Harrach). 81 p.

- Bennett W. F.**, 1994. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. Eds. APS Press, Minneapolis (USA). 202p.
- Berger R.D., Bergamin F.A. et Amorin L.**, 1997. Lesion expansion as an epidemic component. *Phytopathology* . 87, pp : 1005-1013.
- Bockman O.C., Lie O.H. et Richards I.**, 1990. Agriculture et fertilisation. Eds. Hydro, Norvège. 258p.
- Bonjean A.**, 2001. Histoire de la culture des céréales et en particulier celle du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Eds. Le Perche S., Guy P. et Fraval A. Agriculture et biodiversité des plantes. Dossier de l'environnement de l'INRA, France. n°21, pp : 29-37.
- Boudiaf S.**, 2006. Contribution à l'étude de la tache septorienne du blé : caractérisation culturale et morphologique. Mémoire Ingénieur, INA (El Harrach). 76 p.
- Boufenar-Zaghouane F. et Zaghouane O.**, 2006. *guide des principales variétés des céréales à paille en Algérie* . Eds. I.T.G.C. 154 p.
- Boulal H., Zaghouane O., El Mourid M. et Rezgui S.**, 2007. *Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie)* . Eds. ITGC, INRA et ICARDA (Alger). 176 p.
- Boumediène N.**, 1986. Comportement de différentes variétés et lignées de blé tendre à l'égard de *Septoria tritici* et variabilité du pouvoir pathogène des isolats du champignon. Mémoire Ingénieur, INA (El Harrach). 54 p.
- Bouzerzour H. et Djekoune A.**, 1996. Contribution de la biomasse, l'indice de la récolte et de la précocité au rendement de l'orge, en zones semi-arides. *Annales de l'INA* . 17 (2), pp: 1-10.
- Brahimi D.**, 1994. Etude de la spécialisation physiologique de *Septoria tritici* agent de la septoriose du blé en Algérie. Mémoire Ingénieur, INA (El Harrach). 61 p.
- Briffaux G.**, 1987. La démarche expérimentale : de l'écriture du protocole ...à l'exploitation des résultats. Eds. I.T.C.F., F.E.R.T. et I.T.G.C. (Paris). 124p.
- Caron D.**, 1993. Maladies des blés et des orges. I.T.C.F., Paris. 87 p.
- Chalamet A., Avdergon J.M. et Maitre J.P.**, 1987. Influence du potassium sur la fixation symbiotique de l'azote chez *Trifolium pratense*. *Revue de la potasse* 4, pp : 1-7.
- Champion R.**, 1997. Identifier les champignons transmis par les semences. Eds. INRA, Paris. 398 p.
- Chebbi H.E. et Lachaal L.**, 2004. L'agriculture et la sécurité alimentaire: une étude comparative des pays du Maghreb. *Revue méditerranéenne d'économie agriculture et environnement* 3 (3). Eds. IAM, Bari. pp : 4-11.
- Ciuffetti L. M. et Tuori R. P.**, 1999. Advances in the characterization of *Pyrenophora tritici-repentis* – wheat interaction. *Phytopathology* . 86 (6), pp: 444-449.
- Cohen L. et Eyal Z.**, 1993. The histology of processes associated with the infection of resistant and susceptible wheat cultivars with *Septoria tritici*. *Plant Pathol.* 42, pp: 737-743.
- Cook R. J. et Veseth R. J.** 1991 .Wheat health management. Eds. APS Press, Minneapolis (USA). Collection: Plant health management. 152p.

- Cook R.J.**, 1999. Management by chemicals. In: Lucas J.A., Bowyer P. et Anderson H.M. *Septoria on cereals: a study of pathosystems*. Eds. CABI Publishing. pp: 316-331.
- Cottignies X.**, 1989. Potasse et agriculture. Eds. SCPA, Paris. 112p.
- Couvreur F.**, 1981. La culture de blé se raisonne. **Cultivar** . Juin. pp : 39-41.
- Cowger C., Hoffer M.E. et Mundt C.C.**, 2000. Specific adaptation by *Mycosphaerella graminicola* to a resistant wheat cultivar. **Plant pathol** . 49, pp: 445-451.
- Cunfer B.M. et Ueng P.P.**, 1999. Taxonomy and identification of *Septotria* and *Stagonospora* species on small-grain cereals. **Ann. Rev. Phytopathol.** 37, pp: 267-284.
- Cunfer B.M.**, 1999. *Stagonospora* and *Septoria* pathogens of cereals: The infection process. *Septoria and Stagonospora diseases of cereals: A compilation of global research*. Proceedings of the Fifth International *Septoria* Workshop. CIMMYT (Mexico). pp: 41-45.
- Danon T., Sacks J.M. et Eyal Z.**, 1982. The relationships among plant stature, maturity class and susceptibility to *Septoria* leaf blotch of wheat. **Phytopathology** . 72, pp : 1037-1042.
- Devale R., Bastard L. et Nussbaumer A.**, 2000. Le blé a lui aussi son helminthosporiose. **Phytoma** . 526, pp: 17-20.
- Diaz de Ackermann M., Kohli M.M., et Ibanez V.**, 1999. *Septoria tritici* resistance of wheat cultivars at different growth stages. In proceeding of the 5th international *Septoria* Workshop- *Septoria and Stagonospora diseases of cereals: a compilation of global research*. 20-24 Septembre 1999. CIMMYT, Mexico. pp: 131-133.
- Dileone J. A., Coakley S. M., Karow R. et Mundt C.C.**, 1996. The biology and control of the septoria diseases of winter wheat in western Oregon. Agricultural Experiment Station. Oregon State University. 15 p.
- Djebara Z.**, 1988. Etude de la fertilisation azotée d'une culture de blé (var. Waha) avec irrigation de compléments dans la région de Tiaret. Mémoire Ingénieur, INA (El Harrach). 50p.
- Du C.G., Nelson L.R. et Mac Daniel M.E.**, 1999. Partial resistance to *Stagonospora nodorum* in wheat. *Septoria and Stagonospora Diseases of Cereals: A compilation of global research*. Proceedings of the Fifth International *Septoria* Workshop. CIMMYT, Mexico. pp: 160-162.
- Duncan K. et Howard R.**, 2000. Cytological analysis of wheat infection by the leaf blotch pathogen *Mycosphaerella graminicola*. **Mycol. Res.** 104 (9), pp: 1074-1082.
- Duveiller E.**, 2004. Controlling foliar blight of wheat in the rice-wheat systems of Asia. **Plant Dis.** 88, pp: 552-556.
- Engle J.S., Lipps P.E. et Mills D.**, 2004. Tan Spot: Yellow Leaf. Spot or Blotch. Extension factsheet. Eds. The Ohio State University. 2p.
- Erikson O.E. et Winka K.** 1997. Supraordinal taxa of Ascomycota. **Myconet** . 1. pp: 1-16.

