



FACULTE DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat

**Evaluation du métabolisme respiratoire et enzymatique
des racines de blé dur (*Triticum durum Desf*) issues de
plantes infectées par les maladies cryptogamiques et de
plantes traitées avec un fongicide (ARTEA EC 330)**

Option: Toxicologie Cellulaire

Présentée par :

Mme Hennouni Nacera

Directeur de thèse : DJEBAR M. R. Prof. Université de Annaba

Devant le jury :

Présidente : H.BERREBBAH Prof Université de Annaba.

Examineur : A.CHAHMA Prof Université de Ouargla

Examineur : A. Allioua M.C. U. S.T.Oran

DÉDICACES

A MES DEFUNTS PARENTS, JE VOUS RENDS HOMMAGE PAR CE MODESTE TRAVAIL EN GUISE DE MA RECONNAISSANCE ET DE MON INFINI AMOUR

A mon très chère mari pour sa patience et son encouragement qui m'ont aidée à surmonter toutes les difficultés rencontrées au cours de cette vie commune.

A mes *adorables* enfants Med Amine, Meriem et Samy

A toute ma famille et à tous mes amis(es) pour la patience et le dévouement dont ils ont fait preuve

REMERCIEMENTS

Pour commencer je voudrai m'incliner et signifier ma reconnaissance en Dieu pour l'aide qu'il m'a apportée dans les moments difficiles.

Toute ma gratitude au **Professeur Djebbar Med.Réda**, Responsable du Laboratoire de Toxicologie Cellulaire de l'Université de Annaba et Directeur de ce travail, qui a cru en moi pour mener à bien cette recherche; pour son orientation, ses encouragements, ses suggestions, son aide précieuse dans la correction de ce manuscrit et surtout pour son amitié.

Un grand merci aussi au **Professeur Djebbar-Berrebah Houria**, d'une part pour avoir accepté de présider le jury, d'autre part, pour avoir toujours été prête à partager ses connaissances. Outre sa compétence, elle représentera toujours pour moi un exemple de dynamisme et de sagesse. Houria, toute ma reconnaissance et ma gratitude pour cette période où nous avons ensemble cherché des réponses aux diverses questions qui ont surgi, merci pour tous les petits moments de "bavardages" que nous avons eus autour d'un bon café.

Toute ma reconnaissance au **Professeur Chahma Abdelmadjid**, de l'Université de Ouargla, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de participer au jury de cette thèse malgré ses nombreuses préoccupations. Il m'est agréable de lui exprimer ma sincère gratitude et mon profond respect.

J'exprime mes vifs remerciements au **Docteur Allioua Amel**, Maître de conférences et enseignante à l'Université d'Oran, qui a bien voulu évaluer ce travail et faire partie de cet honorable jury. Je la remercie infiniment pour son déplacement.

Qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude aux agriculteurs investis, **M. Abdelli Nouar**, Responsable de l'Exploitation Agricole Khrouf Bachir 1-1 El Karma et **M. Bourdjiba Abderrahman**, agriculteur privé de leurs aides précieuses et pour m'avoir autorisée à réaliser une grande partie de ce travail sur leurs parcelles et sans qui, ce travail n'existerait pas : combien d'heures passées à compter des pieds, des épis, des grains de blé etc...

Ma profonde reconnaissance à **M. Zghida**, Directeur de l'I.T.G.C d'Alger et à **M^{elle} El Arem Amel** responsable du laboratoire qualité, pour l'accès au laboratoire et toute l'aide apportée au cours de la réalisation des différents tests sur la qualité technologique des semences de blé dur.

Je souligne ma reconnaissance à tous les membres du laboratoire de Phytotechnie du Centre Universitaire d'El Tarf, en l'occurrence mon collègue et ami **M. Semmar Med Fawzi**

enseignant **ainsi que M. Boudjemaa et M. Nabil**, ingénieurs de laboratoire, pour m'avoir aidée dans la réalisation d'une bonne partie des tests physiologiques et biochimiques.

Encore un grand merci à mes amis **M. Semmar Med Fawzi et D^r Nasri Hichem** pour l'étude statistique de mes données.

Mes remerciements aussi à mes amis **Monsieur et M^{me} Boumendjel** pour toute l'aide matérielle et surtout leur soutien moral au cours de ces dernières années. Merci pour ces longues discussions, rires, moqueries tout le long de la route d'El Tarf.

Ma gratitude s'adresse également à tous mes amis (es) qui se reconnaissent si bien ici, désolée mais la liste est si longue, je ne pourrai les citer tous, pour tout le soutien et conseils avisés d'enseignants, de thésards aguerris. Merci pour m'avoir rendu le quotidien plus léger. Je leur souhaite bonne continuation et une vie pleine de succès.

Mes chaleureux remerciements à toutes les amies et collègues, du département de Biologie de l'Université Badji Mokhtar (**D^r Sakhraoui Ferial, D^r Sifi Karima, D^r Amel, M^{me} Boudène souhila, M^{me} Anissa**).

Un merci particulier à mes amis et frères **M. Kadri S., D^r Benslama Med, D^r Bairi Abdelmadjid** pour m'avoir remise sur les rails de l'université après une si longue absence, pour leurs encouragements sans réserve. Merci Madjid pour le stylo que tu m'as passée le jour où j'ai repris mes réinscriptions en Magistère.

Un grand merci à **mon mari Samir**, pour la grande compréhension dont il a fait preuve dans les moments difficiles.

Ma profonde reconnaissance à **mes adorables enfants Amine, Meriem et Samy** pour tous les tracas et stress qu'ils ont subi avec moi, pour m'avoir supportée, aidée et encouragée.

Finalement, à tous ceux qui de près ou de loin m'ont épaulée et aidée à mener ce travail à bon terme, je leur laisse ici l'expression de toute ma gratitude.

RÉSUMÉ EN FRANÇAIS

Notre travail se répartit en trois (02) parties :

Le but de la première partie de cette étude est de vérifier l'effet de trois concentrations d'un fongicide nouvellement introduit en Algérie, il s'agit de l'ARTEA 330EC, sur les principales maladies de feuilles et d'épis affectant le rendement du blé dur, comme la rouille brune causée par *Puccinia recondita* (forme asexuée) et la septoriose causée par la forme conidienne *Septoria tritici* de deux variétés de blé dur (GTAdur et BIDI17). L'expérimentation est conduite sous les conditions naturelles de plein champ au niveau de l'Exploitation Agricole Collective Khrouf Bachir n°1 à El-Karma (W. Annaba) et au niveau du Laboratoire de Phytotechnie du Centre Universitaire d'EL TARF.

En plein champ et afin d'évaluer le degré d'attaque de la maladie sur les deux variétés de blé dur utilisées, des lectures ou notations simultanées sont faites quant à l'intensité de la maladie, une lecture directe est faite en déterminant le pourcentage de la surface de la feuille atteinte. Au laboratoire, l'étude porte sur l'effet des trois concentrations du produit sur la physiologie et la biochimie des deux variétés de blé dur. Pour ce faire, les trois concentrations ont été appliquées au stade début floraison des plants, ces traitements ont été comparés à un témoin infecté par la maladie. Le taux de déperdition d'eau des feuilles (RWL), la teneur relative en eau (RWC) ainsi que les teneurs en chlorophylles, glucides totaux, protéines totales et proline de l'extrait de feuilles des plantes traitées et infectées sont déterminées.

Les résultats obtenus et validés par une analyse statistique révèlent que le fongicide testé entraîne une diminution importante du recouvrement pycnidial et des réductions de sévérité allant jusqu'à 80% par rapport aux plantes témoins. Le taux de déperdition d'eau des feuilles traitées baisse nettement ce qui induit à une élévation de leur teneur relative en eau. Les teneurs en chlorophylle et en glucides totaux sont plus élevées chez les plantes traitées par rapport aux plantes témoins. Enfin, pour la proline, les plantes traitées, en général, présentent une teneur en cet osmolyte, supérieure à celle des plantes témoins notamment chez la variété GTA dur.

La seconde partie de notre étude porte sur l'étude de l'effet du même fongicide systémique (ARTEA 330EC) sur quelques paramètres de qualité des semences des deux variétés de blé dur (GTA dur et BIDI 17). L'étude concerne quelques paramètres technologiques des semences issues de plants traités avec le fongicide en question que nous avons récolté et les comparer avec des semences issues de plants non traités c'est à dire infectés par la septoriose (maladie foliaire du blé dur). Des analyses physiologiques, physiques, biochimiques et technologiques sont réalisées. Les résultats obtenus mettent en évidence l'effet positif du traitement sur les différents paramètres de la qualité du blé ; notamment sur la teneur en protéine, teneur en cendres, sur le taux de mitadinage et sur la teneur en gluten.

Mots clés : Mots clés : Blé, Septoria, Rouille, Fongicide, RWL, RWC, Chlorophylle, Sucre, Proline ; Qualité technologique, Qualité biochimique .

RÉSUMÉ EN ANGLAIS

Our work is divided into three (03) parts:

The purpose of the first part of this study was to test the effect of three concentrations of a fungicide recently introduced in Algeria: (ARTEA 330EC) on septoria (leaf disease) and the Rust of two durum wheat varieties (GTAdur and BIDI17). The experiment was conducted under natural conditions of the field at the EAC N°1 Khrouf Bachir El-Karma (W. Annaba) and in the laboratory of Plant Science Centre University d'ELTARF. In the field and to assess the degree of attack of the disease on two varieties of durum wheat used, readings or simultaneous ratings were made on the intensity of the disease, a direct reading was made by determining the percentage of leaf surface attacked. In the laboratory, the study examined the effect of three concentrations of the product on the physiology and biochemistry of two durum wheat varieties. To do this three concentrations were applied at early flowering plants, these treatments were compared to a control infected with the disease. The rate of water loss of leaves (RWL), the relative water content (RWC) and the levels chlorophyll, total carbohydrates, total protein and and proline in the leaf extract of treated and infected plants were determined.

The results obtained and validated by statistical analysis revealed that the fungicide tested greatly reduces. Recovery pycnidial and reductions in severity up to 80% compared to control plants. The rate of water loss of treated leaves drop significantly which leads to an increase in their relative water content. The levels of chlorophyll and total carbohydrates were higher in treated plants compared to control plants. Finally, proline treated plants generally have a content of this osmolyte greater than that of control plants especially in the variety GTA drive.

The second of this work focused on studying the effect of a systemic fungicide (ARTEA 330EC) on some parameters of seed quality of two durum wheat varieties (GTA dur and BIDI 17). We tried to study some technological parameters on seed from plants treated with the fungicide in question and compare them with seed from untreated plants that is infected by Septoria (leaf disease of durum wheat). Analyzes of physiological, physical, biochemical and technological advances have been made. The results illustrate the positive effect of treatment on different quality parameters of wheat, including protein content in ash content, the rate of mitadinage on gluten

Keys words: Durum wheat, Septoria, Rust, Fungicide, RWL, RWC, Chlorophylle, Sugar, Proline; technological quality, biochemical quality, septoria, fungicide.

RÉSUMÉ EN ARABE

اجريت دراستنا في ثلاثة مراحل

في المرحلة الاولى كان الغرض من هذه الدراسة هو اختبار تأثير ثلاث جرعات من المبيد الفطري الذي أدخل مؤخرا في الجزائر (ARTEA 330EC) على septoria (مرض نبات) من اثنين من أصناف القمح الصلب (GTAdur و BIDI17). وأجريت التجربة في ظل الظروف الطبيعية للحقل في مجموعة استثمارية خروف بشير رقم 1 الكرمة (ولاية عنابة) وعلى مستوى المختبر علوم النبات بالمركز الجامعي للطارف.

في الميدان ، قمنا بتقييم درجة مهاجمة المرض على نوعين من القمح الصلب المستعملة ، وقدمت قراءات أو تقييمات متزامنة على شدة المرض ، وجعل القراءة المباشرة من خلال تحديد هاجم منوية من سطح الورقة.

في المختبر، اجريت الدراسة على تأثير ثلاث جرعات من المبيد على علم وظائف الأعضاء والكيمياء الحيوية اثنين من أصناف القمح الصلب. تم القيام بذلك، تم تطبيق جميع الجرعات الثلاث في النباتات المزهرة في وقت مبكر، مقارنة هذه العلاجات لمكافحة المصابين بهذا المرض. تحديد معدل فقدان الماء من أوراق (RWL) ، والمحتوى المائي النسبي (RWC) والمستويات الكلوروفيل ، والكاربوهيدرات الكلية ، البروتين الكلي والبرولين في انتزاع ورقة

تم تحديد محطات المعالجة والمصابين. وكشفت نتائج التحليل الإحصائي التصديق عليها من قبل أن تختبر فطريات يقلل بدرجة كبيرة pycnidial الانتعاش والتخفيضات في شدة ما يصل الى 80 ٪ مقارنة للسيطرة على النباتات. معدل فقدان المياه من انخفاض ملحوظ يترك المعالجة مما يؤدي إلى زيادة في محتواها المياه النسبية. وكانت مستويات الكلوروفيل والكاربوهيدرات مجموع أعلى في محطات المعالجة بالمقارنة مع محطات المراقبة. أخيرا ، البرولين ، ومحطات المعالجة وعموما محتوى هذا osmolyte أكبر من محطات المراقبة وخاصة في محرك GTA متنوعة

تمثلت الفترة الثانية من عملنا هذا في دراسة بعض مقاييس نوعية القمح الصلب وتمت هذه الدراسة على نفس النوعين من هذا القمح. منها ما صدرت عن طريق نباتات معالجة من قبل نفس المضاد الحيوي (330EC ARTEA) وذلك بالثلاثة الجرعات و اخرى عن النباتات غير المعالجة (اي المصابة بالامراض الفطرية المذكورة اعلاه وقد تضمنت هذه الدراسة المقاييس التالية :

التحليل الفيزيولوجية وتمثلت في اختبار الانتاش لدى كل الانواع المدروسة

التحليل الفيزيائية و تضمن كل-وزن الف حبةالخ

التحليل البيوكيميائية

التحليل التكنولوجية

النتائج المحصلة اثبتت مدى التأثير الايجابي للعلاج على نوعية ال قمح . خاصة بالنسبة لنسبة البروتين ونسبة الازوت و ذلك نسبة الماء الموجودة في الانواع السابقة الذكر.

نسبة العلك و التبقع و لون الدقيق المحصل عليه .

الكلمات المفتاحية

القمح الصلب، مضاد فطري حيوي، الفطريات، التبقع السببوري ، صدا القمح، نسبة فقدان ماء الاوراق، (RWL)، محتوى الماء النسبي، نسبة اليخضور، سكر ، البرولين، وزن 1000 حبة

- النوعية التكنولوجية – البيوكيميائية –

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADN	: Acide désoxyribonucléique
ACR	: Activité Respiratoire
APX	: Ascorbate- Peroxydase
ARN	: Acide Rubo Nucléique
ATP	: Adénoside Tri-Phosphate
C	: Cendre
CAT	: Catalase
Chl a	: Chlorophylle a
Chl b	: Chlorophylle b
D₁	: Dose 1 (0,3l/Ha)
D₂	: Dose 2 (0,4 l/Ha)
D₃	: Dose 3 (0,5 l/Ha)
DO	: Densité Optique
EAC	: Exploitation Agricole Collective
F sp	: Forme spécialisée
G.H	: Gluten humide
GI	: Gluten Index
GPX	: Guaïcol-peroxydase
GR	: Glutation Réductase
G.S	: Gluten Sec
GSH	: Glutathion réduit
GSSH	: Glutathion disulfite
4-HNE	: 4-Hydroxy-Non-Enal
LB	: Indice de brun
ICARDA	: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas
LJ	: Indice de Jaune
ITGC	: Institut Technique des Grandes Cultures
I.N.A	: Institut National Agronomique V1 : Variété 1 (GTA dur)

LMR	: Longueur moyenne des racines
M.F	: Matière Fraiche
mg	: Milligramme
ml	: Millilitre
min	: Minute
M.S	: Matière sèche
NADPH	: Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate
NDR	: Nombre de racines
Nmol	: Nano-mole
NMR	: Nombre moyen des racines
PDG	: Pourcentage de germination
PMG	: Poids de 1000 grains
Ppm	: Partie par Million
PXs	: Peroxydases
PROT	: Protéine
ROS	: Reactiv Oxygen Species
RWC	: Teneur relative en eau
RWL	: Taux de déperdition d'eau
SDS	: Sodium dodecyl sulfate
SOD	: Super Oxyde Dismutase
T	: Témoin
V2	: Variété 2 (BIDI17)

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Action du fongicide par pénétration (Couvreur, 2002). Pénétration de la matière active vers les assises cellulaires sous-jacentes (produits pénétrants).....	22
Figure 2. Action du fongicide par contact (Couvreur, 2002).	22
Figure 3. Action systémique du fongicide (Couvreur, 2002).....	22
Figure 4. Déplacement et distribution des fongicides au niveau de la plante. (Couvreur, 2002).	23
Figure 5. Modes d'action biochimiques des fongicides céréales. (Couvreur, 2002).....	26
Figure 6. Structure chimique du Propiconazole.	28
Figure 7. Structure chimique du Cyproconazole	28
Figure 8. Schéma du Dispositif Expérimental.....	31
Figure 9. Taux d'infestation des plants témoins des deux variétés de blé dur par la septoriose.	38
Figure 10. Taux d'infestation des plants traités (D ₁) par la septoriose.	38
Figure 11. Taux d'infestation des plants traités (D ₂) par la septoriose.	39
Figure 12. Taux d'infestation des plants traités (D ₃) par la septoriose.	39
Figure 13. Taux d'infestation des témoins des 02 variétés par la rouille brune.....	41
Figure 14. Taux d'infestation des traités (D ₁) des 02 variétés par la rouille brune.	41
Figure 15. Taux d'infestation des traités (D ₂) des 02 variétés par la rouille brune.	42
Figure 16. Taux d'infestation des traités (D ₃) des 02 variétés par la rouille brune.	42
Figure 17. Effet des différentes doses de l'ARTEA sur le taux de déperdition d'eau (R.W.L) des feuilles chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2005-2006.....	43
Figure 18. Effet des différentes doses de l'ARTEA sur le taux de déperdition d'eau (R.W.L) des feuilles chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2006-2007.....	43
Figure 19. Effet des différentes doses sur la teneur relative en eau des feuilles (RWC) chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2005-2006.....	45
Figure 20. Effet des différentes doses sur la teneur relative en eau des feuilles (RWC) chez les deux variétés de blé dur pour l'année 2006-2007.	45
Figure 21. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en chlorophylle des feuilles chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2005 - 2006.	47
Figure 22. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en chlorophylle des feuilles chez les deux variétés de blé dur pour l'année 2006 – 2007	47
Figure 23. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en sucres solubles des feuilles des deux variétés de blé dur durant l'année 2005-2006.....	49
Figure 24. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en sucres solubles des feuilles des deux variétés de blé dur durant l'année 2006-2007	49
Figure 25. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en proline des feuilles de deux variétés de blé dur durant l'année 2005-2006.	50

Figure 26. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en proline des feuilles de deux variétés de blé dur durant l'année 2006-2007	51
Figure 27. Effet des différentes doses d'ARTEA sur le poids (gr) de 1000 grains chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2005-2006.	52
Figure 28. Effet des différentes doses d'ARTEA sur le poids (gr) de 1000 grains chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2006-2007	53
Figure 29. Coupe d'un grain de blé (Feuillet, 2000)	62
Figure 30. Composition histologique d'un grain de céréale (GODON et WILL, 1991). .	63
Figure 31. Poids de 1000 grains des semences issues de plants traités avec les trois doses et celles issues de plants non traités.....	83
Figure 32. Taux de mitadinage des semences issues de plants traités et celles issues de plants non traités.....	84
Figure 33. Taux de moucheture des semences issues de plants traités et de celles issues de plants non traités.....	85
Figure 34. Poids des semences présentant un petit calibre chez les variétés traitées et non traitées.	86
Figure 35. Poids des semences présentant un gros calibre chez les variétés traitées et non traitées.	87
Figure 36. Taux d'extraction des semences issues de plants traités et non traités.....	88
Figure 37. Teneur en eau des semences des variétés traitées et non traitées.....	89
Figure 38. Teneur en cendres des semences des variétés traitées et non traitées.....	89
Figure 39. Teneur en gluten humide des semences des variétés traitées et non traitées.....	90
Figure 40. Teneur en gluten sec des semences des variétés traitées et non traitées....	91
Figure 41. Teneur en gluten index des semences des variétés traitées et non traitées	92
Figure 42. Capacité d'hydratation des semences des variétés traitées et non traitées	92
Figure 43. Indice de brun des semences des variétés traitées et non traitées.....	93
Figure 44. Indice de jaune des semences des variétés traitées et non traitées.....	94
Figure 45. Teneur en protéines des semences issues des plants traités et non traités..	95

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Les différents types de rouilles des céréales (Rapilly et al., 1971).....	9
Tableau II. Origines et caractéristiques des variétés de blé utilisées (Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006).....	27
Tableau III. Composition des protéines du blé (Résidus %) (Charles and Linden, 1997) ..	69

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACES	2
REMERCIEMENTS.....	3
RÉSUMÉ EN FRANÇAIS.....	I
RÉSUMÉ EN ANGLAIS.....	II
RÉSUMÉ EN ARABE	III
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	IV
LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
TABLE DES MATIÈRES	IX
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
PARTIE I : PROBLÉMATIQUE VERS UNE PROTECTION CHIMIQUE CONTRE QUELQUES MALADIES FOLIAIRES DU BLÉ DUR.	4
AVANT PROPOS.....	4
CHAPITRE I . RELATION HÔTE-PARASITE	5
1. Relation non-hôte.....	5
2. Relation hôte	5
3. L'hôte : le blé dur.....	5
3.1 Caractéristiques et propriétés du blé dur	5
3.1.1 Importance et distribution (dans le monde et en Algérie).....	5
3.1.2 Origine et classification	6
3.1.2.1 Origine du blé.....	6
3.1.2.2 Classification botanique	6
3.1.3 Physiologie du blé	6
3.1.3.1 Période végétative	6
3.1.3.2 Période de reproduction	7
3.1.3.3 Période de Maturation	7
4. Le Pathogène.....	7
4.1. Impact de quelques mycoses aériennes sur les processus primaires d'élaboration du rendement	7
4.1.1 Caractéristiques de quelques maladies aériennes sur le blé	8
4.1.1.1 Les Rouilles.....	8
4.1.1.2 La septoriose	9
4.1.1.3 L'oidium	10
4.1.1.3 Les stries foliaires	10
4.1.1.4 La tache auréolée.....	10
4.1.1.5 La tache helminthosporienne ou tache jaune	10
4.1.2 Impact des mycoses aériennes sur les processus primaires d'élaboration du rendement.	11
5. Méthodes de lutte contre les agents pathogènes	17

5.1	Mesure prophylactique	17
5.2	Lutte culturale.....	17
5.3	Lutte génétique.....	17
5.4	Lutte biologique	18
5.5	Lutte chimique	18
6	<i>Les fongicides</i>	19
6.1	Définition	19
6.2	Caractéristiques des fongicides	19
6.2.1	Familles ou groupes chimiques des fongicides	19
6.2.2	Comportement des fongicides au niveau de la plante.....	20
6.2.2.1	Les produits de contact ou de surface.....	20
6.2.2.2	Les produits pénétrants.....	20
6.2.2.3	Les produits systémiques.....	21
6.2.3	Redistribution d'un fongicide au niveau de la plante	23
6.2.3.1	Redistribution à l'intérieur des plantes	23
6.2.3.2	Redistribution à l'extérieur des plantes	23
6.2.4	Spécificité ou site d'action.....	23
6.3	Mode d'action des fongicides.....	25
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES		27
1.	<i>Matériel</i>	27
1.1	Matériel végétal.....	27
1.2	Matériel chimique.....	27
1.2.1	Propriétés physico-chimiques du produit	28
1.2.2	Propriétés biologiques.....	29
1.2.3	Caractéristiques techniques	29
1.3	Présentation des sites de l'expérimentation.....	29
2.	<i>Méthodes</i>	30
2.1	Conduite de l'essai	30
2.1.1	Dispositif expérimental	30
2.1.2	Technique du traitement.....	31
2.2	NOTATION DE LA MALADIE ET PARAMÈTRES MESURÉS AU CHAMP	32
2.2.3.	<i>Courbe de progression de la maladie</i>	32
2.3	Analyses physiologiques et biochimiques.....	33
2.3.1	Paramètres hydriques	33
2.3.1.1	Détermination du taux de déperdition d'eau (RWL)	33
2.3.1.2	Détermination de la teneur en eau (RWC)	33
2.3.2	Paramètre énergétique (dosage de la chlorophylle)	34
2.3.3	Paramètres biochimiques.....	34
2.3.3.1	Dosage des sucres solubles.....	34
2.3.3.2	Dosage de la proline	35

2.4 Test à valeur agronomique (détermination du rendement)	35
3. Etude statistique	36
CHAPITRE III RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION.....	37
1 Test de germination.....	37
2 Progression des maladies.....	37
2.1 La septoriose.....	37
2.2 La Rouille brune	40
3. Action de l'ARTEA 330 Ec sur le statut hydrique de la plante.....	43
3.1 Taux de déperdition d'eau (R.W.L.)	43
3.2 Turgescence relative des feuilles (R.W.C.)	44
4. Action de l'ARTEA sur le statut énergétique de la plante hôte	46
5. Action de l'ARTEA sur les processus biochimiques de la plante hôte	48
5.1 Taux de sucres solubles	48
5.2 Teneur en proline des feuilles.....	50
6. Action de l'ARTEA sur la valeur agronomique : Poids de 1000 grains.....	52
CHAPITRE IV DISCUSSION	55
CONCLUSION DE LA PARTIE I	59
PARTIE II : EFFET DU FONGICIDE ARTEA SUR LA QUALITÉ TECHNOLOGIQUE DES SEMENCES DU BLÉ DUR.	60
AVANT PROPOS.....	60
CHAPITRE I SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	61
1 Etude de la Qualité technologique du blé	61
1.1 Composition de grain du blé.....	61
1.1.1 Composition histologique du grain du blé	61
1.1.2 Composition chimique du grain de blé	63
1.2 Notion de la qualité.....	64
1.3 Notion de la qualité technologique	64
1.4 Appréciation de la valeur technologique des blés durs	65
1.4.1 Valeur ou qualité semoulière.....	65
1.1.4.1 Les conditions de culture et de récolte	65
1.1.4.2 Valeur pastière	66
1.1.4.3 Etude de l'aspect des semoules	67
1.1.4.4 La qualité culinaire	68
1.1.5 Les composants du grain en relation avec la qualité	68
1.1.5.1 Les protéines	68
1.1.6 Relation entre la composition protéique et la qualité du blé dur	69
1.1.6.1 Le gluten	70
1.1.6.2 L'amidon	70
1.1.6.3 Les pentosanes.....	70
1.1.6.4 Les lipides.....	70
1.1.6.5 Les enzymes	71

1.1.6.6 Les substances minérales	71
I.2 Action du pathogène sur les processus biochimiques du blé	71
I.2.1 Action du pathogène sur la qualité du grain	71
I.2.2 Action du pathogène sur le métabolisme de proline.....	72
CHAPITRE II MATERIEL ET METHODES	73
1. Matériel végétal.....	73
2. Méthodes expérimentales.....	73
2.1 Analyses physiologiques.....	73
2.1.1 Test de germination	73
2.2 Analyses physiques	74
2.2.1 Détermination du poids de milles (1000) graines (PMG)	74
2.2.2 Détermination du taux de moucheture	74
2.2.3 Détermination du taux de mitadinage	75
2.2.3 Calibrage ou granulométrie	76
2.3 Analyses technologiques	76
2.3.1 Préparation des échantillons de blé.....	76
2.3.1 Détermination de la teneur en eau.....	76
2.3.2 Détermination du taux d'extraction	77
2.3.3 Détermination des cendres	77
2.3.4 Détermination du taux de gluten.....	78
2.3.5 Capacité d'hydratation	80
2.3.6 Mesure de la coloration de la semoule	80
2.4 Analyses biochimiques	81
2.4.1 Dosage de l'azote total	81
2.4.2 Teneur en protéines	82
3. Analyse statistique.....	82
CHAPITRE III RESULTATS ET INTERPRETATIONS	83
1. Pourcentage de germination.....	83
2. Caractéristiques physiques	83
2.1 Détermination du PMG	83
2.2 Détermination du taux de mitadinage.....	84
2.3 Détermination du taux de moucheture	85
2.4 Détermination du calibrage.....	86
2.4.1 Petits calibres.....	86
2.4.2 Gros calibres	86
3. CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES.....	87
3.1 Taux d'extraction	87
3.2 Détermination de la teneur en eau.....	88
3.3 Détermination de la teneur en cendre.....	89
3.4 Détermination de la teneur en Gluten.....	90

3.4.1 Détermination du Gluten humide.....	90
3-4-2 Détermination du Gluten sec	91
3.4.3 Détermination du Gluten index	91
3-5 Détermination de la capacité d'hydratation	92
3.6 Détermination de la coloration	93
3.6.1 Indice de Brun	93
3.6.2 Indice de jaune.....	94
4 Caractéristiques biochimiques.....	94
4.1 Détermination de la teneur en protéines	94
CHAPITRE IV DISCUSSION	96
CONCLUSION DE LA PARTIE II	102
CONCLUSION GENERALE	104
PERSPECTIVES	106
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	107

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans un monde où le problème de la faim est crucial, la protection des cultures et des denrées alimentaires prend une importance considérable. Sans une agriculture saine et dynamique, il n'y a pas de sécurité, non seulement alimentaire mais encore sociale et politique. La faible persistance de l'agriculture compromet le développement économique et menace insidieusement la stabilité sociale et politique de nombreux pays.

En Algérie, les céréales d'hiver, et particulièrement les blés, sont à la base de l'alimentation humaine. Elles font partie du paysage agricole et socioculturel de l'Algérie et du Maghreb. Elles occupent les plus grandes superficies et son grain constitue la base de l'alimentation des populations (Hamadach *et al.*, 1998). Cette situation dans l'alimentation confère à ces dernières une importance que l'on peut véritablement qualifier de stratégique.

Avec une production nationale qui ne satisfait que le tiers des besoins, l'Algérie apparaît très dépendante de l'extérieur. Elle est ainsi à la merci des pertes dues aux accidents climatiques, aux itinéraires techniques appliqués par les agriculteurs, aux ravageurs, à la concurrence des mauvaises herbes ainsi qu'aux maladies (Anonyme, 1976).

Le blé peut subir de nombreuses maladies à différents stades de son développement. Ces dernières peuvent occasionner des pertes importantes lorsque les variétés utilisées sont sensibles et les conditions de l'environnement sont favorables à l'expansion de la maladie.

La septoriose du blé causée par *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Schroeter (anamorphe *Septoria tritici* Rob. ex Desm.) et *Phaeosphaeria nodorum* (E.Müll.) Hedjar. (anamorphe *Stagonospora nodorum* (Berk.) E.Castell.Germano.) est l'une des principales maladies du blé à travers le monde. Elle peut causer des pertes de rendement allant jusqu'à 60 % (Cook, 1999; Zahri *et al.*, 2008).

La septoriose est la maladie foliaire du blé la plus fréquente. La quantité de pluie courant montaison est le premier facteur de risque. Cette dernière lui permet de monter de feuille en feuille (Mazouz, 1992; Bégos, 2011). Pendant les années pluvieuses, *Septoria tritici* se place en tête du complexe parasitaire du blé dur en Algérie, les pertes peuvent atteindre 50 % (Anonyme 2010a).

La rouille brune est une des maladies principales du blé en raison de sa large distribution géographique, de sa capacité à contourner les résistances génétiques, de son fort potentiel épidémique et de sa faculté de dispersion à grande échelle (Robert, 2003). Elle peut entraîner des pertes de rendement moyennes de 5 à 10%, pouvant atteindre jusqu'à 40% (Zhang, 2005).

Les contraintes phytosanitaires engendrées par les différents agents biotiques comme les adventices, les champignons, les insectes, etc...., sont à l'origine de l'instabilité des rendements en blé dans le temps.

La protection des cultures peut être anticipée dès le semis par le choix de variétés moins sensibles et parfois avant le semis en agissant sur le choix des espèces dans la rotation. Pour une conduite de culture intensive où l'utilisation des traitements fongicides est une des composantes importantes, la productivité et la valeur d'utilisation du grain sont, aux yeux des agriculteurs, des critères beaucoup plus importants que la résistance aux maladies fongiques puisque la lutte chimique permet souvent de compenser des défauts de résistance de la variété (Meynard et Jeuffroy, 2002).

On peut donc affirmer que la lutte contre les parasites est un combat multifactoriel qui doit de plus en plus combiner des mesures préventives, dites prophylactiques, avec des actions directes sur la maladie. L'évaluation des nouvelles substances actives reste de mise pour choisir et décider en connaissance de cause les meilleures solutions qu'offre le marché phytosanitaire. L'efficacité de la lutte impose des produits performants et correctement positionnés dans le temps. La sensibilité des variétés aux maladies du feuillage étant différente, la lutte peut être adaptée en conséquence (Anonyme 2010b).

Pour être en mesure de résister aux pressions possibles, aux irrégularités des échanges ou aux conséquences financières des fluctuations des prix, il lui faut impérativement réduire cette dépendance et pour atteindre ce seuil critique d'autosuffisance il lui faut améliorer les modes de culture et diminuer les pertes de production en appliquant les produits phytosanitaires comme les fongicides contre les maladies cryptogamiques.

Mais malgré tout ce qui se dit de nos jours sur les fongicides, ils constituent néanmoins des outils indispensables aux cultures. Avant la deuxième guerre mondiale, les rendements étaient plus faibles que ceux que l'on obtient aujourd'hui, les causes étaient multiples : manque de mécanisation, cultivars à faible productivité, et à ne pas oublier, la quantité limitée de fongicides disponibles.

Dès la fin des années 40 jusqu'aux années 80, suite à la mise en place de pratiques culturales de plus en plus mécanisées, de l'apparition des cultivars à productivité élevée et de fongicides organiques possédant un effet curatif, il a été possible d'accroître de manière substantielle les rendements agricoles.

De nos jours, les rendements mondiaux en céréales sont pratiquement plafonnés, l'agriculture est intensive et on doit à chaque année investir de grandes sommes pour lutter contre les maladies qui diminuent les rendements et la qualité des produits. Les cultivars résistants ne sont pas toujours disponibles et depuis la fin des années 60 des problèmes liés à la résistance aux fongicides sont apparus.

En l'an 2000, le contrôle des maladies apparaît comme l'un des facteurs le plus limitatif des rendements. La régie phytosanitaire inclut, bien entendu, les fongicides dont les effets sont significatifs sur l'augmentation des rendements et la qualité du produit.

La lutte qui passe d'abord par la pratique de techniques culturales appropriées, doit être complétée par l'emploi des produits fongicides utilisés soit en traitement de semences, soit au cours de la végétation des céréales.

La lutte chimique reste jusqu'à présent le moyen le plus employé pour combattre les différents ennemis des cultures. En effet, il est actuellement difficile d'imaginer une production agricole performante sans traitement chimique. Cependant la réussite de cette opération reste tributaire de plusieurs facteurs parmi lesquels il convient de citer le choix judicieux du pesticide, la période d'intervention et la qualité d'application. Néanmoins, cette lutte ne fût pas toujours bénéfique, car si d'une part les fongicides synthétiques ont permis le contrôle et l'élimination des agents fongiques nuisibles, ils ont aussi engendré des problèmes se traduisant par des manifestations toxiques chez les plantes qu'ils sont destinés à protéger. L'augmentation continue de l'utilisation des produits de traitement témoigne de leur remarquable capacité à s'insérer dans la combinatoire des techniques agricoles existantes. On les voit donc associés au développement de la mécanisation dans les grandes cultures mais aussi de plus en plus utilisés dans les cultures intensives où ils semblent avoir été les principaux responsables des accroissements de productivité.

A l'heure actuelle, 39% de ces produits sont des molécules fongicides et permettent de protéger les cultures et les récoltes contre des organismes nuisibles. Pourtant, leur emploi

inconsidéré peut faire courir des risques aux consommateurs et déstabiliser dangereusement les écosystèmes (Bosseur *et al.*, 2002; Meksem *et al.*, 2007).

Même si la plupart des traitements sont appliqués sur les parties aériennes des plantes, une bonne part du produit atteint toujours le sol, où vivent des bactéries, des champignons, des algues et des insectes. On doit faire particulièrement attention aux effets nocifs des pesticides sur la microflore du sol, laquelle est essentielle au maintien de la fertilité. De très nombreux travaux ont montré que les traitements faits correctement ont un effet limité sur le métabolisme microbien du sol (Bordjiba, 2009).

Les profils toxicologiques et écotoxicologiques des fongicides ne sont pas très flatteurs. Les produits les plus efficaces sont souvent les plus dangereux. Pour réduire les risques sur sa santé, celles des autres et sur l'environnement, l'agriculteur se doit de mettre en œuvre les conditions pour limiter l'utilisation des fongicides (Bosse, 2007).

L'Algérie est classée parmi les pays qui utilisent les plus grandes quantités de pesticides dans le monde. Ainsi environ 400 produits phytosanitaires sont homologués en Algérie dont une quarantaine de variétés sont largement utilisées par les agriculteurs (Bouziani, 2007). Aussi une grande partie de ces substances, étant de nature récalcitrante peuvent même affecter l'homme de manière indirecte via la chaîne alimentaire.

Notre étude s'inscrit dans cette thématique. D'une part ; elle évalue l'efficacité d'un produit fongicide systémique nouvellement introduit en Algérie « ARTEA330ec » sur les principales maladies de feuilles et d'épis affectant le rendement du blé dur, comme la rouille brune causée par *Puccinia recondita* (forme asexuée) et la septoriose causée par la forme conidienne *Septoria tritici* en analysant les effets (tests physiologiques et biochimiques) qu'elles provoquent sur le blé dur par l'étude des variations de la photosynthèse, du métabolisme des nutriments organiques et surtout du potentiel hydrique. Aussi, nous avons jugé utile d'estimer sous des conditions naturelles de plein champ, les répercussions du traitement sur le rendement.

D'autre part et au niveau du laboratoire ; dans une première étape nous nous sommes intéressés à évaluer l'effet du fongicide sur quelques paramètres de la qualité technologique des graines de blé dur et dans une seconde étape nous avons essayé d'étudier les effets toxiques du fongicide en question en testant plusieurs concentrations sur la germination, la croissance des racines de blé dur et son influence sur les potentialités métaboliques et biochimiques en se concentrant sur le métabolisme respiratoire et l'activité enzymatique antioxydante.

Le document présenté comprend :

Une recherche bibliographique sur la problématique en question

Les différentes étapes de l'expérimentation aussi bien en plein champs qu'aux laboratoires en décrivant le matériel végétal, le matériel antifongique et les techniques utilisées.

Une interprétation des résultats obtenus suivie d'une discussion argumentée des acquis

Une discussion générale qui relie l'ensemble des acquis et les données bibliographiques, suivie d'une conclusion générale, qui fait le point sur le niveau de réponse aux objectifs fixés et sur les perspectives envisagées pour compléter et faire évoluer ce travail.

PARTIE I : Problématique vers une protection chimique contre quelques maladies foliaires du blé dur.

Avant propos

Dans la nature, de nombreuses agressions peuvent faire obstacle au bon développement des plantes. Les produits phytopharmaceutiques sont utiles car ils permettent de lutter, si besoin :

Contre les maladies des plantes avec des fongicides,

Contre les mauvaises herbes avec des herbicides,

Contre les ravageurs avec des insecticides etc.....

Il en est de même en milieu agricole, les pesticides sont utilisés pour protéger les cultures contre une multitude d'organismes nuisibles, tels que les insectes, les acariens, les plantes indésirables, les maladies parasitaires et les rongeurs.

Pour obtenir une production optimale, les plantes doivent être protégées contre ces agresseurs.

Les grandes cultures (maïs, soya, céréales) jouent un rôle important dans l'utilisation des pesticides, car ce sont des plantes d'importance économique produites sur de grandes superficies. Il est actuellement possible de lutter contre maladies de façon biologique. Cependant, cette méthode n'est pas adaptable contre tous les agents pathogènes. Contre de nombreux fléaux, seule la lutte chimique est efficace. Le blé peut être attaqué par de nombreuses maladies à différents stades de son développement. Ces attaques peuvent occasionner des pertes importantes lorsque les variétés utilisées sont sensibles et les conditions de l'environnement sont favorables à l'expansion de la maladie.

Plusieurs stratégies chimiques permettent de lutter contre l'invasion d'une plante par un champignon, de façon directe ou indirecte. L'étude présentée dans cette partie du travail, rentre dans ce contexte, elle contribue à mettre en évidence l'action d'un fongicide nouvellement introduit en Algérie « ARTEA330ec » sur les principales maladies de feuilles et d'épis affectant le rendement et la qualité technologique du blé dur. Seules, la rouille brune et la septoriose, ont été considérées. Dans la région d'étude, ces deux maladies sont cependant les plus présentes et les plus nuisibles sur le blé.

Chapitre I . Relation hôte-parasite

D'une manière générale, les plantes mettent en œuvre des mécanismes très efficaces qui contrôlent et limitent leur rapport avec les agents potentiellement pathogènes. A cet égard, il est classique de distinguer deux grands types de réaction (Lepoivre, 2003).

1. Relation non-hôte

Cette relation est comparée à l'incompatibilité pollen-pistil d'espèces différentes, elle caractérise l'incompatibilité fondamentale entre tous les cultivars d'une espèce végétale donnée et tous les biotypes d'un parasite déterminé (Rocher, 2004). Selon le même auteur, les plantes sont des non-hôtes vis-à-vis de la plupart des microorganismes de leur environnement. Elles ne sont attaquées que par un nombre restreint de microorganismes.

2. Relation hôte

Celle-ci est comparable aux relations pollen-pistil d'un même individu, peut conduire, selon les cas, à l'incompatibilité ou à la compatibilité. Dans ce dernier cas, le pathogène dit virulent peut se développer au sein de l'hôte (dit sensible) et induire la maladie (Rocher, 2004).

3. L'hôte : le blé dur

3.1 Caractéristiques et propriétés du blé dur

3.1.1 Importance et distribution (dans le monde et en Algérie)

Les plus gros producteurs de blé dans le monde sont les Etats -Unis, la Chine, le Canada, la France et l'Australie (Elabed, 1984). En Algérie, le blé dur (*Triticum durum*) a acquis au cours des siècles une véritable valeur symbolique, du fait de son importance dans l'agriculture et l'alimentation humaine.

Son grain constitue un produit de base dans l'alimentation des algériens (couscous, pain...), il est considéré aussi comme une très grande ressource de protéines et d'hydrate de carbones. Il renferme également des acides aminés, des lipides et des vitamines. En outre, ses sous produits (paille) servent d'aliments pour le bétail (Godon, 1985). D'après Guettouche (1990), la superficie réservée à la culture du blé dur représente environ 50% des superficies consacrées aux céréales et ce, durant la campagne 1997-1999. En effet, cette culture couvre près de 1.707.240 ha avec un rendement de 8,79 q/ha. On distingue 4 zones de culture à spécificités climatiques particulières :

La zone littorale caractérisée par une pluviométrie supérieure à 600 mm occupant 18% de la surface cultivée.

La zone des hauts plateaux caractérisés par une pluviométrie comprise entre 500 et 600 mm, elle occupe 48% de la surface cultivée.

La zone de basses plaines tellières caractérisés par une pluviométrie comprise entre 400 et 500 mm occupant 15% de la surface cultivée.

La zone comprise entre 350 et 400 mm occupe 14% de la surface cultivée.

3.1.2 Origine et classification

3.1.2.1 Origine du blé

Origine génétique

Le blé dur comme le blé tendre appartiennent au genre *Triticum*. Ce genre comporte de nombreuses espèces autres que le blé, qui se répartissent en trois groupes distincts selon leur nombre de chromosomes :

Le groupe diploïde ($2n = 14$ chromosomes) ou groupe de *Triticum monococcum* (engrain, en langage courant).

Le groupe tétraploïde ($2n = 28$ chromosomes) ou groupe de *Triticum dicoccum* (amidonnier), dans lequel on trouve *T.durum* (blé dur),

Le groupe hexaploïde ($2n = 42$ chromosomes) ou groupe de *Triticum sativum*, auquel appartient *T.sativum* (blé tendre), ou encore appelé *T.vulgare* (Anonyme, 1981).

Origine géographique

Selon Vavilové in *Erroux* (1961), le blé dur a deux origines : l'Abyssinie et l'Afrique du Nord. Alors que pour Grignac (1978), le Moyen Orient est le centre générateur du blé dur, où il s'est différencié dans trois régions : le bassin occidental de la méditerranée, le sud de la Russie et le Proche Orient (Syrie et nord de la Palestine).

3.1.2.2 Classification botanique

Le blé dur est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille, qui sont caractérisée par des critères morphologiques particuliers. le blé dur est une monocotylédone qui obéit à la classification suivante (Prats, 1960 ; Crête ,1965 ; Bonjean et Picard, 1990 ; Feillet, 2000)

Embranchement	Spermaphytes
S/Embranchement	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Super Ordre	Commeliniflorales
Ordre	Poales
Famille	Graminacée
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf

3 1.3 Physiologie du blé

Le cycle de développement du blé comporte trois phases : La période végétative, la période reproductrice et la période de maturation (Anonyme, 1981).

3 1.3.1 Période végétative

Cette période comprend les phases suivantes

Phase Germination : Elle s'étend du semis au stade A. c'est la phase première de la vie d'une plante qui assure la naissance d'une jeune plantule au dépend de la graine. Elle passe par la phase de l'imbibition de la graine, libération des enzymes et dégradation des réserves assimilables par la graine, ensuite la phase de croissance caractérisée par l'allongement de la racine (Gyot, 1978 ; Vertucci, 1989).

Phase Semi-levée: C'est la phase de germination et de début de la croissance. (Anonyme,1981).

Phase Levée-Début du tallage : Elle est caractérisée par les apparitions successives à l'extrémité du coléoptile et la première feuille fonctionnelle, puis de la deuxième, troisième feuille etc. imbriquées les unes dans les autres, partant toutes d'une zone proche de la surface du sol (plateau du tallage) et reliées à la semence par le rhizome. Cette phase devient critique en cas d'attaque d'insectes ou de champignons telles que les fusarioses. (Gyot, 1978; Vertucci, 1989).

3.1.3.2 Période de reproduction

Cette période comprend deux phases:

Phase Tallage herbacé – Gonflement : Elle comprend : l'initiation florale, la différenciation de l'ébauche de l'épi, la différenciation des ébauches des glumes, la montaison ou élongation, la méiose ou réduction chromosomique et le gonflement.

Phase Epiaison – Floraison: Cette phase correspond à l'épiaison (apparition des épis à l'extérieur), puis à la fécondation (ouverture des sacs polliniques), à la germination du pollen et à la fécondation de l'ovule. Cependant, la floraison consiste en l'éclatement des anthères qui libèrent le pollen ; les filets qui les portent s'allongent, cette opération entraîne à travers les glumelles entrouvertes, les sacs polliniques desséchés, à l'extérieur flotte alors tout autour de l'épi comme de petites fleurs blanches c'est l'ensemble de ces petites fleurs qui fait dire que « l'épi est fleuri » (Gyot, 1978 ; Vertucci, 1989).

3.1.3.3 Période de Maturation

Elle s'étend de la fécondation au stade de maturité du grain et se subdivise en deux phases:

Phase pâteuse: Elle est appelée aussi phase du palier hydrique, où la graine accumule très fortement l'amidon dans son albumen, tout excès d'évaporation (ou tout déficit d'alimentation en eau) à pour effet de ralentir les synthèses et la migration des réserves nécessaires à la formation du grain, ce qui se traduit par la formation de grains ridés de poids inférieur à la normale (phénomène d'échaudage).

Phase de dessiccation: elle correspond à la perte progressive de l'humidité du grain (maturité au champ 20 à 15% d'humidité) (Gyot, 1978; Vertucci, 1989).

4. Le Pathogène

4.1. Impact de quelques mycoses aériennes sur les processus primaires d'élaboration du rendement

L'activité de l'hôte varie selon que le parasite est nécrotrophe ou biotrophe

Rappilly (1971, 1991), distingue les parasites de la façon suivante: Les parasites nécrotrophes sont usuellement indépendants des assimilats solubles à cause de leur capacité à dégrader les molécules structurales de l'hôte. Ils n'importent pas de composés carbonés dans les feuilles malades mais réduisent la quantité de ces composés carbonés dans les feuilles infectées en utilisant les assimilats ainsi solubilisés. La différenciation de l'inoculum s'effectue donc au détriment des tissus morts. En revanche les biotrophes possèdent un cycle de développement qui s'effectue au détriment des tissus vivants de l'hôte. Le parasite acquiert ses nutriments à partir des assimilats solubles de l'hôte. Les haustoria envahissent les cellules et transportent activement les nutriments de l'hôte à travers ses membranes; l'agent pathogène se comporte donc comme un puit supplémentaire pour la plante. Les champignons foliaires biotrophes regroupent plusieurs parasites qui causent des dégâts assez importants aux plantes cultivées parmi lesquels se trouvent les rouilles qui sont les maladies les plus importantes affectant le blé en raison de leur large distribution géographique, leur fort potentiel épidémique et leur faculté de dispersion à grande échelle.

4.1.1 Caractéristiques de quelques maladies aériennes sur le blé

4.1.1.1 Les Rouilles

Les rouilles sont des parasites biotrophes obligatoires et endophytes causées par des champignons Basidiomycètes de l'ordre des Urédinales.

Les rouilles sont parmi les maladies les plus dévastatrices du blé. Le développement épidémique peut avoir lieu dans certaines régions occasionnant des pertes pouvant aller jusqu'à 25% (Daguenet, 1990 ; Sayoud *et al.*, 1999).

