

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Mémoire de fin d'études *Mémoire de fin d'études*

En vue de l'obtention du diplôme master en agronomie

Option : Production végétale et agriculture durable

Thème

**Contribution à l'étude du comportement de la fusariose sur
blé dur vis –à-vis de quatre traitements fongiques
homologués en Algérie.**

Présenté par :

Melle Guedmime Souad

Melle Hassani Nissa

Promoteur : Mr Tebib M.

Co-promoteur : Mr Smaini M.

Devant le jury:

Pressidente : Mme Medjdoub-Bensaad F. professeur UMMTO

Examineurs :

Mme Khalfane Karima M A A UMMTO

Melle Bouaziz – Yahyatene Houria M C B UMMTO

Soutenu le 16/10/2016



Remerciements

La présentation de ce modeste travail nous offre l'occasion d'exprimer notre profonde gratitude et sincère reconnaissance à notre promoteur Mr Tebib M., maître assistant classe A à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour la bienveillante attention qu'il nous a réservé, son dévouement et la confiance qu'il nous a témoigné durant le déroulement de ce travail.

Nos sincère remerciements s'adressent aussi à notre Co promoteur monsieur Smaini Merzouk pour son assistance et sa disponibilité et dont l'aide nous a était vraiment précieuse et d'un grand renfort.

Nous adressons aussi nos remerciements à M^{me} Medjdoub-Bensaad F. B., Professeur en Ecologie à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour l'honneur que'elle nous a fait d'avoir bien voulu accepter de présider le jury de notre travail de fin d'études.

Notre profonde reconnaissance va pareillement à M^{me} Bouaziz Yahiatene Houria d'avoir bien voulu accepter de juger ce travail et d'apporter ses appréciations.

Il nous y agréable de remercier, par la même occasion, M^{me} Goucem Khelfane d'avoir accepté de faire partie de nos jurys afin d'évaluer notre travail

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de notre mémoire.

Sommaire

Liste des tableaux

Listes des figures

Introduction	1
Généralités sur le blé	3
1. Historique du blé	3
2. Classification classique du blé dur	4
3. Utilisation	4
4. Importance du blé	4
4.1. Dans le monde	4
4.2. En Algéri	5
5. Exigences du blé	5
5.1. Exigences pédoclimatiques	5
5.1.1. Eau	5
5.1.3. Photopériode	6
5.1.4. Sol 6	
5.2. Fertilisation	6
5.2.1. Fertilisation azotée	6
5.2.2. Fertilisation phospho-potassique	6
6. Cycle végétatif du blé dur	7
Les stades et phases repères	7
7. Principales maladies fongiques du blé	8
7.1. Septorioses	8
7.1.1. Conservation	8
7.1.2. Importance	9
7.1.3. Position taxonomique des septorioses	9
7.1.4. Morphologie 9	

Sommaire

7.1.5. Cycles de vie des septoriose	10
7.1.6. Symptomatologie	11
7.1.7. Epidémiologie	12
7.1.2. Rouilles.....	13
7.1.2.1. Importance.....	13
7.1.2.1. Importance.....	13
7.1.2.3. Morphologie	14
7.1.2.4. Cycles de vie	15
7.1.2.5. Symptomatologie	17
7.1.2.6. Epidémiologie	18
7.1.3. Helminthosporiose	18
7.1.3.1. Importance.....	19
7.1.3.2. Systématique	19
7.1.3.3. Morphologie	19
7.1.3.4. Cycle de vie	19
7.1.3.5. Symptomatologie	20
7.1.3.6. Epidémiologie	21
7.1.4. Charbon nu	21
7.1.4.1. Importance.....	21
7.1.4.2. Symptômes	21
7.1.4.3. Développement de la maladie	22
7.1.5. Caries.....	22
7.1.5.1. Importance.....	22
7.1.5.2. Symptômes	22
7.1.5.3. Développement de la maladie	22
8. Fusariose du blé.....	23
8.1 Présentation de la fusariose	23