- Eyal Z.**, 1971. The kinetics of pycnidiospore liberation in *Septoria tritici*. **Can. J. Bot.** 49, pp: 1095-1099.
- Eyal Z.**, 1981. Integrated control of *Septoria tritici* of wheat. **Plant Dis.** 65, pp: 763-768.
- Eyal Z.**, 1999. The *Septoria tritici* and *Sagonospora nodorum* blotch diseases of wheat. **Eur. J. Plant Pathol.** 105, pp: 629-614.
- Eyal Z., Scharen A.L., Prescott J.M. et Ginkel V.M.**, 1987. The septoria diseases of wheat. Concepts and methods of disease management. CIMMYT, Mexico. 52 p.
- Ezzahiri B.**, 2001. Les maladies du blé. Bulletin de transfert de technologie en agriculture. Eds. MADREF/DERD, Maroc. n°77, 4 p.
- Farih A., Ben Ali A. et Jrifi A.**, 1996. Détermination de l'efficacité de plusieurs fongicides dans la lutte contre la septoriose de blé en irrigué. Proceedings du symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires. 11-14 Novembre, Rabat (Maroc). pp : 327-330.
- Friesen T.L., Ali S., Stack R.W., Francl L. et Rasmussen J.B.**, 2003. Rapid and efficient production of the *Pyrenophora tritici-repentis* teleomorph. **Can. J. Bot.** 81, pp: 890-895.
- Gate P.**, 1991. La date et la densité de semis se raisonnent. **Cultivar** . 288, pp : 36-38.
- Gate P.**, 1995. **Ecophysiologie du blé : de la plante à la culture** . Eds. Lavoisier. 417 p.
- Gate P., Vignier L., Vadon B., Minov D., Lafarga A. et Zairi M.**, 1996. Céréales en milieu méditerranéen un modèle pour limiter les risques climatiques. **Perspectives Agricoles** . 27, pp : 59-66.
- Ghouar W.**, 2006. Effet du cumul de pluie hivernale sur la réponse du cultivar Waha (*Triticum durum* Desf.) à la fertilisation azotée. Mémoire Magister, Université El Hadj Lakhdar (Batna). 66p.
- Grignac P.**, 1981. Fumure azotée du blé dur et mitadinage. **Bulletin d'engrais** , 497. pp : 57-62.
- Gros A.**, 1979. Engrais : Guide pratique de la fertilisation. Eds. La maison rustique, Paris. 436 p.
- Halilat M.T.**, 2004. Effet de la fertilisation potassique et azotée sur blé en zone saharienne. IPI regional workshop on potassium and fertigation development in West Asia and North Africa, Maroc. 24-28 November. 16p.
- Hamaddache A. et Aknine M.**, 2001. Effet du mode de semis, de la fertilisation azotée et du désherbage chimique, sur le rendement du blé dur Waha en zone sub-humide. **Céréaliculture** . 36, pp: 32-36.
- Hamaddache A.**, 1995. Les mauvaises herbes des grandes cultures (biologie, écologie et moyens de lutte). I.T.G.C. 40 p.
- Harrat W.**, 2005. Fertilisation azotée du blé dur (*Triticum durum* Desf.), variété Simeto, en Mitidja : comparaison des formes et modalités d'apport de l'azote (foliaire et au sol). Mémoire Ingénieur, INA (El Harrach). 99 p.

- Hilu H.M.** et **Bever W.M.**, 1957. Inoculation, oversummering, and suscept-pathogen relationship of on *Triticum* species. ***Phytopathology*** . 47, pp: 474-480.
- Hopkins W.**, 2003. Physiologie végétale. 2^{ème} édition. Eds. De boeck, Bruxelles. 514p.
- Hosford Jr.** et **Morrall R.A.A.**, 1975. The epidemiology of leaf spot disease in a native prairie: the progression of disease with time. ***Can. J. Bot.*** . 53, pp: 1040- 1050.
- Inogat G.** et **Couvreur F.**, 1980. Pour intervenir au bon stade : Du nouveau pour la croissance du blé. ***Perspectives Agricoles*** . 53, pp: 10-15.
- Johnston H.W.**, **Macleod J.A.** et **Clough K.S.**, 1979. Effects of cycocel (CCC) and fungicidesprays on spring wheat grown at three nitrogen levels. ***Can. J. Plant Sci.*** 59, pp: 917-929.
- Jonard P.**, 1964. Etude comparative de la croissance de deux variétés de blé tendre. ***Ann. Amélioration des plantes*** . 14 (2), pp: 101-130.
- Jouve A.**, **Belghazi S.** et **Kheffache Y.**, 2000. La filière céréalière dans les pays du Maghreb : constante des enjeux, évolution des politiques. ***Ciheam-Options méditerranéennes*** . 14 (Série B), pp: 170-192.
- Kema G.H.J.**, **Rijkenberg F.H.J.**, **Shaw M.W.** et **Baayen R.P.**, 1996 a. Histology of the pathogenesis of *Mycosphaerella graminicola* in wheat. ***Phytopathology***. 86, pp: 777-786.
- Kema G.H.J.**, **Sayoud R.**, **Annone J.G.**, **Van Silfhout C.H.**, **Van Ginkel M.** et **De Bree J.**, 1996 b. Genetic variation for virulence and resistance in the wheat *Mycosphaerella graminicola* pathosystem. Interactions between pathogen isolates and host cultivars. ***Phytopathology*** . 86, pp: 200-212.
- Khenfous-Djebari B.**, 2005. Contribution à la connaissance des bactérioses du blé, de l'orge et du triticale : diagnostique en cultures et détection sur lots de semences. Mémoire magister, INA (El Harrach). 92p.
- King J.E.**, **Cook R.** et **Melville S.C.**, 1983. A review of Septoria disease of wheat and barley. ***Ann. Appl. Bio.*** 103, pp: 345-373.
- Krupinsky J.M.**, 1999. Influence of cultural practices on Septoria / Stagonospora diseases. Proceeding of the 5th international Septoria Workshop. Septoria and Stagonospora diseases of cereals: a compilation of global research. 20-24 September. CIMMYT, Mexico. pp: 105-110.
- Laloux R.**, 1973. Une méthode rationnelle de conduite de la culture de blé. ***Entreprise Agricole*** . pp: 8-41.
- Lamari L.** et **Bernier C.C.**, 1989. Evaluation of wheat lines and cultivars to tan spot (*Pyrenophora tritici-repentis*) based on type lesions. ***Can. J. Plant Pathol.*** 11, pp: 49-56.
- Lamari L.** et **Bernier C.C.**, 1991. Genetics of tan necrosis and extensive chlorosis in tan spot of wheat caused by *Pyrenophora tritici-repentis*. ***Phytopathology*** , 81. pp: 1092-1095.
- Le Quintrec A.**, 1999. Les mystères de l'helminthosporiose. ***Cultivar*** . 458, pp: 49-56.