Rappilly *et al.*, 1971, considèrent la rouille comme un parasite très grave des céréales provoquant des maladies à caractères épidémiques et qui peut être à l'origine de pertes de rendements importants lesquels sont souvent difficiles à apprécier.

L'appellation rouille est justifiée par la teinte de certaines de leurs fructifications qui variant du jaune au noir rappelle la couleur rouille. Aussi, nous distinguons :

La rouille noire

L'agent causal est *Puccinia Graminis*. Elle est peu fréquente et est généralement trop tardive pour être dangereuse ; Elle apparaît généralement vers la fin du mois de Juin - début de Juillet, sous forme de pustules noirâtres, sur les feuilles prises sur les chaumes d'où elles gagnent le col de l'épi. La maladie peut avoir de graves conséquences comme la diminution du poids spécifique, et la qualité du grain (Prescott *et al.*, 1987).

La rouille jaune

La rouille jaune due à *Puccinia striiformis* apparaît d'abord au cours du printemps par foyers très distincts de 1 à 2 m² où la maladie est très intense. Elle peut ensuite, selon les conditions climatiques, s'étendre ou non à chaque parcelle. Sur les feuilles, la rouille jaune se présente généralement sous forme de stries qui suivent les nervures. Ces stries sont composées de pustules pulvérulentes jaunes, allongées et alignées entre les nervures. Les feuilles, les graines, les tiges et les épis peuvent être atteints. C'est une maladie qui se développe bien lors du printemps frais.

La rouille Brune

Elle est causée par *Puccinia recondita* Roberge f. sp. *Tritici*. C'est la plus importante des trois rouilles et c'est la plus répandue dans le Maghreb. Le développement épidémique de cette maladie peut avoir lieu dans certaines régions occasionnant des pertes pouvant aller jusqu'à 25% (Sayoud *et al.*, 1999). En France, cette maladie est localisée essentiellement dans le sud où elle se développe parfois très précocement (Stade 7) bien que l'évolution épidémique se situe plus fréquemment autour de l'épiaison (Caron, 1993). Bowden (1989), la considère comme la maladie la plus importante du blé au Kansas (Etats Unis) et l'une des plus importantes dans le monde. Les pertes en grains peuvent atteindre les 50% mais le plus souvent 15 à 20%. La maladie peut avoir de graves conséquences comme la diminution du poids spécifique, et la qualité du grain (Prescott *et al.*, 1987). Le tableau 1 montre les différents types de rouilles des céréales.

Tableau I. Les différents types de rouilles des céréales (Rapilly et al., 1971)

Espèces Botaniques	Nom Commun	Hôtes Ecidies	Aspects des Udérospores	Forme Spécialisée	Céréale attaquée
<i>Puccinia graminis</i>	Rouille noire ou Rouille des tiges	Berbéris Mahonia	Sores bruns roux, pulvérulents de grande taille, bordés par des lambeaux d'épiderme confluent essentiellement sur chaume, rarement sur feuilles ou épis.	Tritici Avenae Secalis	Blé Orge Avoine Seigle
<i>Puccinia striiformis</i> Et <i>Puccinia glumarum</i>	Rouille jaune Rouille des glumes		Sores jaunes pulvérulents, petits et disposés en séries linéaires entre les nervures des feuilles des graines et parfois sur les glumes	Tritici Hordei Secalis	Blé Orge Seigle
<i>Puccinia triticina</i> et <i>Puccinia recondita</i>	Rouille brune Rouille des feuilles	Anatusa Isopyrum Thalictru	Sores brun-orangés, pulvérulents, ronds et dispersés sur le limbe.	Tritici	Blé Orge Seigle
<i>Puccinia hordei</i> Et <i>Puccinia simplex</i>	Rouille brune Rouille naine	Ornitha Galum	Sores brun-roux, ronds et dispersés sur le limbe		Orge
<i>Puccinia dispersa</i>	Rouille brune du seigle	Anchusa Lycopsis	Sores brun-roux, ronds et dispersés sur le limbe		Orge
<i>Puccinia coronata</i>	Rouille Couronnée Ou Rouille Orangée	Rhamnus Sp.	Sores jaune-orangés, pulvérulents, globuleux ou ovoïdes et dispersés sur le limbe.	Avenae	Avoine

4.1.1.2 La septoriose

La septoriose du Blé est causée par deux champignons imparfaits, *Septoria tritici* Rob. Ex Desm. (forme parfaite *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Schroeter) et *Stagonospora nodorum* (Berk.) E.Castell.Germano. (forme parfaite *Phaeosphaeria nodorum* (E.Müll.) Hedjar.), qui diffèrent par les symptômes et la biologie (Eyal *et al.*, 1987 ; Farih, 1992 ; Jlibene, 1990 ; King *et al.*, 1983). Cette maladie cryptogamique foliaire rencontrée dans toutes les régions de production du blé participe à la destruction d'environ 2 % du blé

mondial et cause des pertes de millions de tonnes de grains et des billions de dollars de pertes chaque année (Shipton *et al.*, 1971 ; Weise, 1977 ; Eyal, 1999). Les régions les plus touchées par le développement de *S. tritici* sont celles qui connaissent des épisodes pluvieux, car la pluie et l'action éclaboussante des gouttes sur les feuilles du blé favorisent la dissémination des spores (Eyal, 1999 ; Caron *et al.*, 2000). Durant ces périodes pluvieuses, cette maladie se place en tête du complexe parasitaire du blé au Maghreb Burleigh *et al.*, 1991, malgré la recherche de variétés résistantes. Ces champignons provoquent des taches foliaires brunes et peuvent entraîner des baisses de rendement importantes. Actuellement, l'espèce *Septoria tritici* est largement dominante, alors que *Septoria nodorum*, qui peut également toucher les épis et les semences, est devenu très rare.

4.1.1.3 L'oidium

Selon Sutton (1999), l'oïdium est un parasite obligatoire qui passe l'été (au repos végétatif) sur les feuilles sénescentes sous forme de fructifications noires (cleistothèces). Les ascospores qui y mûrissent infectent les repousses de céréales ou les semis précoces d'automne. Mais il est vraisemblable que le champignon passe l'été surtout sur les repousses de céréales (hôtes intermédiaires) en y formant des pustules. Les spores dispersées par le vent infectent ensuite les nouveaux semis. En hiver, le champignon survit passivement sur les plantes sous forme de mycélium. L'épidémie du printemps a lieu à partir de cette forme asexuée de spores, et le blé de printemps se trouve infecté à partir de l'infection du blé d'hiver.

Les propagateurs de la maladie, les conidies, sont libérés et disséminés par le vent. Leur formation a lieu à des températures variant de 5° à 28° C, l'optimum se situant à 20° C. Une forte hygrométrie de l'air favorise la sporulation ; dans ce cas, on peut assister à une véritable explosion de l'épidémie. La pluie et l'humidité sur les feuilles freinent par contre la sporulation et la formation de pustules.

Suivant les conditions atmosphériques, l'épidémie peut même stagner. Les conidies ne peuvent survivre que pendant quelques jours. Les semis précoces favorisent une forte colonisation par le champignon au printemps, un semis dense le favorise durant la phase de croissance principale. Des pousses plus denses et une élévation accrue créent un microclimat dans la parcelle qui favorise à son tour le développement parasitaire. Il faut environ 5 jours à 15° C à partir du début de l'infection pour la formation des conidies.

4.1.1.3 Les stries foliaires

Des stries de couleur jaunâtre puis brune se développent à partir de la base de la feuille, elles sont parallèles aux nervures. Les épis, s'ils émergent, sont chétifs et souvent stériles (Anonyme, 2006).

4.1.1.4 La tache auréolée

Ce sont des taches brunes de formes ovales entourées d'une auréole jaune. Avec le développement de la maladie, elles coalescent pour former des étendues nécrotiques sur les feuilles. Cette maladie est causée par *Pyrenophora tritici-repentis* (Anonyme, 2006).

4.1.1.5 La tache helminthosporienne ou tache jaune

Des taches ovales d'un jaune brunâtre ayant jusqu'à 12 mm de longueur apparaissent sur les feuilles. Les zones entourant les taches jaunissent. Les taches peuvent se rejoindre et

provoquer la brûlure sur de larges surfaces de la feuille. De petites zones « brun foncé » apparaissent souvent sur les taches. Les spores transportées par le vent, des débris de blé ou de graminées aux cultures de blé, déclenchent la maladie au printemps. Les infections se produisent plus tôt et sont plus nombreuses quand le blé est à proximité des débris. Les nombreuses spores produites sur les feuilles atteintes propagent le champignon dans toute la culture durant la saison de pousse. La maladie atteint son stade le plus grave après l'épiage. Les attaques sont favorisées par un temps chaud avec pluies ou rosées abondantes et prolongées.

4.1.2 Impact des mycoses aériennes sur les processus primaires d'élaboration du rendement.

L'infection d'une plante par un champignon pathogène se traduit souvent par une modification des échanges gazeux en relation avec la prolifération des hyphes dans le mésophylle et les chambres sous stomatiques et par des troubles métaboliques liés à l'action des substances toxiques émises par le parasite (Laffray *et al.*, 1982). La résistance de la plante à l'infection est modifiée par les conditions environnementales. Quand l'infection coïncide avec un stress abiotique (stress hydrique, pollution ou stress nutritionnel), les symptômes peuvent augmenter ou diminuer. Les changements résultent généralement de l'effet direct de l'environnement sur le développement du pathogène.

Shteinberg (1992), a classé les effets de plusieurs maladies fongiques foliaires sur les échanges gazeux en trois catégories : proportionnel, plus que et moins que proportionnel à la surface visiblement atteinte.

Effet des maladies sur l'état hydrique

Le dessèchement et l'engorgement sont des exemples des caractéristiques visibles qui surviennent lorsque les relations hydriques d'une plante sont altérées par un micro-organisme pathologique. La perturbation de l'équilibre entre l'eau absorbée par les racines et celle demandée par la voie transpiratoire dépend de la surface foliaire affectée par le pathogène ainsi que du site d'infection. Avec la progression de la maladie, les feuilles d'orges infestées par *Puccinia hordei* perdent leur capacité à maintenir un statut hydrique favorable (Berryman *et al.*, 1991).

Une diminution rapide de l'humidité du sol ne cause qu'une faible réduction dans le potentiel hydrique de la betterave à sucre attaquée par l'oïdium (*Erysiphe polygoni*) quand seulement la première feuille présente des symptômes. Cependant, une diminution importante survient quand les symptômes se généralisent sur 7 à 8 feuilles (Gordon et Duniway, 1982 a et b). Tissera et Ayres (1986), trouvent que le potentiel hydrique de la moitié supérieure d'une feuille de fève infectée à la base par la rouille (*Uromycès Vicia fabae*) est plus faible que celui d'une feuille saine. Paul et Ayres (1984); Balasubramanian et Gaunt (1990), prouvent que l'augmentation de la transpiration suite à la rupture épidermique par les fructifications de la rouille est suffisante pour diminuer le potentiel. Dans ces conditions, la plante se trouve incapable d'augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau quand les conditions deviennent défavorables.

Les réductions des relations hydriques dans les plantes malades sont provoquées essentiellement par la croissance des racines en relation avec les disponibilités en eau dans le sol. En effet les pathogènes réduisent la matière sèche des racines et augmentent le rapport entre la partie aérienne et la partie souterraine augmentant ainsi la demande évaporative (Bushnell et Rowell, 1968 ; Ayres, 1985).

Par ailleurs, pour certaines plantes, la demande ainsi que la consommation en eau se réduisent sous des conditions des stress sévères à cause du dessèchement précoce et de la réduction des surfaces transpirantes (Bushnell, 1984).

Dans ce contexte, 7 jours après l'inoculation de petit pois par *Erysiphe pisi*, les feuilles malades gardent une teneur en eau relative et un potentiel de 91.56 +/- 1.73 % et - 2.7±0.2 bar respectivement plus élevés que ceux des plantes saines (86.25 ± 0.95 % et - 3.9 ± 0.3 bar). Les changements des niveaux de cytokinine et d'acide abscissique jouent un rôle régulateur des relations hydriques par le contrôle de l'ouverture stomatique et la perméabilité de la membrane (Ayles, 1977).

Effet sur le transfert gazeux

Le contrôle des échanges gazeux entre feuille et environnement est modifiée par le changement des conductances stomatiques et mésophylliennes et les dommages de la cuticule. Les pathogènes foliaires peuvent affecter les mouvements des stomates soit directement par l'action sur le degré d'ouverture ou indirectement par la modification des structures foliaires et la compétition pour l'eau et les aliments.

L'augmentation de la résistance stomatique est notée par McGraith et Pennypacker (1990), sur des plantes de blé attaquées par les rouilles brunes et jaune accompagnée d'une augmentation de la concentration interne du CO₂ associée à une diminution de la conductance des feuilles et des pertes d'eau à travers les stomates. Les pertes exagérées d'eau par les champignons biotrophes endophytes sont dues à la rupture épidermique qui augmente la conductance cuticulaire. Bien que le mycélium interne agit sur les résistances internes, le mycélium épiphétique, se développant à la surface, peut altérer la résistance aérodynamique ou de la couche limite.

Conséquences sur la photosynthèse

Pour les plantes supérieures, le processus de photosynthèse se déroule sur deux phases : Une première phase de lumière ou réaction claire, durant laquelle la plante convertit l'énergie électrochimique en énergie chimique biologiquement utilisable et une deuxième phase sombre à travers laquelle les assimilats sont utilisés pour synthétiser les carbohydrates et autres composants organiques à partir du dioxyde de carbone dans une série de réactions enzymatiques (Buchanan and Wolosiuk, 1976 ; Buchanan *et al.*, 1982). Beaucoup de travaux relatent les effets des parasites biotrophes sur la photosynthèse. Des effets dépressifs sur l'assimilation nette des plantes cultivées suite à l'infection sont observés pour la majorité des pathosystèmes. Pour d'autres, la photosynthèse est initialement stimulée en réponse à la nouvelle demande en assimilât de l'agent pathogène mais baisse au cours du temps. Les causes de la modification de l'activité de l'hôte sont diverses. Les changements dans le taux de photosynthèse par la plante ou la feuille intacte peuvent être induits par les infections foliaires du mildiou et de la rouille (Magyarosy *et al.*, 1976 ; Shtienberg, 1991b).

Des feuilles du blé infectées par *Puccinia recondita f.sp tritici* montrent une réduction dans le taux de la photosynthèse par unité de surface et de chlorophylle, du composé chlorophyllien et du rapport entre chlorophylle a et chlorophylle b (McGrath et Pennypacker, 1990 ; Steinberg *et al.*, 1984).

Williams et Ayles (1981), trouvent que les rouilles sont responsables du fanage des feuilles et causent en outre la réduction de l'expansion des feuilles, de la biomasse accumulée et provoquent une sénescence prématurée des feuilles reliées à une diminution de la photosynthèse nette. En testant la résistance du blé à la rouille brune, Zitko *et al.* (1985) et Staler (1988) concluent que les cultivars sensibles montrent une diminution de

l'activité photosynthétique accompagnée d'une augmentation de la teneur en chlorophylle alors que ces modifications n'apparaissent que sur les cultivars résistants. Cette réduction de la photosynthèse dans les plantes attaquées est expliquée par la diminution de la surface foliaire et/ ou de son efficacité (Gethard *et al.*, 1987 ; Streuter *et al.*, 1989), de la réduction de la teneur en chlorophylle (Kirchansky et Park, 1976 ; Berghams et Reisner, 1985), de la dépression de la phosphorylation photosynthétique (Montalbini et Buchanan, 1974 ; Magyarosy *et al.*, 1976), de la modification de l'activité de la réaction de Hill et de l'assimilation de l'oxyde de carbone (Mathre, 1968 ; Spotts and Ferree, 1979).

Dans une étude séparée, l'infection par la rouille diminue l'activité du ribulose 1-5 biphosphate carboxylase dans les feuilles de blé (Wrigley et Webster, 1966) mais elle n'a qu'un faible effet sur la phosphorylation des plantes d'avoine (Wynn, 1963). Au dernier stade de l'infection, la photosynthèse peut être réduite par la dépression de l'activité et de la structure des chloroplastes ou l'inhibition de l'activité des enzymes intervenant dans le cycle de Calvin (Buchanan *et al.*, 1982, 1991 ; Ahmed *et al.*, 1983 ; Hutchison et Buchanan, 1983 ; Scholes et Farrar, 1985 ; Gordon et Duniway, 1982b) montrent cependant que les réductions de conductance stomatique ne jouent qu'un rôle limité sur l'activité d'assimilation et que les processus mésophylliens conduisant à l'assimilation nette de CO₂ sont perturbés soit par le biais d'une augmentation de la respiration ou de la photorespiration, soit par le biais d'une diminution de la capacité à fixer CO₂.

Les réactions aux parasites nécrotrophes sont moins bien connues, mais il est prévisible que l'apparition des mouchetures nécrotiques provoquées par ces parasites sur les limbes foliaires provoquent une réduction de l'assimilation photosynthétique, ceci est observé par Garry (1996), dans l'étude de l'Anthracnose à *Mycosphaerella pinodes* sur la synthèse des assimilats carbonés et azotés du pois protéagineux. D'une manière similaire Madeira et Clark (1994), montrent que les lésions nécrotiques retenues sur feuilles interceptent la lumière sans contribuer à la photosynthèse. Cependant, sur des feuilles de pois et d'orge infectées par l'oïdium (*Erysiphe pisi* et *Erysiphe graminis f.sp hordei*, respectivement), Williams et Ayres (1981), suggèrent que la photosynthèse nette se trouve initialement stimulée. Ce comportement est attribué à une augmentation de la synthèse du ribulose 1,5 biphosphate carboxylase et l'activité d'autres enzymes responsables de la fixation de carbone.

Sous des conditions de stress hydrique Shtienberg *et al.* (1990), trouvent que l'activité photosynthétique des feuilles du blé légèrement infestées par *mycosphaerella graminicola* (1 à 5% de sévérité) est plus élevée que celles des plantes saines. De même Murray et Walters (1992), observent une activité photosynthétique accrue dans les feuilles des étages supérieurs de plantes de fève dont les étages inférieurs sont attaqués par la rouille brune comparant à celle des feuilles de plantes saines. Paul et Ayres (1984), montrent aussi que la photosynthèse peut être stimulée temporairement dans les jeunes feuilles qui émergent après l'infection de *Senecio vulgaris* par la rouille (*Puccinia lagenophorae* Cooke).

Conséquences sur la respiration

La respiration est un processus catabolique qui permet à partir des substances respiratoires, en particulier les glucides et l'oxygène entrant dans la plante de fournir l'énergie nécessaire au maintien et à la croissance des structures. Elle est proportionnelle à la photosynthèse et à la masse de matière sèche (M) du végétal selon la relation proposée par McCree (1974).

$$R = aP + bM$$

Elle est divisée d'une manière simple en la respiration de croissance ($R_c=aP$), qui correspond à l'énergie de transformation des assimilats primaires de photosynthèse, et la respiration d'entretien ($R_m=BM$) des tissus existants qui représente l'énergie nécessaire à la synthèse des molécules protéiques (Barnes et Hole, 1978).

La respiration de croissance constitue la fraction la plus importante au stade initial de développement de la plante. La respiration d'entretien voit son importance croître au fur et à mesure que la plante augmente sa biomasse jusqu'au moment de la sénescence où elle devient la composante principale de la respiration totale. Au cours de la vie de la plante la respiration consomme un quart à deux tiers des assimilats totaux (Bolano et Hsiao, 1991). Du fait que la plupart des réactions chimiques impliquées dans les processus de respiration sont enzymatiques et sachant que la fonction et la structure des enzymes sont affectées par l'état hydrique que sanitaire de la plante, la respiration est soumise à la régulation des tissus. A la suite de l'inoculation, le taux de respiration doit être suffisant pour supporter la croissance de l'agent pathogène et les réponses de défense de la plante. Au début de l'infection par un parasite biotrophe, la respiration augmente, atteignant un maximum au moment de la sporulation pour baisser ensuite. Cette augmentation résulte d'une part du développement de l'agent pathogène au dépend de la plante, d'autre part la plante réagit à l'infection par une série de modifications qui consiste en la sécrétion des phytoalexines. Alors que l'augmentation de la respiration chez les plantes infectées par des champignons nécrotrophes, beaucoup plus rare, est due en général à l'effet d'une toxine (Daily, 1976).

Junghanns (1994), met en évidence que la majorité de l'augmentation de la respiration observée dans les feuilles infectées est probablement due à la croissance du mycélium. Chez une variété de blé sensible au virus jaune de naineté de l'orge, Jensen et Van Sembeck (1972), observent une stimulation de 30% de la respiration. La majorité des blessures et des infections est ainsi associée à une augmentation de la respiration nocturne de l'hôte qui produit le carbone squelettique et l'énergie nécessaire à la défense et la remise en état (Halverson et Stacey, 1986 ; Buchanan *et al.*, 2000).

Conséquences sur la transpiration

Les causes de la modification de la transpiration des tissus parasités varient d'une part selon le type de parasitisme, les parasites biotrophes se développant au détriment des tissus vivants et les parasites nécrotrophes altérant les structures de l'hôte pour se nourrir des tissus morts. Par ailleurs, la transpiration dépend du développement de l'agent pathogène selon que celui-ci est endophyte (perçant la membrane des cellules) ou exophyte (se développant à la surface).

La transpiration est donc amenée à augmenter, diminuer ou ne pas changer à la suite de l'infection. L'attaque de la rouille brune sur blé comme sur maïs produit des réponses proportionnellement moindres que l'augmentation de la surface visiblement atteinte. Ainsi lors d'une légère infection (sévérité inférieure à 10%), le taux de transpiration des plantes malades est légèrement plus faible que celles saines. En revanche, en présence d'une sévérité élevée, la transpiration augmente dans les feuilles malades (Shteinberg, 1991a et b).

D'autres observations, décrites par McGrath et Pennypacker (1990), montrent que la rouille sur le blé provoque jusqu'au moment de la sporulation, où les stomates sont bloqués par les hyphes, une réduction de la transpiration. Au-delà, les pertes d'eau deviennent de plus en plus exagérées à la fois au niveau des déchirures de la cuticule suite à l'éclatement des spores et au niveau des stomates qui peuvent, sous l'accumulation pathologique des cytoquinines, demeurer ouverts même à l'obscurité ou

sous des conditions de stress hydrique dans le cas de l'oïdium, l'infection provoque une réduction des pertes d'eau qui résulte de la limitation des surfaces transpirantes par le mycélium épiphytique

L'intensification de la perte d'eau en raison de l'attaque par des agents pathogènes foliaires peut être attribuée fréquemment à la rupture épidermique suite à la sortie des formes d'infection endophytes (Spotts et Ferree, 1979; Tissera et Ayres, 1986), de l'inhibition de la fermeture stomatique (Turner et Graniti, 1969) ou de la perte directe par le parasite et l'augmentation de la perméabilité des tissus suite à la sécrétion d'enzymes ou des toxines fongiques (Arntzen *et al.*, 1973). Cette intensification est plus remarquée à l'obscurité qu'à la lumière. Cependant, la réduction de la transpiration est induite par la fermeture stomatique suite à l'attaque, l'intoxication des cellules hôtes et des stomates (Duniway and Durbin, 1971 ; Turner and Graniti, 1969 ; Goodman *et al.*, 1986).

A l'échelle de la plante, Shtienberg (1992), trouve que cette réduction est causée par la défoliation et le dessèchement foliaire précoce et par la perte de la capacité de transpiration provoquée par la mort des cellules suite à leur traversée par les structures fongiques et aux réactions de la plante.

Effets sur le métabolisme des hydrates de carbone

L'eau et les éléments minéraux absorbés par les racines, transitent à travers les vaisseaux du système de la tige vers les feuilles où ils sont utilisés pour la synthèse des substances organiques synthétisées qui sont à leur tour transportées et distribuées à toutes les cellules de la plante par l'intermédiaire des vaisseaux du phloème. Cependant, de nombreux organismes phytopathogènes se nourrissent de la sève ou du phloème en entier ; ce qui se traduit directement par une réduction de la croissance des différents organes de la plante souffrant d'un déficit en substances réduites (Agrios, 1978, 2005).

Rappilly (1991) rapporte, que le parasite acquiert ses nutriments à partir des assimilats solubles de l'hôte. Les haustoria envahissent les cellules et transportent activement les nutriments de l'hôte à travers ses membranes ; l'agent pathogène se comporte donc comme un puits supplémentaire pour la plante où il accumule les hydrates de carbone. Plusieurs auteurs signalent que le saccharose, le glucose et le fructose augmentent fortement dans les feuilles de céréales infectées par les rouilles avant la sporulation du champignon et diminuent rapidement après. (Bushnell et Gay, 1978 *in* Alloui 1995; Sind Lar, 1985). Toutefois, on estime que l'augmentation de sucre peut être liée à des réactions de défense chez la plante hôte (Stoll *et al.*, 1988).

Effets sur le métabolisme des protéines

Les changements notés dans les teneurs en acides aminés et en amines des tissus infectés par des rouilles révèlent qu'une grande partie de ces composés est disponible pour la nutrition du pathogène. Selon Bushnell (1984), pendant la réponse juvénile de l'hôte, ces composés sont synthétisés localement (au niveau du site d'infection) à partir des photosynthèses et de l'ammoniac; plus tard au stade autolytique des quantités importantes d'acides aminés et d'amines proviennent de la dégradation des protéines de l'hôte par les enzymes protéolytiques produites par le pathogène. Le même auteur trouve que dans les tissus de blés infectés par les rouilles notamment pendant les premiers jours après l'inoculation, certains acides aminés tels que la glutamine, l'asparagine, l'arginine et bien d'autres peuvent augmenter. Comme il a démontré que pour subvenir à ses besoins en azote *Puccinia graminis* exige de l'ammoniac, de l'acide aspartique et de la glutamine.

Marclean (1982) et Bushnell (1984), rapportent que la quantité totale de protéines dans les tissus des céréales infectées par des rouilles augmente parfois de 20 à 25% dans les premiers jours après l'inoculation, puis décroît après la sporulation où une quantité importante des protéines peut être perdue suite à l'autolyse des cellules infectées ou à l'utilisation par le pathogène. Parmi les acides aminés, la proline est celle dont la teneur augmente dans les plus grandes proportions sous l'effet d'un stress. La proline est néoformée à partir de l'acide glutamique participant au cycle de Krebs.

La proline a été découverte en 1900 par Willstetter au cours d'un dosage de l'ornithine. Elle a été extraite pour la première fois des hydrolysats acides de caséine par (Emil Fisher en 1901 in Guettouche, 1990). Depuis on s'intéresse à son rôle aussi bien chez les hommes que chez les végétaux. Chez ces derniers, il est démontré selon les conditions du milieu que l'accumulation de la proline varie d'une espèce à l'autre et même à l'intérieur d'une même espèce (Goring et Plescher, 1986).

Selon Perdrizet et Martin (1960), la proline s'accumule également dans d'autres cas liés à des phénomènes de jaunissement (maladie virale).

Mac Lean (1982), signale que la gentamine, acide aminé qui intervient dans la synthèse de la proline est probablement l'acide aminé le plus utilisé par les rouilles dans les tissus de l'hôte. La proline est la source préférée d'azote pour *Puccinia graminis*, comme elle joue le rôle de précurseur pour la synthèse de la chitine du champignon.

Effets sur le rendement de la culture

Tous les auteurs s'accordent généralement pour reconnaître que les maladies cryptogamiques sont responsables de dégâts affectant aussi bien la quantité que la qualité du grain (Shtienberg, 1991a). D'après certains auteurs comme Bogdan (1984) ; Long *et al.* (1994) et Carver *et al.* (1994), les rouilles provoquent des pertes considérables dans le rendement. Ceci résulte de l'action du pathogène sur les différents composants, sur le nombre d'épis par pied, nombre de grains par épi, et poids de 1000 grains (Rapilly *et al.*, 1971 ; Shtienberg, 1984 ; Dyck et Lukow, 1988).

Effets sur la reproduction

Roelfs *et al.* (1992), signalent que les pertes de rendement causées par la rouille brune du blé sont attribuées à une réduction des fleurs. Chez le blé où le développement des fleurs se fait tôt, l'altération du processus photosynthétique ou de translocation de l'eau due à l'infection précoce de rouille noire peut réduire le nombre de fleurs fertiles ou même stériliser le plant (Horsfall *et al.*, 1978).

Effets sur le développement du grain

Chez les variétés de blé inoculées avec la rouille noire, il a été remarqué un arrêt du développement du grain lorsque l'infection atteint 56 à 87% (Van Der Plank, 1963).

D'autres auteurs signalent une réduction du nombre de grains par épis avoisinant les 80% quand les deux dernières feuilles sont atteintes (feuille étendard).

Effets sur les caractères agronomiques de la plante

L'infection par les rouilles agit sur les caractères agronomiques de la plante en particulier entre l'épiaison et la maturité (Knott, 1993). Elle provoque une réduction du système racinaire, une diminution du tallage et par conséquent une réduction du nombre d'épis par plant (Rapilly *et al.*, 1971).

Effets sur la qualité du grain

Rapilly *et al.* (1971), montrent que chez les céréales infectées par des rouilles, le poids de 1.000 grains peut être abaissé de 40%.

5. Méthodes de lutte contre les agents pathogènes

Pour lutter contre les maladies des plantes, les phytopharmaciens indiquent que tout programme phytosanitaire devrait comprendre trois grandes parties :

- ✓ Evitement du pathogène,
- ✓ Elimination et destruction du pathogène,
- ✓ Développement des hôtes résistants.

Ainsi plusieurs règles sont préconisées:

- Etablir la culture à partir d'organes de propagation sains: ceci par utilisation des traitements physiques (Thermothérapie), chimiques (Pesticides) ou biologiques (culture de méristèmes) en fonction de l'organe à traiter ou l'agent à combattre (Semal, 1989).
- Placer les organes de propagation ou les graines dans un substrat sain: l'état sanitaire des substrats peut être contrôlé par des méthodes culturales (rotations, fumure adaptée, contrôle de l'eau), physiques (stérilisation par surface foliaire affectée par le pathogène ainsi que du site d'infection).

5.1 Mesure prophylactique

Il s'agit de la destruction des sources possibles (graminées spontanées atteintes hôtes écidies de la rouille du blé) et de réaliser des conditions peu favorables au développement de la rouille du blé (Eliard, 1979 *in* Belabid, 1993).

Les débris de plantes malades aussi, les adventices sont susceptibles de produire un inoculum capable d'attaquer les plantes cultivées saines placées dans un substrat sain.

En vue de limiter ces sources potentielles de contamination plusieurs méthodes préventives peuvent être utilisées, notamment la destruction par le feu des débris végétaux infectés par leur enfouissement dans le sol, l'élimination des plantes adventices ou des hôtes alternatifs (Van Der Plank, 1963).

Cependant, pour les rouilles hétéroiques, l'éradication des hôtes écidies qui a été conseillée n'a pas supprimé les épidémies, elle a seulement retardé leur apparition de quelques jours (Rapilly *et al.*, 1971).

5.2 Lutte culturale

Certaines techniques culturales peuvent parfois limiter le développement des rouilles. Le semis tardif par exemple peut empêcher des contaminations, par contre une forte densité de semis peut créer un microclimat humide favorisant les maladies, de même les épandages tardifs de fumure azotée augmentent la susceptibilité des plantes aux maladies notamment les rouilles (Rapilly *et al.*, 1971).

5.3 Lutte génétique

Les progrès réalisés dans la lutte contre les rouilles des céréales sont indissociables des progrès réalisés en génétique (Anonyme, 1987). C'est le moyen de lutte le plus développé puisqu'il est efficace, économique et facile à obtenir (Messiaen, 1981 *in* Belabid, 1993). Donc, c'est la méthode retenue de préférence, dans la mesure du possible son principal

objectif est d'obtenir un rendement élevé, en réduisant au minimum les pertes de biomasse. Celles-ci étant en grande partie imputables aux maladies.

Selon Rapiilly *et al.* (1971), la plupart des techniques reposent sur l'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes. En effet, ce type de lutte constitue la solution la plus simple et souvent la moins coûteuse pour lutter contre les maladies des plantes (Semal, 1989), alors que Seilleur (1989), la considère moins astreignante pour l'agriculteur et la moins polluante. En définitive, la seule méthode de lutte pratique est l'adoption de variétés résistantes obtenues par hybridations (Clement et Prats, 1971 ; Goodman et Novacky, 1994) et / ou par mutation (Belabid, 1993) ou par variétés à multilignées (Zillinsky, 1983). Ces variétés résistantes seront ensuite étudiées au point de vue de leur comportement à l'égard des autres affections du blé, de leur résistance physiologique de leur valeur culturale et alimentaire (Masson, 1949). Malheureusement, il s'avère que le caractère de résistance est un caractère régressif, difficile à faire apparaître dans la descendance des croisements (Clement et Prat, 1970 ; 1971).

Aussi Frasele (1989), rapporte que si certaines résistances se montrent très stables, d'autres sont moins durables comme les résistances des céréales à l'oïdium, aux rouilles et à d'autres maladies foliaires par exemple.

5.4 Lutte biologique

Dans son sens strict, elle consiste à l'utilisation d'êtres vivants en vue de réduire ou empêcher les pertes ou les dommages causés par divers organismes (Simon *et al.*, 1994). L'étude de l'action de certaines bactéries sur la germination des urédospores des rouilles des céréales a été étudiée la première fois par Morgan en 1963 qui a isolé une bactérie *Bacillus pumilus* et qui a donné de bons résultats.

Certaines bactéries vivant à la surface des feuilles du blé, empêchent la germination des urédospores de rouilles ou occasionnent la production de tubes germinatifs courts et normaux, d'où la possibilité d'utiliser de telles bactéries (*Bacillus sp.* ; *Pseudomonas sp.* ; *Falvobacterium* et *Corynebacterium*) comme agents de lutte biologique (McLaughlin et Manners, 1984 *in* Belabid, 1993) ; Alliou, 1997).

Il est possible de rattacher à cette catégorie les biopesticides comme toxines de *Bacillus thuringiensis* (Simon *et al.*, 1994).

5.5 Lutte chimique

Depuis la découverte de la bouillie bordelaise (fongicide à base de sulfate de cuivre et de chaux) par Millardet vers 1870, la protection des cultures par dépôt externes de substances fongicides s'est développée sur une échelle (Alliou, 1997).

L'idée de lutter avec les produits chimiques contre les maladies des céréales est fort ancienne. Ainsi, en France, en 1930-1935, on utilisait l'acide sulfurique. D'autre part, aux USA des pulvérisations foliaires de sulfanate de calcium, de sulfamides de phénylhydrazine et de sels de Nickel ont montré des résultats encourageants contre certaines rouilles (Leroux, 1973). Les études concernant la lutte chimique contre les rouilles du blé sont très récentes, bien qu'elles aient donné de bons résultats. Elle demeure la plus coûteuse de la céréaliculture (Dickson, 1959 ; Moussaoui, 2001). Les composés organiques tels que les sels de nickel, le sulfate de zinc, les fongicides dithiocarbonates, le manébe, le mancozébe, et le zinebe ont donné de bons résultats sur la rouille brune du blé (Rowell, 1985 ; Leroux, 1973) et ils ont été employés avec succès au Japon (Mundkua, 1967 *in* Belabid, 1993).

6 Les fongicides

6.1 Définition

Les fongicides représentent l'ensemble des substances actives contre les champignons, certains chercheurs classent également dans cette catégorie, les produits ayant une action contre les bactéries, virus ou mycoplasme, c'est le groupe de pesticide le moins utilisé de part par le monde (Simon *et al.*, 1994; Rocher, 2004).

Les fongicides sont des substances chimiques ou biologiques qui tuent ou neutralisent les champignons pathogènes, sont appelés aussi mycocides ou produits antifongiques, qui peuvent être de nature abiotique (produits chimiques) ou biotique (bactérie, champignon), les fongicides chimiques sont de loin les plus utilisés et sont le plus souvent de nature synthétique.

Selon Simon *et al.* (1994) et Leroux (2003b), plusieurs types de traitement peuvent être distingués selon les positionnements des fongicides :

S'il est placé avant la germination du champignon on parle de traitement préventif. Il s'applique aussi pendant l'incubation de la maladie.

S'il survient après l'apparition des symptômes, il s'agit d'un traitement éradiquant ou encore curatif après développement des champignons dans la plante. Il a pour objectif de stopper une maladie déjà déclarée.

Certains produits antimycosiques sont à la fois préventifs et curatifs et permettent de ce fait un meilleur contrôle de la maladie. Les fongicides chimiques sont commercialisés sous l'une des formes suivantes : poudre mouillable, suspension concentrée, granule à disperser, concentré soluble ou liquide, tous se caractérisent par une ou plusieurs matières actives qui sont à l'origine même de l'efficacité de produit contre l'agent fongique.

6.2 Caractéristiques des fongicides

6.2.1 Familles ou groupes chimiques des fongicides

Selon Simon *et al.* (1994); Leroux (2003a), les principales familles ou groupes chimiques des fongicides sont :

Les carbamates : on peut les subdiviser en dérivés de l'acide carbamique et de l'acide dithiocarbamique, les premiers sont des fongicides systémiques regroupant essentiellement les Benzimidazoles, les deuxièmes sont des fongicides de contact.

Dérivés de l'acide carbamique

Les Benzimidazoles :

les Azoles tels que les Propiconazoles, Cyproconazoles et les Flusilazoles.

Les Carbendazimes :

Ils sont absorbés par les organes verts mais aussi par les racines des végétaux, et sont véhiculés par le courant de la sève brute.

Le Thiophanateméthyle :

Il se décompose en Carbendazime s'il est stocké trop longtemps, avec un mode d'action très voisin. Dérivé de l'acide Dithiocarbamique, il constitue un groupe très important, ils sont dotés d'un mode d'action qui les rend très peu phytotoxiques, parmi ce groupe on distingue :

Le Thirame :

qui s'utilise en traitement des semences, contre les pourritures,...

Le Maneb, le Mancozeb, le Zineb et le Ferbame, agiraient en libérant des composés mutagènes.

Les Dicarboximides :

ce groupe comprend les Phthalimides et les Hydantoïnes constituant un ensemble de produit de contact ayant une Polyvalence d'action intéressante.

L'Iprodine et la Vinclozoline parmi les Dicarboximides des céréales ; ont une utilisation beaucoup plus spécifique, ils agissent essentiellement sur la mitose et la synthèse de l'ADN (Rocher, 2004).

Les Hétérocycles :

selon Leroux *et al.* (2000) ; Debieu *et al.* (2001), il existe divers inhibiteurs de la biosynthèse de l'ergostérol :

Les Triazoles :

Ils constituent l'un des groupes des fongicides les plus employés, ce sont des produits systémiques à site d'action très précis (s'utilisent contre les rouilles, oïdium,...). Les Morpholines (Fenpropimorphe,...). Trois d'entre elles sont toutefois des fongicides de contact : le prochloraze (imidazole), le bitertanol et le difénoconazole (triazoles).

Les Imidazoles :

parmi ce groupe on trouve les dérivés du benzène et les dinitrophénols :

Les dérivés du benzène :

parmi eux le quintozone utilisé contre la carie du blé, et le chlorothalonil efficace sur les septérisées, ils agissent par contact et sont très peu toxiques.

Les dinitrophénol :

le dinocap et binapacryl, agissent en empêchant la formulation de réserve énergétique par les cellules des champignons.

6.2.2 Comportement des fongicides au niveau de la plante

Selon Couvreur (2002), les fongicides peuvent être répartis en trois catégories principales, en fonction de leur comportement au niveau de la plante : contact, pénétrant ou systémique :

6.2.2.1 Les produits de contact ou de surface

Ces derniers ont une activité antifongique liée exclusivement à la fraction présente au niveau des barrières externes des plantes (cuticule pour les parties aériennes) et ne subissent pas de transfert interne. Ils ne peuvent pas franchir la barrière de la cuticule restant à la surface du végétal (Figure 1). Exp. : les chlorothalonils, les dithiocarbamates et les famoxadone.

6.2.2.2 Les produits pénétrants

Après un transfert limité dans les plantes (sans translocation par le xylème ou le phloème), ces produits sont susceptibles d'inhiber un parasite présent dans les tissus végétaux, cette propriété est à l'origine de leur activité curative vis-à-vis des

champignons parasites (Figure 2). Ils sont pénétrants à l'intérieur de la plante sans transport ultérieur exp : le Krésoxin-méthyl, triphloxystrobine et les pyriméthanil.

6.2.2.3 Les produits systémiques

D'après Couvreur (2002), après la translocation dans le système vasculaire *via* le xylème et/ou le phloème, ils peuvent inhiber un parasite présent lors de la zone traitée. L'absorption foliaire est comme dans le cas du pénétrant, un phénomène de diffusion passive, définie comme le mouvement des produits chimiques de la surface de la feuille à travers la cuticule jusqu'à l'intérieur de la plante (Figure 3).

Selon Simon *et al.* (1994), les fongicides systémiques pénètrent dans la plante et agissent, après leur transport par la sève. Ces derniers sont classés en deux types :

Les fongicides systémiques locaux dits trans-laminaires ; ils sont absorbés par la feuille ou la partie racinaire sur laquelle ils ont été appliqués sans pour atteindre les autres feuilles ou organes. Les parties qui ne reçoivent pas des traitements et celles nouvellement émergées, ne sont pas protégées.

Les fongicides systémiques typiques, sont absorbés par les feuilles, les tiges ou les racines et sont ensuite répartis au niveau de toute la plante par le biais de ses tissus conducteurs ce qui permet la protection des parties non traitées et celles émergées après l'application du fongicide.

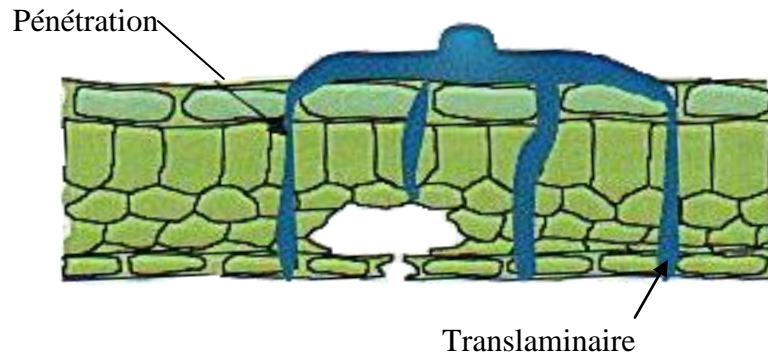


Figure 1. Action du fongicide par pénétration (Couvreur, 2002). Pénétration de la matière active vers les assises cellulaires sous-jacentes (produits pénétrants).



Figure 2. Action du fongicide par contact (Couvreur, 2002).

La matière active ne franchit pas la cuticule et agit uniquement sur les organes externes du champignon (spores-appressoria).

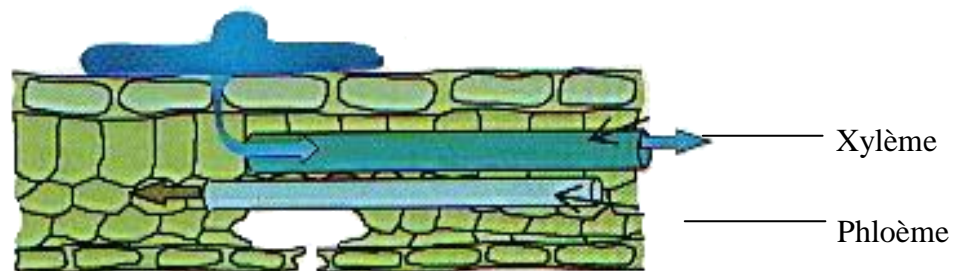


Figure 3. Action systémique du fongicide (Couvreur, 2002).

Pénétration par la cuticule, puis déplacement uniquement par la sève brute (xylème). La systématique vers le bout des feuilles est dite " ascendante ou acropète". L'élément "moteur " du déplacement est l'évapotranspiration.

6.2.3 Redistribution d'un fongicide au niveau de la plante

La redistribution des produits après son application est un des facteurs importants de l'efficacité des fongicides. Elle permet de contrôler le pathogène au-delà du point d'application, sur les parties du végétal non exposées à la pulvérisation, sur la nouvelle pousse ou encore à l'intérieur du tissu. Elle peut se faire à l'intérieur et l'extérieur de la plante (Couvreur, 2002). (Figure 4).

6.2.3.1 Redistribution à l'intérieur des plantes

Lorsque un fongicide est pulvérisé sur une feuille, il se trouve au contact de la cuticule qui est un revêtement protecteur lipidique des végétaux supérieurs. Le transport de la matière active *via* les vaisseaux conducteurs de la sève brute (xylème) et plus rarement par les vaisseaux conducteurs de la sève élaborée (phloème).

6.2.3.2 Redistribution à l'extérieur des plantes

Elle se fait par l'intermédiaire de la pluie, de la rosée et également par voie gazeuse (ou voie vapeur) (Figure4).

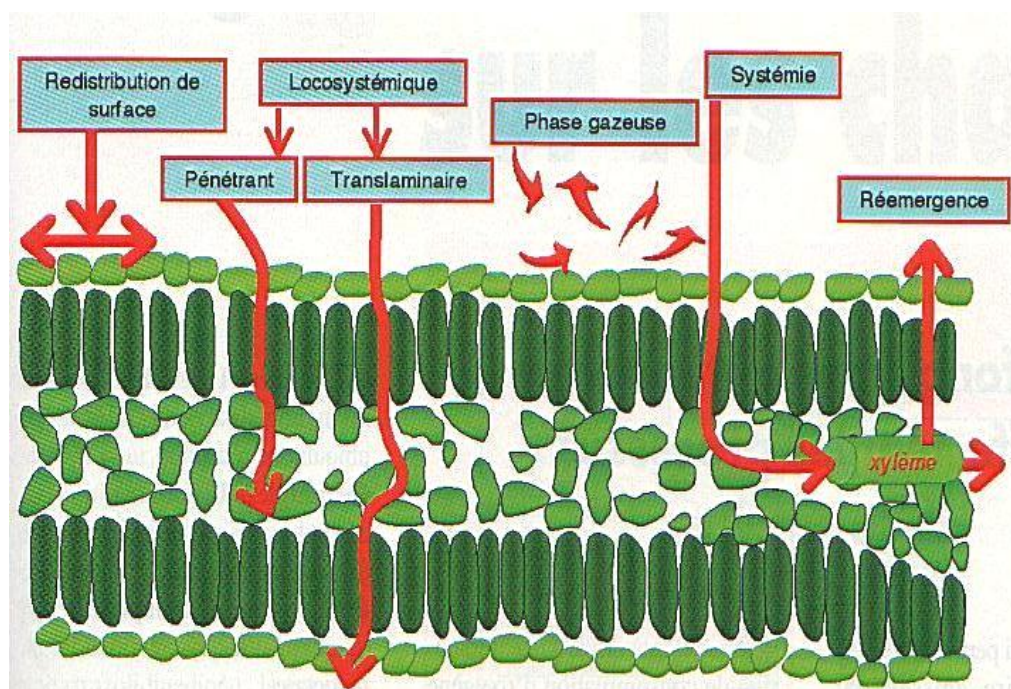


Figure 4. Déplacement et distribution des fongicides au niveau de la plante. (Couvreur, 2002).

6.2.4 Spécificité ou site d'action

Selon Simon *et al.* (1994), on distingue deux types de fongicides selon leur site d'action ; les fongicides à site unique (les unisites) et ceux à site multiple (les multisites) :

Les fongicides à site unique (Uni sites)

Agissent contre un point précis et bien déterminé. C'est le site primaire, à partir de là, une réaction en chaîne peu s'enclencher entraînant de nombreuses perturbations du métabolisme. Ces fongicides sont connus sous le nom d'agent spécifique (Exp. : les triazoles, les strobilurines).

Les fongicides à site multiple (les multisites)

Il s'agit de la première classe de fongicides apparus dès le XIXe siècle, aux prémices de la lutte chimique. Ces composés inhibent simultanément plusieurs fonctions essentielles du champignon ; ils n'ont pas de cible enzymatique spécifique. De ce fait, on n'observe pas ou très peu de résistance de champignons vis-à-vis de ces molécules (Leroux, 2003 a). Les produits multi-sites sont utilisés soit en pulvérisation sur le feuillage des cultures, soit en traitement des semences. Ils inhibent plus particulièrement la germination des spores. Du fait de leur faible rémanence, leur application doit être régulièrement renouvelée. Plusieurs familles chimiques appartiennent à cette catégorie.

Les substances minérales

Ces matières minérales, à base de cuivre (bouillie bordelaise, bouillie bourguignonne, oxychlorure de cuivre) ou de soufre, ont permis la lutte contre les mildious et les oïdiums. Les produits cupriques sont par ailleurs également utilisés contre les phyto bactérioses. Quant à l'arsénite de sodium, il a été longtemps utilisé pour lutter efficacement contre l'esca de la vigne, ceci jusqu'en 2003, date à laquelle il a été retiré de la vente. Ils sont moins spécifiques, ils agissent au niveau de plusieurs sites. Ils possèdent l'avantage de ne pas développer de phénomène de résistance, et représentent les produits les plus utilisés (un bon marché).

Les substances organiques

Après la seconde guerre mondiale, l'essor de l'industrie chimique a conduit à la synthèse de nombreux fongicides organiques multi-sites. Ce sont tout d'abord les organomercuriques et les organostanniques (acétate de fentine, hydroxyde de fentine) qui ont été retirés du marché en 2003. Des phénomènes de résistance vis-à-vis de ces produits avaient été observés. Les dithiocarbamates (mancozèbe, manèbe, zinèbe, zirame, thirame...) sont des produits non phytotoxiques et même activateurs de croissance des plantes. Dotés du même mode d'action polyvalent, les chloronitriles (chlorothalonil) sont toujours commercialisés. Il en est de même pour les phtalimides (captane, folpel), les sulfamides (tolylfluanide) et les guanidines (doguadine). En revanche, une triazine, l'anilazine n'est plus commercialisée depuis janvier 2003 (Rocher, 2004).