Sommaire

8.2. Historique	23
8.3. Fusariose du système racinaire	24
8.3.1. Importance	24
8.3.2. Symptômes	24
8.3.3. Développement de la maladie	24
8.4. Fusariose de l'épi	24
8.4. 1. Importance	25
8.4. 2. Symptômes	25
8.4. 3. Développement de la maladie	25
8.5 Cycle biologique de la fusariose	26
9. Lutte contre les maladies des blés	28
9.1. Lutte culturale	28
9.2. Lutte biologique	28
9.3. Lutte chimique	28
Matériel et méthode	29
1. Technique de diagnostique de laboratoire	29
1.1. Matériel utilisé	29
1.2. Isolement et identification de l'agent pathogène	30
1.2.1. Analyse des échantillons	30
1.2.2. Désinfection	30
1.2.3. Ensemencement et incubation	31
1.2.4. Purification	31
1.2.5. Préparation des milieux de culture	33
1.4.6. Identification	34
2. Test d'efficacité de quatre types de traitement de semences	35
2.1. Test sur semences in vitro	35
2.1.1. Présentation des traitements utilisés	35

Sommaire

2.1.2 Traitement de la semence et ensemencement	36
2.2. Mesure de l'influence de 4 fongicides sur la vitesse de croissance de <i>Fusarium chlamydosporum</i>	38
2.2.1 Protocole expérimental	38
3- Etude d'efficacité sur terrain	39
Résultats et discussion	41
1. Recherche des espèces fusariennes inféodées aux semences du blé	41
1.1. Résultats de l'isolement	41
1.2. Identification de l'espèce isolée	41
1.2.1. Description macroscopique de <i>F. chlamydosporum</i>	41
1.2.2 Description microscopique de <i>F. chlamydosporum</i>	42
2. Résultats des Tests sur <i>F. chlamydosporum</i> in vitro	46
2.1 Evaluation de l'efficacité des traitements sur la croissance de <i>F. chlamydosporum</i>	47
2.1.1 Après deux jours d'incubation	47
2.1.2 Après quatre jours d'incubation	48
2.1.3 Après sept jours d'incubation	49
2.1.4 Après dix jours d'incubation	50
2.2. Evaluation de l'efficacité des traitements sur semences du blé dur	51
2.2.1 Après deux Jours d'incubation	52
2.2.2 Après quatre jours d'incubation	53
2.2.3 Après sept jours d'incubation	54
2.2.4 Après dix jours d'incubation	55
3. Evaluation comparée des traitements sur le terrain	56
3.1. Taux de germination	56
3.2 Nombre de talles	57
3.3. Nombre d'épis	58
3.5 Nombre de grains par épis	59

Sommaire

3.6. Taux d'épis fusariés	59
3.5 Poids de mil graines (PMG)	60
Conclusion.....	62

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 01 : stock initial, production et exportation attendues en blé dur (campagne 2014/2015) en millions de tonnes des plus grands pays producteurs du monde (C.I.C, 2016).....	05
Tableau 02 : Tableau des résultats d'analyse de la variance ANOVA pour les teste sur <i>F. chlamydosporum</i> (Original, 2016).....	46
Tableau 03: Résultat d'analyse statistique de la variance (ANOVA) (Original 2016).....	52



Liste des figures

Liste des Figures

Figure 1 : carte de la diffusion de la culture du blé dans le monde (Feldman, 2001)	3
Figure 2 : cycle biologique de <i>Septoria nodorum</i> (<i>Leptosphaeria nodorum</i>) (Eyal et al., 1987).	10
Figure 3 : cycle biologique de <i>Septoria tritici</i> (<i>Mycosphaerella graminicola</i>) (Eyal et al., 1987)	11
Figure 4 : symptômes provoqués par les septorioses : a. <i>Septoria tritici</i> , b. <i>Septoria nodorum</i> (Sutton et Hunt, 1990 ; Cousin et Moronval, 2011).	12
Figure 5 : Cycle de vie de la rouille brune, <i>Puccinia triticina</i> (Singh, Huerta -Espino et Roelfs, 2002)	15
Figure 6 : cycle de vie de la rouille noire (Raven et al., 1971)	16
Figure 7 : cycle de vie de <i>puccinia striiformis</i> (Line, 2002 ; Davis et Jackson, 2002).....	17
Figure 8 : symptômes provoqués par les différentes rouilles : a. rouille brune, b. rouille noire, c. rouille jaune (Coffman, 2008 ; Cornec, 2009 ; Simone, 2010).	18
Figure 9 : cycle de vie de <i>Pyrenophora tritici-repentis</i> (Engle et al., 2004).....	20
Figure 10 : symptômes provoqués par <i>Pyrenophora tritici-repentis</i> (Engle, Lipps et Mills, 2004). ..	21
Figure 11 : Cycle de vie de <i>F. graminearum</i> , principal agent responsable de la fusariose des épis de blé (Trail, 2009).	27
Figure 12 : Matériel utilisé durant l'expérimentation (original). 1-Microscope optique, 2 – Autoclave, 3-Boîtes de pétri, lames et lamelles, 4-Balance de précision, 5-Bec bunzen et micropipette, 6-Etuve (Original 2016).	30
Figure 13 : Schéma illustratif du protocole d'isolement des espèces fusariennes inféodées au blé dur : 1)-Désinfection, 2)- Ensemencement, 3)- Incubation (Original 2016 ...	31
Figure 14: Organigramme du protocole d'identification utilisé pour l'identification des espèces du genre <i>Fusarium</i> (Leslie et Summerell, 2006).....	32