- Leicht M.** et **Jenkins P.**, 1994. Influence of nitrogen on the development of *Septoria* epidemics in winter wheat. **J. Agric. Sci.** (Camb.).124, pp: 361-368.
- Lepoivre P.**, 2003. Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. 1^{er} édition. Eds. De boeck, Bruxelles. 427p.
- Lipps P.E.** et **Mills D.**, 2002. *Septoria tritici* blotch and *Stagonospora nodorum* blotch. Extension factsheet. Eds.The Ohio State University. 3p.
- Loué A.**, 1979. Interaction du potassium avec d'autres facteurs de croissance. **Dossier K 2 O . SCPA**, Paris. 15, pp: 1-32.
- Loué A.**, 1982. Le potassium et les céréales . **Dossier K 2 O . SCPA** , Paris. 22, pp: 1-40.
- Loughman R.** et **Deverell B.J.**, 1986. Infection of resistant and susceptible cultivars of wheat by *Pyrenophora tritici-repentis*. **Plant pathol.** 35, pp: 443-450.
- Lyazidi M.**, 2002. Etude de la septoriose des blés causée par *Septoria tritici*: évaluation de la résistance d'une collection de variétés sélectionnées en Algérie. Mémoire Ingénieur, INA (El Harrach). 55 p.
- Madariaga R.**, 1993. Epidemiologia de *Mycosphaerella graminicola* en Chile. Proceeding of *Septoria* Workshop. CIMMYT, Mexico. pp: 17-23.
- Mc Cartney C.A.**, **Brûlé-Babel A.** et **Lamari L.**, 2002. Inheritance of race-specific resistance to *Mycosphaerella graminicola* in wheat. **Phytopathology** . 92, pp: 138-144.
- Mengel K.** et **Kirkby E.A.**, 1987. Principles of plant nutrition. Int. Potash Institut. Bern, Swhzerland. 687 p.
- Mercx A.**, 1983. Effet des applications foliaires de magnésium, de zinc et de cuivre sur la production et la qualité nutritive du maïs fourragé. Thèse doctorat, Faculté des sciences (Bruxelles). 121p.
- Messaoudi N.**, 1977. Essai d'isolement et de culture *in vitro* du *Septoria tritici* et étude du comportement de différentes variétés de blé contaminées artificiellement. Mémoire Ingénieur, INA (El Harrach). 41 p.
- Moreno M. V.**, **Stenglein S. A.**, **Balatti P. A.** et **Perelló A. E.**, 2008. Pathogenic and molecular variability among isolates of *Pyrenophora tritici-repentis*, causal agent of tan spot of wheat in Argentina. **Eur. J. Plant Pathol.** 122 (2), pp: 239-252.
- Mosseddaq F.** et **Moughli L.**, 1999. Fertilisation azotée des céréales, cas du blé en bour et en irrigué. Transfère en technologie en agriculture. PNTTA. n°62. Novembre 1999. 4 p.
- Moule C.**, 1980. Les céréales. Eds. Maison rustique, Paris. 307p.
- Palmer C.** et **Skinner W.**, 2002. *Mycosphaerella graminicola*: Latent infection, crop devastation and genomics. **Mol. plant pathol.** 3 (2), pp: 63-70.
- Rapilly F.**, 1991. L'épidémiologie en pathologie végétale des mycoses aériennes. Eds. INRA, Paris. 337p.