Substances inhibitrices de la respiration mitochondriale

Les processus respiratoires correspondent chez les champignons et plus généralement chez les Eucaryotes au catabolisme oxydatif des glucides, lipides et protéines. Ces mécanismes enzymatiques génèrent une source d'énergie à l'organisme, essentiellement sous forme d'ATP. De nombreux fongicides (environ un tiers) ont pour cible les mitochondries et de ce fait sont de bons inhibiteurs de la germination des spores des champignons.

Inhibition du complexe III (cytochrome bcI)

Ces inhibiteurs se fixent sur le cytochrome bcI, soit sur la face interne au niveau de l'ubiquinone réductase, soit sur la face externe au niveau de l'ubiquinol oxydase. Le cyazofamide, un cyanoimidazole, se fixe sur la face interne du complexe. Il est utilisé pour lutter contre le mildiou de la tomate et de la pomme de terre. À ce jour, aucun

phénomène de résistance n'a été rapporté pour ce composé. Il n'en va pas de même pour les inhibiteurs qui se fixent du côté externe du complexe ; ceux-ci engendrent des problèmes de résistance chez de nombreux champignons cibles (Leroux, 2003 a).

6.3 Mode d'action des fongicides

Pour croître et se développer, un champignon a besoin de réaliser un certain nombre de fonctions, en particulier il doit produire de l'énergie (la fonction de respiration fournit des molécules riches en énergie), avoir des échanges avec l'extérieur (le phénomène de perméabilité contrôle l'entrée et la sortie de l'eau et des substances nutritives à travers les membranes cellulaires). Il doit également produire certaines molécules indispensables à sa survie. (Simon *et al.*, 1994 ; Couvreur, 2002).

Selon Simon *et al.* (1994) et Leroux (1999), les principaux modes d'actions vont avoir des conséquences sur ces différents processus. Ils relèvent de la manière dont ils affectent et contrôlent les champignons pathogènes.

Les fongicides ont pour rôle :

- ✓ De perturber la respiration (activer la respiration sans production d'ATP).
- ✓ D'empêcher la synthèse des parois et plus particulièrement les stérols qui sont des composés lipidiques essentiels aux membranes cellulaires du champignon.
- ✓ D'empêcher la réalisation de la mitose chez certains champignons
- ✓ D'agir sur les précurseurs des acides nucléiques prenant la place des bases hétérocycles de l'ADN et de l'ARN. (Figure 5).

Couvreur (2002) et Leroux (2002, 2003 b), classent les fongicides selon leurs modes d'action en :

Fongicides anti-énergie affectant les processus respiratoires

- Exp. : - Multisites : dithiocarbamates, phtalonitriles, et autres
- Complexe mitochondriales : strobilurines,

Fongicides anti-glucides : Ils agissent sur les synthèses, les tréhalases, les polyols et osmorégulation). Exp. : - Dicarboximides, Phénylpyrroles,...

Fongicides anti-lipide : (affecte les acides gras, phospholipides, les stérols, ...).

- Exp. : Les Triazoles, les Imidazoles,

Fongicides anti-acides nucléiques, anti-acide-aminés et protéines.

Fongicides anti-microt Exp. : Krésoxin-méthyl, triphloxystrobine et les pyriméthanilubiles.

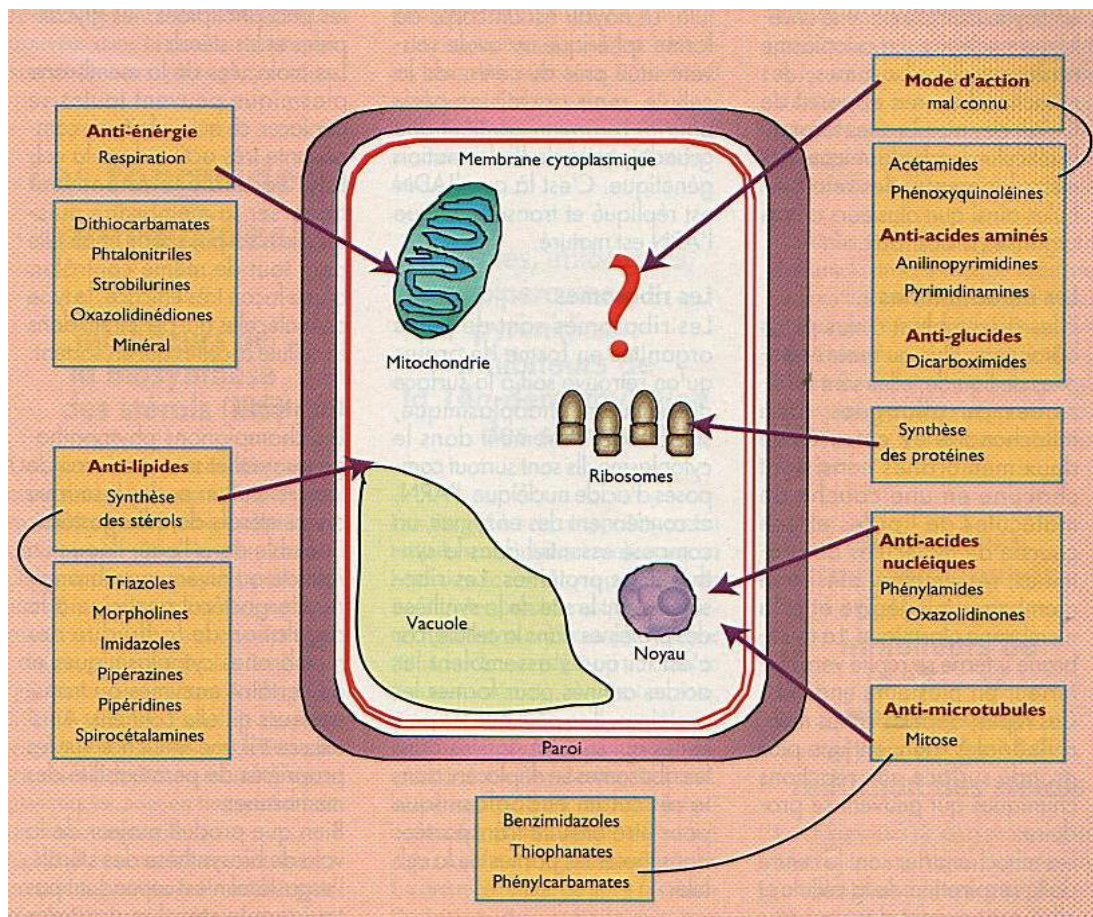


Figure 5. Modes d'action biochimiques des fongicides céréales. (Couvreur, 2002).

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

1. Matériel

1.1 Matériel végétal

Pour les deux campagnes, notre étude a porté sur deux variétés de blé dur (*Triticum durum*): GTA dur et BIDI 17 ayant des origines géographiques différentes et présentant des tolérances aux maladies différentes également. Le tableau 2 présente les origines respectives et une fiche descriptive des deux variétés.

Tableau II. Origines et caractéristiques des variétés de blé utilisées (Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006)

Génotype	Origine	Caractéristiques Agronomiques	Comportement à l'égard des maladies
BIDI 17	-Sélection dans la population locale. -Sélection ITGC Guelma	-Semi-tardive. -Productivité moyenne. -Paille haute.	-Peu sensible à la rouille brune et noire, à la septoriose et à la fusariose. -Modérément tolérante à la rouille jaune.
GTA dur	-ICARDA	-Bonne productivité. -Paille moyenne.	-Moyennement tolérante aux rouilles.

1.2 Matériel chimique

Le fongicide utilisé durant les deux campagnes est l'ARTEA 330 EC ; c'est un fongicide foliaire systémique à large spectre pour le contrôle de l'oïdium, la septoriose, les rouilles et les maladies de la tache de la feuille sur céréales (Carter, 1987). Il est présenté sous forme de liquide de couleur marron clair ; sa matière active est composée de :

80 g/l cyproconazole.

250 g/l propiconazole.

La structure chimique de ces deux molécules est représentée dans les figures 6 et 7.

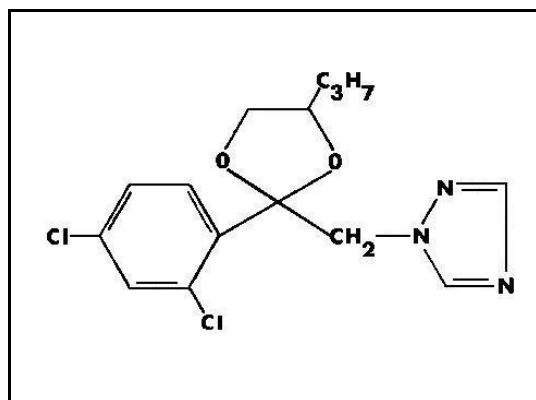


Figure 6. Structure chimique du Propiconazole.

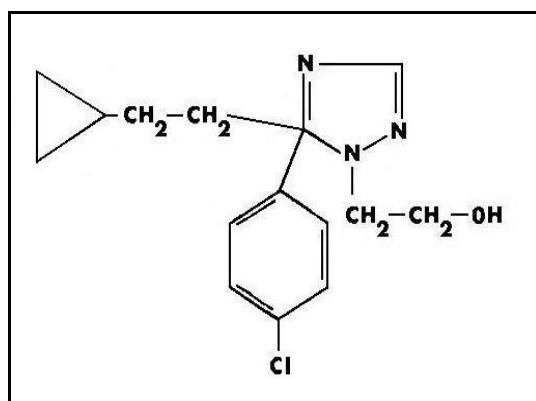


Figure 7. Structure chimique du Cyproconazole

1.2.1 Propriétés physico-chimiques du produit

Propriétés de l'ingrédient actif pur :

- Aspect : liquide limpide et visqueux jaunâtre.
- Masse volumique : 1.25 g/cm³ à 20°C.
- Point d'ébullition : 180°C à 0.1 mm Hg.
- Tension de vapeur : à 20°C : 1.0 x 10⁻⁶ mm Hg (= 1.3 x 10⁻⁴ Pa).
 À 30°C : 3.6 x 10⁻⁶ mm Hg (= 4.8 x 10⁻⁴ Pa).
 À 40°C : 1.1 x 10⁻⁵ mm Hg (= 1.5 x 10⁻³ Pa).
- Volatilité à 20°C : 1.9 x 10⁻⁸ kg/m³.
- Solubilité dans l'eau à 20°C: 110 ppm.
- Solubilité dans les solvants organiques : 100 % dans le méthanol, l'isopropanol, l'acétone, le chlorure de méthylène, le toluène, le n-octanol ; l'hexane à 6 %.
- Valeur de p Ka : environ 1 (base très faible).

Propriétés de l'ingrédient actif (qualité technique)

- Inflammabilité : non inflammable (essai en vase clos négatif jusqu'à 150°C).
- Explosivité : non explosif.

-Pureté : min. 88% (isomères cis/trans).

-Méthode analytique : chromatographie gazeuse (Carter, 1987).

1.2.2 Propriétés biologiques

C'est un fongicide systémique. L'ingrédient actif est absorbé par les feuilles et les tiges et est transporté vers le haut de la plante et dans les zones de croissance.

Il inhibe la croissance des champignons en interférant avec la biosynthèse de l'ergostérol, une partie essentielle du processus métabolique des champignons (Carter, 1987).

1.2.3 Caractéristiques techniques

Il agit de manière systémique, préventive, curative et éradiquante et assure une protection durable.

Il pénètre rapidement dans les tissus verts des végétaux, sa longue durée d'action assure aux céréaliculteurs une protection de quatre semaines.

Il est efficace contre les principales maladies cryptogamiques des céréales et protège les cultures même en temps pluvieux, son application est flexible durant tous les stades de croissance des céréales et assure une protection des parties non traitées de la plante ainsi qu'une meilleure qualité et productivité.

1.3 Présentation des sites de l'expérimentation

Durant l'année 2005-2006, l'expérimentation a été réalisée au niveau de l'exploitation agricole collective « KHROUF Bachir 1-1 » à El-Kerma. Elle se situe dans la plaine d'Annaba à 10 Km au Sud-Est de la ville d'El-Hadjar. Sa latitude Nord est de 36° 46mn N et sa longitude Est est de 7° 38mn E, elle se situe à 28 Km de la mer.

Elle est limitée :

- Au Nord par l'EAC Khrouf Bachir 1-3.
- A l'Ouest par l'EAC Khrouf Bachir 1-2.
- Au Sud par la Propriété privée BENZAMANDOU.
- A l'Est par l'EAC KHROUF Bachir 2-1.

Sa superficie totale est de 20 ha représentant en même temps la superficie agricole utile. Le précédent cultural était la tomate industrielle.

Pour ce qui est de la campagne 2006-2007, l'essai a eu lieu au niveau de l'exploitation privée « Bourdjiba Abderrahmane » située également à El Karma. Cette exploitation se trouve à 06km au Sud-Ouest de la ville d'El Hadjar. Sa latitude Nord est de 36° 46mn N et sa longitude Est est de 7° 38mn E, elle se situe à 24km de la mer.

Elle est limitée :

Au Nord par la propriété privée Aissa Layachi.

A l'Ouest par l'usine METAL STEEL

Au Sud par la propriété privée de Benyagoub

A l'Est par la propriété privée Layachi Aissa .

La superficie totale de l'exploitation est de 300 ha, les céréales occupent une superficie de 185 ha, le reste est occupé par les cultures industrielles tels que la tomate, le coton et le tabac. Le précédent cultural était une céréale.

2. Méthodes

2.1 Conduite de l'essai

Pour les deux essais, avant l'opération semis, un test de germination des semences, à la température ambiante, est réalisé pour déterminer le taux de germination et évaluer le pouvoir germinatif des graines.

2.1.1 Dispositif expérimental

Nous avons adopté le même dispositif expérimental pour les deux essais. Ce dernier est un split plot à trois répétitions et à randomisation totale. Pour chaque variété nous avons quatre parcelles élémentaires de 2 m² chacune: la première traitée avec la dose de 0.5 l/ha du fongicide (D₃), la deuxième traitée avec la dose de 0.4 l/ha du fongicide (D₂), la troisième traitée avec la dose de 0.3 l/ha du fongicide (D₁) et la dernière non traitée par le fongicide qui sera exploitée comme témoin. La figure 8 nous donne un aperçu schématique de la disposition des parcelles élémentaires.

Pour chaque variété, chacune des parcelles élémentaires comprend six lignes de 2 m de long, espacées de 20 cm. La distance séparant deux parcelles élémentaires étant de 1 m. Nous avons espacé les témoins des parcelles traitées de 3 m pour éviter l'effet du fongicide sur les témoins. Pour le premier essai, le semis a été réalisé, le 16 décembre 2005, et la levée a eu lieu 15 jours après, c'est-à-dire vers le 31 décembre. Alors que celui du deuxième, il a eu lieu le 03 décembre 2006. La levée a eu lieu 16 jours après.

Au stade tallage, un désherbage manuel a été effectué pour éviter toutes interactions entre les produits chimiques (Fongicides-herbicides). Tous les stades phénologiques ont été repérés.

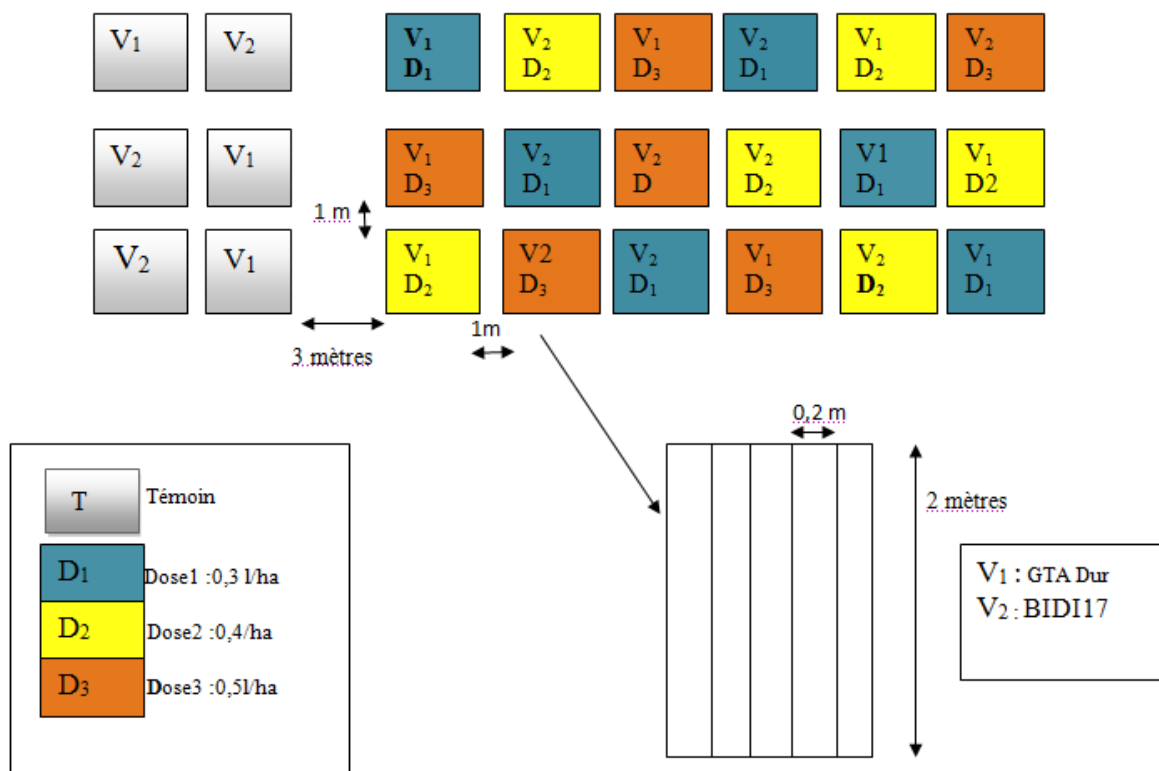


Figure 8. Schéma du Dispositif Expérimental

2.1.2 Technique du traitement

Pour le premier essai, (2005-2006), nous avons prévu d'appliquer deux traitements à deux stades physiologiques différents de la plante ; l'un préventif (au stade fin tallage) début montaison et l'autre curatif (au stade floraison). Néanmoins, nous n'avons pu acquérir le traitement que tardivement (vers la fin du mois d'avril), ce qui nous a obligé à effectuer un seul traitement considéré comme curatif, car les plantes étaient au stade pleine floraison et les maladies étaient bien présentes.

Durant l'année 2006-2007, deux (02) traitements ont été appliqués. Un premier traitement préventif antifongique a été appliqué le 18 janvier 2006, soit 46 jours après le semis ; la plante était alors au stade début montaison, un désherbage manuel a été effectué. Un second traitement curatif a eu lieu à 125 jours après le semis, les plantes étaient au stade début épiaison. A cet effet, trois doses de traitement ont été appliquées, ceci a été valable pour les deux années d'expérimentation.

$D_1 = 0.3 \text{ l/ha}$

$D_2 = 0.4 \text{ l/ha}$

$D_3 = 0.5 \text{ l/ha}$

Pour les deux (2) essais, le traitement a été effectué manuellement, à l'aide d'un vaporisateur d'une capacité de 1,2 litre.

2.2 Notation de la maladie et paramètres mesurés au champ

Pour évaluer le degré d'attaque des maladies sur les différentes variétés de blé dur utilisées, sept lectures simultanées ont été faites (le 15, 22, et 29 avril puis le 06, 13, 20, et le 27 mai).

2.2.1. Sévérité ou intensité de la maladie

Elle présente le pourcentage des tissus atteints par rapport à la superficie totale de la feuille. Cette lecture est faite sur une échelle, qui va de 0 % (pas de pustules) à 100% (forte infection).

Cette échelle a été établie par Campbell *et* Hannah en 1948 et est encore adaptée jusqu'à présent à l'échelle internationale (Abu Blan *et* Duwayri, 1987 ; *in* Kamel, 1994).

2.2.2.Type de réaction

Il présente le résultat des interactions hôte-pathogène et permet de savoir si l'hôte manifeste une réaction de résistance ou de sensibilité, le degré d'attaque de la maladie est donné par la combinaison de deux lectures, sévérité de la maladie et type de réaction, selon Singh (1991), il existe différents types de réactions pour les rouilles décrites par différents symboles :

- (0) Immune : ou aucune lésion n'est apparente sur les feuilles.
- (R) Résistante : présence de nécroses comportant des tâches d'un brun clair, les pustules sont très petites.
- (MR) Moyennement résistante : présence de petites pustules entourées de nécroses.
- (MS) Moyennement sensible : les pustules formées sont de taille moyenne et ne sont pas entourées de nécroses, toute fois des chloroses peuvent apparaître.
- (S) Sensible : les pustules sont de grande taille, peuvent se réunir mais ne sont pas entourées de chloroses.
- (X) Mixte : des pustules de tailles différentes, type résistant ou sensible se trouvent sur les mêmes feuilles ; certaines peuvent être entourées de chloroses ou de nécroses.

2.2.3. Courbe de progression de la maladie

Les lectures pour l'évaluation du degré d'infection de la maladie ont été faites, dès l'apparition de la maladie sur les feuilles.

Le type de réaction des cultivars étudiés est jugé en fonction des sévérités enregistrées.

2.3 Analyses physiologiques et biochimiques

Des échantillons de feuilles ont été prélevés à une semaine après l'application du produit et ont servi de matériel de base pour des tests hydriques, énergétiques et biochimiques au laboratoire. De même, nous avons attendu la récolte du blé pour apprécier le rendement. Les différents tests retenus sont les suivants :

2.3.1 Paramètres hydriques

2.3.1.1 Détermination du taux de déperdition d'eau (RWL)

Il s'agit d'une transpiration cuticulaire évaluée grâce à la méthode de Clarck (1990) : les feuilles sont collectées au champ dans un sachet en plastique et sont transportées après 30 mn au laboratoire (fermeture maximum des stomates), le poids frais est déterminé (P_i) et la surface foliaire mesurée (S_f).

Par la suite, les feuilles sont placées dans les conditions de laboratoire (T° et H° ambiantes), pendant 120 mn pour déterminer le poids après déshydratation. Le poids sec est mesuré après à l'étuve à 80°C pendant 24 h ; le taux de déperdition d'eau est exprimé en $\mu\text{g H}_2\text{O}/\text{cm}^2 \times \text{mn}$. Le taux de déperdition d'eau des feuilles excisées (Rate water loss of excised ou R.W.L.) est évalué selon la formule suivante :

$$\text{R.W.L} = \frac{P_i - P_{2h}}{P_s} \times \frac{1}{S_f \times 120}$$

P_i = Poids initial de la feuille.

P_{2h} = Poids de la feuille après 2 heures.

P_s = Poids sec de la feuille.

S_f = Surface foliaire.

La surface foliaire est déterminée par la méthode traditionnelle qui consista à reprendre la feuille de blé sur du papier ; la feuille en papier est ensuite pesée, et on découpe un carré de 1 cm de côté de ce même papier, qui est pesé juste après, pour déduire la surface assimilatrice ou (S_f) de la feuille de blé (Paul *et al.*, 1979).

2.3.1.2 Détermination de la teneur en eau (RWC)

Elle a été mesurée à partir de la méthode de Barrs (1968) *in* Ladigues (1975). La feuille est coupée au niveau de la base du limbe, puis pesée immédiatement (poids frais). Ensuite elle est placée dans de l'eau distillée à 4°C et à l'obscurité pendant 24 heures et pour obtenir le taux de réhydratation maximum. Cette dernière est de nouveau, pesée (poids à la turgescence). L'échantillon est ensuite mis à sécher à l'étuve pendant 24 heures et pesé (poids de la matière sèche). Les valeurs de la teneur en eau sont ainsi déterminées par la formule suivante:

$$\text{R.W.C} = \frac{P_f - P_s}{P_t - P_s} \times 100$$

P_f = Poids frais de la feuille excisée.

P_s = Poids sec de la feuille.

P_t = Poids de la feuille à la turgescence (poids après 24 h dans de l'eau distillée).

2.3.2 Paramètre énergétique (dosage de la chlorophylle)

La teneur en chlorophylle a été déterminée par la méthode traditionnelle de (Mackiney 1941 *in* Holden 1975). Pour chaque traitement, à partir de la feuille étendard, on pèse un gramme de végétal, qui est coupé en petits morceaux et broyé dans un mortier avec 25 ml d'acétone titré à 80 % et avec une pincée de carbonate de calcium. Après filtration, la solution est mise dans des boîtes noires pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière.

Le dosage se fait par le prélèvement de 3 ml de la solution dans la cuve à spectrophotomètre. La lecture se fait aux longueurs d'ondes 645 et 663 nm, après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80 %. La teneur en chlorophylle globale est calculée en tenant compte de la densité optique propre à chaque type de chlorophylle a et b.

Chl. a = 12.7 (D.O. 663 nm) – 2.69 (D.O. 645 nm).

Chl. b = 22.9 (D.O. 645 nm) – 4.68 (D.O. 663 nm).

Chl. (a+b) = 8.02 (D.O. 663 nm) + 20.20 (D.O. 645 nm).

2.3.3 Paramètres biochimiques

2.3.3.1 Dosage des sucres solubles

Principe:

Les sucres solubles sont dosés suivant la méthode de (Schiels et Burnett, 1960 *in* Hennouni, 2002) qui utilisent l'anthrone en milieu sulfurique.

Extraction:

Pour chaque variété et pour chaque traitement, 100 mg de feuilles sont pris sur le tiers médian de la feuille. L'extraction des sucres solubles se fait après macération du végétal dans de l'éthanol à 80 % pendant 48 heures, après passage au rotavateur pour l'évaporation de l'alcool. Une fois ce dernier évaporé, on ajoute 20ml d'eau distillée à chaque échantillon.

Dosage:

Dans les tubes à essai propres, on prélève 2 ml de la solution à analyser à laquelle on ajoute 4 ml du réactif à l'anthrone dont la solution est préparée au plus tard, 4 heures avant les dosages et répond à la formule suivante : 0.2 d'anthrone dilués dans 100 ml d'acide sulfurique pur ; le tout est maintenu à 0°C, dans de la glace pendant l'opération pour éviter l'éclatement des tubes (car la réaction est exothermique). Après agitation les tubes sont mis au bain-marie à 90°C pendant 8 mn, puis refroidis pendant 30 mn dans de la glace et à l'obscurité pour éviter l'oxydation des sucres.

Courbe étalon:

Pour avoir la correspondance entre la densité optique et la concentration en sucres solubles, une gamme étalon est réalisée à l'aide de concentrations croissantes en glucose, préparées à partir d'une solution mère de 100 µg/ml.

2.3.3.2 Dosage de la proline

Principe :

La technique est celle de Troll et Lindsley (1955), simplifiée et mise au point par Dreier et Goring (1974), puis modifiée par *Monneveux* et Nemmar (1983).

Elle consiste à extraire la proline de la matière végétale fraîche par de l'alcool (méthanol) à 85°C pendant une heure ; puis à l'emprisonner dans du réactif de ninhydrine en milieu acide (acide acétique) à 100°C pendant 30 minutes ; un composé stable de couleur rouge est obtenu, extrait par du toluène.

Mode opératoire:

Dans les tubes à essai, sont placés nos échantillons de 100 mg de matière végétale fraîche, auxquels on ajoute 10 ml de méthanol à 80 %. Le tout est mélangé au bain-marie à 85°C pendant 60 mn. Pour éviter la volatilisation de l'alcool, les tubes sont hermétiquement fermés. Après refroidissement, 1 ml de l'extrait est prélevé et auquel sont ajoutés 1 ml d'acide acétique et 1ml de réactif de ninhydrine composé de :

-125 g de ninhydrine.

-30 ml d'acide acétique pur (CH₃COOH).

-7.5 ml d'acide orthophosphorique (H₃PO₄, densité = 1.7) complétée à 50 ml par de l'eau distillée.

Le mélange est porté à ébullition pendant 30 mn; la solution vire au rouge. Après refroidissement, 5 ml de toluène sont ajoutés par échantillon; deux phases se séparent après agitation:

-Phase supérieure contenant la proline.

-Phase inférieure aqueuse à éliminer.

La phase supérieure est récupérée à l'aide d'une pipette Pasteur, puis la densité optique des échantillons est déterminée grâce au spectrophotomètre à la longueur d'onde 528 nm.

La courbe étalon:

La correspondance entre les densités optiques et les concentrations en proline est réalisée grâce à une gamme étalon, obtenue à partir de concentrations croissantes de proline, préparée à partir d'une solution mère 0.2 mM.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en mg de proline par gramme de matière végétale sèche (mg de proline / g de M.V.S.), puis convertis en mg de proline par gramme de matière végétale fraîche (mg de proline / g de M.V.F.) à partir des mesures pondérales des individus à l'état frais et sec, effectuées auparavant.

2.4 Test à valeur agronomique (détermination du rendement)

Après la récolte manuelle des graines, trois opérations ont été nécessaires avant la pesée et qui sont dans l'ordre : l'homogénéisation, la division et enfin le comptage, effectués à l'aide d'appareils spécialisés : un homogénéisateur, un diviseur et un compteur

automatique (numéral). Dès que le comptage des 1000 graines est obtenu, on procède à la pesée grâce à une balance de précision.

3. Etude statistique

Les données quantifiées sont représentées par des statistiques de moyenne (m) et SEM (Standard Error of Mean) calculées sous Excel. SEM correspond à l'écart-type divisé par la racine du nombre d'individus ayant servi à calculer la moyenne.

Les analyses statistiques sont réalisées sous Minitab, version 16, avec le test d'analyse de variances (ANOVA). Des analyses de variance à un et à deux facteurs ont été utilisées, afin de comparer les moyennes des différentes populations sur un critère (ANOVA à un facteur) ou deux critères (ANOVA à deux facteurs) de classification. Le test "t" de Student est utilisé pour comparer les moyennes des variétés vis-à-vis de chaque variable.

La corrélation existante entre les variables ou paramètres a été mesurée par le calcul du coefficient de Pearson

CHAPITRE III Résultats et Interprétation

L'analyse et l'interprétation de l'effet des maladies causées par la septoriose et la rouille brune d'une part, et l'efficacité du fongicide Artea 330 EC sur ces maladies d'autre part, consistent à déterminer: la relation éventuelle entre le statut hydrique, les concentrations de la chlorophylle totale, de la proline, des sucres solubles et du rendement, avec la progression de la maladie sur le témoin et les traités.

1 Test de germination

Le test de germination pour les deux essais a révélé un taux de germination de :

-Pour l'année 2005-2006: 100 % pour BIDI17, et 96 % pour GTA dur.

-Pour l'année 2006-2007: 98% pour BIDI et 76% pour GTA dur.

2 Progression des maladies

2.1 La septoriose

La septoriose reste la maladie la plus dominante sur céréales dans la plaine d'Annaba, elle commence à apparaître sur les premières feuilles du blé dès la montaison. Elle est rencontrée chaque année à plus ou moins forte intensité en fonction des sensibilités variétales. Les conditions de l'année 2005-2006 (tableau annexe) étaient très favorables pour le développement de la maladie. Pour les 2 variétés et les 2 traitements, la maladie a commencé à apparaître vers la fin du mois de Mars, soit 90 jours après levée. Le taux de progression de l'infection par la septoriose en fonction du temps après l'apparition véritable de la maladie sur les deux (02) variétés de blé dur et les 02 traitements de notre étude est représenté graphiquement dans les figures 09,10, 11 et 12 à travers desquelles nous observons :

Pour le témoin, la variété GTA dur est la première à présenter les premiers symptômes de la maladie, soit 90 jours après levée. Elle présente le taux d'infection le plus élevé avec 10 % qui augmente progressivement jusqu'à atteindre les 39 % (à 140 jours après levée) alors que pour la variété BIDI 17, le taux d'infection a commencé avec 7 % pour atteindre les 28 %. Pour ce qui est des traités, avant l'application du traitement, nous remarquons que c'est toujours la variété GTA dur qui présente le taux d'infection le plus élevé avec 8,5 %, 13 % et 15 %. Alors que chez la variété BIDI 17, ce dernier est de 7 %, 11 % et enfin 12 %. Sept (07) jours après le traitement, soit 130 jours après levée, nous remarquons, chez les deux (02) variétés et les pour les 3 doses, un arrêt d'infection. Il semblerait que le traitement ait eu un effet efficace sur le champignon (Figure 10).

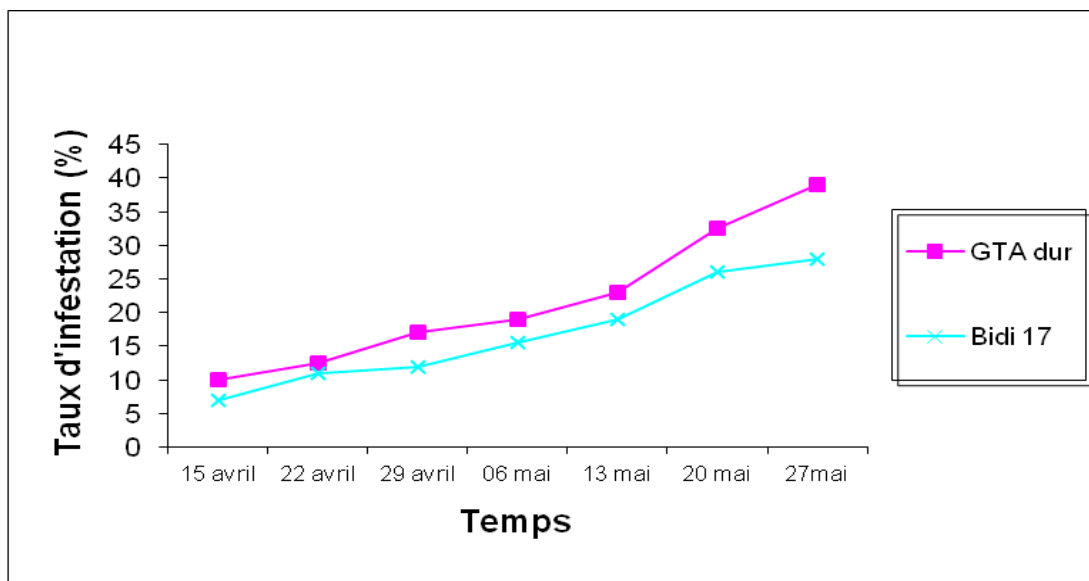


Figure 9. Taux d'infestation des plants témoins des deux variétés de blé dur par la septoriose.

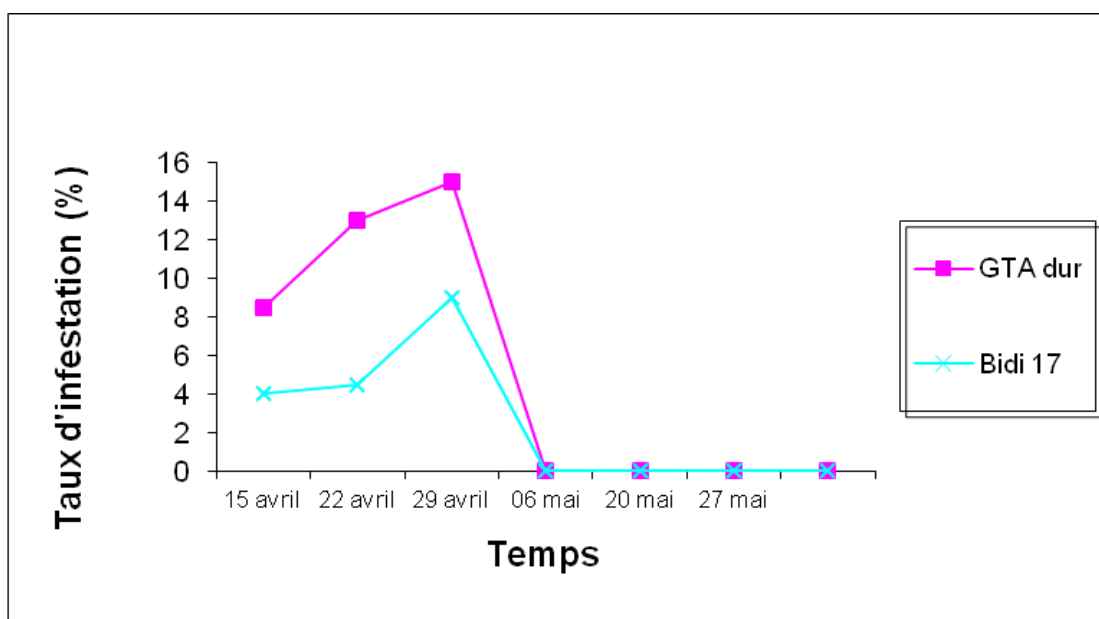


Figure 10. Taux d'infestation des plants traités (D₁) par la septoriose.

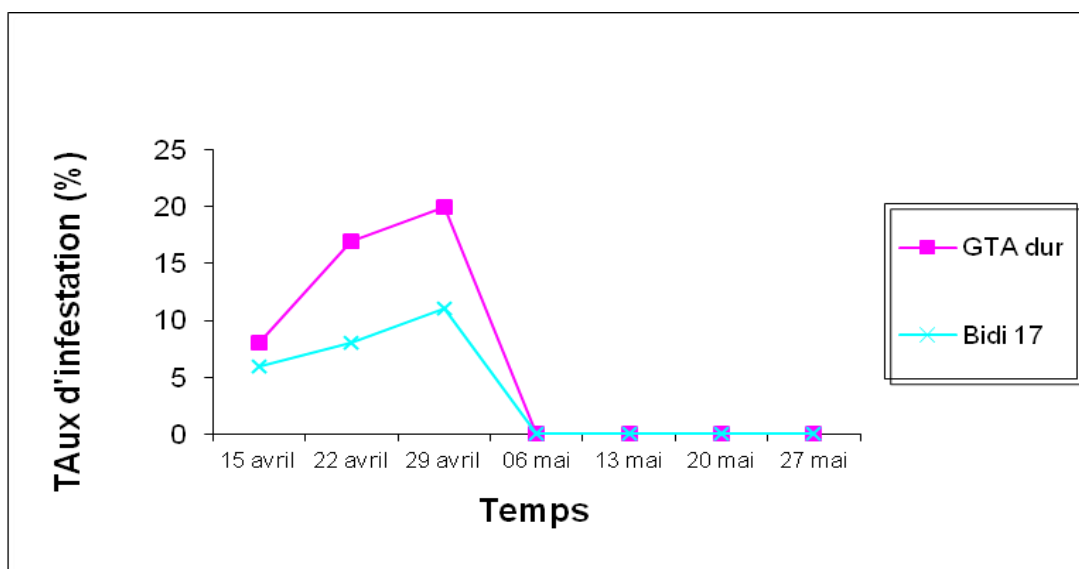


Figure 11. Taux d'infestation des plants traités (D₂) par la septoriose.

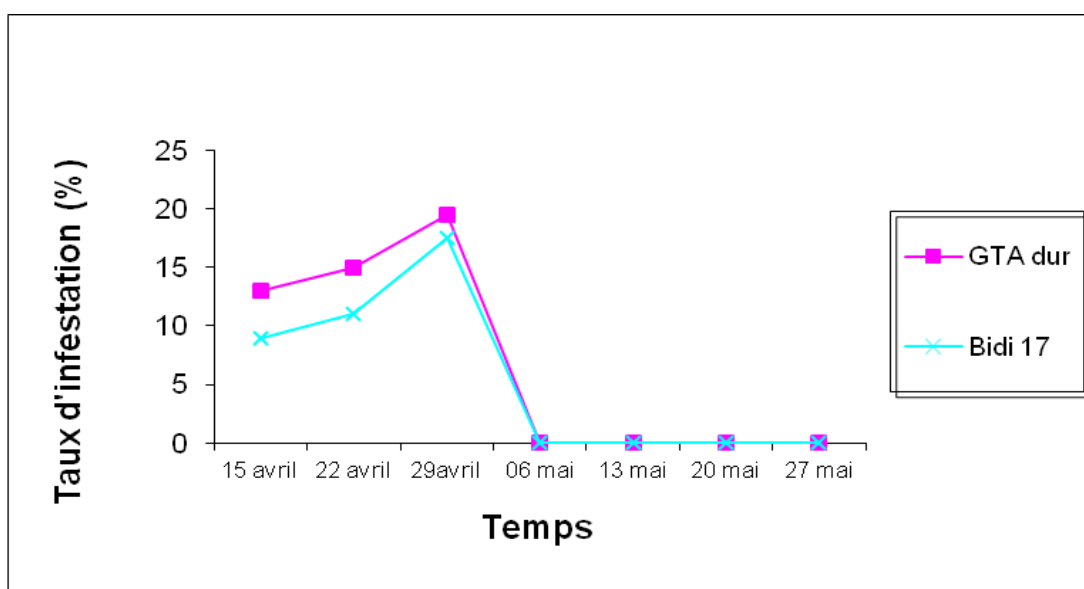


Figure 12. Taux d'infestation des plants traités (D₃) par la septoriose.

Pour l'année 2006-2007, et vu les conditions atmosphériques exceptionnelles de cette année (tableau annexe), la maladie est apparue plutôt que l'année précédente, pour les deux variétés, les premiers symptômes ont été notés au stade fin tallage début montaison. Un premier traitement antifongique, considéré comme préventif, a été appliqué à ce stade, soit 46 jours après semis. A ce jour quelques notations ont été faites dans les différents blocs (ceux des plants témoins et des traités). Il a été remarqué que la variété GTA dur a été la première à présenter les premiers symptômes sur les feuilles de la base, ces derniers étaient sous forme de petites tâches brunâtres comportant des petits points bruns (pycnides), le taux d'infestation était alors compris entre 1% à 3%. Alors que pour la variété BIDI 17 ce dernier n'était que d'1%.

Une (01) semaine après le premier traitement soit 53 jours après semis, le taux d'infestation était le même pour les plants traités mais pour les plants témoins n'ayant pas reçu de traitement, l'infestation a progressé, le nombre de lésions a augmenté pour atteindre un taux de 10% chez GTA dur et de 5% chez BIDI 17.

Au stade début épiaison, soit 125 jours après semis, un deuxième (02) traitement a eu lieu. A ce stade, la maladie s'est encore manifestée sur les feuilles des plantes traitées, pour atteindre les étages supérieures. Le taux d'infection était alors de 15% chez GTA dur et de 10% chez BIDI17. Les plantes témoins semblaient bien plus atteintes où le taux d'infestation a atteint les 40% chez GTA dur et 25% chez la variété BIDI 17.

2.2 La Rouille brune

Pour la première année, la maladie a commencé à apparaître le 15 avril, soit 105 jours après la levée et cela chez les 02 variétés et pour les différents traitements. Le taux de progression de l'infection par la rouille brune en fonction du temps après l'apparition véritable de la maladie chez les 02 variétés de blé dur et pour les 4 traitements est représenté graphiquement dans les figures 13, 14,15 et 16 à travers desquelles nous observons :

Pour le témoin

La variété GTA dur a été la première à présenter les premiers symptômes de la maladie avec un taux d'infection de 3 % et ce à 105 jours après levée. Il a été remarqué également que les symptômes de la rouille brune ne sont apparus sur la variété BIDI 17 qu'après 112 jours après levée, avec un taux d'infection de 1 %. A 147 jours après levée, le taux d'infestation chez la variété GTA dur a atteint un seuil de 56 %, cependant la variété BIDI 17 a montré un taux beaucoup plus faible (16 %). A ce stade, un changement de couleur des pustules du brun au noir a été observé. Les pustules étant devenues noires (phase sexuée), le champignon serait passé au stade téléospore. Par ailleurs, nous avons remarqué que les 02 variétés GTA dur et BIDI 17 ont montré des réactions de type moyennement sensible car les pustules formées sont de taille moyenne, entourées de chloroses.

Pour les traités

Avant le traitement la variété GTA dur a présenté le taux d'infection le plus élevé avec 1 %, 6 % et 8 % lors des trois premières semaines. Alors que la variété BIDI 17 a présenté un taux d'infection de 0 %, 2 % et 5 %.

Après le traitement nous remarquons:

Pour les plants traités avec la dose D_1 (0,3 l/ha) : La variété Bidi 17 montre une chute brutale du taux d'infection qui tend à 0 % durant toute la période restante de l'étude (4^{ème}, 5^{ème}, 6^{ème} et 7^{ème} lecture) ; alors que la variété GTA dur a montré une reprise de l'infection après le 13 mai date de la 5^{ème} lecture en présentant respectivement les taux d'infection suivants : (1 %, 2,5 %, 5 %) lors des trois dernières lectures (Figure 14).

Pour la D_2 (0,4 l/ha) et la D_3 (0,5 l/ha) , toutes les variétés montrent une chute brutale du taux d'infection qui tend à 0 % durant toute la période restante de l'étude (Figure 15 et 16). Concernant la deuxième année, la rouille n'est apparue que tardivement par rapport à la septoriose, et à des taux beaucoup plus faibles que l'année précédente.

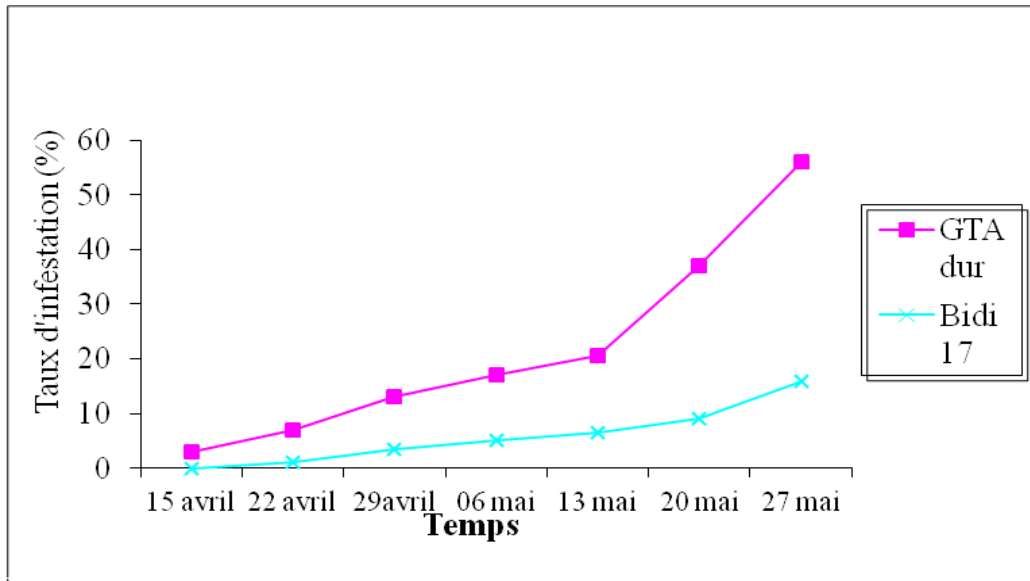


Figure 13. Taux d'infestation des témoins des 02 variétés par la rouille brune.

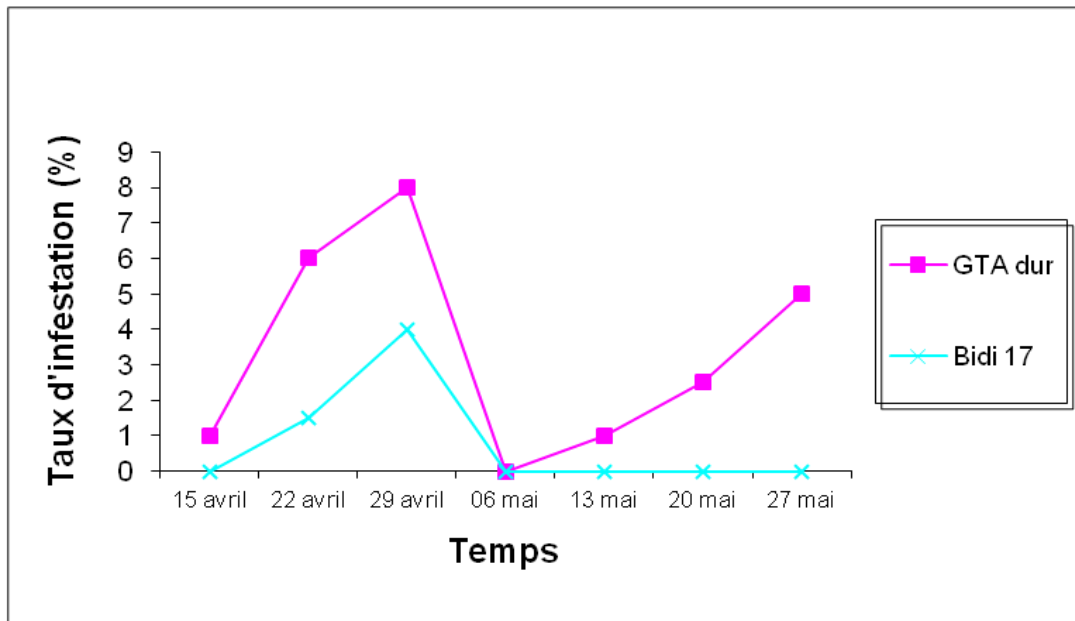


Figure 14. Taux d'infestation des traités (D₁) des 02 variétés par la rouille brune.