Figure 15 : Les étapes de préparation d'un milieu de culture (original, 2016)	33
Figure 16 : Photos des quatre traitements utilisés. 1-Acil, 2-Raxil, 3- Dividend, 4- Celest extra	35
Figure 17: Schéma illustratif des différentes étapes du protocole expérimental des tests sur semences (originales, 2016).	36
Figure 18 : Teste d'efficacité des quatre produit sur semence in vitro à $\frac{1}{2}$ de la dose usuelle (originales, 2016).	37
Figure 19 : Teste d'efficacité des quatre produit sur semence in vitro à $\frac{1}{4}$ de la dose (originales, 2016)	37
Figure 20 : photo de teste d'efficacité des traitements à différentes doses sur <i>Fusarium chlamydosporum</i> effectué au laboratoire (originales, 2016).	38
Figure 21 : Photo satellitaire de Timizar loghbar montrant la localisation et le site de l'expérimentation (Google earth pro. 2016).	39
Figure 22 : colonie du <i>Fusarium spp.</i> purifiée sur milieu PDA (Original, 2016).	41
Figure 23 : Photo de colonie de <i>Fusarium chlamydosporum</i> : A : Jeune colonie sur milieu PDA. B) : colonie après 15 jours d'incubation. C : pigmentation Rouge bourgogne diffuse dans le milieu vu de la face inferieur de la boite de petri. D et E : Aspect des colonies sur milieu SNA noté la coloration légèrement rosâtre. F : colonie de <i>F. chlamydosporum</i> sur milieu CLA (Original 2016).	42
Figure 24 : Photos microscopiques de <i>Fusarium chlamydosporum</i> (x400) : A) conidiophore en sporodochie. B) phialide portant des macroconidies. C,D,E)macro et microconidies.	43
Figure 25 : Photo de microconidies de <i>F. chlamydosporum</i> prise sous microscope optique : A et B) : Microconidies ovoïdes sur Polyphialides en forme de branche d'arbre. C : Polyphialides en formation insérées sur conidiophore. D : Photo de microconidies in situ sur milieu SNA (Original).	44

Figure 26 : Photo des deux types de microconidies de <i>F. chlamydosporum</i> (monocellulaire et bicellulaire) observées sous microscope optique X400 (Original 2016).....	45
Figure 27 : Photo des chlamydospores de <i>F. chlamydosporum</i> en chaîne colorées avec le bleu de méthylène observé sous microscope optique X400 (Original 2016).	45
Figure 28: Croissance moyenne des colonies fusariennes après deux jours d'incubation (Original 2016).....	48
Figure 29 : Croissance moyenne des colonies fusariennes après quatre jours d'incubation (Original 2016).....	49
Figure 30 : Croissance moyenne des colonies fusariennes après sept jours d'incubation (Original 2016).....	49
Figure 31 : Croissance moyenne des colonies fusariennes après sept jours d'incubation (Original 2016).....	50
Figure 32 : Photos des résultats de quelques tests sur semence de blé dur (Original 2016)...	51
Figure 33 : Portion de graines infectées après deux jours d'incubation (Original 2016).....	53
Figure 34 : Nombre de graines infectées après quatre jours d'incubation (Original 2016)....	54
Figure 35 : Nombre de graines infectées après sept jours d'incubation (Original 2016).....	55
Figure 36: Taux de graines infectées après dix jours d'incubation (Original 2016).....	56
Figure 37 : Taux de graines germées par m ² (Original 2016).....	57
Figure 38: Nombre de talles formés par m ² (Original 2016).	57
Figure 39: Histogramme représentant le nombre d'épis par mètre carré (Original 2016).....	58
Figure 40: Photo des parcelles expérimentales à l'épiaison illustrant les différences enregistrées à la fin de l'expérimentation (Original 2016).	58
Figure 41 : Nombre moyen de grain par épi de blé dur (Original 2016)	59
Figure 42: Nombre d'épis fusariés/m ² (Original 2016).	60