- Rapilly F., Lemaire J.M. et Cassini R.**, 1971. Les principales maladies cryptogamiques des céréales. Eds. I.N.R.A, Paris.310p.
- Rees R.G., Mayer R.J. et Platz G.J.**, 1981. Yield losses in wheat from yellow spot: a disease-loss relationship derived from tillers. *Aust. J. Agric.* 32, pp: 851-859.
- Regmi A.P., Ladha J.K., Pasuquin E.M., Pathak H., Hobbs P.R., Shrestha L.L., Gharti D.B. et Duveiller E.**, 2002. The role of potassium in sustaining yields in a long-term-rice-wheat experiment in the Indo-Gangetic plains of Nepal. *Bio. Fertil. Soils* . 36, pp: 240-247.
- Ronis A. et Semaskiene R.**, 2006. Development of tan spot (*Pyrenophora tritici-repentis*) in winter wheat under field conditions. *Agr. Res.* 4, pp: 331-334.
- Saari E.E. et Prescott J.M.**, 1975. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. *Plant dis. Repr.* 59, pp: 377-380.
- Sanderson F.R.**, 1977. Disease loss assessment of *Septoria tritici* in Morocco. *Plant Dis.* 71, pp: 153-155.
- Satorre E.H. et Slafer G.**, 1999. Wheat: Ecology and physiology of yield determination. Eds. Food Production Press, New York. 503p.
- Sayoud R., Ezzahiri B. et Bouznad Z.**, 1999. *Les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maghreb* . Eds. I.T.G.C., Alger. 64 p.
- Scharen A.L.**, 1999. Biology of the *Septoria/Stagonospora* Pathogens: An Overview. *Septoria and Stagonospora Diseases of Cereals: A Compilation of Global Research. Proceedings of the Fifth International Septoria Workshop.* CIMMYT, Mexico. pp: 19-22.
- Selles F., Zentner R.P. et James D.C.**, 1999. Applications fractionnées d'azote pour la gestion du rendement et de la teneur en protéines du blé. Bulletin de recherche. Centre de recherche sur l'agriculture des prairies semis- arides. Canada. n°4, 23 Avril. 3 p.
- Shaner G.R.E.**, 1983. Growth of uredia of *Puccinia recondita* in leaf of low and fast rusting wheat cultivars. *Phytopathology* . 73, pp: 931-935.
- Shaner G.R.E. et Finney R.S.**, 1976. Weather and epidemics of septoria leaf blotch of wheat. *Phytopathology* . 66, pp: 781-785.
- Sharen A. L. et Krupinsky J.M.**, 1978. Detection and manipulation of resistance to *Septoria nodorum* in wheat. *Phytopathology* . 68, pp: 245-248.
- Sharma R.C. et Duveiller E.**, 2004. Effect of helminthosporium leaf blight on performance of timely and late-seeded wheat under optimal and stressed levels of soil fertility and moisture. *Field Crop Research* . 89, pp: 205-218.
- Sharma S., Duveiller E., Basnet R., Karki C.B. et Sharma R.C.**, 2005. Effet of potash fertilization on helminthosporium leaf blight severity in wheat, and association increases in grain yield and kernel weight. *Field plant Research* . 93, pp: 142-150.
- Shaw M.W.**, 1999. Epidemiology of *Mycosphaerella graminicola* and *Phaeosphaeria nodorum*: An Overview. *Septoria and Stagonospora Diseases of Cereals: A Compilation of Global Research. Proceedings of the Fifth International Septoria Workshop.* CIMMYT, Mexico. pp: 93-97.

- Shipton W., Boyd W., Roseille A. et Sharen B.**, 1971. The common Septoria diseases of wheat. *Bot. Rev.* 27, pp: 331-334.
- Simon H., Codaccion P. et Lecoeur X.**, 1989. produire des céréales à paille. Agriculture d'aujourd'hui. Eds. Lavoisier, Paris. 346 p.
- Soltner D.**, 1999. Les grandes productions végétales. Collection: Sciences et techniques culturales. 19^{ème} édition. 464 p.
- Steineck O.**, 1974. The relationships between potassium and nitrogen in the production of plant material. 10th congress Int. Pot.nst.Budapest. pp: 189-196.
- Strelkov S.E., Kowatsch R.F., Ballance G.M. et Lamari L.**, 2006. Characterization of the ToxB gene from North African and Canadian isolates of *Pyrenophora tritici-repentis*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 67, pp: 164-170.
- Sterlkov S.E., Lamari L., Sayoud R. et Smith R. B.**, 2002. Comparative virulence of chlorosis-inducing races of *Pyrenophora tritici-repentis*. *Can. J. Plant Pathol.* 24, pp: 29-35.
- Syers J.K.**, 1990. Influence of potassium nutrition on seed quality of cereals and seeds crops. *Potash Review* . 1p.
- Taureau J.C.**, 1987. Variabilité de la réponse du blé aux doses croissantes d'azote. *Perspectives Agricoles* . 114, pp : 17-36.
- Tizioualou G.**, 2004. Etude de l'efficacité de quelques fongicides contre le *Pyrenophora tritici-repentis*, agent de l'helminthosporiose du blé. Mémoire Ingénieur, INA (El Harrach).81 p.
- Tompkins D.K., Fowler D.B. et Wright A.T.**, 1993. Influence of agronomic practices on canopy microclimates and Septoria development in no till wheat produced in the Parkland region of Saskatchewan. *Can. J. Plant Sci.* 73, pp: 331-344.
- Touati-Hattab S.**, 2005. Etude de la septoriose du blé due à *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J.Schröt, en Algérie : spécialisation parasitaire et pouvoir pathogène. Mémoire Magister, INA (El Harrach). 95 p.
- Véchet L. et Vojackova M.**, 2005. Use of detached seedling leaf test to evaluate wheat resistance to *Septoria tritici* blotch. *Czech J. Genet. Plant breed.* 41(3), pp: 112-116.
- Verreet J.A. et Klink H.**, 2002. The biology of fungal pathogens: Fungal pathogens and diseases of cereals. Eds. APS Press, Minneapolis (USA). 5p.
- Veiz A.**, 1975. La fumure azotée du blé d'automne sur la base des expériences récentes. *Revue Suisse d'agriculture* . 7, pp: 177-183.
- Watkins J.E.**, 2003. An epidemic of tan spot of wheat in Nebraska. *Plant Dis.* 62, pp: 149-157.
- Wiese W.V.**, 1987. Compendium of wheat diseases. 3^{ed} printing 1998. Eds. APS Press, Minneapolis (USA). pp: 43-45.
- Zaamoum M.**, 2004. Contribution à l'étude de la tache bronzée du blé (Helminthosporiose) : détection de l'agent pathogène et étude du comportement de

24 variétés à l'égard de *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Shoemaker. Mémoire Ingénieur. INA, El Harrach. 90 p.

Zan J., Torriani S.F.F. et Mc Donald B.A., 2007. Significant difference in pathogenicity between MAT1-1 and MAT1-2 isolates in the wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola*. ***Fungal Genet. Biol.*** 44, pp: 339-346.

Zelikovitch N., Eyal Z. et Kashman Y., 1992. Isolation, purification and biological activity of an inhibitor of *Septoria tritici*. ***Phytopathology*** . 82, pp: 275-278.

Zhan J., Mundt C.C. et Mc Donald B.A., 1998. Measuring immigration and sexual reproduction in field populations of *Mycosphaerella graminicola*. ***Phytopathology*** . 88, pp: 1330-1337.

Ziblerstein M., Blum A. et Eyal Z., 1985. Chemical desiccations of wheat plant as a simulation of post anthesis specklea leaf blotch stress. ***Phytopathology*** . 75, pp: 226-230.