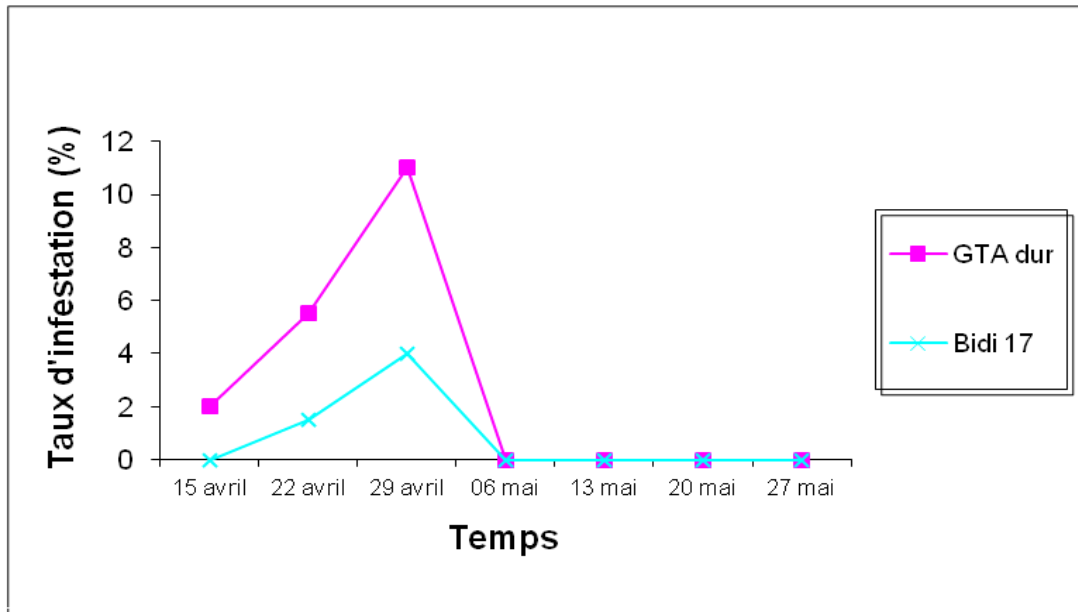


Figure 15. Taux d'infestation des traités (D₂) des 02 variétés par la rouille brune.

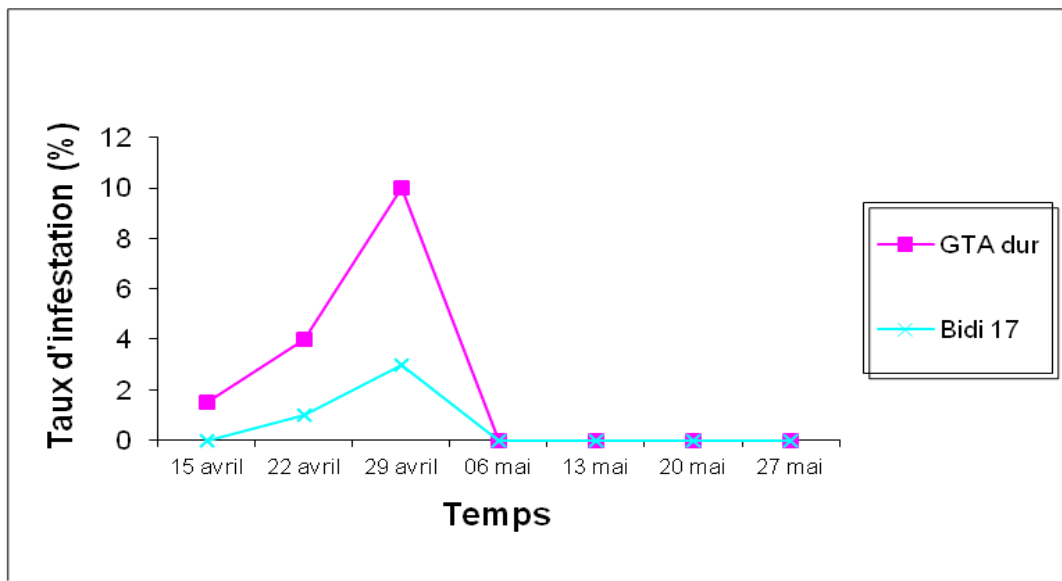


Figure 16. Taux d'infestation des traités (D₃) des 02 variétés par la rouille brune.

3. Action de l'ARTEA 330 Ec sur le statut hydrique de la plante

3.1 Taux de déperdition d'eau (R.W.L.)

Les résultats relatifs au taux de déperdition d'eau des feuilles des deux variétés de blé dur sont présentés dans les Figures 17 et 18

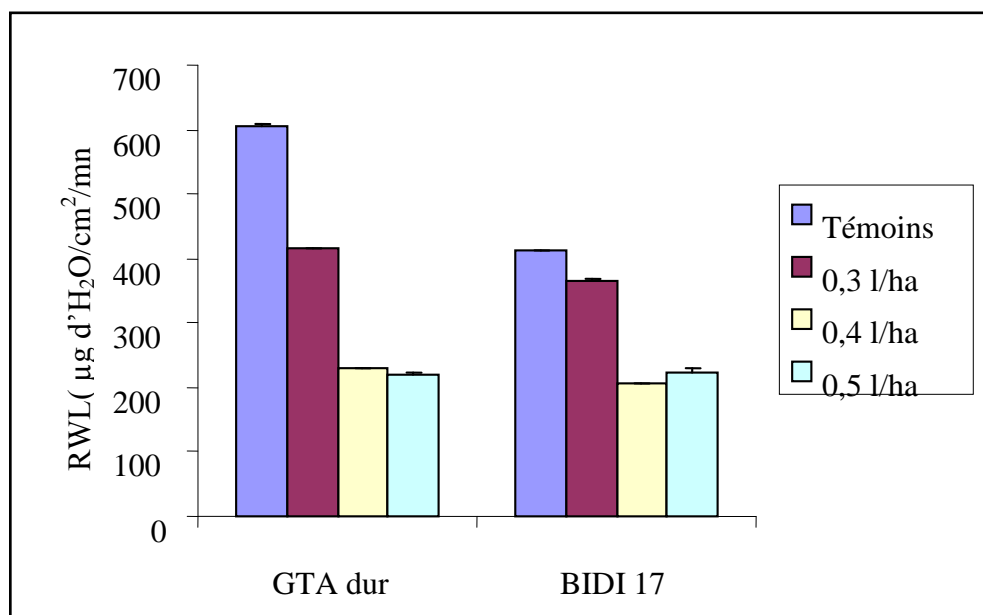


Figure 17. Effet des différentes doses de l'ARTEA sur le taux de déperdition d'eau (R.W.L.) des feuilles chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2005-2006

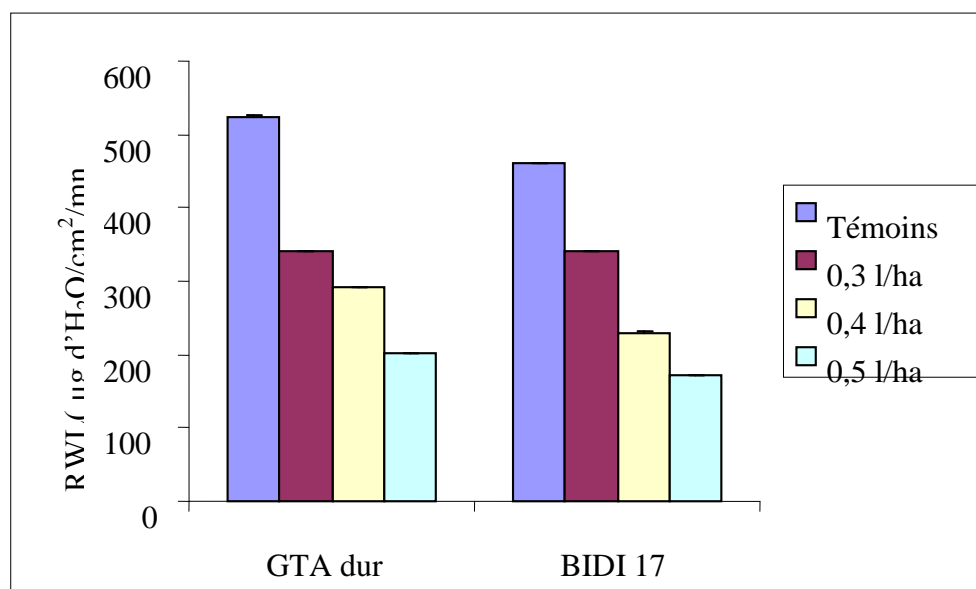


Figure 18. Effet des différentes doses de l'ARTEA sur le taux de déperdition d'eau (R.W.L.) des feuilles chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2006-2007

Les différents résultats montrent que, pour les deux (02) variétés et les deux années, le fongicide a eu un effet positif sur ce paramètre. En effet, nous notons une réduction du RWL très importante notamment avec la dose 0,5l/Ha (D3) des deux variétés successivement (221,33 et 201,00) par rapport aux témoins (606,89 et 524,80).

Pour ce qui est des témoins, ceux de la variété GTA dur semblent les plus affectés. Cette première constatation nous amène à suggérer que cette dernière est plus sensible que BIDI 17. Quant aux traités, il est à noter que ceux ayant reçu la dose D₁, chez les 02 cultivars, montrent un RWL plus élevé que ceux ayant été traités avec les doses D2 et D3.

La variété GTA dur a montré un RWL plus élevé en première année par rapport à la deuxième année. Il semble que le fongicide ait eu un effet très significatif sur ce paramètre chez cette dernière. L'analyse de variance à un critère de classification, montre un effet très hautement significatif entre les doses du produit, ceci pour les deux années (Annexe III, tableaux 1 et 2).

Concernant la variété BIDI17, nous remarquons, une légère augmentation de ce paramètre en deuxième année excepté pour la dose D3. Il en est de même pour cette variété, l'analyse de variance montre un effet très hautement significatif entre les doses pour les deux années (annexe III, tableaux 3 et 4).

L'ANOVA à deux critères de classification, montre une différence très hautement significative entre les deux variétés (annexe III, tableau 25). Alors que le test de Student ne montre aucun effet significatif entre ces dernières (annexe III, tableaux 31).

Cependant au niveau de la matrice de corrélation (annexe III, tableau37), certaines relations méritent d'être apportées. Concernant la variété GTA dur, et parmi celles négatives c'est-à-dire inversement proportionnelles et très hautement significatives ($p < 0,001$), on note le RWL avec les différentes doses du produit (-0,927) ; avec le RWC (-0,898) ; avec la teneur en chlorophylle (-0,748) et avec le poids de 1000grains (-0,947). La seule corrélation positive, est celle du RWL avec la teneur en sucres (0,400) mais elle est non significative.

Pour la variété BIDI17, la matrice de corrélation montre également des relations négatives avec les différentes doses du produit (-0,941), avec le RWC (-0,935), avec la teneur en chlorophylle (-0,929) et enfin avec le poids de 1000grains (-0,829). Une corrélation positive et significative au seuil ($p < 0,05$) est relevée entre le RWL et la teneur en proline (annexe III, tableau 38).

3.2 Turgescence relative des feuilles (R.W.C.)

Les Figures 19 et 20 présentent les résultats relatifs au taux de déperdition d'eau des feuilles des deux variétés de blé dur.

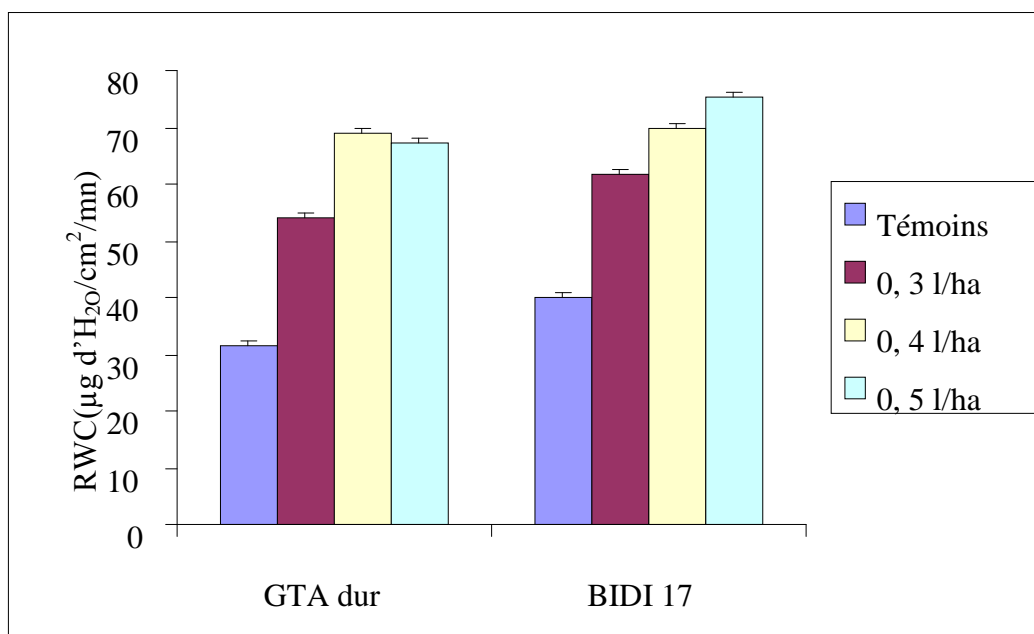


Figure 19. Effet des différentes doses sur la teneur relative en eau des feuilles (RWC) chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2005-2006.

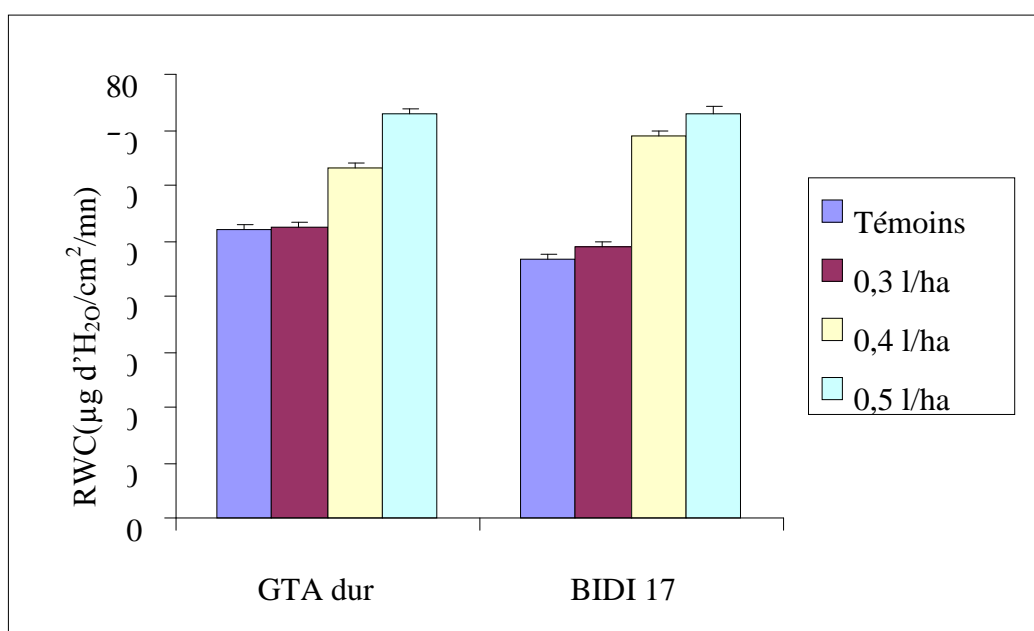


Figure 20. Effet des différentes doses sur la teneur relative en eau des feuilles (RWC) chez les deux variétés de blé dur pour l'année 2006-2007.

Les différents résultats obtenus montrent que les maladies réduisent la teneur relative en eau des feuilles chez les deux témoins et ce, pour les deux années. Il en est de même pour ce paramètre, il semble que le fongicide ait eu un effet positif sur ce dernier. En effet nous remarquons une augmentation du RWC avec les doses appliquées du fongicide.

Chez la variété GTA dur et pour les deux années, l'analyse de variance montre un effet très hautement significatif entre les doses au seuil ($p < 0,001$) (annexe III, tableaux 5 et 6).

Les valeurs du RWC les plus élevées sont obtenues avec les valeurs D2 et D3.

Concernant la variété BIDI 17, il est à noter que les trois doses ont eu un effet sur cette variété ; pour ce qui est de la 2^{ème} année c'est surtout les doses D2 et D3 qui sont les plus significatives.

Il en est de même pour cette variété, l'analyse de variance à un seul critère de classification, montre une différence très hautement significative entre les doses pour la 1^{ère} année et la 2^{ème} année (annexe III, tableaux 7 et 8).

Pour la première année et pour les différentes doses appliquées (0,3l/Ha ; 0,4l/Ha et 0,5l/Ha), les valeurs du RWC les plus élevées sont présentées par la variété BIDI 17. Ce paramètre semble confirmer le précédent (RWL) où ce dernier était inférieur chez cette même variété. Quant à la deuxième année, le RWC de la variété BIDI17 n'était supérieur à celui de GTA dur qu'aux doses D2 et D3.

La variété GTA dur, présente un RWC en 2006-2007 plus élevé que celui de la première année. Aussi, nous estimons que les agents pathogènes réduisent la teneur relative en eau des feuilles de blé infesté. La rétention d'eau au niveau de ces feuilles de blé en est affectée.

Pour ce paramètre, le test de Student n'a montré aucune différence significative entre les variétés. La même constatation est faite avec l'ANOVA à deux critères de classification (annexe III, tableau 26 et 32).

La matrice de corrélation, chez la variété GTA dur, a révélé des corrélations positives et très hautement significatives avec les doses du produit (-0,927), avec la chlorophylle (0,866) et enfin avec le poids de 1000grains (0,841). Nous notons une corrélation négative et très hautement significative ($p < 0,001$) du RWC avec le RWL. D'autres corrélations non significatives mais inversement proportionnelles se dégagent de la matrice, ce sont celles qui existent entre le RWC et la teneur en sucres solubles (-0,312) ainsi qu'avec la proline (-0,176) (annexe III, tableau 37).

Quant à la variété BIDI 17, la matrice montre également des corrélations positives et très hautement significatives au seuil ($p < 0,001$) avec les 03 doses du produit, la chlorophylle et le poids de 1000grains et prennent respectivement des valeurs de (0,876; 0,823 et 0,758). D'autres corrélations négatives se dégagent, l'une significative au seuil ($p < 0,05$) il s'agit de la RWC avec la proline (-0,555) et l'autre avec les sucres mais non significative. Quant à la variété BIDI 17, la matrice montre également des corrélations positives et très hautement significatives au seuil ($p < 0,001$) avec les 03 doses du produit, la chlorophylle et le poids de 1000grains et prennent respectivement des valeurs (0,876; 0,823 et 0,758). D'autres corrélations négatives se dégagent, l'une significative au seuil ($p < 0,01$) il s'agit de la RWC avec la proline (0,555) et l'autre avec les sucres mais non significative (annexe III, tableau 38).

4. Action de l'ARTEA sur le statut énergétique de la plante hôte

Les résultats concernant la teneur en chlorophylle des feuilles des 02 variétés de blé dur sont présentés dans le tableau annexe et les figures 21 et 22

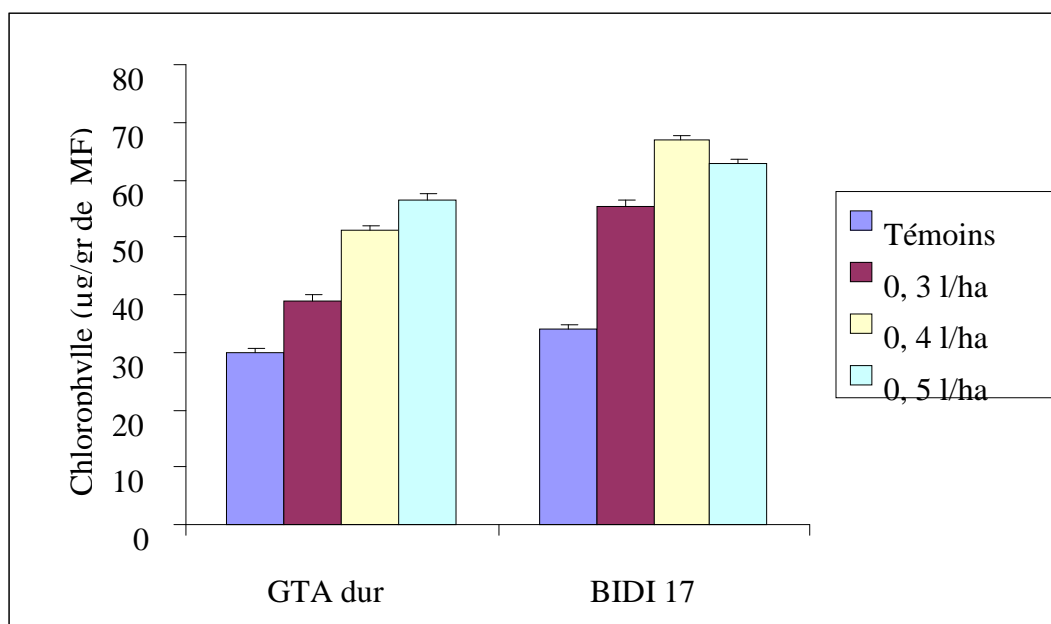


Figure 21. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en chlorophylle des feuilles chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2005 - 2006.

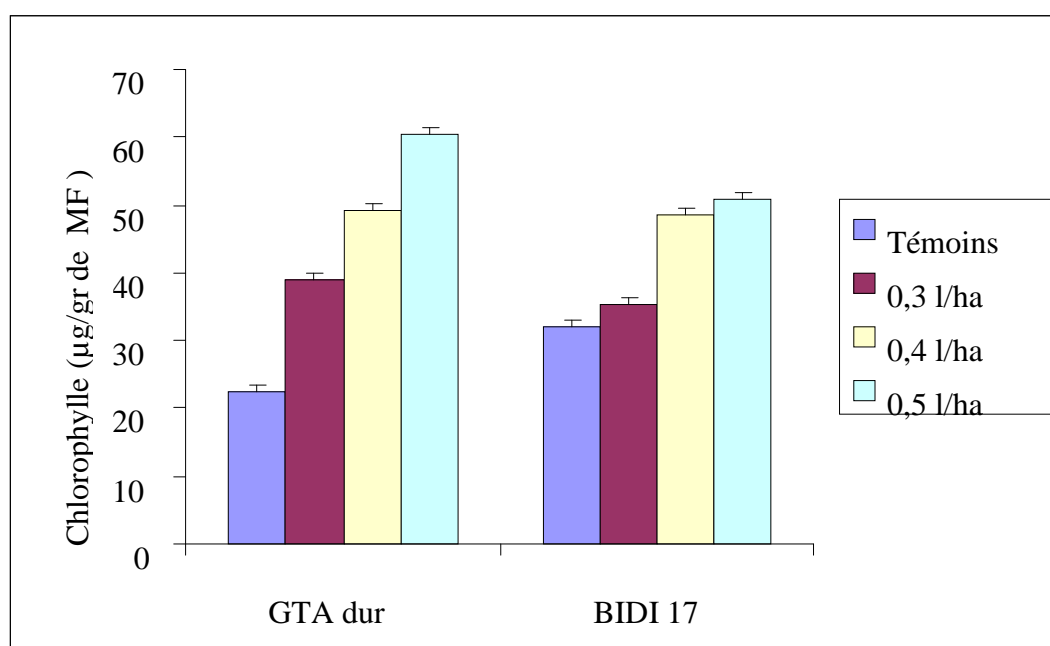


Figure 22. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en chlorophylle des feuilles chez les deux variétés de blé dur pour l'année 2006 – 2007

Les résultats obtenus indiquent que ce paramètre est affecté par la présence des pathogènes chez les 02 variétés de notre étude. Il semble que la variété GTA dur soit la

plus affectée, par contre, la variété BIDI 17 présente une teneur en chlorophylle plus élevée, et ce, aussi bien chez les témoins que chez les traités (0,3l/ha; 0,4l/ha et 0,5l/ha).

Concernant la variété GTA dur, nous remarquons, que les plants témoins de cette variété présentent une teneur en chlorophylle plus élevée en première année qu'en 2^{ème} année, alors qu'il en est le contraire pour les plants traités, notamment avec la dose 3. Pour cette variété, l'analyse de variance à un facteur de classification, montre un effet très hautement significatif entre les différentes doses au seuil ($p < 0,001$) et ce, pour les deux années (annexe III, tableau 9 et 10).

Quant à la variété BIDI17, il est à remarquer que la teneur en chlorophylle des témoins est presque identique dans les deux années. Cette dernière est nettement supérieure chez les plants traités de la première année. Les teneurs les plus élevées sont obtenues avec les doses D2 et D3. Il semble que les conditions atmosphériques de la deuxième année (annexe I, tableau 2), soient très favorables au développement des maladies, notamment à la septoriose, où les taches nécrotiques avaient recouvert pratiquement toute la surface foliaire et par conséquent, aient eu un effet néfaste sur le taux de chlorophylle. Cela nous permet d'émettre l'hypothèse que l'infection du blé dur par les champignons pathogènes s'accompagne d'une diminution de la teneur en chlorophylle, ce qui signifie la diminution de l'activité photosynthétique. Ces phénomènes peuvent être aussi expliqués par la diminution de la surface foliaire ou de son efficacité. Il en est de même pour cette variété, l'analyse de variance à un facteur de classification (annexe III, tableau 11 et 12), montre un effet très significatif entre les différentes doses pour les deux années.

Avec l'ANOVA à deux critères de classification, on remarque qu'il existe une différence hautement significative entre les deux variétés (annexe III, tableau 27). Alors que le test T de Student ne montre aucun effet significatif entre les deux variétés (annexe III, tableau 33).

Pour la variété GTA dur, la matrice de corrélation montre l'existence des corrélations, les unes, positives et très hautement significatives au seuil 0,001 avec les différentes doses du produit (0,776); avec le RWC (0,866) et avec le poids de 1000 grains (0,712); les autres négatives et significatives au seuil $p < 0,05$ comme celles avec le RWL (-0,748), la proline (-0,482) et celles négatives mais non significatives comme celles avec les sucres (-0,224).

Pour la variété BIDI17, la matrice de corrélation montre également, l'existence des corrélations, les unes, positives et très hautement significatives au seuil ($p < 0,001$) avec les différentes doses du produit (0,978); avec le RWC (0,823) et avec le poids de 1000 grains (0,816); les autres négatives et très hautement négatives au seuil ($p < 0,001$) comme celle avec le RWL (-0,929) et très hautement négatives au seuil ($p < 0,05$) comme celles avec la teneur en sucres et la teneur en proline (-0,539; -0,569) (annexe III, tableaux 37 et 38).

5. Action de l'ARTEA sur les processus biochimiques de la plante hôte

5.1 Taux de sucres solubles

Les résultats concernant le taux de sucres solubles des feuilles des 02 variétés de blé dur sont présentés dans le tableau annexe et les Figures 23 et 24

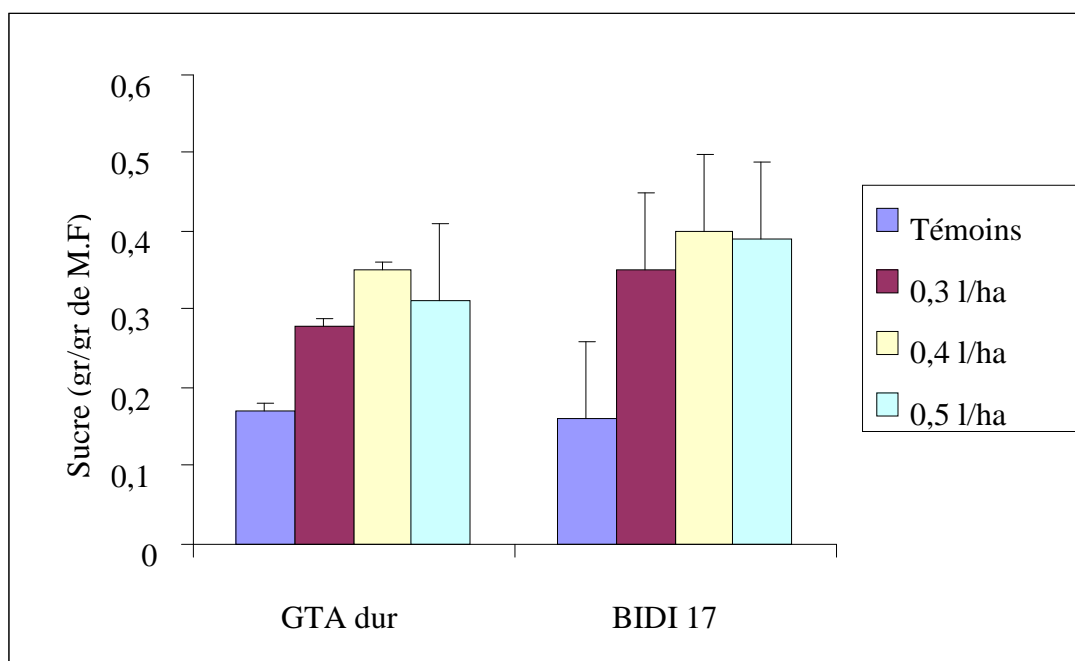


Figure 23. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en sucres solubles des feuilles des deux variétés de blé dur durant l'année 2005-2006

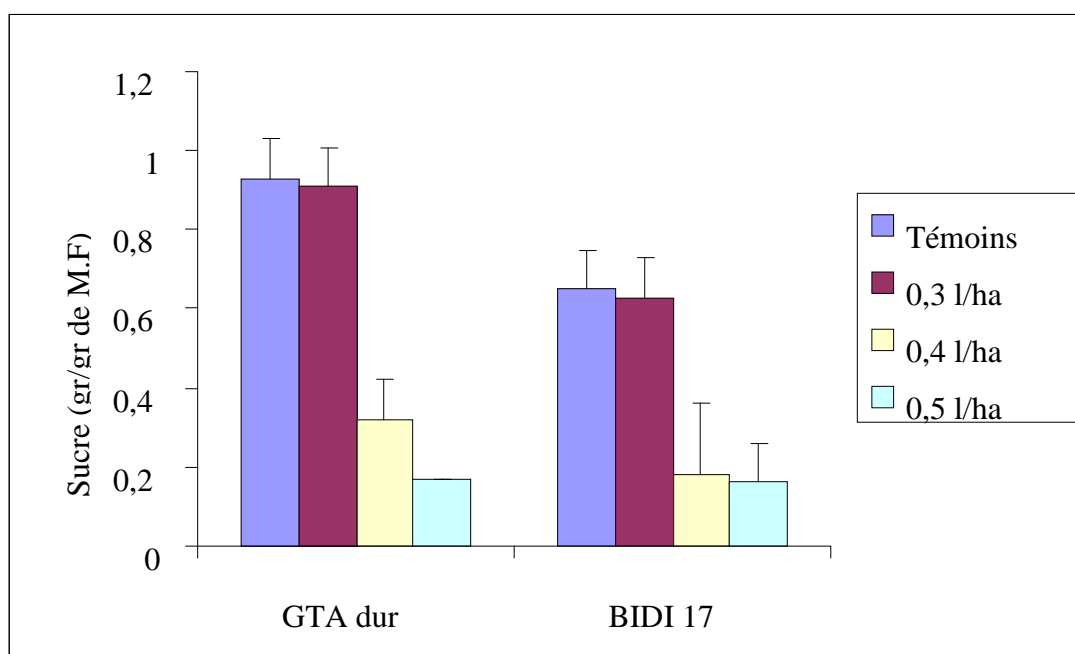


Figure 24. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en sucres solubles des feuilles des deux variétés de blé dur durant l'année 2006-2007

Pour la première année (2005-2006), la teneur en sucres solubles des feuilles chez les plants traités des deux variétés est supérieure à celle des témoins non traités.

Cette teneur est plus élevée dans les feuilles des plants traités de la variété BIDI17, alors qu'il en est le contraire pour les plants témoins de GTA dur où cette dernière augmente

légèrement par rapport à ceux de BIDI17. Quant à la 2^{ème} année (2006-2007), il est à remarquer que cet osmoticum augmente beaucoup plus chez les témoins suivi des plants traités avec la dose D1(0,3l/ha). Pour cette année, la variété GTA dur présente la teneur en sucre la plus élevée, aussi bien chez les témoins que chez les traités. La teneur la plus faible est obtenue avec la dose D3 surtout courant l'année 2006-2007.

L'analyse de variance à un facteur de classification, montre une différence significative entre les doses de la variété GTA dur pour la première année et non significative pour la variété BIDI 17, mais très hautement significative pour les deux variétés concernant la deuxième année (annexe III, tableaux 13 ;14 ;15 ;16).

Pour ce paramètre également, aussi bien le test de Student que l'ANOVA à deux critères de classification, ne montrent de différence significative entre les variétés (annexe III, tableau 28 et 34).

La matrice de corrélation révèle des corrélations positives et négatives entre ce paramètre et les différents paramètres pour les 02 cultivars. Une corrélation positive mais non significative avec le RWL de la variété GTA dur (0,400) et de la variété BIDI17 (0,234), également avec la proline de cette même variété (0,653) mais significatives au seuil ($p=0,001$) ; d'autres négatives et significatives au seuil ($p<0,05$) avec les doses du produit chez la variété BIDI17 (-0,452) et négatives et hautement significative au seuil ($p<0,05$) avec la chlorophylle de la même variété (annexe III, tableau 37 et 38).

Des travaux ont montré que les maladies cryptogamiques assurent un appel prononcé ou exercent une aspiration des différents solutés. Les haustoria envahissent les cellules et transportent activement les nutriments de l'hôte à travers ses membranes ; l'agent pathogène se comporte comme un puits supplémentaire pour la plante (Rappilly, 1991).

5.2 Teneur en proline des feuilles

Les Figures 25 et 26 ainsi que le tableau annexe présentent les résultats de ce paramètre

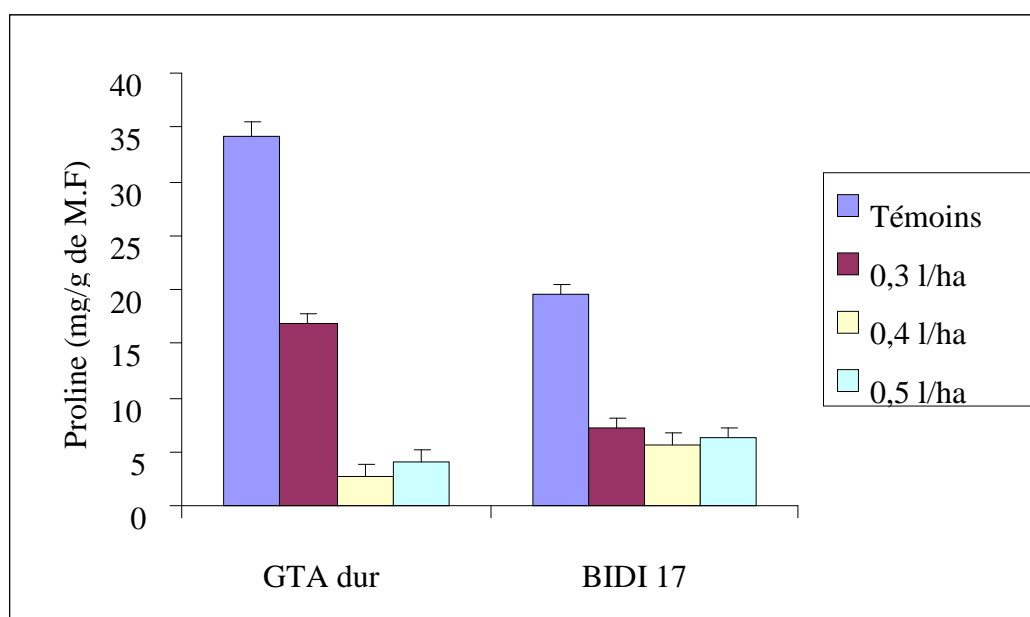


Figure 25. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en proline des feuilles de deux variétés de blé dur durant l'année 2005-2006.

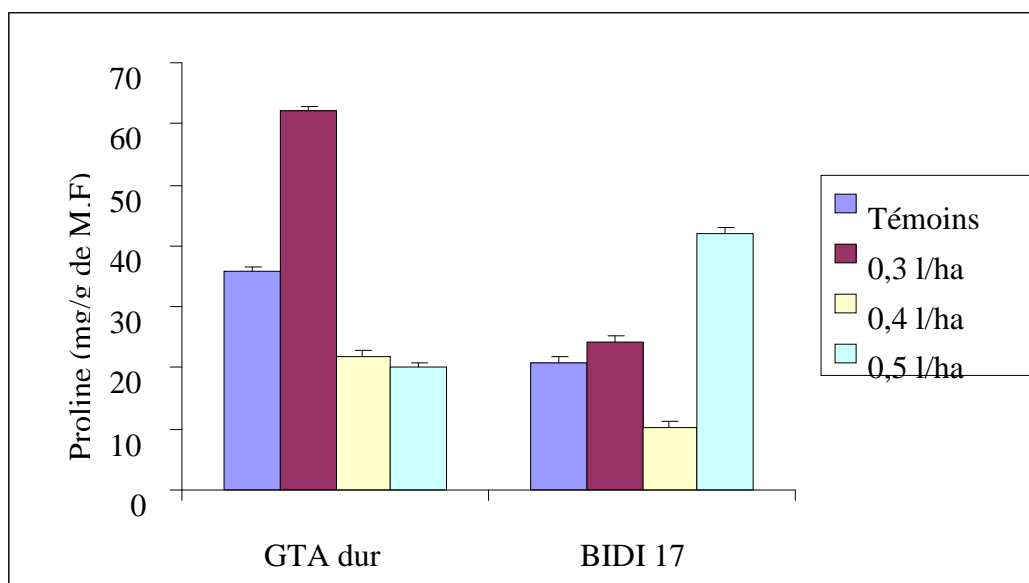


Figure 26. Effet des différentes doses d'ARTEA sur la teneur en proline des feuilles de deux variétés de blé dur durant l'année 2006-2007

Durant l'année 2005-2006, nous remarquons une accumulation de la proline chez les plants témoins des 02 variétés. Elle est plus élevée chez la variété GTA dur où elle atteint une valeur de 34,073 mg/gr de MF contre 19,460 mg/gr de PF chez BIDI 17.

Quant aux traités, Il est à remarquer la nette élévation de cet osmoticum chez les plants traités avec la dose D1 de la variété GTA dur au courant de la deuxième année (62,000 mg/gr de MF) et ceux traités avec la dose D1 et D3 pour BIDI17 (24,4mg/gr de MF et 42,100 mg/gr de MF) successivement.

Pour ce paramètre, c'est toujours la variété GTA dur qui présente la teneur la plus importante aussi bien chez les traités que chez les infectés (témoins).

L'analyse de variance à un seul critère de classification, montre un effet très hautement significatif entre les doses chez les deux variétés et pour les deux années (annexe III, tableau 17 ;18 ; 19 ;20). Quant à l'analyse de variance à deux critères de classification, on remarque qu'elle montre une différence significative au seuil ($p < 0,05$) entre les deux variétés (annexe III, tableau 29).

Le test de Student (annexe III, tableau 35), montre un effet non significatif entre les deux variétés.

La matrice de corrélation de la proline chez la variété GTA dur montre des corrélations négatives non significatives avec la plupart des autres paramètres sauf avec la chlorophylle où la différence est significative au seuil ($p < 0,05$). Chez la variété BIDI17, des corrélations positives et significatives ont été dégagées, tel que la proline avec le RWL (0,476) et avec la teneur en sucre (0,653). D'autres corrélations négatives significatives ont été révélées, comme la proline avec les différentes doses du produit (-0,593), proline- RWC (-0,555) et proline- chlorophylle (-0,569)(annexe III, tableaux 37 et 38).

L'accumulation de la proline semble être l'une des manifestations les plus remarquables de l'interaction Hôte-Parasite. Plusieurs auteurs ont noté des changements dans la teneur en acides aminés et en protéines dans les tissus des plantes infectées par les maladies cryptogamiques (Barnes *et al.*, 1988).

Göring (1981), attribue l'accumulation de la proline dans les tissus des plantes infectées par des agents pathogènes à une augmentation du taux des auxines. Ces résultats reflètent également l'interaction prévalente Maladie-Stress hydrique ayant engendré des sévérités et altérations couplées, justifiant ainsi l'accumulation élevée de cet osmolyte.

En général on peut dire que les plantes des témoins sont les plus stressées, et que les traitements D₂ et D₃ ont assuré une meilleure protection aux plantes.

6. Action de l'ARTEA sur la valeur agronomique : Poids de 1000 grains

Les résultats de l'action des pathogènes sur le poids de 1000 grains sont présentés dans le tableau annexe et les figures 27 et 28

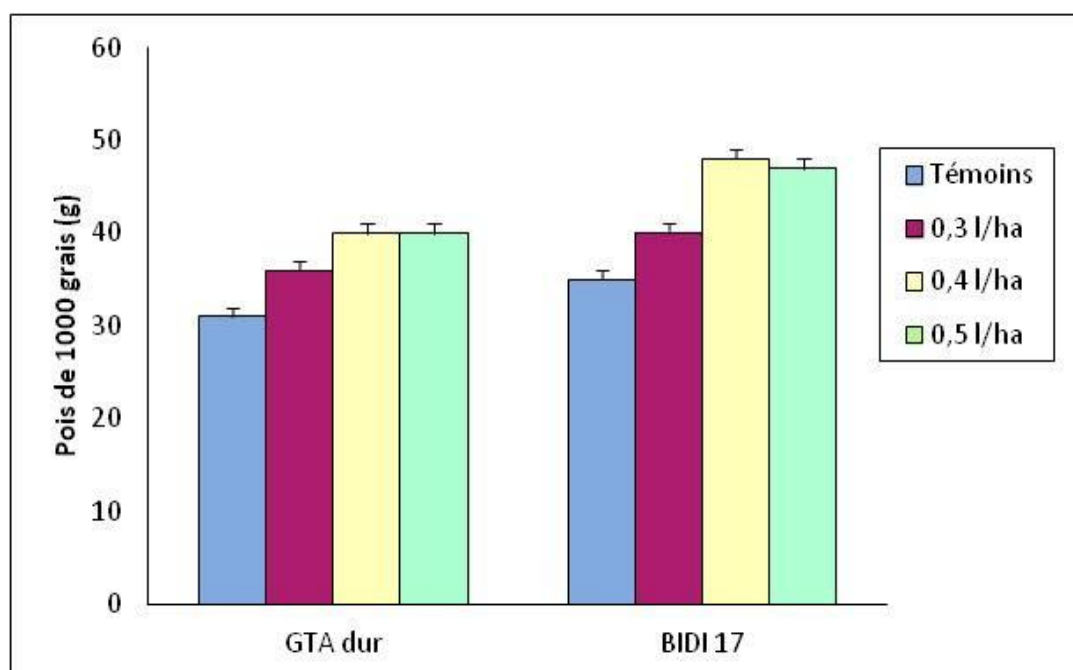


Figure 27. Effet des différentes doses d'ARTEA sur le poids (gr) de 1000 grains chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2005-2006.

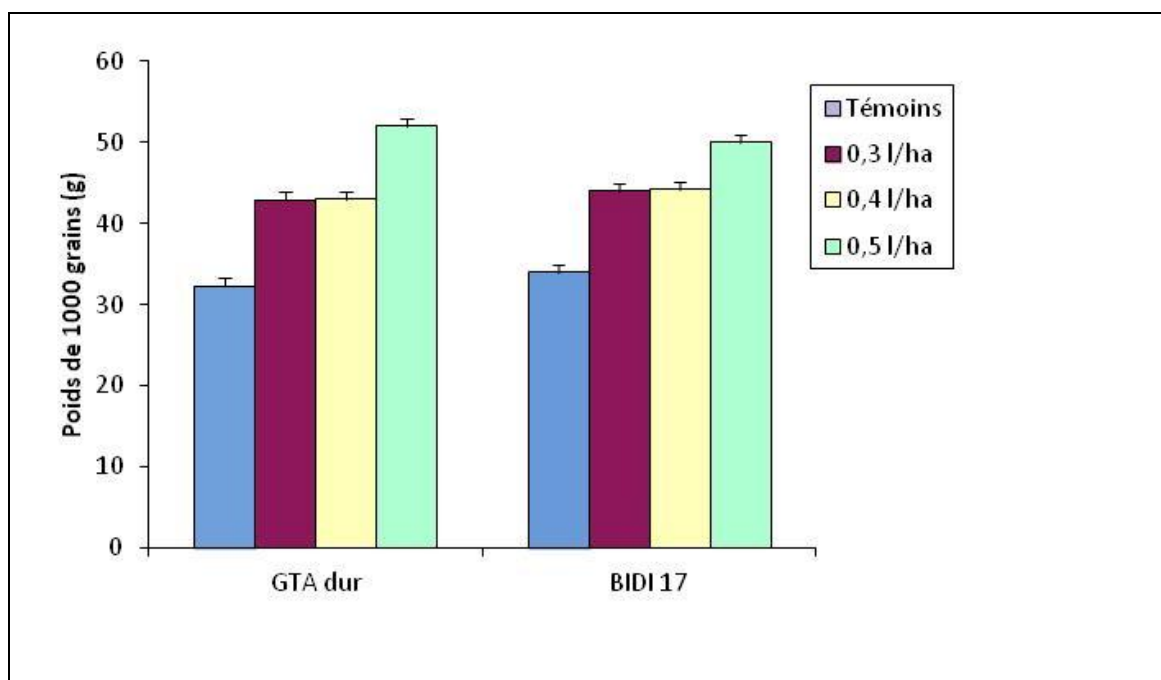


Figure 28. Effet des différentes doses d'ARTEA sur le poids (gr) de 1000 grains chez les deux variétés de blé dur durant l'année 2006-2007

Les différents résultats ont montré que chez les témoins des deux variétés et pour les deux années, il y a eu réduction du poids de 1000 grains sous l'effet des pathogènes.

Durant la première année (2005-2006), le poids de 1000 grains de la variété GTA dur est plus affecté que celui de BIDI 17, aussi bien chez les plants témoins que chez les traités. Les plants ayant reçu les doses D2 et D3 présentent le même poids (40gr), il est légèrement plus élevé que celui de la dose D1 (36gr). Pour ce qui est de la variété BIDI 17, le poids le plus élevé est obtenu avec la dose D2 (48gr) suivi de celui issu de la D3 (47gr).

Pour cette même année l'analyse de variance montre un effet très hautement significatif entre les doses chez les deux variétés (annexe III, tableaux 21 et 23).

Pour ce qui est de la deuxième année (2006-2007), c'est toujours la variété BIDI 17 qui présente le poids de 1000 grains le plus élevé pour toutes les doses excepté pour la dose D3 où le poids de la variété GTA dur dépasse légèrement celui de BIDI17. Il en est de même pour cette année, l'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif entre les différentes doses (annexe III, tableaux 22 et 24).

L'analyse de variance à deux critères de classification, montre un effet hautement significatif au seuil ($p < 0,001$) entre les deux variétés (annexe III, tableau 30). Par contre

le test de Student ne montre aucun effet significatif entre les deux variétés (annexe III, tableau36).

La matrice de corrélation pour la variété GTA dur (annexe III, tableau37), montre des corrélations positives et très hautement significatives entre ce paramètre et les différentes doses du produit (0,944), également avec le RWC (0,841) et entre le PMG et la chlorophylle (0,712). Cette matrice relève aussi une corrélation négative et très hautement significative entre ce paramètre et le RWL (-0,947).

Pour la variété BIDI17, La matrice révèle également des corrélations positives entre le PMG et les doses du produit ; avec le RWC et avec la teneur en chlorophylle. Il en est de même pour cette variété, Cette matrice relève aussi une corrélation négative et très hautement significative entre ce paramètre et le RWL (-0,829) (annexe III, tableau38).

Chapitre IV Discussion

Dans ce chapitre nous allons discuter les principaux résultats obtenus dans cette partie de notre travail, tout en les comparant aux autres résultats des travaux de recherche obtenus dans la bibliographie.

Ainsi les résultats montrent que:

Sur le statut hydrique

L'état des plants traités par rapport aux plants témoins, s'extériorise par un phénomène de déperdition d'eau (RWL) moindre et une teneur relative en eau des feuilles assez élevée.

Chez les deux cultivars et pour les deux années, nous remarquons que l'effet du fongicide est très remarquable. Les plants traités présentent une efficacité en eau meilleure que chez les plants témoins (teneur en eau élevée, taux de déperdition faible). Ceci concorde avec les travaux de Hennouni (2002) et Achouri (2005) qui trouvent que l'effet de différents fongicides et à différentes doses est positif sur le statut hydrique des feuilles de blé dur.

En général la variété GTA dur semble la plus affectée en présentant le taux de déperdition le plus élevé; alors que la variété BIDI17 semble très bien répondre au fongicide, elle présente une teneur assez élevée en eau des feuilles et le taux le plus faible en RWL. Ceci confirme les travaux de l'équipe de recherche de l'ITGC (2001) qui rapportent que la variété BIDI 17 est très connue pour sa résistance aux agents biotiques.

Durant la première année (2005-2006), la variété GTA dur a montré un RWL plus élevé que celui de la deuxième année et par conséquent un RWC plus faible, ceci a, peut être une relation avec l'application tardive du fongicide ce qui a induit une perte assez importante d'eau. L'explication de ce phénomène peut être donnée par les conclusions des travaux de plusieurs auteurs, ainsi:

Pour Shteinberg (1990), le RWL et le RWC sont susceptibles d'augmenter ou de diminuer à la suite d'une infection; le test hydrique étant une réponse à l'infection.

Mc Grath et Pennypacker (1990), estiment qu'il y a une résistance stomatique chez les feuilles de blé infestées par les maladies, liée d'une part à une augmentation de la concentration interne de CO₂ et d'autre part, à une diminution de la conductance des feuilles et des pertes en eau à travers les stomates.

D'autres auteurs trouvent que les pertes d'eau sont associées à la rupture de la cuticule par l'éclatement des spores ou le maintien des stomates ouverts (Turner et Graniti, 1969, 1976; Tissera et Ayres, 1986). Alors que Duniway et Durbin (1971), Goodman *et al* (1986) trouvent que les maladies, sont responsables du blocage des stomates par les hyphes mycéliens. Selon Slimi (2000), l'effet des maladies sur les échanges foliaires de vapeur d'eau dépendait du stade de développement des parasites et de l'application du traitement. Ainsi au début de l'infection et avant l'apparition des symptômes, les pathogènes diminuent l'ouverture des stomates ce qui réduit la transpiration, puis par les lésions que ces derniers provoquent sur les feuilles, il ya une augmentation de la conductance stomatique qui elle-même est responsable d'une perte importante en eau.