Figure 43: Poids de mille graines PMG issu des différentes parcelles (Original 2016).	61
--	----



Introduction

Depuis l'indépendance, les différentes politiques et interventions de l'Etat dans le secteur agricole avaient pour but d'améliorer le niveau de production des céréales, en général, et du blé dur en particulier. Dans ce secteur, les céréales occupent annuellement presque 50% en moyenne de la superficie agricole utile. Le blé constitue la principale culture céréalière en Algérie. La surface annuelle cultivée en céréales est estimée à 3,2 millions.

Les blés, représentent près de 60% des apports énergétiques de la ration alimentaire algérienne, 70% des protéines totales et 88% des protéines végétales.

La production nationale des céréales demeure insuffisante et ne couvre pas plus de 25 à 30 % des besoins locaux. Parmi toutes les espèces céréalières, le blé dur, *Triticum durum*, représente la part alimentaire la plus importante pour une large partie de la population.

La faible production en céréaliculture a conduit l'Algérie à une importation massive d'environ 2 millions de tonnes par an, pour couvrir les besoins alimentaires en blés qui sont de l'ordre de 6 millions de tonnes par année.

La culture du blé dur en Algérie est encore difficile à maîtriser car elle est confrontée à plusieurs contraintes (aléas climatiques, faible maîtrise de l'itinéraire technique, etc). La principale difficulté en céréaliculture en Algérie est la limitation en eau, aggravée par l'irrégularité des précipitations, les hautes températures et les maladies, sans compter les contraintes imposées par l'environnement socio-économique. Tous ces facteurs font que la production dans ce secteur est un labour quotidien aux bien maigres résultats. Cette situation engendre une production en blé très faible (Labbani, 2007). Le rendement moyen est de 14 quintaux à l'hectare (FAO, 2004), d'où un déséquilibre alarmant entre l'offre et la demande qui exacerbe la dépendance du pays sur le plan alimentaire vis-à-vis de l'extérieur.

La nouvelle politique adoptée par l'Etat algérien, notamment après la dernière crise économique mondiale, par la subvention des intrants qui rentrent dans la production des blés et l'augmentation des prix des céréales sur le marché national sans oublier la régularité des précipitations ont conduit à une diminution conséquente en matière d'importation durant les deux dernières années. Durant les campagnes 2008/2009 et 2009/2010, la céréaliculture a enregistré une production exceptionnelle avec une moyenne de 6,1 millions de tonnes (Dadi, 2010).

En Algérie, le blé peut être attaqué par de nombreuses maladies à différents stades de son développement, lorsque les variétés utilisées sont sensibles et les conditions de l'environnement sont favorables à l'expansion de la maladie.

Les maladies fongiques peuvent occasionner des dégâts importants pouvant atteindre la perte de la quasi-totalité de la production.

Certaines espèces du genre *Fusarium* sont à l'origine de la baisse du rendement chez les céréales en général et le blé en particulier. Cette chute est due, d'une part, aux pertes en peuplement à la levée (fonte de semis), et d'autre part, à la chute du nombre de grain/épi et du poids de mille grains en cas d'attaque après épiaison. En plus à la dépréciation de la récolte à cause de la production de certaines toxines extrêmement nuisibles à l'homme et aux animaux d'élevage.