Zillinsky F.J., 1983. Les maladies des céréales à paille : Guide d'identification. Eds. CIMMYT, Mexico. 141p.

Ross Mc., 1998. Wheat nutrition and fertilizer requirements-nitrogen.
www.agric.gov.ab.ca/crops/wheat/wt.mg.

Lacroix, 2002. Maladies des céréales et de la luzerne : diagnostique, dépistage et prévention. 24p.

www.agrireseau.qc.ca/lab/documents/maladies.pdf

Anonyme ,2005. Culture de blé. Info com. 8p.

www.ogtr.au/biologybreadwheat/culturedeblé.org

Anonyme, 2006. Les maladies fongiques du blé - L'helminthosporiose du blé : *Drechslera tritici-repentis*. 3p.

www.oardc.ohio-state.edu/ohiofieldcropdisease

Annexe

Milieux de culture utilisés

Milieu	Composants	Quantité
PDA	Agar Agar Glucose Pomme de terre Eau distillée	20 g 20 g 200 g 1000 ml
V8-PDA	Agar Agar PDA V8 CaCO ₃ Eau distillée	10 g 10 g 150 ml 3 850 ml
YMA (Yeast Malt Agar)	Agar Agar Saccharose Extrait de malt Extrait de levure Eau distillée	15 g 4 g 4 g 4 g 1000 ml

Influence des modalités de la fertilisation sur les composantes du rendement

Source de variation	Effet (F/AL.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Variétés	Fixe	1	18288,28	18288,28	4,156182		
Blocs	Aléatoire	3	16660,94	5553,65	1,158392		
V×B (résiduelle 1)	Aléatoire	3	5553,65	4400,26	2,294853		38,18
Modalités	Fixe	3	6232,81	2077,60	0,98257282		
V×M	Fixe	3	4053,91	1351,30	0,63907876		
Résiduelle 2	Aléatoire	18	38060,16	2114,45312			64,83
Total		37	96496,88	3112,80		55,7925	

1. Nombre de pieds par mètre carré

Source de variation	Effet (F/AL.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Variétés	Fixe	1	43144,5	43144,5	3,78		
Blocs	Aléatoire	3	14541,4	4847,1	0,48		
V×B (résiduelle 1)	Aléatoire	3	34219,5	11406,5	1,10		33,26
Modalités	Fixe	3	635560,2	211853,4	21,98	***	
V×M	Fixe	3	69578,9	23193,0	2,41	*	
Résiduelle 2	Aléatoire	18	173429,7	9634,98			74,89
Total		37	970474,2	31305,6		176,93	

2. Nombre de talles herbacées par mètre carré

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Source de variation	Effet (F/Al.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Variétés	Fixe	1	17344,53	17344,53	109,006	**	
Blocs	Aléatoire	3	1159,38	386,46	1,845		
V×B (résiduelle 1)	Aléatoire	3	477,34	159,11	1,133		7,92
Modalités	Fixe	3	75609,37	25203,13	152,289	***	
V×M	Fixe	3	2027,34	675,78	4,083	*	
Résiduelle 2	Aléatoire	18	2978,91	165,49			19,78
Total		37	99596,88	3212,80		56,68	

3. Nombre de talles fertiles par mètre carré

Source de variation	Effet (F/Al.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Variétés	Fixe	1	13,00	13,00	4,973	*	
Blocs	Aléatoire	3	9,18	3,06	1,116		
V×B (résiduelle 1)	Aléatoire	3	7,84	2,61	6,831		16,18
Modalités	Fixe	3	30,82	10,27	7,3612	**	
V×M	Fixe	3	1,50	0,50	1,2803		
Résiduelle 2	Aléatoire	18	8,03	0,45			16,37
Total		37	70,39500	2,27		1,50	

4. Nombre d'épillets total par épi

Source de variation	Effet (F/Al.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Variétés	Fixe	1	9,46	9,46	32,117	*	
Blocs	Aléatoire	3	1,24	0,41	1,509		
V×B (résiduelle 1)	Aléatoire	3	0,88	0,29	1,789		75,58
Modalités	Fixe	3	3,41	1,13	7,361	**	
V×M	Fixe	9	1,30	0,14	1,280		13,41
Résiduelle 2	Aléatoire	18	2,78	0,15			
Total		37	18,37	0,59		0,76	

5. Nombre d'épillets stériles par épi

Source de variation	Effet (F/Al.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Variétés	Fixe	1	0,28	0,28	0,179		
Blocs	Aléatoire	3	16,43	5,48	3,066		
V×B (résiduelle 1)	Aléatoire	3	4,72	1,57	2,473		13,53
Modalités	Fixe	3	54,31	18,10	24,369	***	
V×M	Fixe	3	3,08	1,03	1,125		
Résiduelle 2	Aléatoire	18	13,37	0,74			22,76
Total		37	92,21	2,97		1,72	

6. Nombre d'épillets fertiles par épi

Source de variation	Effet (F/AL.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Variétés	Fixe	1	103,68	103,68	5,327		
Blocs	Aléatoire	3	23,27	7,76	0,287		
V×B (résiduelle 1)	Aléatoire	3	58,39	19,46	4,557	*	19,96
Modalités	Fixe	3	1326,99	442,33	55,067	***	
V×M	Fixe	3	69,97	23,32	2,904		
Résiduelle 2	Aléatoire	18	144,59	8,03			31,41
Total		37	1726,88	55,71		7,46	

7. Nombre de grains par épi

Source de variation	Effet (F/AL.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Variétés	Fixe	1	1094,54	1094,54	149,859	**	
Blocs	Aléatoire	3	7,66	2,55	0,499		
V×B (résiduelle 1)	Aléatoire	3	21,91	7,30	1,640		10,29
Modalités	Fixe	3	462,03	154,01	45,827	***	
V×M	Fixe	3	1,37	0,46	0,136		
Résiduelle 2	Aléatoire	18	60,49	3,36			17,09
Total		37	1648,00	53,16		7,29	

8. Poids de 1000 grains

Source de variation	Effet (F/AL.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Variétés	Fixe	1	11250	11250,0	0,123		
Blocs	Aléatoire	3	493828	164609,4	4,522		
V×B (résiduelle 1)	Aléatoire	3	274606	91535,4	1,020		43,07
Modalités	Fixe	3	1196391	398796,9	6,415	**	
V×M	Fixe	3	1585031	528343,8	8,499	***	
Résiduelle 2	Aléatoire	18	1118966	62164,76			86,95
Total		37	4680072	150970,1		388,55	