Lee-Stadelmann *et al.* (1982) in Allioui (1997), font remarquer que l'infection du blé par les champignons pathogènes provoque la plasmolyse des cellules infectées et entraîne une diminution de la capacité d'absorption des nutriments par les racines.

Selon Paul et Ayres (1984), une augmentation de la transpiration suite à la rupture épidermique par les fructifications des pathogènes est suffisante pour diminuer le potentiel hydrique.

Plusieurs auteurs également ont montré que la perturbation de l'équilibre entre l'eau absorbée par les racines et l'eau rejetée par sudation ou transpiration dépend de la surface foliaire infestée par les pathogènes (Graniti, 1984 ; Massenot, 1985 *in* Alloui, 1997 ; Clarck *et al.*, 1989). Ces auteurs estiment que ces pathogènes provoquent la perte de contrôle des stomates des feuilles de blé, qui est donc à l'origine d'une perte pathologique d'eau.

Des corrélations négatives entre le RWL et d'autres paramètres ont été dégagées. Nous pouvons supposer que le RWL qui se traduit par une augmentation de la transpiration chez les plantes infectées peut avoir un rôle dans le pompage de l'eau des racines vers les feuilles, avec un effet sur quelques processus essentiels du rendement tel que la teneur relative en eau, la synthèse chlorophyllienne et enfin le poids de 1000grains.

Enfin, nous pouvons déduire, à partir des résultats des deux paramètres du statut hydrique (R.W.L. et R.W.C.), que des altérations cellulaires ont dues avoir lieu sur les témoins. Les plants traités notamment avec les doses D2 et D3 présentent un aspect morphologique meilleur que celui des témoins.

Sur la teneur des feuilles en chlorophylle

Il en est de même pour la teneur des feuilles en chlorophylle, le fongicide semble avoir un effet positif sur ce paramètre. Les résultats obtenus indiquent que ce paramètre est affecté par la présence des pathogènes chez les 02 variétés de notre étude

Il semble que les conditions atmosphériques de la deuxième année, étaient très favorables au développement des maladies, notamment à la septoriose, où les taches nécrotiques avaient atteint pratiquement toute la surface foliaire et par conséquent, aient eu un effet néfaste sur le taux de chlorophylle

Cela nous permet d'émettre l'hypothèse que l'infection du blé dur par les champignons pathogènes s'accompagne d'une diminution de la teneur en chlorophylle, ce qui signifie la diminution de l'activité photosynthétique. Ces phénomènes peuvent être aussi expliqués par la diminution de la surface foliaire ou de son efficacité (Gethar *et al.*, 1987; Streuter *et al.*, 1989; Buchanan *et al.*, 2000).

Ces résultats concordent avec ceux de Mac Greath and Pennypacker (1990), qui montrent que chez les feuilles de blé infesté par *Puccinia recondita f. sp. tritici*, il y a une réduction dans le taux de photosynthèse par unité de surface et de chlorophylle.

William et Ayres (1981) ; Gethar *et al.* (1987) ; Streuter *et al.* (1987) ; Magboul *et al.* (1992) et Robert *et al.* (2006), trouvent que les champignons pathogènes sont responsables du fanage des feuilles et une nette diminution de la photosynthèse ; ce qui provoque une sénescence prématurée des feuilles de blé infesté.

Staler (1988), signale que l'infection par des parasites obligatoires diminue l'activité photosynthétique. Kenaga (1974), a montré qu'il y a une destruction de la chlorophylle dans les régions nécrotiques et chlorotiques dans les feuilles des plantes malades.

Shaw et Royle (1989) ; Sholes(1992), signalent que les maladies foliaires tel que la rouille et la septoriose s'attaquent aux surfaces foliaires et affectent le rendement au travers les effets qu'elles ont sur la cinétique de dégradation des surfaces

photosynthétiques. Pour les deux variétés et à différentes concentrations de l'ARTEA, nous remarquons une faible augmentation de la teneur en chlorophylle. Les teneurs sont légèrement plus élevées par rapport à celles des témoins. Ceci paraît en parfait accord avec les résultats obtenus par (Bordjiba, 2009) qui montrent que les fongicides n'ont pas d'effets importants sur les fonctions vitales de la plante et en particulier sur l'élaboration de la chlorophylle. Celles-ci utilisaient alors le pesticide en tant que source d'énergie et de carbone (Havaux *et al.*, 1988). Cependant, d'autres auteurs tels que Berova *et al.*, (2002); Youbi (2005) et Hennouni, (2008) affirment le contraire.

Des corrélations positives se sont dégagées entre la chlorophylle et les différentes doses du positives du produit, ceci expliquent en partie l'effet positif du traitement sur ce paramètre et par conséquent sur le paramètre rendement (PMG).

De nombreuses études ont illustrées le lien existant entre la croissance, ou le rendement avec la photosynthèse (Watson, 1947 ; Bergamin Filho *et al.*, 1997 ; Bryson *et al.*, 1997 ; De Jesus *et al.*, 2001 ; Robert *et al.*, 2004). En effet des corrélations positives entre la chlorophylle et le RWC et entre la chlorophylle et le poids de 1000grains ont été révélées. Si la chlorophylle est inversement corrélée avec le RWL des deux variétés, cela suppose que toute perte d'eau entraîne une diminution de l'activité photosynthétique.

Sur la teneur en sucres solubles

Ce paramètre est un indicateur de stress. Durant la première année, la teneur en cet ausmoticum a augmenté beaucoup plus dans les feuilles des plants traités pour les deux variétés par rapport aux témoins non traités ceci peut trouver son explication dans le fait que les pathogènes peuvent utiliser les sucres comme source de carbone. Cette hypothèse est confirmée par les travaux de Minarcic et Janitor (1994), chez l'orge et le blé, atteints par l'oïdium, ces auteurs attribuent ceci par le fait que pendant les premières phases de l'infection, la teneur en sucres solubles des plantes infectés serait donc moins importante que celle des plantes traitées. D'autres travaux ont montré que les maladies cryptogamiques assurent un appel prononcé ou exercent une aspiration des différents solutés. Les haustoria envahissent les cellules et transportent activement les nutriments de l'hôte à travers ses membranes; l'agent pathogène se comporte comme un puits supplémentaire pour la plante (Rappilly, 1991). Durant la deuxième année c'est plutôt les plants témoins (infectés) qui ont présenté la teneur la plus importante. Là également on peut expliquer le fait que les plantes infectées, aient une quantité de sucres solubles plus importante que celle des traitées, par la dégradation de l'amidon en présence des enzymes de l'agent pathogène qui stimulent son hydrolyse en glucose en l'utilisant comme source de carbone, ceci est clairement remarqué par Schipper et Mirocha (1969a et b) chez la rouille de la fève (*Uromyces phaseoli*) qui secrète lorsqu'elle est mise au contact des tissus de l'hôte une matière qui active l'amylase et ce dernier divise l'amidon chez l'hôte en glucose et maltose.

Selon Semal (1989), la cause pourrait être que les sucres joueraient un rôle important comme source d'énergie lors de la germination de certains champignons.

Kenaga (1974), montre que le mouvement de translocation des composés au tour des sites d'infection est un processus qui nécessite de l'énergie fournie par la respiration qui augmente généralement après l'infection.

Sur la teneur en proline

Ce paramètre est également un indicateur de stress. Ceci est confirmé par les valeurs obtenues chez les plants témoins des deux variétés et pour les deux années.

Il en est de même, pour ce paramètre, nous ne pouvons sortir avec une conclusion concernant les variétés, au regard de leurs comportements différents, selon les traitements et selon les 02 dates.

Il en demeure que les témoins en général présentent une teneur en proline supérieure à celle des traitées.

Plusieurs auteurs ont noté des changements dans la teneur en acide aminés et en protéines dans les tissus des plantes infectées par les rouilles (Barnes *et al.*, 1988 ; Rwendeire et Barnes, 1988).

La concentration peut varier d'une plante à une autre et d'un biotope à l'autre (May et Leaver, 1993; Viskari *et al.*, 2000). Les résultats de notre travail confirment cette hypothèse, en effet, la variété GTA dur présente la teneur la plus importante aussi bien chez les traités que chez les témoins comparativement à la variété BIDI17.

Hanson *et al.* (1977), ont rapporté que le taux de proline diminue rapidement dans les tissus vivants après le stress par oxydation ou par incorporation de la proline dans les protéines .ceci confirme par la diminution de l'un et l'augmentation de l'autre.

De plus Walters et Ayres (1980 ; 1984), ont montré que la diminution des composés azotés après l'infection est associée à une réduction de l'absorption des nitrates par les racines. On suppose aussi que cette diminution en proline peut être due à l'activité du pathogène qu'il l'a utilisée comme source d'azote, ou d'après Hoppe et Heitefuss (1974), à la destruction de la paroi et le fruit des acides aminés.

Sur la valeur agronomique

Le poids de 1000 grains et le rendement en Qx/ha chez les traités est supérieur a celui des témoins, ceci concorde avec les travaux de Clark (1968) ; Clarck (1989) ; Hennouni (2002) et Achouri (2005) qui trouvent que l'effet de différents fongicides et à différentes doses est positif sur la valeur agronomique des variétés utilisées (Poids de 1000 grains et rendement ha). Plusieurs auteurs ont noté une étroite relation entre l'état sanitaire de la dernière feuille et le poids du grain chez le blé ; Rouaissi et Harbi (1999), Hamadach *et al.* (2002), rapportent que les maladies foliaires affectent surtout la translocation des produits de la photosynthèse des feuilles vers le grain et engendrent l'échaudage du grain d'où la chute du rendement. Il a été constaté que l'effet des fongicides sur le rendement en grains et le poids moyen est étroitement lié à l'effet sur la durée de la surface verte des dernières feuilles, toutcomme Gooding *et al.*, (2000) l'avaient déjà mis en évidence. Un certain nombre de travaux (Aquino *et al.*, 1992 ; Ferrandino et Elmer, 1992 ; Johnson *et al.*, 1992 ; Rossing *et al.*, 1992 ; Wright et Gaunt, 1992 ; Bastiaans, 1993 ; Bastiaans et Kropff, 1993 ; Bastiaans *et al.*, 1994 ; Madeira *et al.*, 1994 ; Bryson *et al.*, 1995 ; Nutter *et al.*,1996) établissent une relation directe entre le rendement et la proportion de tissus sains. Bergamin Filho *et al.*(1997), mettent en évidence une relation linéaire stable entre le rendement, la sévérité et la progression du rendement.

Conclusion de la partie I

Cette étude nous a permis de faire un premier constat sur l'influence du fongicide (ARTEA 330 Ec à différentes concentrations (0,3l/ha, 0,4l/ha et 0,5l/ha) et son impact sur la physiologie et la biochimie de deux variétés de blé dur en l'occurrence GTA dur et BIDI17. Les résultats obtenus montrent que le fongicide testé entraîne une diminution importante du recouvrement pycnidial et des réductions de sévérité allant jusqu'à 80% par rapport aux plantes témoins. Le taux de déperdition d'eau des feuilles traitées baisse nettement ce qui induit à une élévation de leur teneur relative en eau.

Pour le paramètre énergétique, les plants traités présentent une teneur en chlorophylle plus élevée que celle des plants témoins.

Quant aux paramètres biochimiques, pour ces deux indicateurs de stress, on remarque que, tantôt ils augmentent chez les plants traités, et tantôt ils augmentent chez les plants témoins. Mais en général, ces deux osmolytes augmentent chez les plants traités.

Enfin, pour ce qui est du paramètre rendement, les plants traités avec les 03 doses présentent un PMG supérieur à celui des plants témoins (non traités) aussi bien chez la variété GTA dur que BIDI17.

Pour ce qui est de l'effet dose, il semble que la dose (0,5l/ha) ait été la plus efficace suivie de la dose 0,4l/ha.

Quant au comportement des deux variétés de blé dur, La variété BIDI17 semble avoir mieux répondu au fongicide.

PARTIE II : Effet du fongicide ARTEA sur la qualité technologique des semences du blé dur.

Avant propos

Les céréales sont des plantes cultivées principalement pour leurs grains qui sont la base de l'alimentation des premières civilisations ; le riz pour la civilisation asiatique et le blé pour celle du bassin méditerranéen et du Proche Orient (Anonyme, 2002a).

Le grain en totalité est réservé à la consommation humaine et pour la fabrication des pâtes alimentaires. L'augmentation des pâtes alimentaires durant ces dernières années montre l'intérêt de produire des variétés allant à la fois de bonne qualité agronomique et technologique.

Il est reconnu que la qualité d'un blé est un caractère très complexe qui dépend de plusieurs facteurs de nature génétique (variété) et agronomique (année, lieu de culture, techniques culturales). Le problème posé ces dernières années est l'apparition de variétés de blé dur (*Triticum durum Desf*), caractérisées par une bonne productivité, mais aussi par une mauvaise aptitude à la transformation industrielle ce qui a amené les professionnels à rechercher de nouveaux facteurs liés à la qualité technologique et susceptible d'être utilisés en sélection.

De nos jours les rendements mondiaux sont pratiquement plafonnés. L'agriculture est intensive et on doit, chaque année, investir de grandes sommes pour lutter contre les maladies qui diminuent les rendements et la qualité des produits (Caron, 2000). En effet les maladies engendrent de grandes pertes aussi bien sur la quantité que sur la qualité du blé dur.

Dans cette partie du travail nous avons testé l'effet du fongicide ARTEA sur la qualité technologique des semences des deux variétés de blé dur (*Triticum durum Desf*) utilisées lors de la première partie.

A cet effet, nous avons étudié quelques paramètres technologiques des semences issues de plants traités que nous avons comparé avec celles issues de plants non traités c'est à dire infectés par des maladies aériennes telles que la rouille brune et la septoriose.

Cette partie est organisée en trois grands chapitres :

Le premier consiste en une synthèse bibliographique où nous exposons les critères de qualité technologique du blé dur et un bref aperçu sur l'effet des maladies sur cette dernière.

Dans le deuxième chapitre sont exposés le matériel expérimental et les méthodes mis en œuvre dans le cadre du travail expérimental.

Les résultats sont développés et interprétés dans le troisième chapitre suivis d'une discussion et d'une conclusion de cette partie.

CHAPITRE I SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1 Etude de la Qualité technologique du blé

1.1 Composition de grain du blé

1.1.1 Composition histologique du grain du blé

Feillet (2000), affirme qu'un grain de blé est formé de trois régions:

L'albumen: il contient l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies des granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois celluloses sont peu visibles) et de la couche à Aleurone (80- 85% du grain).

Les enveloppes: les enveloppes de la graine et du fruit sont formées de six tissus différents: l'épiderme du nucelle, le tégument séminale ou Testa (enveloppe de la graine), les cellules tributaires, les cellules croisées, le mésocarpe et l'épicarpe (13 à 17%).

Le germe: (3%), composé d'un embryon (lui-même formé du coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum.

Comparativement à d'autres céréales, du Maïs et du riz en particulier, le grain de blé possède un sillon résultant d'une navigation des téguments vers l'intérieur du grain, sur toute sa longueur et du côté du germe; les faisceaux nourriciers de la graine au cours de son développement sont localisés au fond de ce sillon. Sa présence détermine la manière dont s'opère la séparation de l'albumen et des enveloppes pour extraire les farines; il rend en effet impossible, comme en rizerie, l'élimination progressive des téguments par abrasion des parties périphériques. L'extraction des farines et de semoule nécessite de fragmenter les grains, puis d'isoler progressivement l'albumen à partir des zones les plus internes du grain, du centre vers la périphérique ; pour cette raison, la longueur du grain est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 et 4 mm, son épaisseur entre 2,5 et 3,5 mm, sa section longitudinale entre 10 et 16 mm², sa section transversale entre 4 et 7,5 mm², son poids entre 20 et 50 mg et sa densité entre 1,3 et 1,4. (Figures 29 et 30).

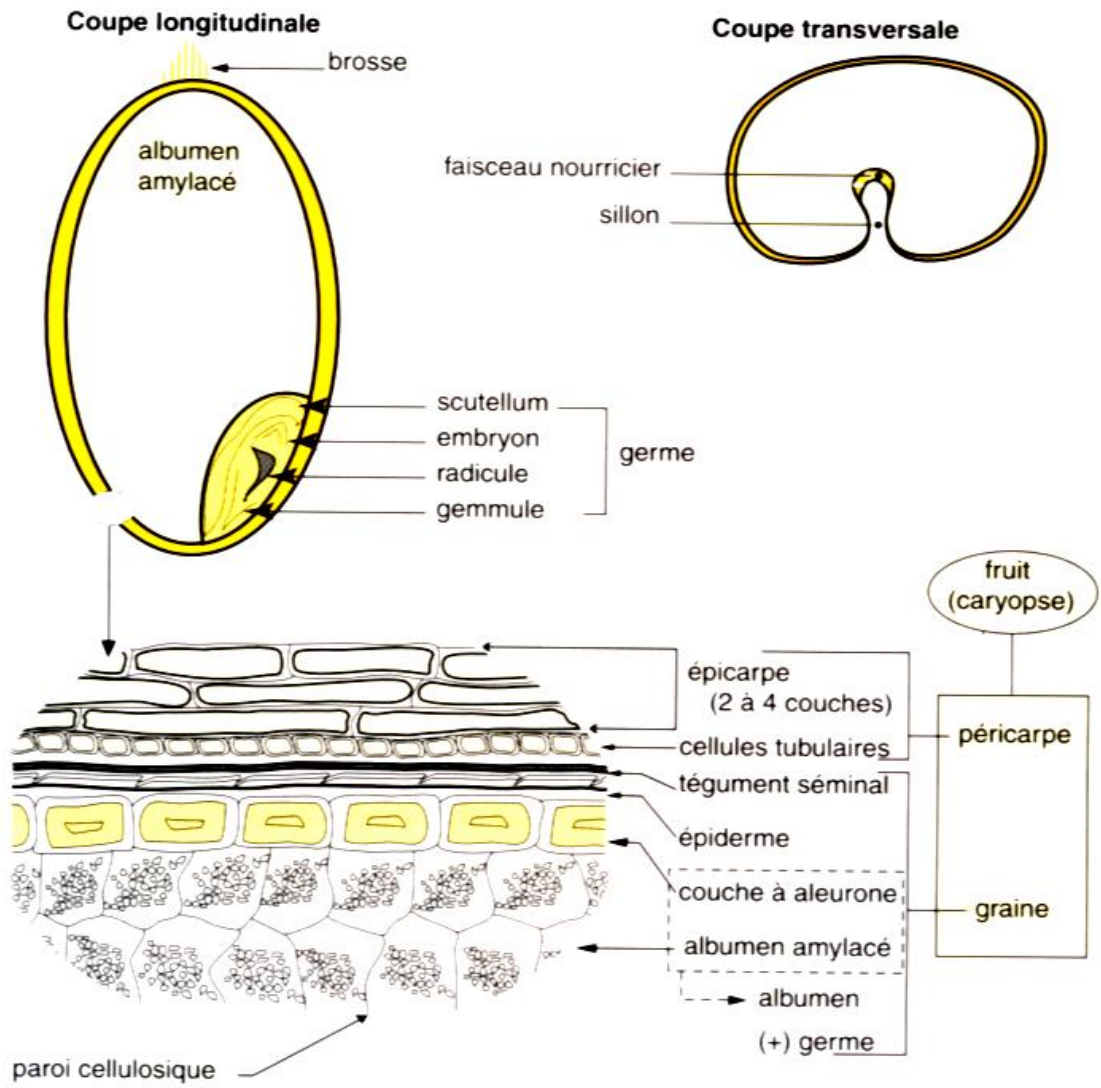


Figure 29. Coupe d'un grain de blé (Feuillet, 2000)

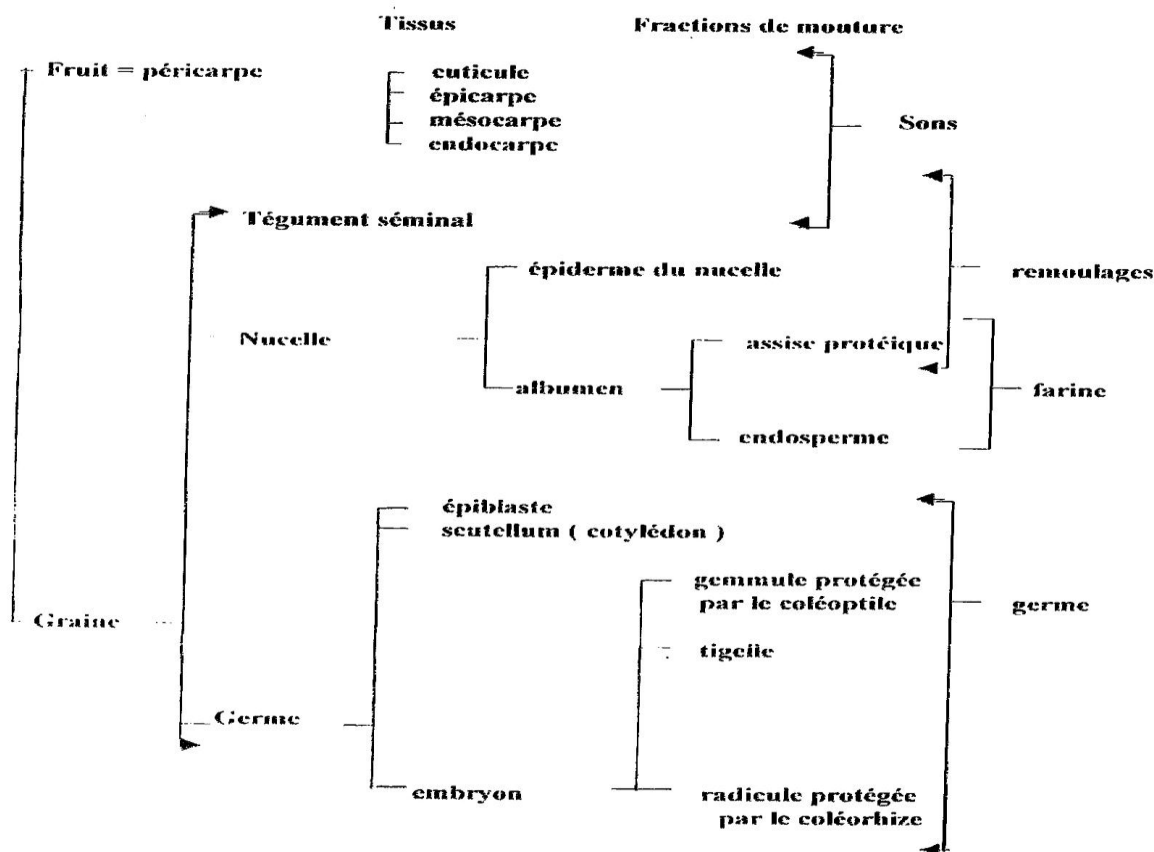


Figure 30. Composition histologique d'un grain de céréale (GODON et WILL, 1991).

1.1.2 Composition chimique du grain de blé

Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15%) selon les variétés et les conditions de culture, et de pentosanes (8 à 10%) ; les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Tableau 3) (Feillet, 2000).

Tableau III. Composition biochimique du grain de blé (limites habituelles de variation) (Feillet, 2000).

Nature des composants	Teneur (% ms)
Protéines	10 – 15
Amidon	67- 71
Pentosanes	8 -10
Cellulose	2- 4
Sucres libres	2- 3
Lipides	2 – 3
Matières minérales	1,5 – 2,5

La graine du blé est une source énergétique dans l'alimentation humaine, elle renferme plusieurs éléments énergétiques et chimiques tel que (Fer, Na, Mg, P) et des vitamines comme le montre le tableau 6 suivant.

Tableau IV. Composition chimique et énergétique du blé dur pour 100 g (de grain entiers) (Anonyme, 1996).

Eau (g)	13,00	Protide (g) (N x 6,25)	14
Energie K Joules	1383	Fibre alimentaire (g)	9,5
Energie Kcal	331,00	Calcium (Mg)	3,5
Glucide (g)	63	Magnésium (Mg)	100
Lipide (g)	2,5	Phosphore (Mg)	390
Sodium (Mg)	5,00	Fer (Mg)	4,5
Potassium(Mg)	—	Vit B1 (Mg)	0,5
Vit B ₂ (Mg)	0,09	Vit PP (Mg)	06,00
Vit E (Mg)	03,00	Biotine (Mg)	0,01
Acidefolique(Mg)	0,04	Vit B6 (Mg)	0,5

1.2 Notion de la qualité

La notion de la qualité des blés dur est très complexe, sa définition dépend à la fois des variétés, des conditions de culture, de l'interaction entre génotype – milieu et de la valeur nutritionnelle (Liu *et al.*, 1996 in Ait Kaki, 2002).

Par ailleurs, l'amélioration de la qualité des variétés en vue de la fabrication de la semoule ou de la pâte alimentaire, ne sera réalisée que lorsque toutes les contraintes limitant le rendement seront levées (Feillet, 1986).

Dans les industries alimentaires, la qualité des variétés locales de blé dur dépend de l'orientation des produits qui y sont issus, ainsi:

- ✓ Le semoulier cherche des variétés à poids spécifique élevé.
- ✓ Le pastier cherche des semoules pures non contaminées par le son et dont la qualité des protéines satisfaisante. (Feillet et Dexter, 1996).

1.3 Notion de la qualité technologique

Les facteurs responsables de la qualité de blé dur sont nombreux; il est nécessaire de dégager les plus importants entre eux. Par priorité, il faut que la qualité culinaire soit bonne, que les pâtes fabriquées restent fermes et ne collent pas entre elles ni ne se délitent après la cuisson. Un deuxième point à ne pas négliger est celui de l'aspect des produits finis, une bonne coloration est notamment essentielle. (Doumandji *et al.*, 2003).

Abecassis *et al.* (1990), citent que la qualité du blé dur dépend du produit fini ainsi que la connaissance précise des constituants du grain du blé sont responsables de la qualité technologique, la définition de leurs déterminants génétiques et le rôle des paramètres agro-climatiques constituent des clés indispensables à l'ensemble des agents de la filière (sélectionneurs, agriculteurs et transformateurs). Ces travaux déjà anciens ont montré l'importance des protéines du gluten, des gliadines et des gluténines, ainsi que de certaines enzymes et lipides, dans l'aptitude des blés à être transformés en pain ou en pâtes. Abecassis *et al.* (1990), rapportent que, sous le terme de qualité technologique des blés durs on regroupe, d'une part la valeur semoulière, d'autre part la valeur pastière qui est l'aptitude d'une semoule à être transformée en pâtes alimentaires dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs.

1.4 Appréciation de la valeur technologique des blés durs

1.4.1 Valeur ou qualité semoulière

Selon Abecassis (1993), la qualité semoulière est la quantité de semoule d'une pureté déterminée que peut fabriquer un semoulier à partir des blés qui lui sont livrés. Elle dépend en fait de trois groupes de facteurs.

1.1.4.1 Les conditions de culture et de récolte

L'influence des conditions de la culture et de la récolte sur la valeur semoulière est évidente. Il en est d'ailleurs régulièrement tenu compte dans les transactions commerciales. Dans cette catégorie on tient compte de :

La teneur en eau

La connaissance de la teneur en eau d'un lot de blé dur est intéressante pour la détermination de la conduite des opérations de récolte, de séchage, de stockage ou de transformation industrielle. Cette mesure figure dans les contrats commerciaux et les normes réglementaires où sont fixés les seuils à partir desquels sont appliquées des panifications ou des réfections. Dans le cas du blé dur, la teneur en eau maximale tolérée est de 14,5 % (Brigitte *in* Anonyme, 1996b).

Taux d'impureté

Le plus souvent elle est égale à 2 ou 3% et qui représente la somme des produits étrangers utilisables : graines d'autres céréales, graines de légumineuses, pierres,..... (Abecassis, 1996).

Taux de la grosseur des grains cassés

Il est parfois impossible de séparer d'autres impuretés au cours du nettoyage. Ces différentes caractéristiques influencent le poids à l'hectolitre (Abecassis, 1996).

La nature des variétés

Selon Abecassis (1993), c'est un paramètre qui conditionne la valeur des blés nettoyés à leur arrivée sur le premier broyeur. Cependant il faut reconnaître que leur influence sur le rendement semoulier reste le fait d'une connaissance plus intuitive que scientifique, Dans cette optique la valeur semoulière dépend :

Du rapport Albumen/enveloppes

Ce rapport est fonction de l'épaisseur des enveloppes et de la forme du grain. On considère souvent que la proportion des enveloppes est d'autant plus grande que le poids du grain est petit, même si d'une manière générale le rendement en semoule est corrélé de

façon significative au poids de 1000 graines, cette affirmation doit cependant être nuancée. D'ailleurs aussi bien chez le blé dur que chez le blé tendre de nombreuses observations ont été faites en sens inverse. Par contre un faible poids de 1000 graines consécutif à l'échaudage aura des conséquences désastreuses sur le rendement semoulier (Abecassis, 1993). Marie *et al.* in Anonyme (1996 b), citent que les grains les plus gros fournissent un meilleur rendement en semoule. La gamme variétale actuelle offre des poids de 1000 graines potentiels allant de 35 à 60 g. Abecassis (1993), affirme qu'une certaine estimation de fiabilité de l'amande peut être obtenue par la mesure du taux de mitadinage qui rend compte des proportions d'amande farineuse et vitreuse; plus l'amande est vitreuse et dure, moins elle aura tendance à se réduire en farine. Alors qu'un grain fortement mitadiné est très friable et aura tendance à se désagréger en produit très fin au détriment du rendement en semoule. Brigitte in Anonyme (1996 b), cite que le taux de grains mitadinés maximal admis pour l'intervention est de 40%. Le mitadinage aussi dépend de la quantité d'azote présent dans le grain et des conditions de récolte. En effet, plus la teneur d'un lot en protéine est élevée, moins le mitadinage est important. Par ailleurs des conditions climatiques humides à la récolte favorisent son apparition.

La facilité de séparation de l'albumen et des enveloppes

Elle traduit la difficulté rencontrée par le semoulier pour « épuiser » convenablement les sons. Une liaison trop intime entre l'albumen et les couches périphériques du grain aura pour effet de diminuer le rendement semoulier ou augmenter la présence des piqûres dans les semoules. Il s'agit là d'un grave défaut que seule la mouture d'essai permet d'apprécier.

La richesse en matières minérales

Il s'agit de la qualité réglementaire des blés, la teneur en matières minérales dépend du taux d'extraction que l'on entend contrôler de cette manière, mais également de la minéralisation des blés. En effet lorsque le semoulier élève son taux d'extraction, il obtient d'avantage des produits nobles mais amenuise leur pureté et cela se traduit toujours par une augmentation de la teneur en cendres. Mais d'autre part, lorsque le fabricant de pâte alimentaire se trouve en présence d'une semoule présentant une teneur en cendre trop forte il ne peut affirmer que les taux d'extraction habituels ont été dépassés car l'excès de minéralisation du produit peut provenir de la mise en mouture de blés très minéralisés.

Godon et Will (1991), affirment que les matières minérales sont présentes de 2 à 3 % de la substance humide du grain. Cette teneur est relativement fixe quelque soit les conditions externes dans lesquelles la céréale a été cultivée. La plus grande part des matières minérales du grain y sont représentées, mais dans des proportions très différentes.

1.1.4.2 Valeur pastière

La valeur pastière regroupe deux notions d'une part l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires (facilité de malaxage, de tréfilage et de séchage) et d'autre part la qualité des produits finis.

Pour le consommateur, bien que l'importance qu'il leurs accorde soit différente selon les pays, deux critères sont essentiels : il y a d'abord l'aspect de la pâte crue et le comportement de cette pâte au cours de la cuisson (la qualité culinaire) (Feillet *et al.*, 1977).

1.1.4.3 Etude de l'aspect des semoules

Quatre groupes de facteurs déterminent l'aspect des pâtes alimentaires: Les gerçures, les piqûres, la texture superficielle et la coloration.

Les Gerçures

Elles constituent un accident grave de fabrication qui est dû à un séchage défectueux, elle se traduit par l'apparition de fêtures dans les pâtes sèches. L'aspect des produits est déplaisant ; la résistance à l'emballage est faible ; il est possible que suivant la qualité des semoules mises en œuvre, les pâtes soient plus ou moins faciles à sécher. Mais la cause essentielle du gerçage réside néanmoins dans un mauvais réglage des sélections (Feillet, 2000).

Les piqûres

On distingue différents types de piqûres:

Piqûres blanches: Elles proviennent des mauvaises conditions de pastification (hydratation, Malaxage, Séchage), les spécialistes ont l'habitude de les désigner par « points blanc ».

Piqûres noires: Elles sont dues aux graines de mauvaises herbes comme la moutarde ou l'ergot ou des graines mouchetées, non éliminées au cours du nettoyage.

Piqûres brunes: Elles proviennent des sons non éliminés au cours de la mouture. Elles sont d'autant plus nombreuses et visibles que la mouture est mal conduite. (Feillet, 2000).

Texture superficielle des pâtes

Elle peut être lisse ou rugueuse. Elle dépend de la nature des moules utilisés. Les moules en téflon conférant aux pâtes un aspect lisse et brillant, les moules en bronze favorisant le développement d'une surface rugueuse et hétérogène. (Feillet, 2000)

La coloration

Brigitte *in* Anonyme (1996 b), affirme que l'intérêt de la mesure de la coloration est surtout commercial. En effet, le consommateur recherche des pâtes claires de belle couleur jaune ombrée. Marie *et al.*, *in* Anonyme (1996 b), affirment que l'indice de jaune est compris entre 15 à 25 %.

Indice de jaune: Dépend de la quantité de pigments caroténoïdes présents dans la semoule et de l'activité d'enzymes (lipoxygénases) susceptibles de détruire les pigments au cours de la pastification. Pour une matière première déterminée, il est possible de réduire les pertes de pigments en conduisant la mouture de manière à éviter une contamination des semoules par les germes du grain dont on connaît la teneur très élevée en lipoxygénases ainsi qu'en recherchant des conditions de fabrication qui évitent l'activité de ces enzymes.

Indice de brun: Il est fonction de l'activité d'une autre catégorie d'enzymes (peroxydases). Toute action visant à diminuer l'activité de celles-ci, soit par la sélection de variétés qui n'en possède que de faibles quantités, soit par la mise en œuvre de technologies appropriées (bonne purification des semoules durant la mouture, application de températures élevées en début de séchage), a un effet bénéfique sur la coloration des produits finis (Anonyme, 1996 b).

1.1.4.4 La qualité culinaire

La cuisson d'une pâte alimentaire répond à un triple but ; d'abord gélatiniser l'amidon pour le rendre digestible puis modifier la texture des pâtes de manière à leur conférer les caractéristiques souhaitées par le consommateur, et enfin élever la température des produits.

On peut définir le temps minimal de cuisson comme le temps nécessaire pour gélatiniser totalement l'amidon. Il peut être aisément déterminé en prélevant des brins de spaghetti en cours de cuisson, en les écrasant entre deux plaques de verre et en suivant la disparition d'une ligne centrale blanche dont la présence témoigne.

1.1.5 Les composants du grain en relation avec la qualité

La qualité du blé est influencée par chacun des constituants du grain qui joue un rôle seul ou en interaction avec d'autres constituants dans l'expression de la qualité. Parmi ces composants, on a les protéines, l'amidon, les sucres lipides, les enzymes, les celluloses, et les matières minérales (Feillet ,2000).

1.1.5.1 Les protéines

Le grain de blé contient environ 13 % qui sont localisées dans l'albumen et la couche aleurone. Cette teneur en protéine totale varie sous l'influence des facteurs génétiques et agro-climatiques. (Cheftel, 1985). Cette teneur est susceptible de varier énormément elle va de 8 à 18 % de matière sèche. Elles sont inégalement réparties entre les différentes couches histologiques du grain (Feillet, 2000).

Godon et Will (1991), affirment que la teneur en protéine de la matière organique est obtenue par la multiplication de la teneur en azote minérale par un coefficient moyen (5,7). Ces protéines sont classées d'après leur caractéristique de solubilité en 04 groupes:

Les protéines solubles: elles représentent 15 à 20 % des protéines totales et sont constituées de:

L'Albumine

Elles constituent 9 % des protéines totales du blé, elles sont solubles dans l'eau et les solutions salines, leur poids moléculaire est généralement estimé entre 11000 à 30000 daltons (Cheftel et Cheftel, 1977 ; Cheftel, 1985).

Les Globulines

Elles représentent 5% des protéines totales du grain de blé, c'est une famille des protéines constituées d'un grand nombre d'acides aminés (Holoprotéines). Leur poids moléculaire est élevé (au-delà de 100 000 daltons). Elles sont moins acides que les Albumines Elles sont solubles dans les solutions salines et précipitation contre l'eau. (Cheftel, 1985; Zhang *et al.*, 2003).

Les protéines de réserve

Elles représentent 80 à 90 % des protéines totales:

Gliadines

Le blé renferme de 30 à 40% de gliadine. C'est une famille de protéines dont les constituants sont uniquement des acides aminés (Holoprotéines), Elles sont insolubles dans l'eau, elles sont solubles dans l'éthanol 70 %. Ces propriétés sont mises à profit pour leur obtention, leur poids moléculaire varie de 200.000 à 500.000 daltons (Cheftel et Cheftel, 1977).

Gluténines

Elles entrent dans les propriétés viscoélastiques de la pâte. Elles représentent 40 à 50 % de protéines totales. Elles se caractérisent par leur solubilité dans les solutions acides (acide acétique) ou alcalines diluées ou dans les solutions d'agents dissociant (SDS, savon, urée, guanidine) et leur solubilité dans les solutions salines à pH neutre. Elles sont riches en acide glutamique, en proline et en arginine et sont très proches des prolamines. Leur poids moléculaires varie de 01 à plusieurs millions (le minimum 1000,00 daltons) (Cheftel et Cheftel, 1977 ; Louisot, 1980).

Le tableau 5 nous donne un aperçu détaillé sur la composition des protéines du blé.

Tableau III. Composition des protéines du blé (Résidus %) (Charles and Linden, 1997)

	Gliadine	Gluténine	Globuline
Glycine	3,1	7,5	9,5
Alanine	3,3	4,4	6,1
Valine	4,8	4,8	2,4
Leucine	7,0	6,5	9,0
Isoleucine	4,3	3,7	3,4
Phénylalanine	4,3	3,6	2,4
Proline	16,2	11,9	3,8
Tryptophane	0,4	1,3	3,8
Sérine	6,1	7,0	11,1
Thréonine	2,4	3,5	4,8
Tyrosine	1,8	2,5	1,6
Méthionine	1,2	1,4	0,4
Ac.Aspartique	2,8	3,6	6,0
Ac.glutamique	34,5	28,9	5,1
Lysine (*)	0,6	2,00	10,6
Méthionine	1,9	1,9	1,8
Arginine	2,0	3,0	10,6
Cystéine	3,3	2,6	13,4

(*) : Presque entièrement sous forme de Glutamine.

1.1.6 Relation entre la composition protéique et la qualité du blé dur

Matweef (1996) *in* Ait kaki (2002), recommande qu'un blé dur doive avoir une teneur en protéines supérieure à 13% pour la production de bonnes pâtes. Une teneur inférieure à

11% donne des pâtes de mauvaise qualité. Feillet (1984), montre que la teneur en protéines révèle un facteur déterminant des propriétés culinaires des semoules. Elles sont responsables de la qualité des pâtes alimentaires à 87 %. Elles interviennent à la fois dans le développement des propriétés viscoélastiques des pâtes cuites et dans leur état de surface.

1.1.6.1 Le gluten

Le gluten est un matériel viscoélastique obtenu par lixiviation (lavage par l'eau) d'une pâte de blé tendre ou de blé dur. Principalement constitué de protéines (75 à 80 % MS), il contient également de l'amidon (8 à 10 % MS), des sucres réducteurs (1 à 2 % MS), des lipides (5 à 10 % MS) dont les 2/3 environ sont des lipides polaires, des pentosanes (2 % MS) et des matières minérales (1% MS) (Feillet, 2000).

Brigitte *in* Anonyme (1996 b), affirme que la quantité de gluten est très liée à la teneur en protéines et la mesure de gluten constitue le plus souvent le seul test technologique d'appréciation de la qualité des blés durs.

1.1.6.2 L'amidon

Feillet (2000), affirme que l'amidon est le principal polysaccharide de réserve des végétaux supérieurs (grains de céréales, grains de légumineuses...). Le grain de blé et l'Albumen en contiennent respectivement 67 à 68 % et 78– 82 %. C'est l'un des polymères fonctionnels les plus importants des aliments en raison de son pouvoir gélifiant, viscosifiant et fixateur d'eau.

1.1.6.3 Les pentosanes

Les pentosanes sont des polysaccharides non amyliques constitutifs des parois végétales. Ce sont les principaux constituants des parois cellulaires de l'albumen (50 à 80%). Ils représentent 6 à 8% du grain et 2 à 3% de la farine, leur présence dans les grains est une caractéristique fortement héritable (Feillet, 2000). Selon Boukhemia (2003), les pentosanes sont des substances précipitables par l'alcool à 65-70%, ce sont divers polyholosides dérivés des pentoses; on distingue deux fractions:

Une fraction hydrosoluble constituée essentiellement de xylose et d'arabinose et occupant 25% de la fraction totale.

Une fraction insoluble (acidosoluble) qu'on appelle hémicellulose et qui présente 25% de la fraction totale

Les pentosannases sont des enzymes capables d'hydrolyser les pentosanes solubles et insolubles, selon leur mode d'action et leur spécificité. Elles se classent en Eude- ou exoxylyanases et en arabinoquidases (EC 3.2.1.5.5) ou arabinoylanases (EC 3.2.1.8) et possèdent une grande capacité de rétention d'eau (Feillet, 2000).

1.1.6.4 Les lipides

Les principales matières grasses du blé, du germe et de la semoule sont des acides gras (acide palmitique, stéarique oléique, linoléique et linoléique, des glycérides simples), principalement, des triglycérides mais également des mono et des diglycérides, des glycolipides (galactoglycérides, et des phospho -lipides). Elles sont inégalement distribuées dans le grain:

Les lipides du blé représentent en moyenne 2 à 3 % du grain sec, ce sont des constituants mineurs du blé, certains sont libres, mais la majorité est associée aux composantes

majeures (amidon, protéines) et leurs effets sont importants dans les processus technologiques (Godan et Will, 1991).

Les chimistes céréaliers ont l'habitude de classer les lipides des céréales d'après leurs différences d'extractibilité. Ainsi les lipides extraits par des solvants apolaires anhydres (pentane, hexane, benzène, chloroforme) sont appelés « libres ». Ils représentent 1 à 2,6% de la MS. Les lipides jouent un rôle important dans la technologie des produits céréaliers, que ce soit lors de leur fabrication en intervenant sur les caractéristiques rhéologiques, émulsification et production de composés volatils des pâtes, et par conséquent sur la qualité du produit fini ou au cours du stockage, en raison des altérations consécutives de leurs acides gras poly insaturés facilement oxydables (Feillet et Dexter, 1996).

Dans le cas du blé dur, les travaux qui relient la fraction lipidique à la qualité des blés, sont peu nombreux. Généralement, les lipides qui représentent 1 à 2% de la semoule de blé dur et des pâtes, jouent un rôle relativement important dans la qualité culinaire, en s'associant aux protéines au cours du malaxage des pâtes. Les effets des lipides sur les propriétés fonctionnelles de la pâte dépendent d'un équilibre entre lipides polaires et non polaires (Laignelet, 1983).

1.1.6.5 Les enzymes

Ce sont des protéines qui exercent une activité catalytique spécifique d'un très grand nombre de réactions chimiques du métabolisme. Les enzymes sont des molécules présentes en petite quantité dans les cellules vivantes (Feillet, 2000). L'intérêt porté aux enzymes en pastification provient de la relation qui a été établie, depuis plusieurs années, entre leur activité et l'un des principaux critères de la qualité des pâtes qui est leur couleur (Icard et Feillet, 1996).

Les pigments caroténoïdes, qui dans le cas du blé sont constitués par la lutéine, sont à l'origine de la composante jaune recherchée dans les semoules de blé dur et les pâtes alimentaires (Samson et Morel, 1995).

Chez le blé, la lyxogénase est principalement localisée dans la partie périphérique du grain, elle est plus abondante dans le germe du grain que dans l'albumen.

1.1.6.6 Les substances minérales

Les études de Matweef (1946) *in* Ait Kaki (2002), qui consistent à doser les cendres du blé dans les parties constituantes du grain, montrent que les cendres des enveloppes peuvent varier du simple au double pour la même variété du blé suivant son milieu de culture; les cendres de l'amande farineuse cependant, accuse des écarts minimes entre les blés les plus divers et y sont en très faible quantité (la teneur en cendre de l'amande et d'environ 10 fois plus faible que celle des enveloppes).

I.2 Action du pathogène sur les processus biochimiques du blé

I.2.1 Action du pathogène sur la qualité du grain

Rapilly (1971), signale que chez les céréales infectées par la rouille, le poids de 1000 grains peut être abaissé de 40%. L'infection du blé par la rouille a un effet nuisible sur le rendement en grain, le poids de 1000 grains ainsi que sur la qualité du grain qui se traduit par une baisse de la teneur en protéines (Dyck et Lukow, 1988 *in* Alliou, 1997).

I.2.2 Action du pathogène sur le métabolisme de proline

La proline est un acide aminé découvert en 1900 par WILSTTER lors d'un dosage de l'ornithine, et isolé pour la première fois des hydrolysats acides de caséine par FISHER, c'est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la composition des protéines (Guettouche, 1990)

La proline peut être considérée comme un indicateur pour les stress : hydrique, salin, thermique et photonique, ou pour les stress causés par l'infection par plusieurs pathogènes (Amberger et Obendorfer, 1988 ; Naidu *et al.*, 1991).

Plusieurs travaux ont noté l'accumulation de la proline dans les plantes après l'infection par des agents pathogènes (Hanson *et al.* 1977 in Alloui, 1997)

Goring et Plescher (1986) ; Alloui (1997), signalent que le stress hydrique et des concentrations élevées en AIA (Acide Indole Acétique, qui augmente dans les tissus infectés par les rouilles), diminuent le pH cytosolique et jouent un rôle important dans l'accumulation induite par le stress, de la proline chez différentes espèces de plantes notamment le blé.

Selon Maclean (1982), la glutamine, acide aminé qui intervient dans la synthèse de la proline est probablement l'acide aminé le plus utilisé par les rouilles dans les tissus de l'hôte et il est la source préférée d'azote pour *Puccinia graminis* comme il joue le rôle de précurseur pour la synthèse de la chitine du champignon.

Il y a accumulation des glucoprotéines riches en hydroxyproline chez les plantes infectées par des agents pathogènes (Keen, 1992).

L'hydroxyproline qui est un acide aminé dérivé de la proline, par hydroxylation est le constituant majeur du collagène protéine de connexion des tissus (Harper, 1977 ; Audigie, 1980). Le groupement hydroxyle, stabilise les fibres du collagène et contribue à la rigidité des parois cellulaires (Cheftel *et al.*, 1984).

CHAPITRE II MATERIEL ET METHODES

1. Matériel végétal

L'étude a porté sur les semences des mêmes variétés de blé dur (BIDI17 et GTA dur) étudiées lors de la première partie. L'origine et la fiche descriptive des deux espèces ont été mentionnées précédemment dans la partie expérimentale de la première partie de la thèse (tableau 2).

2. Méthodes expérimentales

L'objet de ce chapitre est d'exposer le principe des méthodes d'analyse utilisées au sein de la filière blé. Les analyses sont classées sous les quatre rubriques suivantes :

- > Analyses physiologiques.
- > Analyses physicochimiques des grains et semoule.
- > Analyses technologiques des grains et semoule.
- > Analyses biochimiques des semoules.

Ces analyses ont été réalisées dans des laboratoires différents :

Laboratoires de l'I.T.G.C d'El Harrach (Alger)

Laboratoires de l'I.N.A d'El Harrach (Alger).

2.1 Analyses physiologiques

2.1.1 Test de germination

La germination c'est l'ensemble des phénomènes par lesquels, la plantule, en vie ralentie dans les graines, reprend une vie active et se développe. Au cours de la germination, les protéines de réserves stockées dans l'albumen sont mobilisées pour assurer l'alimentation de la plantule, cette mobilisation pourrait être facilitée par la thiorédoxine qui est capable de mobiliser l'azote des protéines du gluten en réduisant les liaisons disulfures des gliadines et des gluténines (feuillet, 2000).

Mode opératoire

20 graines de chaque échantillon sont choisies aléatoirement puis sont placées en quinconce dans un germoir en papier, appelé papier buvard, imbibé avec de l'eau distillée. Ensuite l'ensemble (graines à tester+les papiers) est mis dans des sachets spéciaux transparents, puis déposés dans un plateau en plastique et placés dans un endroit éclairé avec suffisamment de chaleur, d'air, et de lumière sans excès durant 7 jours. On observe pendant cette période l'apparition des premiers germes, puis on procède au comptage du nombre de graines germées.

Expression des résultats

Le pourcentage de germination est exprimé par le pourcentage des graines germées par rapport au nombre total des graines par plaquette (Malek *et al.* 1998 *in* Ait kaki, 2002)

$$G = (N / NO) \times 100$$

D'où : N: le nombre de grain germées en 7 jours

NO : le nombre de graines utilisées pour chaque essai.

Les résultats sont la moyenne de 03 répétitions

2.2 Analyses physiques

Ces mesures, communes à de nombreuses espèces, permettent d'apprécier si le lot de blé dur est sain, loyal et marchand. L'influence des caractéristiques physiques sur la qualité technologique du blé dur est très significative. Au cours de la mouture, ces caractéristiques se font sentir directement sur les produits transformés en semoule ou farine et sur les valeurs boulangères, pastières et nutritionnelles.

2.2.1 Détermination du poids de milles (1000) graines (PMG)

C'est une des composantes du rendement agronomique et du rendement semoulier. Cette mesure est surtout effectuée lors de la sélection du blé dur, c'est un critère essentiellement variétal qui dépend beaucoup des conditions de culture qui l'influencent de façon significative (Aït-Kaki, 2008).

Ce critère présente plusieurs intérêts :

Intérêt agronomique

La taille du grain est une caractéristique essentiellement variétale, mais elle dépend également des conditions de culture, la masse de 1000 grain est une des composantes du rendement agronomique des céréales. Elle est donc un bon indicateur du mode d'élaboration du rendement et des problèmes rencontrés par la plante lors de son développement : échaudage, attaques par les maladies ou les insectes (Anonyme, 2001a).

Intérêt technologique

Elle est l'un des indicateurs du rendement technologique dans les industries de première transformation (rendements semoulier, meunier ou brassicole) (Anonyme, 2001). Son utilité est pour prédire le comportement du blé au cours de la mouture (Feillet, 2000).

Principe

Le P.M.G est la détermination en gramme de la masse de 1000 grains entiers.

Mode opératoire

On prélève au hasard une quantité de grains de l'espèce considérée, on sélectionne les grains entiers, on compte ces derniers à l'aide du compteur automatique Numigral, puis on pèse la masse de 1000 grains, selon la norme (NF V03-702)

Les résultats sont déterminés d'après la formule suivante: (Anonyme, 1996a, Anonyme, 2001).

$$\text{PMG (Gr/MS)} = \text{PX} [(100 - \text{H}) / 100]$$

P : masse en gramme de 1000 grains entiers.

H: teneur en eau de grains.

Nombre de répétitions : 3 essais.

2.2.2 Détermination du taux de moucheture

Le taux de moucheture est essentiellement commercial. La présence sur les grains, de tâches brunes ou noires plus ou moins grandes causées par le développement de certains champignons, provoquent des points noirs dans la semoule et les pâtes alimentaires et affectent ainsi la valeur commerciale du produit fini.

Dans l'état actuelle des connaissances, on pense que la moucheture du blé dur traduit la réaction de défense de la plante à des stress multiples, toutes les variétés n'ont pas le même degré de sensibilité à ce dommage (Anonyme, 2001).

Ce paramètre est déterminé par appréciation visuelle de la coloration brunâtre à l'autre endroit que sur le germe, sur le sillon (Feillet, 2000). La détermination se fait selon la méthode de BIPEA (ISO 7970). Elle s'effectue sur 20 gr de grains de blé dur entiers ; les grains mouchetés seront séparés du lot et pesés. Les résultats sont la moyenne de trois répétitions et sont exprimés en pourcentage selon la formule suivante :

$$M (\%) = (M1 / M2) \times 100$$

M1 : masse en gramme de grains entiers mouchetés présents dans 20gr d'échantillon

M2 : masse en gramme du prélèvement (20g)

2.2.3 Détermination du taux de mitadinage

C'est un accident physiologique du blé dur intervenant au cours de sa maturation, qui se traduit par les anomalies de la texture et de la couleur des grains. Le mitadinage affecte la valeur des grains au regard de la fabrication de la semoule (Anonyme; 2002). Un grain de blé mitadiné devient farineux par une modification de la structure de l'albumen provoquée par un manque d'azote au stade gonflement (Lmloul, 1977)

Principe

La détermination est faite sur 150 graines en comptant les grains mitadinés après les avoir coupés transversalement à l'aide d'un "farinotome de Pohl.

Appareillage

-Farinome de Pohl avec un jeu de trois (03) plaques

-Pincette, scapelle, pinceau.

-Récipient plat d'environ 2l de capacité.

Mode opératoire

Introduire la plaque du coupe grains, verser une poignée de grains entiers sur la grille, secouer de telle façon qu'un grain se place verticalement dans chaque alvéole ; rabattre le couvercle pour maintenir les grains, retirer la plaque avec précaution puis compter le nombre de grain mitadinés selon la norme (NF V03 – 705)

Les résultats sont exprimés en pourcentage :

$$M (\%) = \frac{X}{X'} \times 100$$

X : le nombre de grains mitadinés dans 150 grains

X' : nombre de grain utilisés.

L'opération est répétée trois (03) fois.

2.2.3 Calibrage ou granulométrie

Le calibrage permet de donner une indication sur la grosseur des grains et l'homogénéité du lot (Anonyme; 1996).

Mode opératoire

La détermination se fait sur 100g d'échantillon ou de grains de blé dans un appareil vibreur pendant 3mn à l'aide d'un CALIBREUR. La séparation des graines est faite selon la grosseur des grains et les tamis utilisés.

- Gros calibres : refus de tamis (2,8mm x 20mm)
- Petits calibres : (refus de tamis 2,2mm x 20mm)

Les résultats sont la moyenne de 03 répétitions et sont exprimés en gramme.

2.3 Analyses technologiques

Ces analyses donnent la meilleure information qualitative mais requièrent des équipements assez lourds. Elles sont le plus souvent mises en œuvre au laboratoire. Les analyses technologiques de nos échantillons sont appréciées à l'aide d'une série de tests:

2.3.1 Préparation des échantillons de blé

La mouture

C'est une opération simple de la transformation des graines en semoule ou en farine, effectuée par le moulin de NAMAD. La mouture est la phase durant laquelle sont produites, la farine (qui servira plus tard à l'élaboration du pain) et la semoule qui sera principalement utilisée pour fabriquer des pâtes alimentaires ou conservés en l'état pour entrer dans la composition de plats tel que le couscous. On utilise pour arriver au produit final, la partie appelée « amande » du grain en la réduisant en poudre.

Le conditionnement

Il s'agit d'apporter la quantité d'eau nécessaire afin d'assouplir l'écorce du grain et de faciliter la séparation du son de l'amande, après nettoyage des grains de leurs impuretés et la détermination de la teneur en eau. Les échantillons sont hydratés à une teneur en eau égale à 14 % durant 24 h, puis à 17 % pendant 2h. Après la mouture, la semoule extraite de grains de blé dur est récupérée puis conservée au laboratoire, afin d'être utilisée pour les analyses. L'appareil utilisé est le mélangeur Chopin pendant 1/2 heure.

2.3.1 Détermination de la teneur en eau

Ce paramètre est intéressant dans la mesure où il permet la détermination et la conduite des opérations de récolte, de séchage, de stockage ou de transformation industrielle. Dans le cas du blé dur, la teneur en eau maximale tolérée est de 14,5%.

La mesure de la teneur en eau présente trois intérêts principaux :

Intérêt analytique : c'est pour rapporter les résultats des analyses de toute nature à une base fixée (matière sèche)

Intérêt technologique : pour les déterminations et la conduite rationnelle des opérations de récolte et de stockage.

Intérêt commercial et réglementaire : les contrats commerciaux et les normes réglementaires fixent des seuils de teneur en eau (I.T.G.C).

Principe

On entend conventionnellement par teneur en eau, la perte de masse exprimée en pourcentage subie par le produit, elle est déterminée après séchage de 5gr de grains broyés, dans une étuve Chopin réglée à 130° pendant 02heures (Lempereur *et al* ; 1997).

Expression des résultats : selon la formule

$$H (\%) = \frac{M1 - M2}{M1 - M0} \times 100$$

Où :

H : l'humidité ou (teneur en eau).

M1: la masse de prise d'essais + la vase métallique (avant séchage)

M0 : la masse de la vase métallique (capsule).

M2 : la masse de prise d'essai + la vase métallique (après séchage).

Nombre de répétitions : trois (03).

2.3.2 Détermination du taux d'extraction

Il s'agit d'apprécier l'importance du son incorporé à la farine, le taux d'extraction est en effet le poids de la farine ou semoule extraite de 100gr de grains. Il peut varier de façon importante. Plus le taux diminue et plus la farine est blanche ou pure. En moyenne, on peut considérer que le taux d'extraction d'une farine panifiable est de l'ordre de 70% (Lmloul, 1977).

Principe :

-On Pèse les grains avant la mouture de chaque échantillon et pour chaque variété.

-Après la mouture, on pèse la semoule extraite pour chaque échantillon et pour chaque variété.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en %

G \longrightarrow g

100 \longrightarrow X

G : Le poids des grains avant mouture

g : Le poids de la semoule extraite

X (%) = g X 100 / G

2.3.3 Détermination des cendres

Selon Feillet (2000), la connaissance de la teneur en matières minérales (ou teneur en cendres) permet aux meuniers de régler leurs moulins et de déterminer les taux d'extraction des farines ; elle est utilisée pour déterminer le degré de pureté réglementaire des farines. Ait-Kaki (2008), rapporte que les matières minérales du blé sont principalement réparties dans les enveloppes et la teneur en cendre donne une indication sur le taux d'extraction en semoulerie au regard de la réglementation en vigueur qui associe la pureté de la semoule à leur taux de cendre. En fait la législation impose des

taux de cendre maximum à ne pas dépasser en fonction des catégories de semoules (ex : 1,10% pour la semoule supérieure).

Intérêt

La mesure de la teneur en cendre est d'un intérêt capital pour deux raisons particulières :

- ✓ L'appréciation de la conduite du moulin
- ✓ Le classement des farines selon les types définis par la réglementation.

Principe

La teneur en cendre est déterminée par la pesée des résidus obtenus par incinération d'une prise d'essai à une température de 900°C (NF V 03-720 de décembre 1981) jusqu'à combustion complète de la matière organique (AFNOR, 1991). Le dosage des cendres brutes permet seulement d'apprécier par différence l'importance de la fraction organique contenue dans les éléments (Anonyme, 2002). On exprime ce taux pour 100 gr par approximation

Mode opératoire

On chauffe pendant 15 minutes les nacelles dans le four à mouffles réglé à 900°C.

On laisse refroidir dans le dessiccateur puis on pèse, on broie environ 6g de produit, ensuite on place dans chaque nacelle 2g de produits puis on ajoute 2ml d'éthanol dans chaque nacelle. On place les nacelles à l'intérieur du four pendant 1 heure 30, puis on pèse. On détermine la teneur en cendre selon la norme ISO 712 (NFV 03 – 720) (Audigie, 2000) et selon la formule suivante :

$$C (\%) = \frac{M2 - M0}{M1 - M0} \times 100 \times \frac{100}{100 - H}$$

C(%) : teneur en cendre

M0 : masse en gramme de nacelle vide

M1 : masse de la nacelle vide + prise d'essais (avant séchage)

M2 : nacelle et prise d'essais (après séchage)

H : l'humidité ou teneur en eau de l'échantillon en % de matière humide

2.3.4 Détermination du taux de gluten

Intérêt

Le blé est la seule céréale dont les protéines ont la propriété de constituer dans la pâte un réseau protéique (gluten assurant l'extensibilité, l'élasticité et la ténacité, qui ont une influence sur le comportement des pâtes au cours de la fabrication et sur la qualité du produit fini, cette mesure a un intérêt principalement technique qui permet d'apprécier la qualité et la quantité du gluten (Anonyme, 1995).

La boulangerie exige des farines ayant des taux de gluten de 10% minimum (Sadli, 1993).

Appréciation de la qualité du gluten

On mesure des caractéristiques viscoélastiques du gluten par centrifugation à travers une grille perforée et on mesure le pourcentage restant sur le tamis à la fin de l'opération, cette quantité est fonction du gluten. Plus le gluten est tenace et élastique, plus la quantité de gluten passant à travers du tamis lors de la centrifugation est faible et plus le gluten Index est élevé (Anonyme, 2001).

La teneur en gluten sec et humide est déterminée à l'aide du glutomatic en présence d'une solution saline (5g/l).

Appréciation de la quantité de gluten

C'est l'extraction du gluten par malaxage d'un mélange de mouture d'une solution de chlorure de sodium (NaCl) (Anonyme, 2001).

Mode opératoire

Peser 10g du produit, les verser dans un mortier spécifique à l'appareil. Ajouter 5,2ml de la solution (NaCl) à 2%. Placer le mortier dans le (Glutomatic 2200) dont le débit de lavage est de 50-60ml/mn, le mettre ensuite en marche. La pâte est automatiquement lavée avec la solution de NaCl pendant 5mn. Après le malaxage automatique faire passer la pâte dans la (centrifugeuse 2015) régler à 1mn ; puis peser la quantité restante sur le tamis et celle qui passe par le tamis. A la fin de l'opération, mettre l'ensemble de pâte dans la plaque chauffante ou (GLUTORK 2020) et peser.

Expression des résultats

La teneur en gluten humide et sec s'exprime en pourcentage de la masse en matière sèche.

Gluten humide

$$\text{Gh (\% MS)} = \frac{\text{M1} \times 100 \times 10}{100 - \text{H}}$$

Gh : gluten humide

M1 : masse en gramme de gluten humide

H : teneur en eau ou humidité

Gluten sec (norme NA. 736. 1991, ISO 66-45)

$$\text{Gs (\% MS)} = \frac{\text{M2} \times 100 \times 10}{100 - \text{H}}$$

Gs: gluten sec

M2 : masse en gramme de gluten sec

H : teneur en eau ou humidité

Gluten index

C'est l'évaluation de la force de gluten. Il peut être un bon indicateur de la valeur d'utilisation d'une variété (Anonyme, 2002). La valeur de ce paramètre s'exprime en pourcent (%).

$$Gi = \frac{P1 \times 100}{M1}$$

(Anonyme, 2001)

GI : gluten index

M1 : masse en gramme de gluten humide

P1 : masse en gramme restant sur le tamis (grille perforée) après centrifugation.

2.3.5 Capacité d'hydratation

Elle s'exprime en pourcentage selon la formule suivante :

$$C.H = \frac{Gh - Gs}{Gh} \times 100 (\%)$$

C.H : la capacité d'hydratation

Gh : gluten humide

Gs : gluten sec.

Le nombre de répétitions : 03

2.3.6 Mesure de la coloration de la semoule

L'intérêt de la mesure est essentiellement commercial, en effet, le consommateur recherche des pâtes claires de belle couleur jaune ambré et qui ne présentent pas des piqûres (Anonyme, 2001). La législation interdisant toute adjonction de coloration dans les pâtes, la couleur ne peut provenir que de la semoule et par conséquent du blé dur. Ce caractère résulte d'une composante jaune, principalement génétique, qui doit être la plus élevée possible et d'une composante brune, davantage liée aux conditions de culture, qui doit être faible. La couleur se caractérise par deux composants :

L'Indice de jaune et l'Indice de brun.

Principe

Il s'agit d'apprécier la couleur de la semoule par un colorimètre.

Mettre environ 50g de semoule dans une boîte de pétrie, bien homogénéiser puis déposer le colorimètre sur la semoule.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés dans le système L, a, b, dans les conditions retenues par la commission internationale de l'Eclairement (CIE) (Anonyme, 1996a).

$$\text{IN.B} = 100 - L$$

IN.J=b

IN.B : indice de brun

IN.J : indice de jaune

Les résultats sont la moyenne de 10 répétitions.

2.4 Analyses biochimiques

2.4.1 Dosage de l'azote total

Principe

La teneur en protéines est déterminée selon la méthode de « kjeldahl ». La minéralisation est réalisée sur 1g de produit en présence d'acide sulfurique concentré (95%, d=1.83), l'ammoniac est libéré par addition de soude et dosé par titrimétrie. Le coefficient de conversion de l'azote en protéine est de $5,7 = k$. (MF V03 – 050). (AFNOR, 1997; Feillet, 2000)

Minéralisation

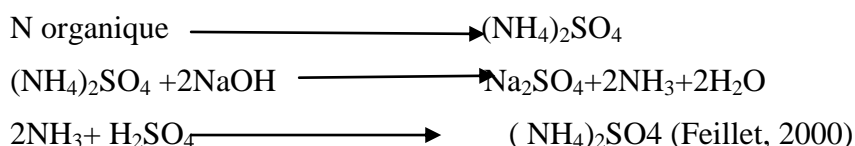
On introduit dans les matras (1g de semoule +2g de catalyseur + 20ml d'acide sulfurique), on place les matras inclinés dans le minéralisateur pour protéines, puis on laisse le tout pendant 03heures d'attaque.

Distillation de l'ammoniac

On transverse le minéralisât après refroidissement dans une fiole de 100ml, puis on dilue avec de l'eau distillée (20ml) et on agite. Ensuite, on prélève 20ml de cette solution, on la met dans un matras (contenant deux billes de verre), on ajoute alors 80ml d'hydroxyde, de soude à 33% puis on place le matras dans l'enceinte de distillation. On plonge l'extrémité de l'appareil de distillation dans un erlenmeyer contenant 20ml d'acide borique puis on met le distillateur Kjeldahl en marche.

Titration

On titre rapidement l'azote ammoniacal additionné de quelques gouttes de rouge de méthyle par l'acide sulfurique N/20 (H₂SO₄) à l'aide d'un pH-mètre jusqu'à retrouver le pH initial de l'acide borique. La coloration passe du rouge au jaune.



Expression des résultats

On déduit la quantité d'azote présente dans l'échantillon du volume d'acide sulfurique versé pour neutraliser la solution d'ammoniaque

$$N (\% \text{M.S}) = N_0 \times 0,0014 \times 100 / P \times 100 / 100 - H$$

N_0 = ml d'acide sulfurique N/50 pour neutraliser l'ammoniaque en solution

P = Prise d'échantillon (gr).

H : Teneur en eau de l'échantillon (humidité) (Feillet, 2000).

2.4.2 Teneur en protéines

Pour obtenir la teneur en protéines, la valeur trouvée pour l'azote est multipliée par un coefficient de conversion K. Les résultats sont exprimés en pourcentage par rapport à la matière sèche.

$$\text{Protéines \%} = T.A \times 5,7$$

D'où

5,7 : Coefficient de conversion de l'azote en protéine

T.A : Teneur en azote exprimée en pourcentage en masse du produit (g/100g de MH)

Nombre de répétitions : 3 essais.

3. Analyse statistique

Les données quantifiées sont représentées par des statistiques de moyenne (m) et SEM (Standard Error of Mean) calculées sous Excel. SEM correspond à l'écart-type divisé par la racine du nombre d'individus ayant servi à calculer la moyenne. Le SEM permet d'estimer rapidement la valeur statistique d'un écart entre les moyennes de deux jeux de données.

Les analyses statistiques sont réalisées sous Minitab, version 16, avec le test d'analyse de variances (ANOVA). Des analyses de variance à un ou deux facteurs ont été utilisées, afin de comparer les moyennes des différentes populations sur un critère (ANOVA à un facteur) ou deux critères (ANOVA à deux facteurs) de classification.

La corrélation existante entre les variables ou paramètres a été mesurée par le calcul du coefficient de Pearson

CHAPITRE III RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Cette partie du travail mentionne les résultats des tests et les interprétations susceptibles de faciliter l'explication des divers comportements des variétés.

1. Pourcentage de germination

Le test de germination des semences des 02 variétés a révélé un taux de germination de 100% pour BIDI 17 et de 70% pour GTA dur.

2. Caractéristiques physiques

2.1 Détermination du PMG

Les variations du poids moyen de 1000 grains (PMG) sont représentées dans la Figure 31.

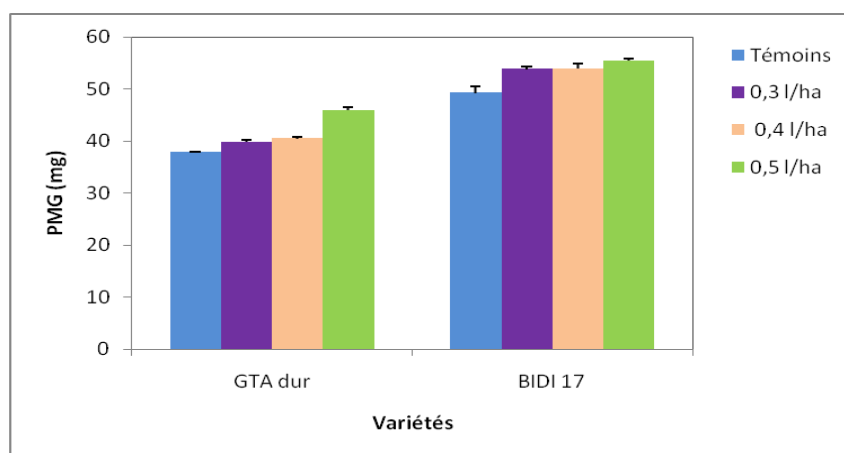


Figure 31. Poids de 1000 grains des semences issues de plants traités avec les trois doses et celles issues de plants non traités

Les résultats de ce paramètre nous montrent que les semences issues des plants traités présentent un PMG supérieur à celui des témoins (infectés).

Pour ce qui est des traités, la variété BIDI17 présente un PMG supérieur à celui de GTA dur, notamment à la dose (D3) où ce dernier a atteint une valeur de 55,46gr contre 45,87 chez GTA dur. Pour ce qui est des infectés, il est à remarquer que c'est toujours la variété BIDI 17 qui présente le poids le plus élevé (49,26gr contre 37,81 chez GTA dur). Il est à remarquer, que pour les deux variétés, le PMG est presque identique aux doses D₂ et D₃.

L'analyse de variance à un critère de classification (annexe IV, tableau16), nous montre un effet très hautement significatif entre les variétés et non significatif entre les doses(annexe IV, tableau32).

Cependant au niveau de la matrice de corrélation certaines relations méritent d'être relevées ; chez la variété GTA dur, et parmi celles positives et très hautement significatives au seuil ($p < 0,001$), on note le PMG avec le gros calibre et avec le taux de protéines. D'autres sont hautement significatives au seuil ($p < 0,05$) comme le PMG avec

la capacité d'eau et l'indice de Jaune. Des corrélations négatives et hautement significatives ont été notées au seuil ($p < 0,05$) comme le PMG et le taux de mitadinage, le PMG et l'indice de brun ; le PMG et le petit calibre et enfin le PMG et le taux d'extraction (annexe IV, tableau46).

La matrice de corrélation, pour la variété BIDI17, dégage des corrélations négatives, c'est-à-dire inversement proportionnelles et hautement significatives au seuil ($p < 0,001$) entre le poids de 1000 grains et le taux de mitadinage (-0.835) et avec l'indice de brun (-0,807) d'autres négatives et significatives au seuil ($p < 0,05$) comme le PMG avec la teneur en eau (-0.602. D'autres corrélations positives ont été notées, parmi celles positives au seuil ($p < 0,05$), nous relevons entre le PMG et la teneur en cendre ; entre le PMG et le gluten sec et entre le PMG et la capacité d'hydratation. De même des corrélations très hautement significatives au seuil ($p < 0,001$) ont été relevées comme le PMG avec l'indice de Jaune et entre le PMG et la teneur en protéines (annexe III, tableau47).

2.2 Détermination du taux de mitadinage

La figure 32 présente les résultats relatifs à la détermination du taux de mitadinage.

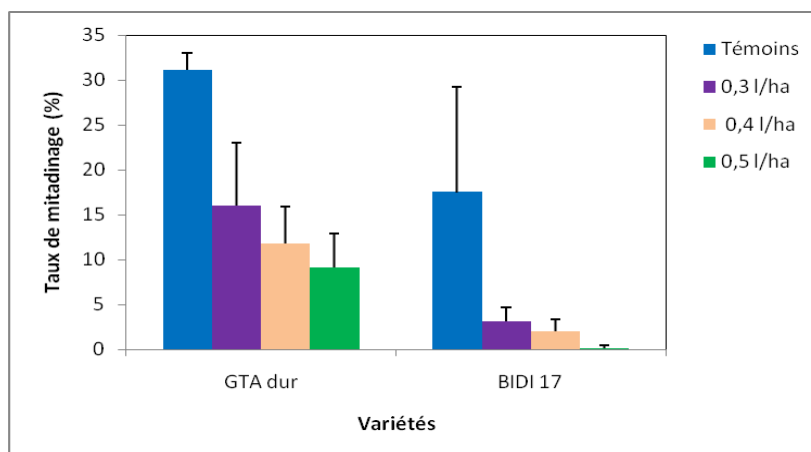


Figure 32. Taux de mitadinage des semences issues de plants traités et celles issues de plants non traités

Ce paramètre est très important du fait qu'il nous renseigne sur la qualité et le rendement du blé. Nous remarquons, chez les deux variétés, que le taux de mitadinage chez les semences issues des plants infectés est nettement supérieur à celui des traités notamment chez GTA dur (31,16 contre 17,5 chez BIDI17). Pour ce qui est des plants traités, la variété BIDI 17 présente le taux le plus faible surtout à la dose D3 où ce dernier est presque nul (0,16%). Il est à remarquer également que l'écart entre le taux de mitadinage des infectés et celui des traités est très important. Il en est de même pour la variété GTA dur, le taux de mitadinage le plus faible a été obtenu à la D3.

L'analyse de variance à un seul critère de classification nous montre un effet hautement significatif entre les variétés(annexe IV, tableau17). De même, entre les doses, l'ANOVA, montre un effet hautement significatif entre les doses(annexe IV, tableau 32).

Pour la variété GTA dur, la matrice de corrélation montre des corrélations positives et très hautement significatives au seuil ($p < 0,001$) entre le taux de mitadinage et le taux

d'extraction et entre le taux de mitadinage et l'indice de brun. D'autres corrélations significatives au seuil ($p < 0,05$) mais inversement proportionnelles se dégagent de la matrice, ce sont celles qui existent entre le taux de mitadinage et le gros calibre (-0,710) ainsi qu'avec le taux de protéines. Une autre corrélation négative et très hautement significative au seuil ($p < 0,001$) se dégage entre le taux de mitadinage et l'indice de Jaune (-0,915). Quant à la variété BIDI17, la matrice de corrélation montre également des corrélations positives et significatives au seuil ($p < 0,05$) entre le taux de mitadinage et le petit calibre (0,591), l'indice de brun (0,018). D'autres corrélations négatives significatives au seuil ($p < 0,05$) se dégagent, il s'agit du taux de mitadinage avec le gluten sec, la capacité d'hydratation, l'indice de Jaune et le taux de protéines et prennent des valeurs (-0,583 ; -0,598 ; -0,784 ; -0,700) respectivement (annexe IV, tableau46 et 47).

2.3 Détermination du taux de moucheture

Les résultats obtenus concernant le taux de moucheture sont représentés par la Figure 33

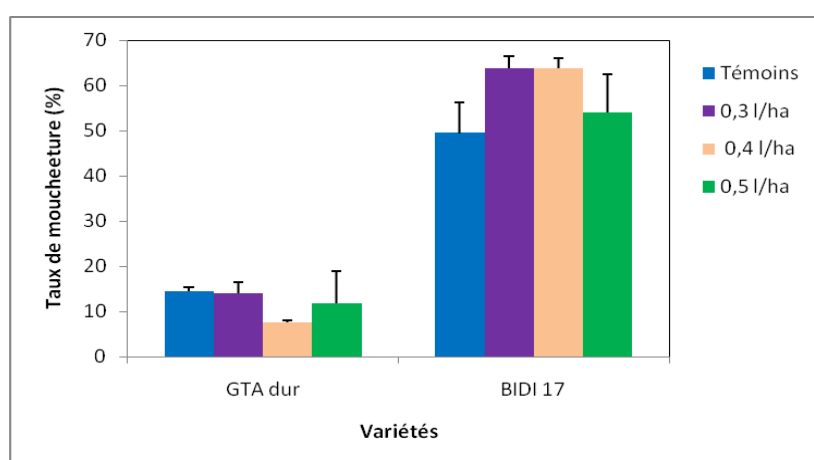


Figure 33. Taux de moucheture des semences issues de plants traités et de celles issues de plants non traités.

Les résultats nous montrent que les traitements se comportent différemment. Ainsi, chez la variété BIDI 17, les semences issues des plants traités sont plus mouchetées que celles issues des plants infectés, et ce, pour les 03 doses du produit. Aussi, cette variété présente les valeurs les plus élevées que ce soit chez l'infecté ou chez les traités surtout aux doses (D1, D2) où le taux de moucheture atteint des valeurs de 63,86 et 63,85 contre 14,05 et de 7,56 chez la variété GTA dur. Pour ce qui est de cette dernière variété, le taux de moucheture le plus bas a été obtenu aux doses D2 et D3 (7,56 et 11,73 respectivement).

L'analyse de variance à un seul critère de classification révèle un effet très hautement significatif entre les variétés(annexe IV, tableau 18). Il en est de même pour les différentes doses, l'ANOVA ne montre aucun effet significatif entre ces derniers (annexe IV, tableau33).

Pour la variété GTA dur, la matrice de corrélation ne révèle aucune différence significative entre ce paramètre et les autres. Il en est de même pour la variété BIDI17, la matrice de corrélation ne dégage aucune différence significative(annexe VI, tableau46 et 47).

2.4 Détermination du calibrage

2.4.1 Petits calibres

La Figure 34 présente les résultats relatifs aux variations du calibrage.

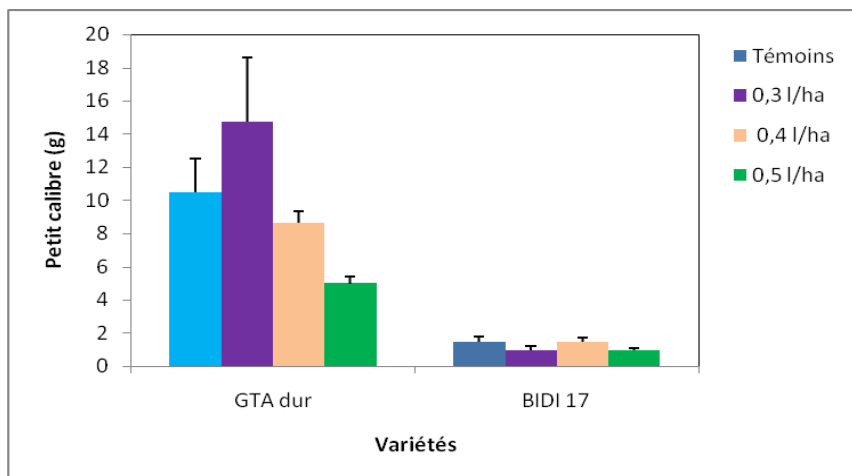


Figure 34. Poids des semences présentant un petit calibre chez les variétés traitées et non traitées.

Les résultats obtenus chez les deux variétés, montrent que les semences issues des plants infectés présentent un poids de semences de petit calibre plus important que celles issues de plants infectés. Il en est de même pour ce paramètre, la variété GTA dur, montre un poids de semences de petit calibre plus grand que celui de la variété BIDI 17, aussi bien chez les traités que chez les infectés. Il est de 21,93gr chez les infectés et de 15,95gr chez les traités (D3). Concernant la variété BIDI 17, le poids des semences de petit calibre est de 8,1gr chez les semences issues de plants infectés et de 6,38gr- 6,89gr et 6,12gr respectivement chez les traités.

Pour ce paramètre, l'analyse de variance à un seul critère(annexe IV, tableau19), montre un effet très hautement significatif entre les variétés. Aucun effet significatif entre les différentes doses na été montré par l'ANOVA (annexe IV, tableau34).

Concernant la variété GTA dur, la matrice montre une corrélation inversement proportionnelle et significative au seuil ($p < 0,05$) entre ce paramètre et le taux de protéines (-0,675). Quant à la variété BIDI17, il ressort une seule corrélation positive au seuil ($p < 0,05$) c'est avec le taux d'extraction (0,680) (annexe IV, tableau46 et 47).

2.4.2 Gros calibres

La Figure 35 présente les résultats relatifs au gros calibre des grains

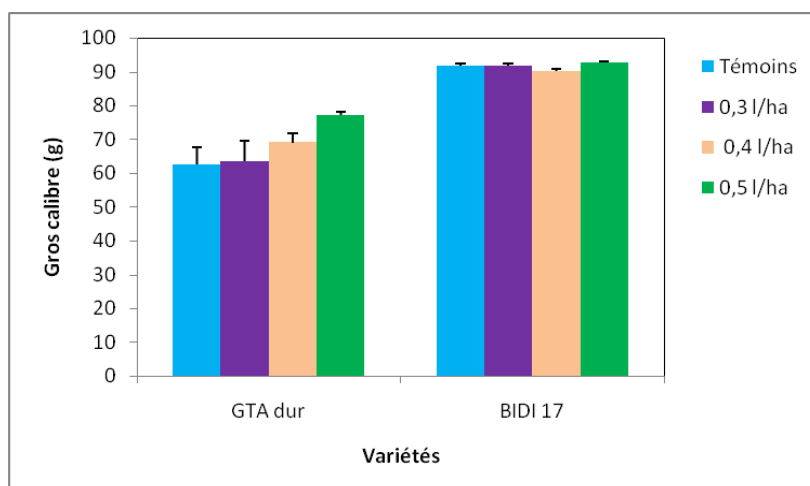


Figure 35. Poids des semences présentant un gros calibre chez les variétés traitées et non traitées.

D'après les résultats de la figure 35, il en ressort que pour les deux variétés les semences issues de plants traités présentent les plus gros calibres. Concernant la variété BIDI17, le poids de ces dernières varie de 91,78gr à 92,6gr contre 90,12gr pour les infectés. A cet effet c'est toujours la variété BIDI 17 qui présente le plus gros calibrage. Pour ce qui est de la variété GTA dur, la différence entre les traitements est remarquable, le poids des semences de gros calibre est de 62,62gr chez les infectés et de 77,21gr chez les traités (D3) soit une augmentation de 18%.

L'analyse de variance montre un effet très hautement significatif entre les variétés (tableau 20). Mais ne montre aucun effet significatif entre les différentes doses (annexe IV, tableau35).

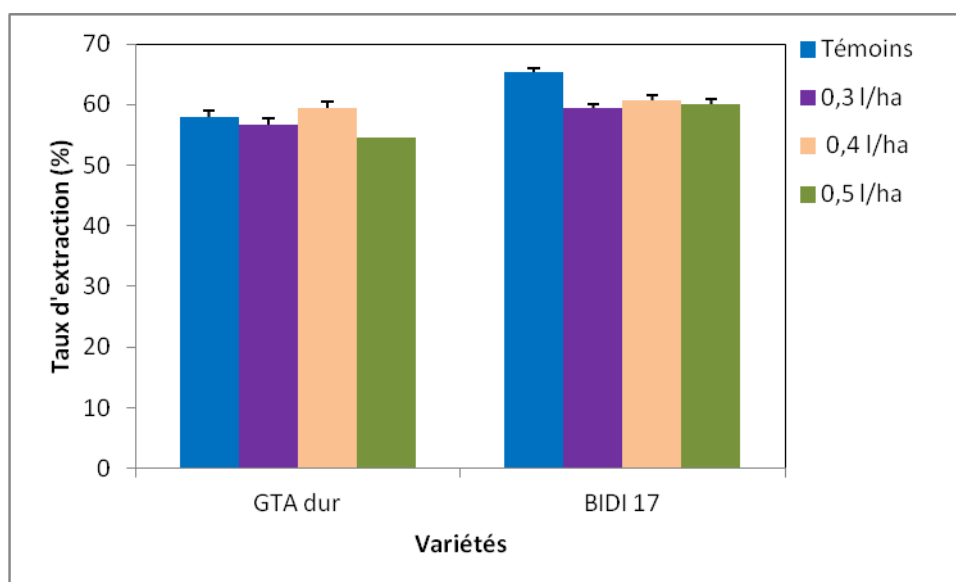
Pour la variété GTA dur, la matrice dégage des corrélations positives et significatives au seuil ($p < 0,05$) entre ce paramètre et l'indice de Jaune et le taux de protéines avec des valeurs respectives de (0,663 ; 0,720). Chez la variété BIDI17, des corrélations négatives et significatives au seuil ($p < 0,05$) se dégagent entre ce paramètre et les paramètres petit calibre et taux d'extraction avec des valeurs de (-0,675 et -0,706) respectivement (annexe IV, tableau46 et 47).

3. CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES

Les résultats d'analyses physico-chimiques et technologiques ont révélé les particularités suivantes :

3.1 Taux d'extraction

Les résultats concernant le taux d'extraction sont présentés dans la Figure 36



;m !

Figure 36. Taux d'extraction des semences issues de plants traités et non traités.

Ce paramètre nous renseigne sur les rendements en semoule, en farine, et en son. Les résultats de ce paramètre, nous montrent que ce soit chez les variétés traitées avec les trois (03) doses du fongicide ou chez les infectées, le taux d'extraction se situe entre 54,65 et 65,34%. La variété BIDI 17 présente le taux le plus intéressant que ce soit chez les infectés ou chez les traités notamment à la dose (D3). Ce dernier est de 59,48% chez les infectés et de 65,34% chez les traités (D3). Il en est de même pour la variété GTA dur, ce paramètre est plus élevé à la dose 3 (D3) il est de 59,41% contre 54,65% chez les infectés.

L'analyse de la variance, à un seul critère de classification, montre un effet très hautement significatif entre les variétés(annexe IV, tableau 21) et non significatif entre les doses (annexe IV, tableau36). Pour la variété GTA dur, la matrice de corrélation montre l'existence d'une corrélation positive et très hautement significative au seuil ($p < 0,001$) avec l'indice de brun (0,849). D'autres corrélations négatives se dégagent, l'une très hautement significatives au seuil ($p < 0,001$) avec l'indice de Jaune (-0,870) et les autres significatives au seuil ($p < 0,05$) avec le gluten humide, gluten sec et la capacité d'hydratation avec des valeurs de -0,759 ; -0,776 ; -0,674 respectivement. Quant à la variété BIDI17, la matrice ne dégage qu'une seule corrélation négative et significative au seuil ($p < 0,05$) entre ce paramètre et le gluten index (annexe IV, tableau 46et47).

3.2 Détermination de la teneur en eau

Les résultats obtenus pour ce paramètre sont représentés dans la Figure 37

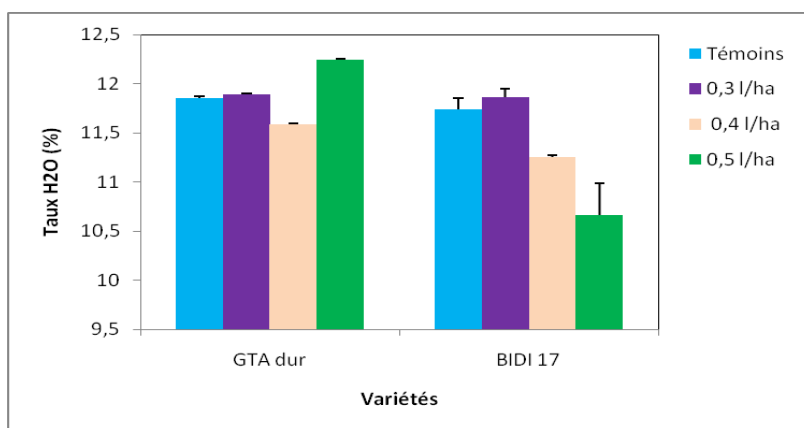


Figure 37. Teneur en eau des semences des variétés traitées et non traitées

Nous remarquons que ce soit pour les variétés traitées ou les infectées, la teneur en eau se situe entre 10,58 et 12,25%. Toutefois, la variété GTA dur présente des teneurs en eau légèrement plus élevées que celles de la variété BIDI17, à l'exception de la dose2 (D2) où les valeurs sont identiques.

L'analyse de variance à un critère montre un effet hautement significatif entre les variétés (annexe IV, tableau22). Alors qu'aucun effet significatif entre les différentes doses n'a été montré (annexe IV, tableau37).

La matrice de corrélation pour la variété GTA dur, ne révèle aucune corrélation entre ce paramètre et les autres. Quant à la variété BIDI17, la matrice révèle une corrélation positive et très hautement significative au seuil ($p < 0,001$) avec l'indice de brun (0,879). D'autres corrélations négatives et significatives au seuil ($p < 0,05$) ont été révélées comme celles avec le taux de cendres ; la capacité d'hydratation ; l'Indice de Jaune et le taux de protéine avec des valeurs de -0,645 ; -0,650 ; -0,744 ; -0,739 respectivement.

3.3 Détermination de la teneur en cendre

Les résultats relatifs au paramètre teneur en cendre sont représentés dans la Figure 38

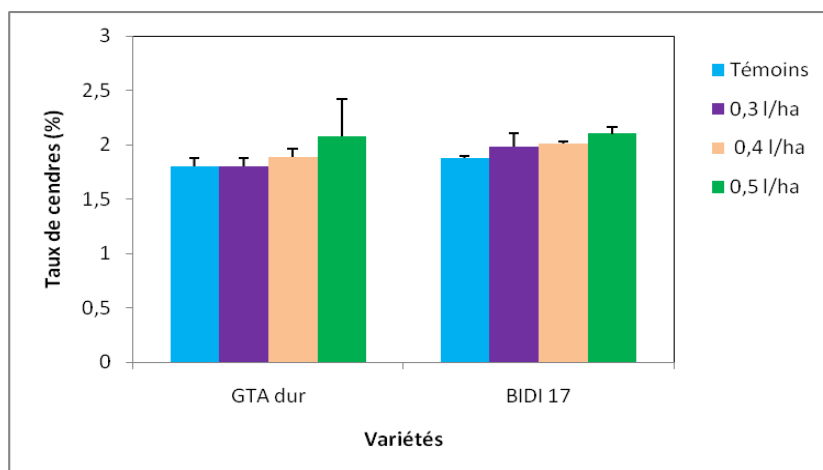


Figure 38. Teneur en cendres des semences des variétés traitées et non traitées

A partir de ces résultats, nous remarquons que les teneurs en cendre enregistrées pour les deux cultivars et pour les trois traitements sont élevées et se situent entre 1,83 et 2,1%. Les graines issues des plants traités présentent une teneur en cendre légèrement plus élevée que celles des traités. Il en est de même pour ce paramètre, la teneur la plus élevée

est obtenue chez la variété BIDI17 que ce soit chez les traités que chez les témoins. L'analyse de variance ne montre aucun effet significatif entre les variétés (annexe IV, tableau 23).

Par contre la différence est significative au seuil ($p < 0,005$) entre les doses (annexe IV, tableau 38).

Concernant la variété GTA dur, la matrice de corrélation ne montre aucune corrélation entre la teneur en cendres et les autres paramètres étudiés. Pour ce qui est de la variété BIDI17, la matrice de corrélation dégage des corrélations positives au seuil ($p < 0,05$) avec le gluten index, avec l'indice de jaune et avec le taux de protéines, avec des valeurs de (0,587 ; 0,757 ; 0,752) respectivement. Une seule corrélation hautement significative a été relevée avec l'indice de brun (-0,732) (annexe IV, tableau 46 et 47).

3.4 Détermination de la teneur en Gluten

3.4.1 Détermination du Gluten humide

Les résultats relatifs à la détermination de la teneur en gluten humide sont représentés dans la Figure 39

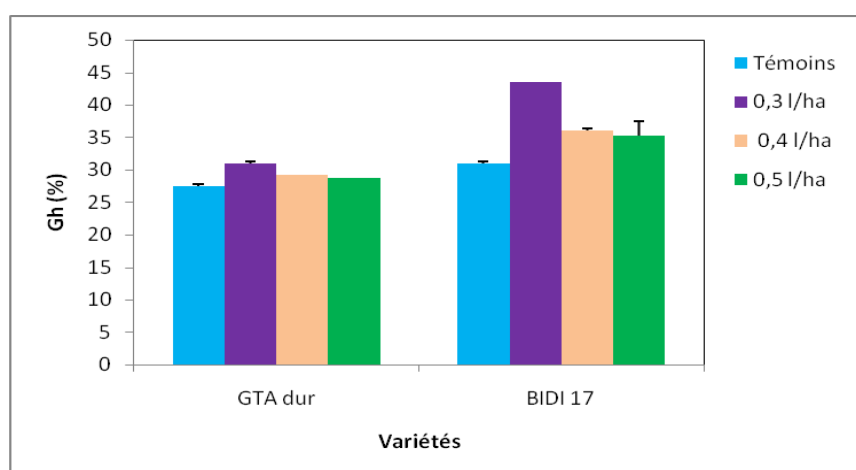


Figure 39. Teneur en gluten humide des semences des variétés traitées et non traitées

Selon les résultats de la figure 41, nous observons une augmentation de la teneur en gluten humide chez les deux variétés. Chez ces dernières, les semences issues des plants traités présentent un taux de gluten humide plus élevé que celui des non traités.

Ce dernier varie de 31,05% (D1 de GTA dur) à 43,57% (D1 de BIDI17). Il en est de même pour ce paramètre, la variété BIDI 17 présente toujours les teneurs les plus élevées. Il est à noter que les deux variétés présentent des taux en GH plus élevés à la dose 1 (D1). Concernant la variété GTA dur, les semences de la dose 3 (0,5l/Ha), ont montré un taux inférieur à celui des autres doses

Pour ce paramètre, l'analyse de variance à un seul critère, montre un effet très hautement significatif entre les variétés (annexe IV, tableau 24). L'ANOVA montre un effet significatif entre les doses (tableau 28).

La matrice de corrélation, pour la variété GTA dur, montre une corrélation positive et très hautement significative au seuil ($p < 0,001$) avec le paramètre gluten sec (0,912) et une corrélation significative au seuil ($p < 0,05$) avec la capacité d'hydratation (0,628). Pour ce

qui est de la variété BIDI 17, la matrice dégage également une corrélation positive et très hautement significative au seuil ($p < 0,001$) avec le paramètre gluten sec (0,959) (annexe IV, tableau 46 et 47).

3-4-2 Détermination du Gluten sec

La Figure 40 représente les résultats relatifs au Gluten sec

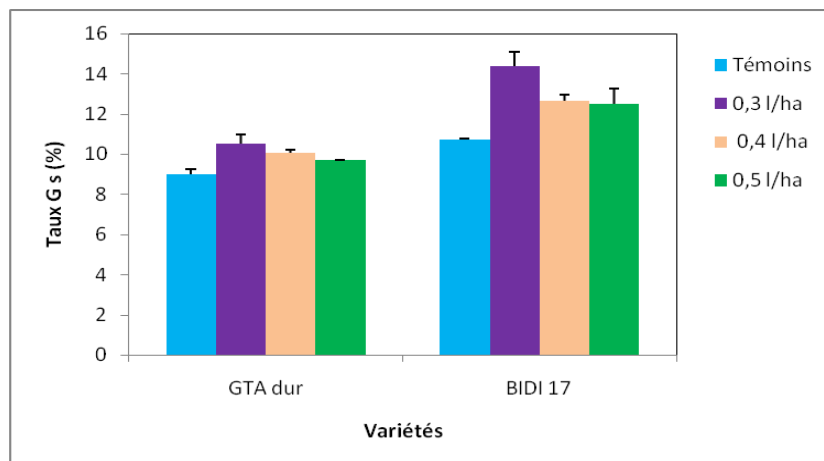


Figure 40. Teneur en gluten sec des semences des variétés traitées et non traitées

Pour ce paramètre également et à travers les résultats de la figure 40, nous remarquons que la teneur en gluten sec est plus élevée chez les variétés traitées (pour les 03 doses) que chez les variétés infectées. Chez les traités, les valeurs de ce critère, oscillent entre 9,68% et 14,19%. Aussi bien chez les traités que chez les infectées, la variété BIDI17 présente toujours la teneur la plus élevée notamment avec la dose 1. Il est à noter également que les deux variétés présentent des taux en GS plus élevés avec la dose 1 (D1) (10,65 et 14,19) respectivement.

L'analyse de la variance à un seul critère montre un effet très hautement significatif entre les variétés (annexe IV, tableau 25) et non significatif entre les doses (annexe IV, tableau 40).

Pour ce paramètre et pour la variété GTA dur, la matrice de corrélation, révèle des corrélations positives et significatives au seuil ($p < 0,05$) avec la capacité d'hydratation et l'indice de Jaune avec des valeurs de (0,614 ; 0,596) respectivement. Nous remarquons également une autre corrélation mais inversement proportionnelle (négative) au seuil ($p < 0,05$) avec l'indice de brun (-0,599). Pour ce qui est de la variété BIDI17, aucune corrélation significative ne se dégage de la matrice (annexe IV, tableau 46 et 47).

3.4.3 Détermination du Gluten index

La Figure 41 présente les résultats obtenus pour ce paramètre.

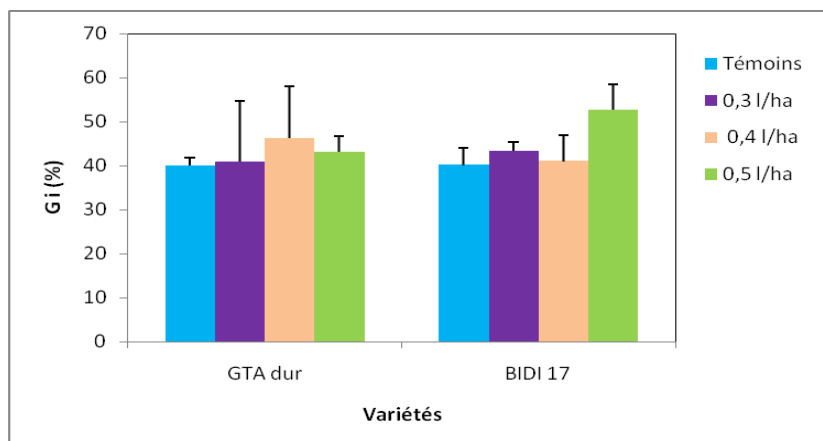


Figure 41. Teneur en gluten index des semences des variétés traitées et non traitées

A travers ces résultats, nous remarquons également que les graines issues des plants traités ont des teneurs en gluten index supérieures à celles issues des plants infectés. Pour la variété BIDI17, le taux le plus élevé a été obtenu à la dose (D3) ou ce dernier a atteint une valeur de 54,33%. Alors que chez GTA, c'est plutôt la dose D2 qui a montré la plus grande valeur (46,3%). A l'exception de la dose2 (D2) chez GTA dur, La variété BIDI17, a montré des valeurs du GI supérieurs à ceux de GTA dur.