9. Rendement biologique

Source de variation	Effet (F/AL.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Variétés	Fixe	1	108403,3	108403,3	109,007	**	
Blocs	Aléatoire	3	7246,1	2415,4	1,846		
V×B (résiduelle 1)	Aléatoire	3	2983,4	994,5	1,134		7,92
Modalités	Fixe	3	472558,6	157519,5	152,290	***	
V×M	Fixe	3	12670,9	4223,6	4,083	*	
Résiduelle 2	Aléatoire	18	18618,2	1034,34			19,78
Total		37	622480,5	20080,0		141,70	

10. Rendement en paille

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Source de variation	Effet (F/Al.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Variétés	Fixe	1	661,78	661,78	15,936	*	
Blocs	Aléatoire	3	59,39	19,80	0,298		
V×B (résiduelle 1)	Aléatoire	3	124,58	41,53	2,906		22,16
Modalités	Fixe	3	12444,10	4148,03	155,035	***	
V×M	Fixe	3	117,63	39,21	1,466		
Résiduelle 2	Aléatoire	18	481,60	26,76			43,56
Total		37	13889,09	448,04		21,17	

11. Rendement calculé

Influence des modalités de fertilisation sur la résistance de Vitron à la septoriose in vivo

1. Notation de la maladie sur les placettes inoculées par *S. tritici*

Stade de notation	Source de variation	Effet (F/Al.)	ddl	SCE	CM	F	P	Ecart Type	CV (p.100)
Plein talage	Modalités	Fixe	1	364,93	121,64	2,861	0,0966		
	Blocs	Aléa.	3	136,95	45,65	1,074	0,4079		
	M×B	Aléa.	3	382,60	42,51				24,83
	Total		7	884,48	58,97			7,68	
Confinement	Modalités	Fixe	1	5435,07	1811,69	39,388	0,0000	***	
	Blocs	Aléa.	3	41,89	13,96	0,304	0,8222		
	M×B	Aléa.	3	413,96	46,00				24,83
	Total		7	5890,92	392,73			19,82	
Remplissage du grain	Modalités	Fixe	1	10064,09	3354,70	65,879	0,0000	***	
	Blocs	Aléa.	3	9,64	3,21	0,063	0,9780		
	M×B	Aléa.	3	458,30	50,92				70,67
	Total		7	10532,03	702,14			26,50	

1.1. Le nombre de plantules atteintes par *M. graminicola* (NPA)

Stade de notation	Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	P	Ecart Type	CV (p.100)
Plein tallage	Modalités	Fixe	1	3,69	1,23	2,425	0,1328		
	Blocs	Aléa.	3	1,19	0,40	0,781	0,5339		
	M × B	Aléa.	3	4,56	0,51				34,30
	Total		7	9,44	0,63			0,79	
Confinement	Modalités	Fixe	1	28,69	9,56	24,158	0,0001	***	
	Blocs	Aléa.	3	0,19	0,06	0,158	0,9219		
	M × B	Aléa.	3	3,56	0,40				46,13
	Total		7	32,44	2,16			1,47	
Remplissage du grain	Modalités	Fixe	1	79,19	26,40	19,694	0,0003	***	
	Blocs	Aléa.	3	5,19	1,73	1,290	0,3360		
	M × B	Aléa.	3	12,06	1,34				60,55
	Total		7	96,44	6,43			2,54	

1.2. Le nombre de feuilles atteintes (NFA)

Stade de notation	Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	P	Ecart Type	CV (p.100)
Plein tallage	Modalités	Fixe	1	8,250	2,750	11,000	0,0023	**	
	Blocs	Aléa.	3	1,250	0,417	1,667	0,2427		
	M × B	Aléa.	3	2,250	0,250				33,72
	Total		7	11,750	0,783			0,89	
Confinement	Modalités	Fixe	1	60,688	20,229	7,894	0,0069	**	
	Blocs	Aléa.	3	2,188	0,729	0,285	0,8354		
	M × B	Aléa.	3	23,063	2,563				69,63
	Total		7	85,938	5,729			2,39	
Remplissage du grain	Modalités	Fixe	1	110,250	36,750	45,621	0,0000	***	
	Blocs	Aléa.	3	0,250	0,083	0,103	0,9560		
	M × B	Aléa.	3	7,250	0,806				83,02
	Total		7	117,750	7,850			2,80	

1.3. Le nombre de lésion par feuille (NL)

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Stade de notation	Source de variation	Effet (F/Al.)	ddl	SCE	CM	F	P	Ecart Type	CV (p.100)
Plein talage	Modalités	Fixe	1	1,19	0,40	0,704	0,5734		
	Blocs	Aléa.	3	2,19	0,73	1,296	0,3341		
	M × B	Aléa.	3	5,06	0,56				41,38
	Total		7	8,44	0,56			1,81	
Gouffrement	Modalités	Fixe	1	17,69	5,90	4,399	0,0364	*	
	Blocs	Aléa.	3	1,69	0,56	0,420	0,7433		
	M × B	Aléa.	3	12,06	1,34				43,70
	Total		7	31,44	2,10			1,45	
Remplissage du grain	Modalités	Fixe	1	98,69	32,90	26,763	0,0001	***	
	Blocs	Aléa.	3	1,69	0,56	0,458	0,7185		
	M × B	Aléa.	3	11,06	1,23				83,02
	Total		7	111,44	7,43			2,73	

1.4. Hauteur de la maladie (H)

Stade de notation	Source de variation	Effet (F/Al.)	ddl	SCE	CM	F	P	Ecart Type	CV (p.100)
Plein talage	Modalités	Fixe	1	556,25	185,42	1,6182	0,2528		
	Blocs	Aléa.	3	406,25	135,42	1,1818	0,3700		
	M × B	Aléa.	3	1031,25	114,58				42,90
	Total		7	1993,75	132,92			11,53	
Gouffrement	Modalités	Fixe	1	5318,75	1772,92	12,333	0,0015	***	
	Blocs	Aléa.	3	781,25	260,42	1,812	0,2151		
	M × B	Aléa.	3	1293,75	143,75				91,08
	Total		7	7393,75	492,92			22,20	
Remplissage du grain	Modalités	Fixe	1	13681,25	4560,42	23,042	0,0001	***	
	Blocs	Aléa.	3	331,25	110,42	0,558	0,6559		
	M × B	Aléa.	3	1781,25	197,92				95,46
	Total		7	15793,75	1052,92			29,23	