L'analyse statistique, ne montre aucun effet significatif aussi bien entre les variétés qu'entre les doses (**annexe IV, tableau26 et 41**). Quant à la matrice de corrélation, concernant la variété GTA dur, nous ne remarquons aucune corrélation significative entre la teneur en gluten et les autres paramètres. Néanmoins, pour la variété BIDI17, des corrélations positives et significatives au seuil ($p < 0,05$) se dégagent entre ce paramètre et la capacité d'hydratation (0,676) et l'indice de Jaune (0,583) (**annexe IV, tableau46 et 47**).

3-5 Détermination de la capacité d'hydratation

Les résultats relatifs à ce paramètre sont représentés dans la Figure 42

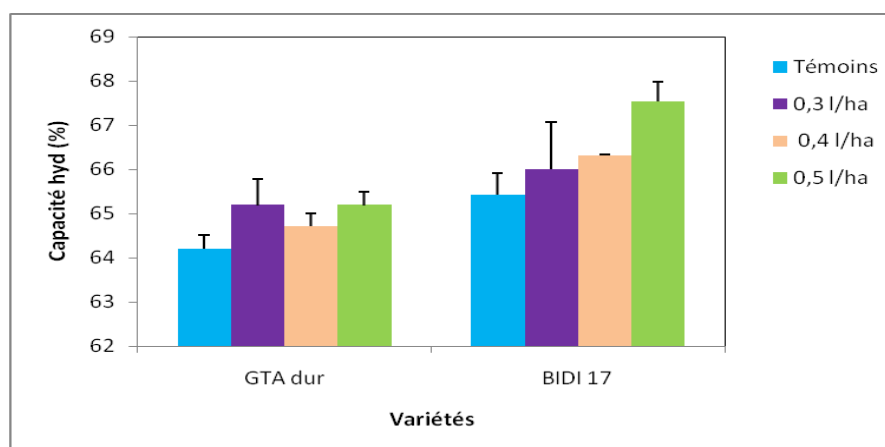


Figure 42. Capacité d'hydratation des semences des variétés traitées et non traitées

Ce paramètre est calculé à partir des résultats obtenus pour le gluten sec et humide. Nous remarquons que chez les deux variétés et pour les différentes doses (traitées et infectées), les valeurs oscillent entre 64,29 et 67,41%. A l'exception de la valeur de la dose 3 (D3) chez BIDI17, les valeurs des autres doses, pour les deux variétés, sont presque identiques notamment la dose1 (D1) avec le témoin. Néanmoins, la capacité d'hydratation de la variété BIDI17 reste supérieure à celle de GTA dur.

L'analyse de variance à un seul facteur contrôlé montre un effet très hautement significatif entre les variétés (**annexe IV, tableau 27**). L'ANOVA également ne montre aucun effet significatif entre les doses (**annexe IV, tableau 42**).

La matrice de corrélation montre chez la variété GTA dur, une corrélation positive et significative au seuil ($p < 0,05$) entre la capacité d'hydratation et l'indice de Jaune (0,639) et une autre inversement proportionnelle et significative au seuil ($p < 0,05$) avec l'indice de brun (-0,594). Pour la variété BIDI17, nous relevons également une corrélation négative et hautement significative au seuil ($p < 0,05$) avec l'indice de brun (-0,762) (**annexe IV, tableau 46 et 47**).

3.6 Détermination de la coloration

3.6.1 Indice de Brun

La Figure 43 illustre les valeurs relatives à l'indice de brun.

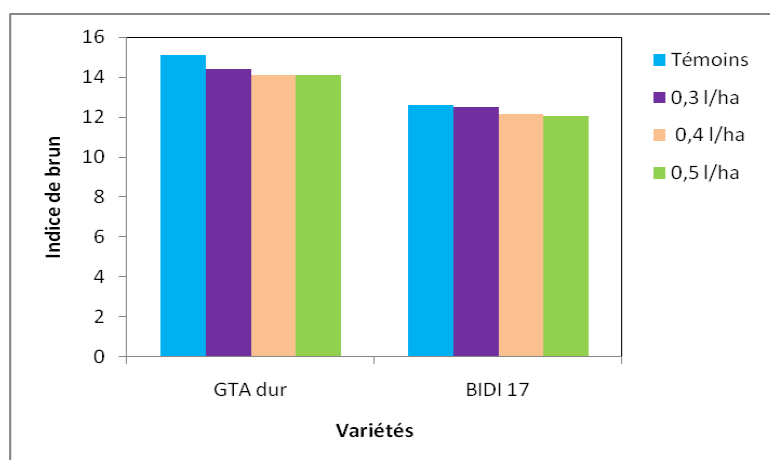


Figure 43. Indice de brun des semences des variétés traitées et non traitées

A travers ces derniers nous remarquons pour les deux variétés que les infectées présentent un indice de brun supérieur à celui des traitées notamment chez la variété BIDI17. Pour ce paramètre, la variété BIDI17 présente, chez les traitées, des valeurs inférieures à celles de GTA dur.

L'ANOVA à un facteur contrôlé, montre un effet très hautement significatif entre les variétés et entre les différentes doses (**annexe IV, tableau 28 et 43**).

La matrice de corrélation, pour la variété GTA dur, révèle une corrélation négative et très hautement significative entre l'indice de brun et l'indice de jaune (-0,994) et une autre positive et hautement significative au seuil ($p < 0,05$) avec le taux de protéines (0,005). Il en est de même pour la variété BIDI17, la matrice dégage des corrélations négatives et

très hautement significatives entre l'indice de brun et l'indice de jaune (-0,937) et entre l'indice de brun et le taux de protéines (-0,940) (**annexe III, tableau 46 et 47**).

3.6.2 Indice de jaune

Les résultats relatifs au paramètre Indice de Jaune sont représentés dans la Figure 44

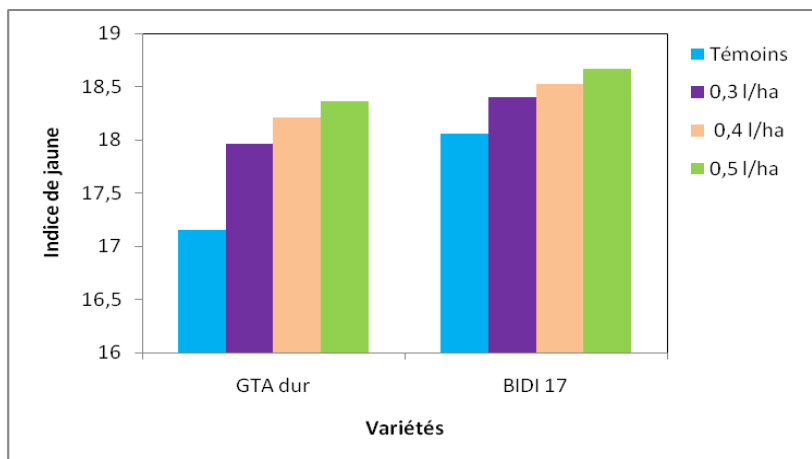


Figure 44. Indice de jaune des semences des variétés traitées et non traitées

Les résultats de la Figure 46 montrent que les valeurs de l'indice de jaune oscillent entre 17,15 et 18,67. Que ce soit chez les infectées où chez les traitées, c'est la variété BIDI 17 qui présente les valeurs les plus élevées. Pour les deux variétés, les semences issues des plants infectés présentent un indice de jaune inférieur à celui des plants traités. Concernant les traités, que ce soit chez la variété GTA dur ou chez la variété BIDI 17, la dose (D3) présente les indices les plus élevés avec un maximum de 18,67 (BIDI17).

L'analyse de variance à un seul facteur pour l'Indice de Jaune montre un effet significatif entre les variétés (**annexe IV, tableau29**) et très hautement significatif entre les doses (**annexe III, tableau.et..**). Pour la variété GTA dur, la matrice de corrélation révèle une corrélation positive et hautement significative au seuil ($p < 0,05$) avec le taux de protéines (0,786). Concernant la variété BIDI17, la matrice révèle une corrélation positive et très hautement significative entre ce paramètre et le taux de protéines (0,961) (**annexe IV, tableau 46 et 47**).

4 Caractéristiques biochimiques

4.1 Détermination de la teneur en protéines

Les résultats du paramètre teneur en protéines sont représentés Figure 45.

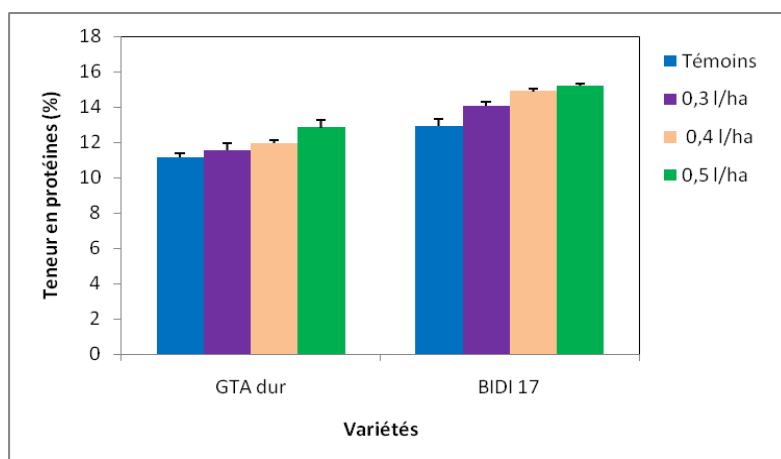


Figure 45. Teneur en protéines des semences issues des plants traités et non traités.

A travers ces résultats et pour les deux cultivars, nous remarquons que ce paramètre augmente chez les traités par rapport aux infectés notamment à la dose D3. La valeur la plus intéressante est présentée par la variété BIDI17 (15,15). Il en est de même pour ce dernier, aussi bien chez les traités que chez les infectés, la variété BIDI17 présente les valeurs les plus élevées.

L'analyse de variance à un seul facteur pour la teneur en protéines montre un effet très hautement significatif entre les variétés(annexe IV, tableau30). Alors qu'entre les doses, la différence n'est pas significative (annexe IV, tableau.et..).

La matrice de corrélation, pour la variété GTA dur, révèle des corrélations positives et négatives entre ce paramètre et les autres. Parmi celles positives, nous notons une corrélation très hautement significative au seuil ($p < 0,001$) avec le PMG (0,919); d'autres significatives au seuil ($p < 0,05$) entre ce paramètre et le gros calibre (0,720) mais aussi avec l'indice de jaune (0,786). Pour ce qui est des corrélations négatives, nous relevons celles significatives au seuil ($p < 0,05$) avec le taux de mitadinage (-0,674), le petit calibre (-0,675) et l'indice de brun (-0,754). Concernant la variété BIDI17, nous remarquons également des corrélations positives et négatives. Parmi celles positives et très hautement significatives au seuil ($p < 0,001$) nous relevons celle avec le PMG(0,890) ; avec aussi l'indice de jaune(0,961). D'autres hautement significatives au seuil ($p < 0,05$) comme celles avec la teneur en cendre (0,752) ; et avec la capacité d'hydratation. Parmi celles négatives, la matrice révèle des différences très hautement négatives entre ce paramètre et l'indice de brun (-0,940). Nous relevons également des corrélations négatives et hautement significatives au seuil ($p < 0,05$) comme celles avec la teneur en eau (-0,739) et le taux de mitadinage (-0,700) (annexe IV, tableau 46 et 47) .

Chapitre IV Discussion

Les différentes analyses effectuées sur les semences nous ont permis de mettre en évidence le potentiel technologique des deux variétés de blé dur utilisées au cours de notre expérimentation d'une part et de vérifier l'effet bénéfique sur la qualité technologique de ces deux variétés d'autre part.

Nous avons procédé à des tests d'appréciation de la valeur semoulière comme :

- ✓ Caractéristiques physiques
- ✓ Caractéristiques technologiques
- ✓ Caractéristiques biochimiques.
- ✓ Caractéristiques physiques

Caractéristiques physiques

Poids de 1000 grains (PMG)

Le rendement d'une variété est le résultat de phases successives de croissance et de développement comprenant : la mise en place d'organes, de processus liés à la photopériode et à la somme des températures, leur croissance en taille directement liée à l'énergie lumineuse interceptée, la disponibilité en eau et en éléments minéraux absorbés par le système racinaire. Le remplissage des grains dépend de la nutrition azotée, et hydrique notamment en fin de cycle ainsi que de l'état sanitaire du plant (Prieur et Laffont, 2009).

Dans cette expérimentation, nous remarquons que le PMG des semences issues des plants traités est supérieur à celui des infectés. En général, la moyenne du PMG s'élève à 55,46gr chez les variétés traitées.

En effet plusieurs travaux ont prouvé que les pertes de rendement causées par les maladies sont strictement liées à la diminution du poids de 1000grains. Ce phénomène a été signalé par Scheinberg (1984) et Knott (1993 *in* Hennouni, 2002). Le traitement fongique a eu un effet positif sur toutes les variétés. La variété BIDI17 semble la plus intéressante, son PMG oscille entre 53,84 et 55,46gr pour les semences issues des plants traités et de 49,26gr chez les infectées. Cette variété est déjà reconnue pour son PMG assez élevé comme l'ont montré les travaux de Boufenar et Zaghouane (2006). Ceci concorde avec les travaux de Zahri *et al.* (2008), qui rapportent que des augmentations significatives du rendement et du poids de 1000 grains ont été observés sur les variétés de blé dur traités par des fongicides par rapport aux témoins non traités. Ils ont constaté aussi que le poids de 1000 grains augmente de 81,2 à 88,3 %. Les traitements fongiques ont amélioré le poids du grain et le rendement en grains de la culture. Plusieurs auteurs, ont noté une étroite relation entre l'état sanitaire de la dernière feuille et le poids du grain chez le blé. Par conséquent une attaque précoce de la dernière feuille se répercute négativement sur le poids de 1000 grains d'où une chute de rendement. Selon Douimi *et al.* (1999), et Ezzahiri *et al.* (1999), un traitement préventif adéquat empêche le développement ou la progression de la maladie et améliore ainsi le PMG d'où l'augmentation du rendement.

Taux de mitadinage

Le mitadinage est un défaut de la graine dont la structure devient farineuse. Le grain peut devenir en partie farineux : le grain dit mitadiné présente en surface et sur une partie

variable de sa section, des zones farineuses. Le grain mitadiné est défectueux, car il a tendance à s'écraser en farine et à donner une semoule de qualité inférieure alors que la semoulerie recherche les blés durs entièrement vitreux (Loué, 1970).

Les grains mitadinés (grains amyliques, ou amidonnés) constituent un des principaux facteurs de classement commercial du blé dur. Ces grains se forment lorsque la plante souffre d'une carence en nitrates pendant le développement du grain. Les grains mitadinés sont importants, parce qu'ils sont moins riches en protéines et plus mous que les grains vitreux (Dexter *et al.*, 1981; Dexter *et al.*, 1988; Dexter *et al.*, 1989a).

Selon certains auteurs, pour une valorisation à destination des semouliers, le blé dur doit présenter des taux de mitadin inférieur à 20%. Selon Prieur et Laffont (2009) ; Dexter et Tipples (1987) ; Dexter (1993), le taux de mitadinage est lié à deux facteurs : d'une part, à la teneur en protéine des grains (dans les conditions de l'année, il faut atteindre 12,7% de protéine pour être en dessous du seuil des 20% de grains mitadinés) ; d'autre part, aux conditions climatiques de fin de cycle (une humectation des grains entre la maturité physiologique et la récolte entraîne une modification de la forme de l'amidon qui devient farineux donc mitadiné). Pour ce paramètre également, il semblerait que les maladies ont un effet néfaste sur la qualité du grain, puisque le taux de mitadinage chez les variétés infectées est supérieur à celui des traitées. En effet, les plants infectés de la variété GTA dur présentent un taux nettement supérieur (31,16%), alors que pour la variété BIDI17, il n'est que de 17,5%.

Le traitement fongique a eu un effet positif sur ce paramètre, il agit indirectement sur la santé du grain. En limitant la progression des maladies, le fongicide permet à la plante, d'effectuer ses fonctions vitales (de nutrition minérale, notamment azotée) dans les meilleures conditions). Les différentes doses du produit ont réduit nettement les taux de mitadinage ; en particulier la dose 3. Son effet est très net chez les deux variétés de blé dur en particulier, la variété BIDI17 (0,16%).

Chez le blé dur, la relation entre grains mitadinés et performance à la mouture est complexe, mais on peut dire qu'en général, les grains mitadinés donnent moins de semoule grossière et plus de farine, ce qui réduit l'aptitude à la mouture du blé dur, puisque le marché de cette céréale privilégie les semoules grossières. Bolling et Zwingelberg (1972), ont observé que le rendement en semoule du blé dur est davantage relié à l'origine du blé qu'à sa vitrosité. Les grains entièrement mitadinés sont beaucoup plus mous et réduisent le rendement en semoule grossière.

Enfin, le meunier accorde généralement la préférence au blé vitreux en raison de son rendement plus élevé en semoule lors de la mouture, en comparaison avec les grains farineux. En outre, les qualités technologiques de cuisson au four du blé vitreux sont souvent meilleures que celles du blé farineux. Autant que possible, le blé dur destiné à la production de semoule ou de fin finot pour les pâtes alimentaires ne devrait comprendre que des grains vitreux (Ugrinovitch *et al.*, 2004).

Moucheture

Les grains mouchetés sont responsables de la présence de piqures noires dans les semoules. La moucheture du blé est un phénomène observé depuis très longtemps. Dès 1909, des publications paraissent sur ce sujet (Ait-Kaki, 2008). La moucheture est une altération plus ou moins profonde du péricarpe du grain par des champignons ou des piqures de thrips en général (Feillet et Abecassis, 1976). Selon Macheix (1996), la moucheture ne semble pas correspondre à une réponse nécrotique d'hypersensibilité puisqu'elle se met en place précocement au cours de l'ontogenèse du grain. L'altération de la couleur superficielle due à des champignons tels que l'*Alternaria alternata* et le

Drechslera tritici-repentis ne présente aucun danger toxicologique, mais elle constitue un grave défaut de qualité pour le blé dur. Le principal problème associé à ces dommages est l'apparition de piqûres foncées sur la semoule, qui provoque des défauts de nature esthétique dans les pâtes alimentaires (Dexter *et al.*, 1982; Dexter, 1993).

Les grains mouchetés sont ceux qui ont le germe et le sillon colorés en brun-noir par des champignons (*Alternaria* et *Cladosporium*) apparus en milieu humide. C'est un assez grave défaut, car les plantes risquent de présenter un mauvais aspect et d'avoir une mauvaise conservation (Loué., 1970). La carie et le point noir ont peu d'effet sur le rendement en semoule, sur la teneur en cendres de la semoule, sur la couleur des pâtes tel que les spaghettis, ni sur la qualité culinaire du spaghetti (Dexter et Edwards, 1998).

D'autres travaux ont montré qu'en absence de tout agent pathogène, la moucheture pouvait s'observer sur les grains mûrs (Tabusse, 1986; Williamson, 1997 *in* Ait-Kaki, 2008). Il semblerait que les facteurs abiotiques ont leur part de responsabilité. Noury (2011), rapporte que le taux de moucheture dans un blé de qualité ne doit en aucun cas dépasser les 5%. Concernant ce paramètre, nos résultats montrent que le taux de moucheture est très élevé, il dépasse les 5% pour les deux variétés de blé et pour les différents traitements. Il est à remarquer, que le taux de moucheture, chez les semences des variétés traitées aux différentes doses, est supérieur à celui des infectés à l'exception de la variété GTA dur (dose 2). La variété BIDI17 semble assez sensible à ce paramètre où ce dernier a atteint une valeur de 16,38%. Ceci confirme les travaux de Boufenar et Zaghouane (2006), qui classent cette variété parmi les variétés assez sensibles à la moucheture. Quant à la variété GTA dur elle y semble plus résistante ; elle présente des taux inférieurs à ceux de la variété BIDI 17. Néanmoins la même équipe, la classe également parmi les sensibles.

Calibrage

Les résultats de ce paramètre nous permettent de conclure que ce paramètre est très affecté par les maladies. En effet, les maladies ont diminué le poids des semences de gros calibre et ont augmenté ainsi le poids des semences de petit calibre. On peut conclure que ce paramètre est lié au poids de 1000 grains. Ces dernières, en diminuant le nombre des grains de gros calibre, affectent par conséquent le PMG. Dans cet essai, nous remarquons que le fongicide a eu un effet positif sur ce paramètre. Les semences issues des plants traités présentent un poids plus important que celles des infectés. La variété BIDI17 semble la plus intéressante.

Caractéristiques technologiques

Teneur en eau

La teneur en eau sert de base à beaucoup d'autres analyses exprimées sur une base de matière sèche. Elle a un intérêt technologique pour la conservation des grains, pour l'état sanitaire et pour la conduite au moulin (un excès d'humidité étant dans tous les cas négatif) (Barkat, 2005). Pour notre essai, les blés durs ont été récoltés à maturité, l'humidité des grains est en moyenne de 11,2%. En général le taux d'humidité des grains mûrs ne doit pas dépasser 14%. Dans notre cas, que ce soit les variétés traitées ou les infectées, la teneur en eau de leurs semences se situe entre 10,03% et 12,25%.

Taux d'extraction

C'est la pureté de la semoule, séparation de la farine pure du son. Pour ce paramètre nous pouvons dire qu'aussi bien chez les traités (avec les 03) doses que chez les infectés, le taux d'extraction, se situe entre 53 et 65,34%. Même si ces résultats confirment les résultats d'Ait-Kaki (2002) et de Djahbar (2006), néanmoins, ces valeurs restent

légèrement inférieures à la moyenne citée par (Bourdet, 1976 *in* Sadli, 1993 ; Feillet, 2000) et qui est de 68 à 70%. Nous pouvons déduire que ce paramètre est en relation avec le PMG et le taux de mitadinage. Pour les infectées, les valeurs oscillent entre 54,65% (GTA dur) et 59,48%(BIDI17). Alors que pour les traitées, ces dernières varient de 56,77% à 65,34%. Ce dernier résultat a été obtenu chez la variété BIDI17 avec la troisième dose (D3) du produit. Dexter et Edwards (1998), concluent que les dommages provoqués par les maladies constituent un grave facteur de classement, donnant un taux d'extraction inférieur des semoules, un raffinage piètre des semoules et une piètre couleur des pâtes.

Taux de cendres

Le taux de cendre est le moyen officiel utilisé pour caractériser la pureté de la semoule qui augmente avec le taux d'extraction (Abecassis, 1993). Selon Godon (1986), la détermination des cendres offre la possibilité de connaître la teneur en matière minérale globale de blé et de ses dérivés. Les résultats des analyses, révèlent que nos échantillons sont minéralisés. Le fongicide semble avoir un effet positif sur ce paramètre, la teneur en cendres chez les traités se situent entre 1,94 et 2,1%. Ces résultats se rapprochent de ceux rapportés par Feillet (2002).

Détermination du gluten

Ce mot vient du latin glutinum (glu, colle). Le gluten humide de la farine de blé est une masse viscoélastique composée de gliadines et de gluténines gonflées dans l'eau (Ugrinovits *et al.*, 2004). Le gluten, fraction insoluble des protéines dans une solution saline, est le responsable majeur de la qualité technologique des pâtes. La quantité de gluten est très liée à la teneur en protéines. Une très grande partie des propriétés technologiques de la pâte peut être associée au gluten formé principalement des gliadines et gluténines. Plusieurs auteurs ont souligné que la composition du gluten est un facteur déterminant la force d'une farine. La quantité et la qualité de ce dernier sont responsables des propriétés viscoélastiques de la pâte (extensibilité et élasticité).

Les résultats de la figure 11, montrent que les teneurs en gluten humide varient entre les infectés et les traités. Elles se situent entre 27,21 et 30,81 % pour les infectés, et entre 28,78 et 43,57% chez les traités (toutes doses confondues). Ugrinovits *et al.* (2004), ont décrit la force des farines selon leurs glutens humides. Les farines usuelles ont des teneurs de l'ordre de 27 à 37%. Les farines provenant de blé très fort peuvent présenter des teneurs allant jusqu'à 45%, alors que des pourcentages inférieurs à 25% signalent une farine faible.

Selon Ugrinovits *et al.* (2004), le gluten sec est obtenu en soumettant le gluten humide au séchage, il présente des valeurs à peu près trois fois inférieures.

En effet, les valeurs obtenues pour ce paramètre, sont comprises entre 9 et 10,69% pour les infectés et entre 10,65% et 14,19% chez les traités. Cette dernière valeur est considérée comme très bonne pour les pâtes (Calvel, 1980).

Les teneurs en Gluten index (GI) les plus faibles sont enregistrées chez les farines des infectés notamment celle de GTA dur (38,99%). Quant aux farines issues des traités, leur GI est assez élevé. Selon Cubadda *et al.* (1992) ; Peana *et al.* (1999), la valeur du gluten index détermine la force des blés durs, celle-ci est liée à la qualité des gluténines. Il est à remarquer que pour les trois types de gluten, c'est toujours la variété BIDI17 qui montre des teneurs les plus élevées. Benbelkacem *et al.* (1993), en comparant la valeur pastière de quelques variétés de blé dur avec la variété BIDI17 ; trouvent que cette dernière est plus riche en protéine et en gluten.

Pour Balla et al. (1999), les faibles valeurs de gluten index s'expliquent par le fait que l'ensemble des protéines ne forment pas une masse viscoélastique lors de l'extraction au glutomatic. Bar (2005), explique que les farines qui présentent un gluten index inférieur à 50% ont un gluten extensible. Les valeurs proches de 100 donnent un gluten élastique, tandis qu'un gluten équilibré se situe entre 60 et 80%.

Capacité d'hydratation

Selon Feillet (2000), ce paramètre est très important dans la qualité du blé ; plus l'absorption de l'eau est élevée meilleur est le rendement en pâte ou en pain. Les résultats obtenus montrent que les valeurs d'absorption d'eau oscillent entre 64,29 à 65,57% chez les infectés et entre 64,8 à 67,41% chez les traités. Ces résultats rejoignent ceux de Boyacioglu et D'Appolonia (1994); Dexter et Matsu (1977), qui trouvent que les blés durs possèdent une grande capacité d'absorption d'eau plus élevée que les blés tendres. Pour Feillet (2000), les protéines ont la capacité d'absorber l'eau de 1,5 à 2 fois leur masse (1,8 en moyenne), pour ce même auteur la teneur en eau d'une pâte normalement préparée croît avec la teneur en protéines et le taux d'endommagement de l'amidon. Il en est de même pour ce paramètre, la variété BIDI17, enregistre les valeurs les plus élevées, que ce soit chez les infectés ou chez les traités à différentes doses.

Couleur

La couleur jaune claire d'une semoule, indépendamment de son taux d'extraction à partir d'un blé, est pour une bonne part une composante influencée par le milieu de culture. Plus un blé (ou une semoule, ou une pâte), contient de protéines, pour une variété considérée, plus la quantité de "pigments jaunes" (ou l'indice b*) est élevée.

La quantité de "pigments jaunes" est une caractéristique variétale importante. Plus le taux d'extraction d'une semoule est important, plus la quantité de "pigments jaunes" extractibles est élevée. L'indice L* est une composante variétale mais surtout phénotypique ; elle est par conséquent très influencée par les conditions du milieu (facteurs climat, sol, techniques culturales, etc.)

Selon Feillet et Abecassis (1976), l'indice de jaune est essentiellement lié à la richesse de la semoule en caroténoïdes présents dans la semoule et de l'activité de l'enzyme lyxogénases susceptibles de détruire les pigments au cours de la pastification.

L'indice de brun est fonction d'une autre catégorie d'enzyme (peroxydase). Toute action visant à diminuer l'activité de celle-ci, soit par la sélection de variétés qui n'en possèdent que de faibles quantités, soit par la mise en œuvre de technologie appropriées (bonne purification des semoules durant la mouture, application de températures élevées en début de séchage), ont un effet bénéfique sur la coloration des produits finis (Matsuo *et al.*, 1982).

Les indices de jaune varient entre 17,15 et 18,06 pour les infectés et entre 17,96 et 18,67 pour les traités. Les plus grandes valeurs sont obtenues chez les traités (dose3), avec 18,36 pour la variété GTA dur et 18,67 pour la variété BIDI17.

Aussi bien chez les infectés que chez les traités, c'est la variété BIDI17 qui présente les plus grandes valeurs. Quelque soit le type de traitement, les valeurs de cet indice dépassent la valeur de 16,4. Ces résultats rejoignent ceux d'Ait-Kaki (2008).

Pour l'indice de brun, les valeurs, que présentent les infectés se situent entre 12,62 pour BIDI17 et 15,12 pour GTA dur. Pour ce qui est des traités, les valeurs sont comprises entre 14,42 et 14,08 pour GTA dur et entre 12,48 et 12,04 pour BIDI17.

Feillet (2000), considère la valeur 12 comme optimale pour cet indice. Les résultats de notre essai sont tous supérieurs à cette valeur, également à ceux d'Ait-Kaki (2008), dont les valeurs étaient inférieures à 12. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues chez GTA dur, aussi bien chez les traités que chez les infectés ; ceci ne confirme pas les travaux de Benbelkacem *et al.* (1993), qui selon eux, c'est la variété BID117 qui est caractérisée par son aspect brun.

Boyacioglu et Hettiarachchy (1995) ; Eggert et al. (2011), rapportent que l'infection du blé par *Fusarium graminearum* provoque une diminution considérable dans la qualité du grain notamment la teneur en protéines (albumine et gluténines). Cette réduction peut être de 33 à 80%

Notre étude statistique, montre l'existence d'une relation entre le taux de cendre et la teneur en protéine totale ($r= 0,752$, $P<0,05$). Ces résultats corroborent ceux apportés par Pylar (1988), qui constate que les farines les plus riches en particules de son ont des teneurs élevées en protéine.

Selon Loué (1970), la valeur industrielle du blé dur se caractérise par deux aspects :

La valeur semoulière (rendement en semoule) : le grain fournit d'autant plus de semoule que sa structure est vitreuse et plus résistante à l'écrasement.

La valeur qualitative des semoules dépend surtout, du taux des protéines et en gluten humide, des qualités plastiques et de la teneur en pigments jaunes qui provoquent la coloration des pâtes.

Conclusion de la partie II

Les conditions environnementales de culture et de récolte influent sur les propriétés physiques du blé. Certaines formes courantes de dommages environnementaux peuvent avoir des conséquences graves pour l'aptitude technologique du blé, c'est-à-dire sur son aptitude à être transformée. Par conséquent, dans la plupart des pays, le blé est commercialisé en fonction de ses propriétés physiques, établies selon des systèmes de classement. Le système idéal doit assurer un équilibre entre les intérêts des transformateurs de blé et ceux des producteurs.

La qualité d'un blé dur est fonction de l'utilisation que l'on en fait. Or la presque unique destination du blé dur est l'obtention d'une semoule destinée elle-même à l'obtention de pain ou de galette, de couscous, et surtout de pâtes alimentaires.

Cette étude nous a permis d'aboutir à un ensemble de résultats qui met en évidence le caractère pathogène et limitant des maladies aériennes sur le développement de la plante et par conséquent, sur le grain, en l'affectant quantitativement et qualitativement.

Les essais réalisés en 2005- 2006-2007 avec le fongicide ARTEA appartenant à la famille des triazoles, ont mis en évidence l'intérêt de ce fongicide pour lutter contre certaines maladies foliaires du blé dur telles que la septoriose (*Septoria tritici*) et la rouille brune (*Puccinia recondita sp tritici*).

Un grain de qualité chez le blé dur est aussi associé à une protection préventive de la culture des maladies foliaires qui causent l'échaudage du grain.

Du point de vue qualité technologique, il est à préciser que nous n'avons pu acquérir assez de données concernant cet aspect dans la littérature. Néanmoins, nous avons essayé de porter des conclusions sur nos résultats et les comparer d'une façon générale avec d'autres travaux en rapport avec la qualité du blé. Les normes s'appliquant aux grades de blé doivent donc être fixées de manière à permettre une séparation selon l'aptitude technologique, tout en dirigeant la plus grande partie possible du blé vers les grades supérieurs, qui assurent aux producteurs le revenu le plus élevé.

Les tests d'appréciation physique, ont montré que le fongicide a réduit le taux de mitadinage des semences, chez les deux variétés. Il en est de même pour ce paramètre, les meilleurs résultats ont été obtenus avec la dose(3). La variété BIDI17 s'est montrée moins sensible que la variété GTA dur et répond mieux au traitement.

Les grains mitadinés (grains amylicés, ou amidonnés) constituent un des principaux facteurs de classement commercial du blé dur.

Pour le paramètre moucheture, nous remarquons que le taux de ce dernier est très élevé ; il dépasse les 5% chez les deux variétés de blé et pour les différents traitements.

Il semble que le fongicide n'a pas d'effet sur ce paramètre. Le taux de moucheture, chez les semences des variétés traitées aux différentes doses, est supérieur à celui des infectés.

En augmentant le PMG des semences, le fongicide a augmenté le calibre de ces dernières. Ce caractère a été très affecté par les maladies. Le poids des semences de petit calibre est très important chez les semences issues des plants infectés. Pour ce paramètre, également, la variété BIDI17 présente le plus gros calibre.

Les tests d'appréciation de la valeur semoulière, ont montré l'effet positif du fongicide sur : la teneur en eau du grain, le taux de mitadinage, le taux de moucheture, le taux d'extraction et sur la teneur en cendre

Pour ce qui des tests de la valeur pastière, en l'occurrence : la capacité d'hydratation, la couleur (indice de jaune et indice de brun), la teneur en gluten (GH, GS et GI) et enfin la teneur en protéine, les trois doses du fongicide ont augmenté les teneurs de ces paramètres. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec la dose (O3) du fongicide. Il semble que cette dernière ait donné une meilleure semoule du point de vue couleur et qualité des protéines.

La qualité d'un blé dur est fonction de l'utilisation que l'on en fait. La presque unique destination du blé dur est l'obtention d'une semoule destinée elle-même à l'obtention de pain ou de galette, de couscous, et surtout de pâtes alimentaires.

En perspectives, il apparaît important de donner quelques recommandations afin de mieux orienter les travaux sur les fongicides et leur effet sur la qualité technologique du blé dur :

Inventorier les travaux de recherche sur les industries des céréales, et définir les priorités avec la collaboration des institutions de recherche nationale.

Faire exprimer des variétés locales en mettant en place un itinéraire technique performant pour obtenir un meilleur rapport quantité/qualité. Il faut dire qu'un "bon" blé dur est celui qui satisfera le consommateur final, tandis que l'industriel, aussi fabricant de pain, de couscous ou de pâte recherchera une matière première, la semoule, qui lui permettra de transformer convenablement une "bonne" semoule en un "bon" produit fini, et ainsi de suite en remontant toute la filière jusqu'au créateur de variétés.

Amélioration des caractères physiologiques d'adaptation des variétés locales aux divers stress biotiques (résistance aux maladies) et abiotiques.

Par ailleurs la qualité implique de répondre à des critères nutritionnels, organoleptiques et hygiéniques. Cependant, il faut essayer de s'orienter vers les méthodes de détection des microorganismes, de la présence éventuelle de débris d'insectes (*filth test*), de résidus de pesticides et fongicides. A cet effet, on doit se référer utilement aux méthodes publiées par la CEE, l'ISO et le Codex Alimentarius de l'OMS.

Enfin une étude aussi exhaustive sur les fongicides et sur les normes de leur utilisation s'impose, pour garantir la réussite de leur utilisation.

CONCLUSION GENERALE

Les produits phytosanitaires sont synonymes de modernisation de l'agriculture, d'efficacité et de rentabilité. Toutefois, leur utilisation intensive n'est pas sans risque pour l'environnement et le consommateur. Les nouvelles exigences de la société imposent une production agricole garantissant la sécurité alimentaire et sanitaire, la qualité nutritionnelle et le respect de l'environnement. Ces nouveaux enjeux impliquent un accroissement de la production et de la qualité des produits agricoles tout en évitant les risques environnementaux liés à l'agriculture tels que les pollutions liées à l'usage intensif de produits phytosanitaires les herbicides, les engrais azotés et autres... L'étude présentée dans ce document s'inscrit dans un contexte de préservation de l'environnement et de maximisation des rendements

Les avancées apportées par ce travail peuvent être regroupées en trois volets :

Une première étape de ce travail a donc consisté à rechercher à mettre en évidence l'efficacité d'un produit fongicide systémique nouvellement introduit en Algérie « ARTEA330ec » sur les principales maladies de feuilles et d'épis affectant le rendement et la qualité technologique du blé dur. Seules, la rouille brune et la septoriose, ont été considérées car dans notre région d'étude, ces deux maladies sont les plus présentes et les plus nuisibles pour le blé . et Pour cela, nous nous sommes intéressés à l'analyse :

En plein champs : des effets directs du produit sur les maladies par des notations

des sévérités des deux maladies

Indirectement, au niveau du laboratoire, par des tests physiologiques et biochimiques (en étudiant les variations de la photosynthèse, du métabolisme des nutriments organiques et surtout du potentiel hydrique).

L'étude nous a permis d'aboutir à un ensemble de résultats, qui mettent en exergue l'action pathogène des champignons sur les 02 cultivars de blé utilisées dans notre expérimentation et l'influence du fongicide ARTEA 330EC sur les deux maladies.

Au vu, des observations sur le terrain, les conditions climatiques des deux années d'étude étaient très favorables au développement des deux maladies cryptogamiques. Ceci s'est traduit par un taux d'infestation des feuilles, par les deux maladies, très important dépassant même les 50%. L'efficacité du fongicide a été démontrée notamment avec la plus forte dose (0,5l/Ha) –dose d'ailleurs conseillée par la firme-. L'application du produit à deux reprises (l'un préventif, l'autre curatif) semble très nécessaire pour limiter l'attaque des pathogènes. Ceci a bel et bien été démontré durant la deuxième année (2006-2007).

La variété GTA dur s'est montrée la plus sensible et a été la première à être infestée au niveau des feuilles, alors que la variété BIDI17 s'est montrée plus résistante en présentant le taux d'infestation le plus faible..

La mesure de certaines constantes biologiques (statut hydrique, énergétique, protéoglycémique et productif) explique d'une part l'effet dépressif des maladies sur les plants non traités (témoins) des deux cultivars de blé dur et d'autre part la différence d'efficacité entre les 03 doses du produit appliquées.

Concernant les plants témoins (non traités), pour les deux variétés de blé et pour les deux années,nous avons constaté que leur état s'extériorisait par un phénomène de déperdition importante d'eau des feuilles et une élévation de leur teneur en proline et en sucres

solubles (surtout durant la 2^{ème} année). Par ailleurs, nous avons observé une diminution de leur teneur relative en eau et en chlorophylle. Il en est de même concernant le poids de 1000 grains, expliquant ainsi la baisse du rendement.

Ainsi, pour les plants traités avec les doses 0,4 et 0,5l/Ha, nous avons mis en évidence une déperdition d'eau (RWL) au niveau des feuilles, une teneur en proline et en sucres solubles plus faible par rapport à ceux traités avec la dose 0,3l/Ha parallèlement à une augmentation de la teneur relative en eau (RWC) et en chlorophylle, et par conséquent, une augmentation du PMG.

Les deux applications, l'une au stade tallage, l'autre au stade floraison, ont permis d'obtenir une certaine protection avec une réduction considérable de la sévérité. Cette amélioration de l'état sanitaire s'est traduite par une augmentation du rendement et du poids de 1000 grains. Les trois doses du fongicide ont augmenté le poids de 1000 grains (PMG) des semences issues des plants traités, notamment celles ayant reçu la plus forte dose (0,5l/Ha). La variété BIDI semble être la plus intéressante aussi bien chez les infectés que chez les traités.

D'un autre côté, les tests d'appréciation de la valeur semoulière, ont montré l'effet positif du fongicide sur : la teneur en eau du grain, le taux de mitadinage, le taux de moucheture, le taux d'extraction et sur la teneur en cendre.

En augmentant le PMG des semences, le fongicide a augmenté le calibre de ces dernières. Ce caractère a été très affecté par les maladies. Le poids des semences de petit calibre est très important chez les semences issues des plants infectés.

Pour ce qui est des tests de la valeur pastière, en l'occurrence : la capacité d'hydratation, la couleur (indice de jaune et indice de brun), la teneur en gluten (GH, GS et GI) et enfin la teneur en protéine, les trois doses du fongicide ont augmenté les teneurs de ces paramètres. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec la dose (03) du fongicide. Il semble que cette dernière ait donné une meilleure semoule du point de vue couleur et qualité des protéines.

En effet, les facteurs de classement associés à une altération de la couleur superficielle du grain sont plus importants pour le blé dur, car il est essentiel que la semoule soit brillante et exempte de piqures pour satisfaire les critères esthétiques permettant la commercialisation des pâtes alimentaires de première qualité.

La qualité d'un blé dur est fonction de l'utilisation que l'on en fait. La quasi destination du blé dur est la production d'une semoule destinée elle-même à l'obtention de pain ou de galette, de couscous, et surtout de pâtes alimentaires.

Il en est de même pour cette partie du travail ; la variété BIDI17 présente les meilleures performances.

L'utilisation des fongicides a pour but de lutter contre une cible bien précise : le champignon pathogène. Le fongicide ne doit pas être toxique pour la culture ou son environnement.

Cependant, il arrive que certaines molécules aient des effets toxiques sur des organismes non ciblés. Ces effets sont dépendants de la nature de la molécule utilisée, de son effet à l'échelle cellulaire, ainsi que des doses et de leurs fréquences d'application. Ces effets secondaires non désirables peuvent apparaître à différents niveaux.

PERSPECTIVES

En perspectives il serait intéressant de :

Évaluer les progrès en matière de diminution de l'usage des pesticides

Recenser et généraliser les systèmes agricoles et les moyens connus permettant de réduire l'utilisation des pesticides en mobilisant l'ensemble des partenaires de la recherche, du développement et du transfert

Innover dans la conception et la mise au point des itinéraires techniques et des systèmes de cultures économes en pesticides tel que les rotations

Former à la réduction et à la sécurisation de l'utilisation des pesticides

Renforcer les réseaux de surveillance sur les bio-agresseurs et sur les effets non intentionnels de l'utilisation des pesticides

L'intérêt des semis tardifs contribue à une réduction notable des traitements fongicides. Car une implantation des cultures aux portes de l'hiver nuit au développement des champignons parasites du blé.

Recours à des variétés ayant une résistance horizontale (large spectre).

La conjugaison d'itinéraires techniques économes en intrants moins agressifs et moins polluants avec l'usage de variétés résistantes aux maladies permet d'envisager une réduction considérable des traitements fongicides

Des études à l'échelle ultrastructurales sont à encourager dès lors qu'elles nous permettent d'apporter une explication au niveau moléculaire.

Références bibliographiques

- [01]. Achouri, B. 2005. Etude de l'effet d'un fongicide « Artea 330 EC » sur quelques maladies foliaires (Septoriose « Septoriose tritici » et rouille brune « *Puccinia recondita* f.sp tritici ») de 04 variétés de blé dur « triticum durum Desf » dans la plaine d'Annaba. Thèse Ing. C.U. El tarf. 73 pages
- [02]. Agrios, G.N., 1978. Plant pathology. Academic press, New York, San Francisco, London USA .703pages.
- [03]. Agrios, G.N., 2005. Plant Pathology. 5th ed. Elsevier Academic Press, USA UK
- [04]. Ahmed, L., Farrar, J.F., & Whitbread, R., 1983. Photosynthesis and chloroplasts functioning in leaves of barley infected with brown rust. *Physiol. Plant Pathol.* 23: 411-419.
- [05]. Alliou, N. ,1997. Étude de quelques altérations physiologiques et biochimiques causées par la rouille brune du blé (*Puccinia recondita* f. sp. tritici) chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de magistère en biologie végétale. Université d'Annaba. 110 pages.
- [06]. Anonyme, 1976. Cultivar .mensuel technique agricole n°81.
- [07]. Anonyme, 1981. Larousse agricole, publié sous la direction de Jean Michel Clément. 1207 pages.
- [08]. Anonyme., (2010 a) : Choisir et décider 2010. Traitements et interventions de printemps ARVALIS - Institut du végétal. Version nationale
- [09]. Anonyme., (2010b) : Infestation à la septoriose des champs de céréales : Les moissons menacées. Journal EL Watan du 29/03/2010.
- [10]. Anonyme., 1987. Fiches techniques des maladies et ravageurs des céréales. Série ACTA N°17 et 18.
- [11]. Anonyme., 2006 – Maladies transmises par les semences. Notice technique .N°04.
- [12]. Aquino, V.M., Shokes, F.M., Berger, R.D., Gorbet, D.W. & Kucharek, T.A. 1992. Relationships among late leafspot, healthy leaf area duration, canopy reflectance, and pod yield of peanut. *Phytopathology* 82: 546-552.
- [13]. Arntzen, C. J., Haugh, M.F., & Bobick., 1973. Induction of stomatal closure by *Helminthosporium maydis* pathoxin. *Plant Physiol.*, 52: 569-574.
- [14]. Ayres, P.G., 1977. Effect of leaf water potentiel on sporulation of *Erysiphe pisi* (pea mildew) *Trans. Br. Mycol Soc.*, 68: 97-100.
- [15]. Ayres, P.G., 1985. Effects of infection on growth and function : Consequences for plant nutrient and water relations in plant diseases : Infection, damage and loss. *Wood Eds, London.* 105-117.
- [16]. Balasubramanian, R., & Gaunt, R.E., 1990. The effects of fungicide sprays on root development, yield and yield components of wheat in the absence of disease plant prod. *Quarterly*, 4: 95-97.

- [17]. Barnes, A. & Hole, C.C., 1978. A theoretical basis of growth and maintenance respiration. *Ann. Bot.*, 42: 1217-1221.
- [18]. Barnes, M.F., Scott, P.G., & Ooi, K.H., 1988. The RNASE of leaves of resistant and susceptible barley cultivars after infection with leaf rust (*Puccinia hordei* oath). *Physiol. Mol. plant pathol.*, 38: 393-405.
- [19]. Bastiaans, L. & Kropff, M.J. 1993. Effects of leaf blast on photosynthesis of rice. 2. Canopy photosynthesis. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 99(3): 205-217.
- [20]. Bastiaans, L., 1993. Effects of leaf blast on growth and production of a rice crop. Analysis of the reduction in dry matter production, using two models with different complexity. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 99:19-28.
- [21]. Bastiaans, L., Rabbinge, R. & Zadoks, J.C. 1994. Understanding and modeling leaf blast effects on crop physiology and yield. *Rice Blast Disease eds. C.A.B. International, Wallingford, England*, 357-380.
- [22]. Bégos, P., 2011. Protection contre les maladies des céréales, réalisée en collaboration avec ARVALIS. Paysan Breton. Semaine du 04 au 10 Mars 2011. 1-3.
- [23]. Belabid, D., 1993. Etude de la rouille brune (*Puccinia recondita* Rob ex Desm f.sp tritici) du blé tendre (*Triticum eastivum*l) dans l'Ouest Algérien. Thèse de magister en phytopathologie. Université de Tizi-Ouzou. 105 pages
- [24]. Bergamin Filho, A., Carneiro, S. M. T. P. G., Godoy, C. V., Amorim, L., Berger, R. D., & Hau, B., 1997. Angular Leaf Spot of *Phaseolus* Beans: Relationships between Disease, Healthy Leaf Area, and Yield. *The American Phytopath. Soc.*, 87: 5.
- [25]. Berghams, R. & Reisener, H.J., 1985. Changes in photosynthesis of wheat plants infected with stem rust (*Puccinia graminis* f sp. Tritici). *Phytopathology.*, vol 112, pp 165-172.
- [26]. Berova, L., 2002. Effect of paclobutroazole on wheat seedlings under low temperature stress. *Bulg. J. Plant phyla*. 28 (1001-2): 75- 84.
- [27]. Berryman, C.A., Eamus, D., & Farrat, J.F., 1991. Water relations of barley infected with brown rust. *Physiol. Mol. plant path.*, (38): 393-405.
- [28]. Bogdan, K., 1984. Ten-year testing of puccinia graminis f.sp. tritici and its effect on yield réduction under the conditions of artificial infection 1974-1983. 11^{ème} Conférence Européenne et Méditerranéenne sur les rouilles des céréales, Grignon, 47 septembre 1984. *Ed. INRA* . 17-20.
- [29]. Bolano, J.A., & Hsiao, T.C., 1991. Photosynthesis and respiratory caracterisation of field grown tomato. *Photosynthesis Respirarat.*, 28: 21-32.
- [30]. Bonjean, A., & Picard, E., 1990. Les céréales à paille : Origine historique, économique, sélection. *SOFTWORD/Groupe ITM (INRA)*. 9-147.
- [31]. Bordjiba, O., 2008. Effet de Trois Pesticides (Hexaconazole, Bromuconazole et Fluazifop-p-butyl) sur quelques Métabolites Physio-Biochimiques du Blé dur : *Triticum durum*. Desf. *European J. Sci. Res.*, 36 (2) : 260-268

- [32]. Bosseur, S., Colas, P., Malveau, E., & Nowacki, C., 2002. Les fongicides. « Protection et Valorisation du Végétal » Mémoire de DESS. Université de Pau et des Pays de l'Adour. 36 pages.
- [33]. Boufenar-Zaghouane, F. & Zaghouane, O., 2006. Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie. *Première édition. ITGC*. 154pages
- [34]. Bouziani, M., 2007. L'usage immodéré des pesticides. De graves conséquences sanitaires. Le guide de la médecine et de la santé. *Revue Santé Maghreb*, 27-35.
- [35]. Bowden, R.L., (Bob). 1989. Extension research, diseases of small grain and forages, primarily wheat and alfalfa *Plant Pathology*, Univ.WISCONSIN Madison.
- [36]. Bryson, R.J., Paveley, N.D., Clark, W.S., Sylvester-Bradley, R., & Scott, R.K., 1997. Use of in-field measurements of green leaf area and incident radiation to estimate the effects of yellow rust epidemics on the yield of winter wheat. *European J. Agro.* , 7: 53-62.
- [37]. Bryson, R.J., Sylvester-Bradley, R., Scott, R.K. and Paveley, N.D. 1995. Reconciling the effects of yellow rust on yield of winter wheat through measurements of green leaf area and radiation interception. *Physiological Responses of Plants to Pathogens volume 42*, 9-18.
- [38]. Buchanan, B.B., & Wolosiuk., 1976. Photosynthetic regulatory protein found in animal and bacterial cells. *Nature*. 264: 669-670.
- [39]. Buchanan, B.B., 1991. Regulation of CO₂ assimilation in oxygenic photosynthesis: the ferredoxin/thioredoxin in system. Perspective on its discovery, present status, and future development. *Arch. Biochem. Biophys.*, 288: 1-9.
- [40]. Buchanan, B.B., Gruissem, W., Jones, R.L., 2000. Biochemistry and molecular biology of plants. American Society of Plant Biologists, Rockville, USA.
- [41]. Buchanan, B.B., Hutchesan, S.W., Magyarosy, A.C. & Montalbini, P., 1982. Photosynthesis in healthy and diseased plants. In effects of disease on the physiology of the growing plant. Society of Experimental Botany, *Smica, serie*, 11: 13-28.
- [42]. Burleigh, J.R., Ezzahiri, B., & Roelfs, A.P. 1991, Assessment of cultivar performance and disease impact on cereals in Morocco. - *Plant Dis.*, 75(1): 65-73.
- [43]. Bushnell, W.R., 1984. Structural and physiological alterations in susceptible host tissue. In The cereal rusts Vol. I: Origins, Specificity Structure, and physiology. (Bushnell et Roelfs eds.) *Academic Press, New York*, 477-528.
- [44]. Bushnell, W.R., & Rowell, J. B., 1968. Premature death of adult rusted wheat plants in relation to carbon dioxide evolution by root systems. *Phytopath.*, 651-658.
- [45]. Caron, D., 1993. Maladies des blés et des orges. *Ed. I.T.F.C.*, 61-69.
- [46]. Caron, D., 2000. Maladies des blés et des orges. Ed ITCF, France. 87 pages.
- [47]. Caron, D., Cavelier, N. & Leroux, P., 2000. Réseaux d'essais d'efficacité des modes d'action des fongicides sur *Septoria tritici* du blé tendre d'hiver. AFPP, sixième conférence internationale sur les maladies de plantes. Tours, France.
- [48]. Carter, A., 1987. Document de travail : Propiconazole. Site Internet : www.hc-sc.gc.ca

- [49]. Carver, T.L.W., Zeyen, R.J., Robbins, M.P., Vance, C.P., & Boyles, D.A., 1994. Suppression of host cinnamyl alcohol dehydrogenase and phenylalanine ammonia lyase increases oat epidermal susceptibility to powdery mildew penetration. *Physiol. Mol. Plant path.* 44: 243-259.
- [50]. Clarck, J.M., Romagosa, I., Jana, S., Srivastava, J.P., & Mac Cage. 1989. Relation strip of excised leaf water loss rate and yield of *Triticum durum* wheat in diverse environments. 1075-1081.
- [51]. Clark, R. V., 1968. Oat yield losses due to Crown Rust. *Can. Plant. Dis. Surv.*, 48 (4).
- [52]. Clement, M.G., & Prats, J., 1971. Les céréales Collection d'enseignement Agricoles. 351 pages
- [53]. Clément. G., & Prats J., 1970. Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2° Ed. 351pages.
- [54]. Cook, R.J., 1999. Septoria on cereals: a study of pathosystems. Management by chemicals. In Lucas (J.A.), Bowyer (P.), Anderson (H.M.) (Eds.), Wallingford: CAB International publishing, 316-331
- [55]. Couvreur, F., 2002. Fongicides des céréales et protéagineux. Ed ITCF avec la participation de l'ANDA .France .216 pages.
- [56]. Daguene, G., 1990. Les dégâts de certaines maladies Cultivar. 266: 50-52.
- [57]. Daily, J. M., 1976. The Carbon balance of diseased plants, changes in respiration, photosynthesis and translocation. *Encyclopedia of Plant Physiol.*, 4: 450-479.
- [58]. De Jesus, W.C. Jr., Ribeiro, D.V. X., Coelho, R.R., Hau, B., Zambolim, L., Costa L.C. & Bergamin Filho, A. 2001. Effects of angular leaf spot and rust on yield loss of *Phaseolus vulgaris*. *Phytopath.*, 91: 1045-1053.
- [59]. Debieu, D., Bach, J., Hugon, M., Malosse, C. & Leroux, P. 2001. The hydroxylanilide fenhexamid, a new sterol biosynthesis inhibitor fungicide efficient against the plant pathogenic fungus *Botryotinia fuckeliana* (*Botrytis cinerea*). *Pest Manag Sci.*, 57: 1060-1067
- [60]. Dickson, G., 1959. Chemical Control of Cereal Rust, *Bot.rev.*, 25: 486-513.
- [61]. Duniway, J.M. & Durbin, R.D., 1971. Some effects of *Uromyces phaseoli* on the transpiration rate and stomata response of bean leaves. *Phytopath.*, 61: 114-119.
- [62]. Dyck, P.L. & Lukow, O.M., 1988. The genetic analysis of two interspecific sources of leaf rust resistance and their effect on the quality of common wheat . *Can. J. Plant Sci.* 68: 633-639.
- [63]. Elabed, B., 1984. Relation entre l'aptitude technologique et le polymorphisme des glutenines chez les blés tendres, thèse Ing., INA., El-Harrach, 93pages.
- [64]. Eyal, Z., 1999. *Septoria* and *Stagonospora* diseases of cereals: A comparative perspective. - Proc. 15th Long Ashton Int. Symp. - Understanding pathosystems. A Focus on *Septoria*, 15-17 Sept. 1997, Long Ashton, UK, 1-25
- [65]. Eyal, Z., Sharen, A. L., Prescott, J. M. & Van Ginkel, M., 1987. The *Septoria* diseases of wheat: Concepts and methods of disease management. Mexico, D.F: CIMMYT, 52 pages.

- [66]. Farih, A., 1992. Components of partial resistance, mode of inheritance of resistance to *Sep1992*, toria tritici blotch and status of septoria diseases in Morocco. PhD Thesis, 'Oklahoma State Univ., Stillwater, OK, USA, 89 pages.
- [67]. Ferrandino, F.J. and Elmer, W.H. 1992. Reduction in tomato yield due to *Septoria* leaf spot. *Plant Disease* 76 : 208-211.
- [68]. Fraselle, J., 1989. Traité de pathologie végétale. La protection des végétaux dans les pays en développement, Pressage Agronomique Gembloux (Belgique). 557-575.
- [69]. Garry, G., 1996. Incidence de l'Anthranose à *Mycosphaerella pinodes* sur la synthèse des assimilats carbonés et azotes du pois protéagineux (*Pisum sativum* L) et leur transfert vers la graine. Conséquences sur la formation et le remplissage des grains. Thèse de Doctorat. Univ. Rennes I. 119pages.
- [70]. Gethar, R., Stitt, M., & Heldt, H.W., 1987. Sub cellular metabolite levels in spinach leaves. Regulation of sucrose synthesis during diurnal alterations in photosynthetic partitioning. *Plant physiol., Ed Lavoisier*. 162-235.
- [71]. Godon, B., 1985. Protéines végétales. *Ed. Lavoisier*. 162- 235.
- [72]. Gooding, M.J, Dimmock, J.P.R.E., France, J. and Jones, S.A. 2000. Green leaf area decline of wheat flag leaves: the influence of fungicides and relationships with mean grain weight and grain yield. *Annals of Applied Biology* 136, 77-84.
- [73]. Goodman, R. N., Novacky, A.J., 1994. The Hypersensitive Reaction in Plants to Pathogens, A Resistance Phenomenon. *St.Paul, MN: APS Press*.
- [74]. Goodman, R.N., Kiraly, Z., Wood, K.R., 1986. Photosynthesis in the biochemistry and physiology of plant disease. *Plant Dis.* 46-74.
- [75]. Gordon, T.R. & Duniway, J.M., 1982 b. Photosynthesis in powdery mildewed sugar beet leaves. *Phytopath.*, 72: 718-723.
- [76]. Gordon, T.R., Duniway, J.M., 1982a. Stomatal behaviours and water relations in sugar beet leaves infected by *Erysiphe polygoni* . *Phytopath.*, 72: 723-726.
- [77]. Goring, H., & Plescher, F., 1986. Proline accumulation induced by weak acids and IAA in coleoptiles of wheat seedlings. *Biologia Plant Arum.*, 28: 401-406.
- [78]. Göring, H., 1981. Plant responses to effects of adverse physical and chemical environmental factors. In "Genetic resources and plant breeding for resistance to diseases, pests and abiotic environmental conditions". Brezhnev Eds. Materials of IX congress of EUKARPIA, Leningrad, 152-164.
- [79]. Grignac, P., 1978. Le blé dur: monographie succincte, *Ann. Inst .Nat.Agr Harrach*, 8 (2).
- [80]. Guettouche, R., 1990. Contribution à l'identification des caractères morphophysologiques d'adaptation à la secheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de diplôme d'Agronomie Approfondie. Mise en valeur du milieu naturel. ENSAM : 111pages.
- [81]. Gyot, L., 1978. Biologie Végétale. Collection que sais-je? Ed. Press Uiversitaire de France. 127pages.
- [82]. Halverson, L.J., & Stacey, G., 1986. Signal exchange in plant-microbe interactions. *Microbiol. Rev.*, 50: 193-225.

- [83]. Hamadach, A., Abdellaoui, Z. & Aknine, M., 2002. Facteurs Agrotechniques d'Amélioration de la Productivité du Blé dur en Algérie. Cas de la zone sub-humide. *Recherche Agronomique n°10*. 14 pages
- [84]. Hamadach, A., Ait Abdellah, F., et Labada, M., 1998. Synthèse des travaux de recherche réalisés par les fermes expérimentales sur la protection des grandes cultures : 1977-97. Bilan de la recherche sur les grandes cultures. ITGC, 13 pages
- [85]. Hanson, A.D., Nelson, C.E. & Everson, E.H., 1977. Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barely cultivars. *corp. SCI*. 17: 720-726
- [86]. Havaux, M., 1988. Effects of temperature on the transitions between state 1 and state 2 in intact maize leaves. *Plant Physiol. Biochem.*, 26 : 245-251.
- [87]. Hennouni, N., 2002. Étude de l'effet de la rouille brune (*Puccinia recondita* f. sp. *tritium*) sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (*Triticum durum* Desf) dans la plaine d'Annaba. Mémoire de magistère. Université d'Annaba. 88pages
- [88]. Holden, M., 1975. Chlorophylls in chemistry and biochemistry of pigments. 2ndEd. T.W. Goodwin. *Academic press. New York*. 1-37.
- [89]. Hoppe, H., & Heitefuss, R., 1974. Permeability and membrane lipid metabolism of *Phaseolus vulgaris* infected with *Uromyces phaseoli*. I. Changes in the efflux of cell constituents. *Physiol. Plant Path.* 4: 11 - 24
- [90]. Horsfall, J. G., & Cowling, E.B., 1978. Plant disease an advanced treatise. How plants suffer from disease . *Academic press.*, 3: 485 pages
- [91]. Hutcheson, S.W., & Buchanan, B.B., 1983. Bioenergetic and metabolic disturbances in diseased plants. *In Biochem. Plant Path.* 327-345.
- [92]. Jensen, S.G., & Van Sembeck, L.J., 1972. Differential effects of barley yellow dwarf virus on the physiology of tissues of hard red spring wheat. *Crop Sci*. 14 (5): 728-731.
- [93]. Jlibene, M., 1990. Inheritance of resistance to *Septoria tritici* blotch (*Mycosphaerella graminicola*) in hexaploid wheat. PhD Thesis Univ. Missouri-Columbia, USA, 86 pages
- [94]. Johnson, K.B. 1992. Evaluation of a mechanistic model that describes potato crop losses caused by multiple pests. *Phytopathology* 82, 363-369.
- [95]. Junghanns, M., 1994. Bedeutung, regulation und function von cytochrom weg und alternativum weg bei infectionsbedingten veränderungen der atmung in Schwarrost infizierten weizen pflanzen. Ph. D. Thesis Aachen Germany.
- [96]. Kenaga, C.B. 1974. Principals of phytopathology .ed.2 Balt. *Lafayette, Indiana. Usa*: 5-272.
- [97]. King, J.E., Cook, R.J., Melville, S.C., 1983. A review of *Septoria* diseases of wheat and barley. *Ann. Appl. Biol.*, 103(2): 345-373.
- [98]. Kirchansky, S. & Park, R.B., 1976. Comparative studies of the thylakoid proteins of mesophyll and bundle sheath plastids of *Zea mays*. *Plant Physiol.* 58: 345-349.
- [99]. Knott, D.R., 1993. Agronomic and quality characters of near – isogenic lines of wheat carrying genes for stem rust resistance. *Euphytica.*, 68: 33-41.

- [100]. Ladiges, P.Y. 1975. Some aspect of tissue water relations in the three populations of *Eucalyptus viminalis*. *Labill. New. Phytol.* 53-62
- [101]. Laffray, D., Bousquet, J.F., Bethnod, O., & Louguet, P., 1982. Mécanisme de l'action dépressive de l'ochracine, phytotoxine synthétisée par *Septoria nodorum* Berk, sur le degré d'ouverture des stomates des feuilles de plantules de blé et *Pelargonium X hortorum*
- [102]. Lepoivre, P., 2003. Phytopathologie: bases moléculaires de biologiques des pathsystemes et fondement des strategies de lutte. *De Boeck & Presses Agronomiques de Gembloux (Eds.)*, Brussels, Belgium, 149-167.
- [103]. Leroux, P., 1973. Mode d'action des fongicides utilisés sur céréales, compte rendu de journée d'étude Versaille. 85-106.
- [104]. Leroux, P., 2003 a. Fungicide resistance in plant pathogens: A phenomenon difficult to manage? *Phytoma.*, 566: 36-40
- [105]. Leroux, P., 2003 b. Modes d'action des produits phytosanitaires sur les organismes pathogènes des plantes. *C R Biol.*, 326: 9-21
- [106]. Leroux, P., Chapeland, F., Arnold, A., & Gredt, M., 2000. New cases of cross-negative resistance between fungicides, including sterol biosynthesis inhibitors. *J. General Plant Path.*, 66: 75-81
- [107]. Leroux, P., Chapeland, F., Desbrosses, D. & Gredt, M., 1999. Patterns of cross resistance to fungicides in *Botryotinia fuckeliana* (*Botrytis cinerea*) isolates from French vineyards. *Crop. Prot.* 18: 687-697.
- [108]. Leroux, P., Fritz, R., Debieu, D., Albertini, C., Bach, J., Gredt, M., & Chapeland, F., 2002. Mecanisms of resistance to fungicides in field strains of *Botrytis cinerea*. *Pest. Manag. Sci.*, 58: 876-888.
- [109]. Long, D.E., Roelfs, A.P., Leonard, K.J. & Roberts, J.J., 1994. Virulence and diversity of *Puccinia recondita* f. sp. *Tritici* in united states in 1992. *Plant Dis.*, 78: 901-906.
- [110]. Mac lean, D.J., 1982. Axenic culture and metabolism of rust fungi in the "rust fungi". *Ed. Academic Press. New York.*, 37-120.
- [111]. Madeira, A.C., Clark, J.A., & Rossall, S., 1994. Growth and light interception in field bean (*Vicia faba*) infected by *Ascochyta fabae*. *J. Agricult. Sci.*, 123: 225-232.
- [112]. Magboul, A.M., Geng, S., Gilchrist, D.G., & Jackson, L.F., 1992. Environmental influence on the infection of wheat by *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopath.*, 82: 1407-1413.
- [113]. Magyarosy, A.C., Schurmann, P. Buchanan, B.B., 1976. Effect of powdery mildew infection on photosynthesis by leaves and chloroplasts of sugar beets; *Plant Physiol.*, 57: 486-489.
- [114]. Masson., 1949. Les champignons parasites des plantes cultivées. Tome II *Masson Ed.*
- [115]. Mathre ,D.E., 1968. Photosynthesis activities of cotton plants infected with *Verticillium alboatrum*. *Phytopath.*, 58: 137-141.
- [116]. May, M. J., & Leaver, C. J., 1993. Oxidative stimulation of glutathione synthesis in *Aradopsis thaliana* suspension culture. *Plant. Physiol.*, 103: 621-627.

- [117]. Mazouz, H., 1992. Etudes sur la septoriose du blé due à *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Schroeter (*Septoria tritici* Rob.ex Desm.) au Maroc. Thèse de Doctorat 3^{ème} Cycle Fac. Sci., Meknès, Maroc, 112 pages
- [118]. Mc Cree, K. J., 1974. Changes in the stomatal responses characteristics of grain sorghum produced by water during growth. *Crop Sci.*, 19: 273-278.
- [119]. Mc Greath, M.T., & Pennypacker, S.P., 1990. Alteration of physiological processes in wheat flag leaves caused by stem rust. *Phytopath.* 677-686.
- [120]. Meksem, L., Rouabhi, R., Djebbar-Berrebah, H., & Djebbar, M.R., 2007. The impact of propiconazole (Tilt 250EC) on the growth and the breading of hard wheat isolated roots (*Triticum durum*, GTA dur and Vitron varieties). *African J. Agricult.Res.*, 2(8) : 370-373.
- [121]. Meynard, J. M., & Jeuffroy, M. H., 2002. Progrès génétique et agriculture durable. *Le Sélectionneur Français* 53 : 69 - 82.
- [122]. Minarcic, P., & Janitor, A. 1994. Changes of starch content in above-ground part of barely plants infected with powdery mildew (*Erysiphe graminis* D.C). *Biol. Bratislava.*, 49 (1): 77-82.
- [123]. Monneveux, P., & Nemmar, M., 1986. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum sativum* L.) et le blé dur (*Triticum durum* Desf). Étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agro.*, 6: 583-590
- [124]. Montalbini, P. & Buchanan., 1974. Effect of rust infection on photophosphorylation by isolated chloroplasts. *Physio. Plant Physiol.*, 4: 191-196.
- [125]. Moussaoui., 2001. Utilisation, Evaluation et Impacts des pesticides en Algérie - Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Environnement école Nationale Polytechnique
- [126]. Murray, D.C., & Walters, D.R., 1992. Increased photosynthesis and resistance to rust in upper uninfected leaves of rusted broad bean (*Vicia fabae*)L). *New Phytol.*, 120: 235-242.
- [127]. Nutter, F.W.Jr. and Littrell, R. H. 1996. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in the peanut-late leafspot pathosystem. *Crop Protection.* 15: 135-142.
- [128]. Paul, N.D., & Ayres, P.G., 1984. Effects of rust and post infection drought on photosynthesis, growth and water relations in groundsel. *Plant path.*, 33 : 561-570.
- [129]. Perdrizet, E., & Martin, 1980. Etude comparée du métabolisme des acides aminés chez les pommes de terre saines et atteintes du virus de l'enroulement. *CR. Acad. Sci.*, 252 : 2756-2758.
- [130]. Prescott ,J. M., Burnett, P.A., Saari, E.E., Ransom, J., De Milioano, W., Singh, R.P. & Bekele G. 1987. Maladies et ravageurs du blé : guide d'identification au champ. CIMMYT. Mexico : 133 pages
- [131]. Rapilly, E., Lemaire, J.M., Cassini.1971. Les maladies des céréales : Les rouilles. *INRA . I.T.C.F.*, 30-54.

- [132]. Rapilly, F., 1991. Epidémiologie en pathologie végétale: mycoses aériennes. L. T. Doc. Paris. Institut National de la Recherche Agronomique INRA. ISBN 2-7380-0297-8. 317. 240-261.
- [133]. Robert, C., 2003. Etude et modélisation du fonctionnement d'un couvert de blé attaqué par le complexe parasitaire *Puccinia triticina*-*Mycosphaerella graminicola*, thèse, Institut National Agronomique Paris - Grignon, Paris, 135pages.
- [134]. Robert, C., Bancal, M.O., Lannou, C. and Ney, B., 2006. Quantification of the effects of *Septoria tritici* blotch on wheat leaf gas exchange with respect to lesion age, leaf number, and leaf nitrogen status. *J. Exper Botany* 57 : 225-234.
- [135]. Robert, C., Bancal, M.O., Nicolas, P., Lannou, C., & Ney, B., 2004. Analysis and modelling of effects of leaf rust and *Septoria tritici* blotch on wheat growth. *J. Exper.Botany*, 55: 1-16.
- [136]. Robinson, S.P., Jacobs, A.K., & Dry, I.B., 1997. A class in chitinase is highly expressed in crape berries during ripening. *Plant Physiol.*, 114: 771-778.
- [137]. Rocher, F., 2004. Lutte chimique contre les champignons pathogènes des plantes : Evaluation de la systémie phloémienne de nouvelles molécules à effet fongicide et d'activateurs de réaction de défense. Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers. 163pages
- [138]. Roelfs, A.P., Singh, R.P., & Saari, E.E., 1992. Rust diseases of wheat. Concept and methods of disease management. Mexico, D.F., CIMMYT : 81pages.
- [139]. Rossing, W.A.H., van Oijen, M., van der Werf, W., Bastiaans, L., and Rabbinge, R. 1992. Modelling the effects of foliar pests and pathogens on light interception, photosynthesis, growth rate and yield of field crops. *Pests and Pathogens-Plant Responses to Foliar Attack*. P. G. Ayres, ed. Bioscience Scientific Publishers, Oxford 161-180
- [140]. Rouaïssi, M., & Harrabi, M., 1999. Effet des fertilisation azotée et potassique sur le développement de *Septoria tritici* chez deux variétés de blé dur. In : Proceeding du deuxième symposium régional sur les maladies des céréales et légumineuses alimentaire; Nabeul, Tunisie, 10-12 novembre, 1999 pp : 81-91.
- [141]. Rowell ,J.B., 1985. Chemical control of the cereal rusts, *Annu. Rev.Phytopath.*, 6: 243-262.
- [142]. Rwendeire, A.J.J., & Barnes, F., 1988. The initial response of barley to challenge by leaves rust (*Puccinia hordei* Otth) : Some Factors in RNA metabolism related to resistance. *Physiol. Mol. Plant Path.*, 32: 115-126.
- [143]. Sayoud, R., Ezzahiri, B., & Bouznad, Z., 1999. Les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maghreb. Projet maghrébin sur la surveillance des maladies et le développement de Germoplasme résistant des céréales et des légumineuses alimentaires. PNUD RAB/91/007. Maroc -Algérie- Tunisie. 64pages
- [144]. Schipper, A. L., & Minocha, C. J., 1969b. The histochemistry of starch depletion and accumulation in bean leaves a trust infection sites. *Phytopath.*, 59: 1416-1422
- [145]. Schipper, A. L., & Minocha, C. J., 1969b. The mechanism of starch depletion . in leaves of *Phaseolus vulgaris* in fected with *Uromyces*. *Phaseali. Phytopath.*, 59: 1722-1727.

- [146]. Scholes, J.D., 1992. Photosynthesis : cellular and tissue aspects in diseased leaves. Pests and pathogens – plant responses to foliar attacks. *E. Lancaster. P.G. Ayres ed.*, 85-101.
- [147]. Scholes, J.D., & Farrar, J.F., 1986. Increased rates of photosynthesis in localised regions of a barley leaf infected with brown rust. *New Phytologist.*, 104: 601-612.
- [148]. Seilleur, P., 1989. Amélioration génétique de la résistance aux agents phytopathogènes. Dans: *Traité de pathologie végétale*. Jean Semai (rdd.). Les presses agronomiques de Gembloux, A.S.B.L. 621pages.
- [149]. Semal, J., 1989. *Traité de pathologie végétale*. Les presses agronomiques de Gembloux, ASBL. 11-33.
- [150]. Shaw, M.W., & Royle D.J. 1989. Estimation and validation of function describing the rate at which *Mycosphaerella graminicola* causes yield loss in winter wheat. *Annals of Applied Biol.*, 115: 425-442.
- [151]. Shipton, W.A., Boyd, W.R.J., Rosielle, A.A., Shearer, B.I., 1971. The common Septoria diseases of wheat. *Bot. Rev.*, 37(2) : 231-262.
- [152]. Shtienberg, D., 1991a. Effects of moisture and *Septoria tritici* blotch stresses on wheat yields under semi-arid conditions: a simulation study. *Phytoparasit.*, 19: 301 - 310.
- [153]. Shtienberg, D., 1991b. Effect of foliar diseases of wheat on the physiological processes affecting yield under semi-arid conditions. *Plant Path.*, 40 : 533 – 541.
- [154]. Shtienberg, D., 1992. Effects of foliar diseases on gas exchange processes : a comparative study. *Phytopathology* 82 : 760-765.
- [155]. Shtienberg, D., Bergeron, S.N., Nicholson, A.G., Fry, W.E., & Ewing, E. E., 1990. Development and evaluation of a general model for yield loss assessment in potatoes. *Phytopath.*, 80: 466 - 472.
- [156]. Simon, D., Richard, F., Bellanger, M., Denimal, D., Goubert, C., Jeuffrault, E., 1994. La protection des cultures. Les pratiques d'aujourd'hui et de demain en protection des cultures.
- [157]. Sindelar, L. 1985. The content of ATP, ADP,AMP, Pi, the activity of enzymes involved in the glycolytic Pathway and some problems of its regulation, and energy balance in Tobacco plants infected with potato virus Y. *Biologia plantarum.*, 28 (6): 449-459.
- [158]. Slimi, H., 2000. Conséquences écophysiologicals de la conjonction d'une attaque de Rouille brune (*Puccinia recondita*) et d'une contrainte hydrique sur le blé. Master of Science en Irrigation. I.A.M de Bari, Italie. 89 pages.
- [159]. Spott, R.A., & Ferree, D.C. 1979. Photosynthesis, transpiration and water potential of apple leaves infected by *Venturia inaequalis*. *Phytopath.*, 69: 717-719.
- [160]. Staler, G.D., 1988. Apparent photosynthesis in healthy and *Puccinia recondita* infected wheat plants. *Can. J. Plant Pathol.*, 10 : 203-206.
- [161]. Steinberg, D., Morani, A. & Dinoor, A., 1984. Yield loss assessment for yellow rust under semiarid conditions. V^{ème} conférence euro méditerranéenne sur les rouilles des céréales. Grignon, 4-7 septembre 1984. Ed INRA (les colloques de l'INRA, N° 25). 21 pages.

- [162]. Stoll, K., Zook, M., Shain, L., Hebard, F. & Kuc, J., 1988. Restricted colonization by *Peronospora tabacina* and phytoalexin accumulation in Immunized tobacco leaves. *Phytopath.*, 78: 1139-1197.
- [163]. Streuter, N., Moerschbacher, B.M., Fisher, Y., Noll, U. & Reisner, H.J., 1989. Fructose 2, 6-biphosphate in wheat leaves infected with stem rust. *J. Plant. Physiol.*, 134 : 254-257.
- [164]. Sutton, J.C., 1990. Maladies des feuilles du blé d'automne. Université de Guelph; L.A. Hunt .fiche technique .Imprimeur de la Rein pour l'Ontario ; site internet : www.omafra.gov.on.ca/.../crops/farts/90-008.htm
- [165]. Tissera, P., & Ayers, P.G., 1986. Tranpiration and the water relations of faba bean (*vicia fabae*) infected by rust (*Uromyces vicia fabae*). *New Phyto.*, 120: 111-122.
- [166]. Turner, N.C., & Graniti, A., 1969. Fusicoccin: a fungal toxin that opens stomata. *Nature* 223: 1070–1071.
- [167]. Turner, N.C., & Graniti, A., 1976. Stomatal response of two almond cultivars to fusicoccin. *Physiol. Plant Path.* 9: 175–182.
- [168]. Van-Der-Plank, J.E., 1963. Plant diseases: Epidemics and control. *Academic Press New York and London*. 349 pages
- [169]. Vertucci, C.W., 1989. The kinetic of seeds imbibition controlling factors and relevance to seedling vigor. In: “Seed Moisture”, *CSSA special publication*, 14: 93 -.115.
- [170]. Viskari, E.L., Surakka, J., Pasanen, P., Mirma, A., Kossi, S., Ruuskanen, J., & Holopainen, J.R., 2000. Response of spruce seeding (*Picea abies*) to exhaust gas under laboratory conditions. Plant-insecte interactions. *Environ. Poll.*, 107: 89-98.
- [171]. Walters, D.R., & Ayres, P.G., 1980. Effect of powdery mildew disease on the uptake and metabolism of nitrogen by roots of infected barley. *Physiol. Plant Path.*, 17: 369-379.
- [172]. Walters, D.R., & Ayres, P.G., 1984. Ribulose biphospahte carboxylase protein and enzymes of CO₂ assimilation in barley infected by Powdery mildew (*Erysiphe graminis hordei*). *Phytopath. Z.*, 109: 208- 218.
- [173]. Watson, D.J., 1947. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, 11: 41-76.
- [174]. Weise, M.V., 1977. Compendium of wheat diseases. St Paul, Minn.: *Am. Phytopathol. Soc.* 42-45.
- [175]. William, G.M., & Ayres, P.G., 1981. Effects of powdery and water stress on CO₂ exchanges in infected leaves of barley plants. *Plant physiol.*, 68: 527-530.
- [176]. Wright, A.C., and Gaunt, R.E. 1992. Disease-yield relationships in barley. I. Yield, dry matter accumulation and yield loss models. *Plant Pathology* 41, 676-687.
- [177]. Wrigley, C.W., & Webster, H.L., 1966. The Effect of Stem Rust Infection on the Soluble Proteins of Wheat Leaves. *Aust. J. Biol. Sci.*, 19 (5): 895-901.
- [178]. Wynn, W.K., 1963. Photosynthetic phosphorylation by chloroplasts isolated from rust affected oast. *Phytopath.*, 53 : 1376-1377.

- [179]. Youbi, M., 2005. Effets de deux fongicides Artea et Punch, nouvellement introduits en Algérie sur la physiologie et le métabolisme respiratoire du blé dur. Mémoire de magistère. Univ. Annaba. 64 pages.
- [180]. Zahri, S., Farih, A., Badoc, A. & Douira, A. 2008. Importance des septorioses dans les champs de blé Marocains. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 147 : 29-38
- [181]. Zhang, X.Y., 2005. Modélisation de la réponse des variétés de blé au niveau d'intensification. Influence de la pression de maladies foliaire. Thèse de Docteur de l'Institut National Agronomique ; Paris-Grignon. 127 pages.
- [182]. Zillinsky, F. J. 1983. Maladies communes des céréales à paille: Guide d'identification. CIMMYT Mexico: 141 pages
- [183]. Zitko, S. E., Staler, G. D., Nutter, F. W., 1985. Chlorophyll of wheat leaves with differences in leaf rust severity and reaction type . *Can. J. Plant. Pathol.*, 7 : 146150.

Les références internet :

Site 01 : <http://www.reperesfongicidescereales.fr/index/chap-rubrique/rubrique-48/>.

Site 02 : http://www.inra.fr/presse/septoriose_du_ble_resiste_aux_fongicides.

Site 03 : <http://www.reperesfongicidescereales.fr/index/chap-maladies/fiche-4/> .

Site 04 : <http://www.omafra.gov.on.ca/.../crops/facts/90-008.htm>.

- [01]. Abecassis, J. 1996. Comprendre la qualité : la valeur semoulière comment s'explique-t-elle ? *Coll. Perspectives blé dur. INRA. Montpellier. France.* 37-56.
- [02]. Abecassis, J., 1993. Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. *Ind. Céréales.*, 81 : 25-37.
- [03]. Abecassis, J., Autran, J.-C. & Feillet, P. 1996. Qu'est-ce que la qualité des blés durs en 1996 ? La qualité technologique. In : Brochure "Blé Dur : une filière orientée vers la qualité", *Ed. ITCF-INRA-ONIC*, 24-27.
- [04]. Abecassis, J., Gautier, M.F. & Autran, J.C., 1990. La filière blé dur - pâtes alimentaires : apports complémentaires de la technologie et de la génétique dans l'amélioration de la qualité. *Ind. Alim. Agric.*, 107 (6) : 475-482.
- [05]. Ait Kaki, S., 2002. Evaluation de la qualité d'un germoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf) : Appréciation de l'aptitude technologique et biochimique. Mémoire Magistère. Université Annaba. 130 pages.
- [06]. Ait_Kaki,S., 2008. Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologique chez le blé dur en Algérie. Thèse de Doctorat es Science. Univ Annaba. 162 pages.
- [07]. Alliou, N., 1997. Etude de quelques altérations physiologiques et biochimiques causées par la rouille brune du blé (*Puccinia recondita*. F. sp. *Triticici*) chez le blé dur (*Triticum durum* . Desf) Thèse de Magistère en Biologie Végétale. Université d'Annaba. 110 pages.

- [08]. Amberger, S., & Obendorfer, J., 1988. Level of free proline in ornamental plants: I Influence of plant age, leaf age and leaf region in *Saintpaulia* and *Chrysanthemum*. - *Plant Physiology*., 132: 758-761.
- [09]. Anonyme, 1996 a. Céréales et produits céréaliers. Techniques d'analyse, Direction de la qualité. O.A.I.C. Alger. 43pages.
- [10]. Anonyme, 2002a. Larousse Agricole. Ed.Michel Mazoyer. 767pages. .
- [11]. Anonyme. 2001. Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux. L'ANDA et I.T.C.F. 216 pages.
- [12]. Anonyme., 1995. Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux, .11-78.
- [13]. Anonyme.1996 b. Blé dur. Objectif de la qualité. ITCF. 52 pages.
- [14]. Audigié, CL., 2000. Manipulations d'analyse biochimique. Ed Paris Doin
- [15]. Autran, J.C., Abecassis, J. & Feillet, P. (1986).Statistical evaluation of different technological and biochemical tests for quality assessment in durum wheats. *Cereal Chem.*, 63 : 390-394.
- [16]. Balla, A., Blecker, C., Moussa Oumarou, M., Michel Paquot, M., & Deroanne, C., 1999. Mise au point de pains composites à base de mélanges de farines de sorgho-blé et analyse texturale. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 3 (2) : 69–77
- [17]. Bar, C., 1995. Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux – Guide pratique -. Ed. ITGF, Paris. 253 pages.
- [18]. Barkat, M., 2005. Caractérisation morpho-physiologique et physico-chimique des descendants issus de cinq générations de Back-Ross et de leurs géniteurs de Blé dur (*triticum durum* Desf.) Thèse es Sciences. Univ. Mentouri. Constantine. 153pages.
- [19]. Baumann, D., Bastiaans, L., Kropff, M., 2002. Intercropping system optimization for yield, quality, and weed suppression combining mechanistic and descriptive models. *Agronomy J.* 94:734-742 VOIR THESE
- [20]. Bedoussac, L., Justes, E., 2009. The efficiency of a durum wheat – winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant Soil* DOI 10.1007/s11104-009-0082-2 VOIR THESE
- [21]. Benbelkacem A., Sadli, F., & Brinis, L., 1993. La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. In « Option Méditerranéenne », Série A: séminaire de blé dur dans la région méditerranéenne. Ed. : CIHEAM. Zaragoza. Espagne. 17-19 Novembre. 271 pages.
- [22]. Benbelkacem, A., 1996. Etude de l'adaptation variétale des céréales cultivées en Algérie sous différentes conditions agro-écologiques. *Céréaliculture* 31: 17-22.
- [23]. Bolling, H., & Zwingelberg, H., 1972. Vitreux et Grißausbeute dans le blé dur. Pains de maïs 26:264-269. *Glasisigkeit und Grißausbeute bei Durumweizen. Getreide Mehl Brot* 26:264-269.
- [24]. Boufenar-Zaghouane, F. & Zaghouane, O., 2006. Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie. *Première édition. ITGC.* 154p.
- [25]. Boukhemia, A.S., 2003.Aptitude Technologiques de quelques variétés de Blé dur locales : Interaction amidon-protéine. Thèse de Magistère. I.N.A. Alger.

- [26]. Boyacioglu, D & d'Appolonia 1994. Caractérisation and utilisation of durum Wheat for Breadmaking. III. Staling Propertieess of Bread Baked Wheat Flours and Durum Wheat Flours.
- [27]. Boyacioglu, D., and Hettiarachchy, N.S. 1995. Changes in some biochemical components of wheat grain that was infected with *Fusarium graminearum*. *J. Cereal Sci.* 21: 57-62.VOIRTHESE
- [28]. Calvel, R., 1980. La panadería moderna. 2^{ème} Ed : Américalee. 410 pages
- [29]. Caron D, 2000. La fusariose des épis. *Perspectives agricoles* 253 : 56-62.
- [30]. Charles, A., & Linden, G., 1997. Abrégé de Biochimie Alimentaire. 4ème édition. Mason. 248pages.
- [31]. Cheftel, J.C., & Cheftel, H., 1977.Introduction à la Biochimie et à la Technologie des Aliments. Tome I, 6^{ème} edition. Technique et Documentation. France-381pages.
- [32]. Cheftel, J.C., 1985. Protéines alimentaires. Ed. Technique et documentation Lavoisier, Paris 309 pages
- [33]. Cheftel. J.C; Guq, J. and Lorient, D., 1984. "Food chemistry". - ed. O.R. Fennema. - *Uarcel Dekker. Inc., New York and Basel.* - . 245-370.
- [34]. Chen, L., Ortiz-Lopez, A., Jung, A., Bush, DR., 2001. Anti, an aromatic and neutral amino acid transporter in Arabidopsis. *Plant Physiol.* 125: 1813-1820
Clement, G.C ; et Prats, J., 1970. Les céréales. Baillière. Paris. 351 pages.
- [35]. Codex Alimentarius Standard. 1995. Codex standard for wheat flour. 1^{re} éd. 13pages.
- [36]. Colas, V., 1997. Recherche des bases moléculaires à l'origine de la spécialisation parasitaire et du pouvoir pathogene dans l'interaction entre *Phytophthora parasitica* et le tabac. Thèse de Doctorat. Université de Paris 06, Paris, France. 177pages.
- [37]. Coleno, A., 1979. Mécanismes de reconnaissances entre l'hôte et le parasite. *Bull. Soc. Bot. 126, Actual. Bot.*, 4: 51-61.
- [38]. Cubadda, R., Carcea, M. & Pasqui, L.A. 1992. Suitability of the gluten index method for assessing gluten strength in durum wheat and semolina. *Cereal Food Wor/d*, 37: 866-869.
- [39]. D'Egidio, M.G, Mariani, B.M & Novaro, P., 1990. Chemical and technological variables and their relationships: A predictive equation for pasta cooking quality. *Cereal Chemistry* 67:275-281
- [40]. Dacosta, Y., 1986. Le gluten de blé et ses applications. Ed. – APRIA. 129 pages.
- [41]. Dexter, J.E & Edwards, N.M., 1998. Incidence des facteurs de classement fréquemment détectés sur l'aptitude technologique du blé dur. Association of Operative Millers – Bulletin Commission canadienne des grains, Laboratoire de recherches sur les grains, Winnipeg (Manitoba) R3C 3G8 Contribution no M231. 35 pages
- [42]. Dexter, J.E. 1993. End-use quality implications of grading factors in wheat. Grain and Oilseeds: Handling, Marketing, Processing. 4th Edition. E.J. Bass, ed. Canadian International Grains Institute, Winnipeg, Canada. Pages 697-722

- [43]. Dexter, J.E., & Matsuo, R.R. , 1977. Changes in semolina proteins during spaghetti *Processing Cereal Chem.* 54
- [44]. Dexter, J.E., 1980. The suitability of the SDS sedimentation test for assessing gluten strength in durum wheat . *Can. J. Plant Sci.*, 60 : 25-29
- [45]. Dexter, J.E., Crowle, W.L., Matsuo, R.R. & Kosmolak, F.G., 1982. Effect of nitrogen fertilization on the quality characteristics of five north American amber durum wheat cultivars. *Can. J. Plant Sci.*, 62: 901-912.
- [46]. Dexter, J.E., Marchylo, B.A., MacGregor, A.W., & Tkachuk, R. 1989a. The structure and protein composition of vitreous, piebald and starchy durum wheat kernels. *J. Cereal Sci.* 10:19-32.
- [47]. Dexter, J.E., Matsuo, R.R. & Morgan, B.C. 1981. High temperature drying: Effect on spaghetti properties. *J. Food Sci.*, 46: 1741-1756.
- [48]. Dexter, J.E., Williams, P.C., Edwards, N.M., & Martin, D.G. 1988. The relationship between durum wheat vitreousness, kernel hardness and processing quality. *J. Cereal Sci.* 7:169-181.
- [49]. Dinesh, Y., & Nagendra, K.S., 2011. Wheat Triticin: A Potential Target for Nutritional Quality Improvement. *Asian Journal of Biotechnologie* 3(1): 1-21.
- [50]. Djahbar, Z., 2006. Appréciation de la qualité technologique d'un ensemble de variétés de blés durs cultivés en Algérie. Mémoire d'Ingénieur. Centre Universitaire d'El Tarf. 109 pages.
- [51]. Douimi, R ; Jlibene, M. ; El-Bouami, F 1999. Effets de la rouille brune et de la Cécidomie sur le rendement du blé tendre au maroc. In : Proceedings du deuxième symposium régional sur les maladies des céréales et légumineuses alimentaires ; Nebeul, Tunisie, 10-12 novembre, 1999 pp : 75-81.
- [52]. Doumandji, A.A., Doumandji, S.S., & Doumandji, M.B.B., 2003. Technologie de transformation des blés et Problèmes dus aux insectes au stock, cours de technologie des céréales, office des publications Universitaires. Ed 2. 02. 4112. Ben Aknoun. Alger. 67pages.
- [53]. Ezzahiri, B., Bouhache, M.; Zbair, K., 1999. Positionnement des traitements herbicides et fongicides dans la conduite de la protection phytosanitaire du blé en irrigué. In : *Proceeding du deuxième symposium régional sur les maladies des céréales et légumineuses alimentaires ; Nabeul, Tunisie*, : 447-454.
- [54]. Feillet, P., 1986. L'industrie des pâtes alimentaires : Technologie de fabrication, qualité des produits finis des matières premières. *Ind. Aliment. Agric.*, 103(10): 979.
- [55]. Feillet, P., & Dexter, J.E. 1996. Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. *American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.* 95-131
- [56]. Feillet, P., 2000. Le grain de blé. Composition et utilisation. INRA. Paris. 308pages.
- [57]. Feillet, P., 2002. Le bon vivant. Une alimentation sans peur et sans reproche. INRA, Paris, 288pages

- [58]. Feillet, P., Abecassis, J. & Alary, R., 1977. Description d'un nouvel appareil pour mesurer les propriétés viscoélastiques des produits céréaliers. *Bull. Fr. Meun.*, 278: 97-101.
- [59]. Feillet, P., Abecassis, J., 1976. Valeur d'utilisation des blés durs. Sem.d'études, Céréalicultures Gembloux: 551-560
- [60]. Feillet.P. 1984 The biochemical basis of pasta cooking quality. Its consequences for durum wheat breeders. *Sciences Alimentaires.*, 4 : 551-556
- [61]. Godon, B. & Loisel, W., 1997. Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Paris, Lavoisier, Technique et documentation. 820pages.
- [62]. Godon, B., 1986. Transformation : industries de cuisson et industries de fractionnement. In : Fondation Française pour la Nutrition. Dossier Céréales : Conditions de production et de transformation des céréales et qualité nutritionnelle. *Bull, Fondation Française pour la Nutrition*, . 30 : Paris.
- [63]. Godon, B., 1991. Les constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs In « Biotransformation des produits céréaliers » *Ed. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris.* 1-19.
- [64]. Godon, B., Will, M C., 1998. Les industries de première transformation des céréales, *Tech. & Dc. Lavoisier, Paris, 2nd Ed.*, 656 pages.
- [65]. Goring, H., & Plescher, F., 1986. Proline accumulation induced by weak acids and IAA in coleoptiles of wheat seedling. *Biologia Plantarum. Praha.* 28 (6) : 401-406.
- [66]. Guettouche, R., 1990. Contribution à l'identification des caractères morphophysiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de diplôme d'Agronomie Approfondie. Mise en valeur du milieu naturel. ENSAM : 111pages.
- [67]. Harper, H.A., 1977. Précis de Biochimie. 4^{ème} édition. Presses de l'Université LAVAL. Québec. Canada. , 429pages.
- [68]. Hennouni., N., 2002. Etude de l'effet de la rouille brune (*Puccinia recondita*. F sp ; *Tritici*) sur quatre variétés de blé dur dans la plaine de Annaba. Thèse de Magistère. Université d'Annaba. 88pages.
- [69]. Icard, C & Feillet P, 1996. Effets des phénomènes d'oxydoréduction au cours de la fabrication des pâtes alimentaires. *Cahiers Scientifiques.* 11. 5-17.
- [70]. Keen, N.T., 1992. The molecular biology of diseases resistance. *Plant Molecular Biology.* 19: 109-122.
- [71]. Laignelet, 1983. Lipids in pasta and pasta processing. In 'lipids in cereal technology'. *Ed.Academic Press, London.* 269-286.
- [72]. Lempereur, I., 1997. Bases physico-chimiques de la fragmentation et du fractionnement des grains de blé dur (*Triticum durum* Desf.) par voie sèche. Thèse USTL, 240 pages.
- [73]. Lindahl L, Eliasson, A.C. 1992. Influence of added enzymes on the rheological properties of a wheat flour dough. *Cereal Chem* 69(5): 542-546.
- [74]. Lmloul, M., 1977. Le laboratoire de technologie au service de la qualité des blés. Céréaliculture. ITGC., 5 : 20 pages

- [75]. Louisot, P., 1980. biochimie tome 1; structurale metabolique, semeiologique, general correct. 180 pages .
- [76]. Mac lean, D.J. ,1982. Axenic culture and metabolism of rust fungi in the << rust fungi >> Ed Academic Press. New York. 37-120.
- [77]. Macheix, J. J. (1996). Moucheture: le point sur les connaissances. II. Coll “
- [78]. Matsuo, R.R., Dexter, J.E., and MacGregor, A.W. 1982. Effect of sprout damage on durum wheat & spaghetti quality. *Cereal Chem.* 59:468-472.
- [79]. Naidu, B.P., Aspinal, D., and Paleg, L.G., 1991. Variability in proline accumulating ability of barley (*Hordeum vulgare* L) cultivars induced by vapor pressure deficit. *Plant Physiol.* 98: 716-722.
- [80]. Peana, A.T., Moretti M.D. & Juliano C., 1999. Chemical composition and antimicrobial action of the essential oil of *Salvia desoleana* and *S.sclarea*. *Planta Med.*, 65(8): 752-745
- [81]. perspectives blé dur’’ Toulouse- Labège- France : 37-78
- [82]. Prieur., L & Laffont., 2009. Essai Variétés de blé dur en agriculture biologique. Campagne 2008-2009. C.R.E.A.B. MIDI-PYRENEES Centre Régional de Recherche et d’Expérimentation en Agriculture Biologique Midi-Pyrenées. 12
- [83]. Pylar, E.J., 1988. Baking Science & Technology (Third Edition). Sosland Publishing Company. Kansas City. MO.
- [84]. Rapilly, F., 1971. L’épidémiologie en pathologie végétale: mycoses aériennes. *Ed INRA PARIS.* 323pages
- [85]. Rouaissi, M., Harrabi, M., 1999. Effet de la fertilisation azotée et potassique sur le développement de *Septoria trici* chez deux variétés de blé dur. In : Proceeding du deuxième symposium régional sur les maladies des céréales et légumineuses alimentaire. Nabeul, Tunisie
- [86]. Sadli, F., 1993. La qualité technologique et biochimique des blés cultivés en Algérie.
- [87]. Samson & Morel, 1995. Heat Denaturation of Durum Wheat Semolina β -Amylase: effects of chemical Factors and Pasta Processing Conditions . *Journal of Food Science.* 60 (6): 1313-1320.
- [88]. Tabusse, F., 1986. Etude sur la moucheture du blé dur : Les composés phénoliques dans la résistance et l’hypersensibilité. DEA de Sciences Agronomiques, Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier, 37 pages
- [89]. Trentesaux, E., 1993. Evaluation de la qualité du blé dur. Centre de Recherche Europeen Céréales, Riz et Pâtes Alimentaires (CRECERPAL) BSN Groupe Marseille. France CIHEAM-Option Méditerranéennes. 7pages
- [90]. Ugrinovits, M.S ., Arrigoni, E ., Dossenbach, A ., Haberli ,G., Hanich, H., Schwerzenbach, J., Richemont, L ., Rychener, M., Thormann, H., U. Stalder, U., 2004. Céréales, Produits de l’Industrie Meunière, Prémélanges pour four, Mélanges de Farines Instantanées. *Manuel suisse des denrées alimentaires.* Chapitre 14. 19pages

- [91]. Williamson, P.M., 1997. Black point of wheat : In vitro production of symptoms, enzymes involved, and association with *Alternaria alternata*. *Aust. J. Agr. Res.*, 48(1): 13-19.
- [92]. Zahri, S., Farih, A., Badoc, A., Douira, A., 2008. Efficacité de plusieurs fongicides contre la septoriose du blé. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 147 : 39pages
- [93]. Zhang, Y., Darlington, H., Jones, HD., Halford, NG., Napier, JA., Davey, MR., Lazzeri, PA., Shewry, PR., 2003. Expression of the gamma-zein protein of maize in seeds of transgenic barley: effects on grain composition and properties. *Theor Appl. Genet.* 106: 1139-1146.
- [94]. Zhao ZY, Glassman K, Sewalt V, Wang N, Miller M, Chang S, Thompson T, Catron S, Wu E, Bidney D, Kedebe Y, Jung R (2003). Nutritionally improved transgenic sorghum. In: Vasil, IK (Ed.), *Plant Biotechnology 2002 and Beyond*. Kluwer Academic Publishers, The Netherland., 413-416.