1.5. Estimation du pourcentage des pycnides

Stade de notation	Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	P	Ecart Type	CV (p.100)
Plein tallage	Modalités	Fixe	1	21,724	7,241	2,733	0,1058		
	Blocs	Aléa.	3	8,778	2,926	1,104	0,3968		
	M×B	Aléa.	3	23,844	2,649				54,50
	Total		7	54,345	3,623			0,48	
Conifement	Modalités	Fixe	1	1811,76	603,92	21,279	0,0002	***	
	Blocs	Aléa.	3	73,73	24,58	0,866	0,4934		
	M×B	Aléa.	3	255,43	28,38				88,13
	Total		7	2140,92	142,73			9,58	
Remplissage du grain	Modalités	Fixe	1	9751,40	3250,47	19,779	0,0003	***	
	Blocs	Aléa.	3	284,91	94,97	0,578	0,6440		
	M×B	Aléa.	3	1479,04	164,34				54,50
	Total		7	11515,35	767,69			11,99	

1.6. Indice d'attaque moyen (IAM)

2. Effet des modalités de fertilisation sur la résistance de vitron à la septoriose : influence sur les composantes du rendement

Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Modalité	Fixe	3	30939,06	10313,02	60,739	***	
Blocs	Aléatoire	3	2601,56	867,19	16,595		
M×B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	1528,12	169,79	1,225		16,83
Traitement	Fixe	1	18288,28	18288,28	167,406	***	
M×T	Fixe	3	4444,53	1481,51	13,561	***	
Résiduelle 2	Aléatoire	12	1310,94	109,24			15,83
Total		31	59112,50	1906,85			43,67

2.1. Nombre de talles fertiles par mètre carré

Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Modalité	Fixe	3	38,09	12,70	41,03	***	
Blocs	Aléatoire	3	15,05	5,02	49,09		
M×B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	2,79	0,31	0,804		3,73
Traitement	Fixe	1	9,25	9,25	27,529	***	
M×T	Fixe	3	1,09	0,36	1,077		
Résiduelle 2	Aléatoire	12	4,03	0,34			12,44
Total		31	70,28	2,27			1,51

2.2. Nombre d'épillets total par épi

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Modalité	Fixe	3	8,67	2,89	22,23	***	
Blocs	Aléatoire	3	0,90	0,30	11,25		
M×B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	1,17	0,13	0,68		37,97
Traitement	Fixe	1	1,62	1,62	9,868	***	
M × T	Fixe	3	0,37	0,12	0,7513		
Résiduelle 2	Aléatoire	12	1,97	0,16			15,17
Total		31	14,70	0,47		0,69	

2.3. Nombre d'épillets stériles par épi

Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Modalité	Fixe	3	82,65	27,55	48,00	***	
Blocs	Aléatoire	3	18,23	6,08	20,75		
M×B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	5,17	0,57	0,87		5,79
Traitement	Fixe	1	18,61	18,61	31,40	***	
M × T	Fixe	3	2,33	0,78	1,31		
Résiduelle 2	Aléatoire	12	7,11	0,59			17,53
Total		31	134,08	4,33		2,08	

2.4. Nombre d'épillets fertiles par épi

Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Modalité	Fixe	3	1633,78	544,59	41,008	***	
Blocs	Aléatoire	3	175,57	58,52	1,507		
M×B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	119,52	13,28	1,532		7,61
Traitement	Fixe	1	401,86	401,86	26,685	***	
M × T	Fixe	3	23,20	7,73	0,514		
Résiduelle 2	Aléatoire	12	180,72	15,06			36,79
Total		31	2534,66	81,76		9,04	

2.5. Nombre de grains par épi

Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Modalité	Fixe	3	483,94	161,31	34,812	***	
Blocs	Aléatoire	3	10,83	3,61	0,190		
M×B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	41,70	4,63	1,831		3,63
Traitement	Fixe	1	62,61	62,61	10,215	***	
M × T	Fixe	3	9,87	3,29	0,537		
Résiduelle 2	Aléatoire	12	73,55	6,13			17,17
Total		31	682,49	22,02		4,69	

2.6. Poids de 1000 grains

Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Modalité	Fixe	3	523846,2	174615,4	34,139	***	
Blocs	Aléatoire	3	15379,4	5126,5	0,464		
M×B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	46033,3	5114,8	0,939		41,74
Traitement	Fixe	1	128302,8	128302,8	18,514	***	
M × T	Fixe	3	168846,2	56282,1	8,121	***	
Résiduelle 2	Aléatoire	12	83162,7	6930,22			50,74
Total		31	965570,7	31147,4		176,49	

2.7. Rendement en paille

Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Modalité	Fixe	3	8786,88	2928,96	93,163	***	
Blocs	Aléatoire	3	206,00	68,67	1,088		
M×B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	282,95	31,44	1,405		36,02
Traitement	Fixe	1	3416,85	3416,85	112,832	***	
M × T	Fixe	3	773,98	257,99	8,520	***	
Résiduelle 2	Aléatoire	12	363,39	30,28			42,75
Total		31	13830,05	446,13		21,12	

2.8. Rendement calculé

Test des feuilles détachées « in vitro »

1. Test des feuilles détachées avec inoculation par *M. graminicola*

Source de variation	Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)	
Début montaison- brasion	Variété	Fixe	1	388,95	388,95	64,675	***	
	Blocs	Aléatoire	3	4,81	1,60	0,344		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	18,04	6,01	3,800		29,03
	Modalité	Fixe	3	1032,59	344,20	379,721	***	
	M × V	Fixe	3	170,53	56,84	62,712	***	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	16,32	0,91			27,60
	Total		37	1631,25	52,62		7,25	
Stade dernière feuille	Variété	Fixe	1	425,33	425,33	154,862	***	
	Blocs	Aléatoire	3	4,69	1,56	0,551		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	8,24	2,75	3,910		21,75
	Modalité	Fixe	3	619,67	206,56	276,523	***	
	M × V	Fixe	3	133,13	44,38	59,409	***	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	13,45	0,75			27,78
Total		37	1204,50	38,85		6,23		

1.1. Période d'incubation (PI)

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Source de variation		Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Début montaison- Doraison	Variété	Fixe	1	10,41	10,41	89,313	***	
	Blocs	Aléatoire	3	0,33	0,11	513,000		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	0,35	0,12	0,762		13,25
	Modalité	Fixe	3	24,88	8,29	87,453	***	
	M × V	Fixe	3	1,21	0,40	4,249	**	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	1,71	0,09			29,29
	Total		37	38,89	1,25		1,12	
Stade dernière feuille	Variété	Fixe	1	12,81	12,81	100,938	***	
	Blocs	Aléatoire	3	0,43	0,14	0,720		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	0,38	0,13	0,811		11,17
	Modalité	Fixe	3	18,60	6,20	32,281	***	
	M × V	Fixe	3	1,74	0,58	3,020		
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	3,46	0,19			33,66
	Total		37	37,42	1,21		1,10	

1.2. Longueur de la lésion (L)

Source de variation		Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Début montaison- Doraison	Variété	Fixe	1	37,51	37,51	56,801	***	
	Blocs	Aléatoire	3	0,48	0,16	0,301		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	1,98	0,66	3,953	*	31,00
	Modalité	Fixe	3	1,98	0,66	270,952	***	
	M × V	Fixe	3	17,66	5,89	57,126	***	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	1,86	0,10			30,00
	Total		37	143,27	4,62		2,15	
Stade dernière feuille	Variété	Fixe	1	43,42	43,42	153,505	***	
	Blocs	Aléatoire	3	0,23	0,08	0,233		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	0,85	0,28	3,213		21,98
	Modalité	Fixe	3	52,86	17,62	155,085	***	
	M × V	Fixe	3	13,16	4,39	38,599	***	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	2,05	0,11			34,12
	Total		37	112,57	3,63		1,91	

1. 3. Extension de la lésion au cours du temps (EXT)

Source de variation		Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Début montaison- théraison	Variété	Fixe	1	2,34	2,34	56,801	***	
	Blocs	Aléatoire	3	0,03	0,01	0,301		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	0,12	0,04	3,953	*	31,00
	Modalité	Fixe	3	5,24	1,75	270,952	***	
	M × V	Fixe	3	1,10	0,37	57,126	***	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	0,12	0,01			30,00
	Total		37	8,95	0,29		0,537	
Stade de ruïère feuille	Variété	Fixe	1	2,71	2,71	153,505	***	
	Blocs	Aléatoire	3	0,01	0,00	0,233		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	0,05	0,02	3,213		21,98
	Modalité	Fixe	3	3,30	1,10	155,085	***	
	M × V	Fixe	3	0,82	0,27	38,599	***	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	0,13	0,01			34,12
	Total		37	7,04	0,23		0,48	

1. 4. Vitesse d'extension de la lésion

2. Test des feuilles détachées avec inoculation par *P. tritici-repentis*

Source de variation		Effet (F/AL)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Début montaison- théraison	Variété	Fixe	1	0,63	0,63	3,156		
	Blocs	Aléatoire	3	0,02	0,01	0,022		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	0,60	0,20	2,044		17,48
	Modalité	Fixe	3	50,55	16,85	142,198	***	
	M × V	Fixe	3	5,07	1,69	14,264	***	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	2,13	0,12			32,91
	Total		37	59,00	1,90		1,38	
Stade de ruïère feuille	Variété	Fixe	1	0,02	0,02	0,144		
	Blocs	Aléatoire	3	0,65	0,22	1,265		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	0,37	0,12	1,014		10,82
	Modalité	Fixe	3	39,63	13,21	91,538	***	
	M × V	Fixe	3	10,19	3,40	23,544	***	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	2,60	0,14			28,85
	Total		37	53,45	1,72		1,31	

2.1. Période d'incubation (Pi)

annex2.2.gif

Effet in vivo et in vitro des éléments fertilisants N et K sur la résistance du blé à la septoriose et à la tache bronzée (Tan spot).

Source de variation		Effet (F/Al.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Début montaison- Boraison	Variété	Fixe	1	31,79	31,79	238,905	***	
	Blocs	Aléatoire	3	0,35	0,12	0,637		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	0,40	0,13	0,883		13,35
	Modalité	Fixe	3	68,65	22,88	130,115	***	
	M × V	Fixe	3	4,01	1,34	7,596	**	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	3,17	0,18			37,60
	Total		37	108,36	3,50		1,87	
Stade dernière feuille	Variété	Fixe	1	38,25	38,25	248,975	***	
	Blocs	Aléatoire	3	0,63	0,21	1,177		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	0,46	0,15	1,419		15,35
	Modalité	Fixe	3	62,92	20,97	174,035	***	
	M × V	Fixe	3	5,03	1,68	13,922	***	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	2,17	0,12			33,30
	Total		37	109,46	3,53		1,88	

2. 3. Extension de la lésion au cours du temps (EXT)

Source de variation		Effet (F/Al.)	ddl	SCE	CM	F	Ecart Type	CV (p.100)
Début montaison- Boraison	Variété	Fixe	1	1,99	1,99	238,905	***	
	Blocs	Aléatoire	3	0,02	0,01	0,637		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	0,02	0,01	0,883		13,35
	Modalité	Fixe	3	4,29	1,43	130,115	***	
	M × V	Fixe	3	0,25	0,08	7,596	**	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	0,20	0,01			37,60
	Total		37	6,77	0,22		0,47	
Stade dernière feuille	Variété	Fixe	1	2,39	2,39	248,975	***	
	Blocs	Aléatoire	3	0,04	0,01	1,177		
	V × B (résiduelle 1)	Aléatoire	9	0,03	0,01	1,419		15,35
	Modalité	Fixe	3	3,93	1,31	174,035	***	
	M × V	Fixe	3	0,31	0,10	13,922	***	
	Résiduelle 2	Aléatoire	18	0,14	0,01			33,30
	Total		37	6,84	0,22		0,47	

2. 4. Vitesse d'extension de la lésion