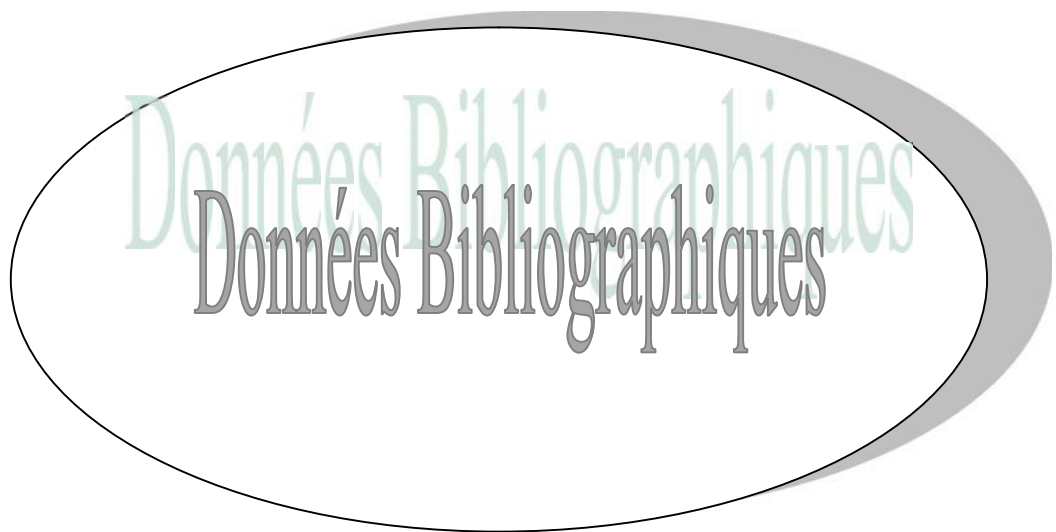
L'absence ou la non maîtrise des différentes mesures de lutte en Algérie a aggravé les dégâts.

Notre recherche de fin d'études, rentre dans le contexte de l'amélioration des rendements et assurer la durabilité de la culture céréalière et ce dans le cadre d'une étude des traitements de semences sur la variété Chen'S du blé dur.

Cette étude consiste à essayer 4 fongicides homologués comme traitement de semences en Algérie, il s'agit de Acil, Devidend, Celest Xtra et Raxil..

Le travail est subdivisé en deux parties, la partie terrain consiste à évaluer l'impact de chaque fongicide sur les composantes du rendement du blé dans la région de Tizi-Ouzou.

En outre, la partie effectuée au laboratoire a pour but de mesurer le comportement de la mycoflore inféodée aux semences vis-à-vis de ces traitements. Comme on mesuré leur impact sur une espèce de *Fusarium* qu'on a isolé au laboratoire à partir d'un lot de semences locale.



Données Bibliographiques

Généralités sur le blé

1. Historique du blé

Rechercher l'origine du blé dur, espèce tétraploïdes, revient à évoquer l'ensemble des blés historiquement cultivés, diploïdes, tétraploïdes et hexaploïdes, et à identifier leurs ascendants sauvages ainsi que leurs sites de domestication. Toutefois, cette question n'est pas facile car, d'une part, il existe de considérables modifications morpho-physiologiques entre les blés cultivés actuels et leurs ancêtres, et, d'autre part, seul un petit nombre d'entre eux est actuellement cultivé dans les mêmes territoires que ceux où ils ont été domestiqués.

Si l'on considère aujourd'hui qu'un des principaux centres d'origine de l'agriculture a vu le jour au Levant, entre la fin de l'Épipaléolithique et le début du Néolithique, permettant entre autres l'émergence de la civilisation occidentale voici un peu plus de 10 000 ans, la date de l'initiation de la culture des blés dans ce secteur du globe est beaucoup plus discutée : elle se situerait, selon les archéologues, entre 8900 et 7000 av. JC (Harlan, 1971 ; Hayden, 1990 ; Wadley et Martin, 1993).

En ce qui concerne la localisation de la domestication des blés, on considérait jusqu'à aujourd'hui qu'elle avait eu lieu dans le Croissant fertile, vaste territoire comprenant, selon les auteurs, la vallée du Jourdain et des zones adjacentes d'Israël, de la Jordanie et de l'Irak, voire de la bordure ouest de l'Iran. Récemment, des scientifiques israéliens (Lev-Yadun *et al.*, 2000) ont suggéré, sur la base de divers éléments botaniques, génétiques et archéologiques, que le creuset de notre céréaliculture se situerait en une zone plus limitée dudit Croissant fertile, localisée autour de l'amont du Tigre et de l'Euphrate, dans des territoires actuels de la Syrie et de la Turquie (Fig.1).

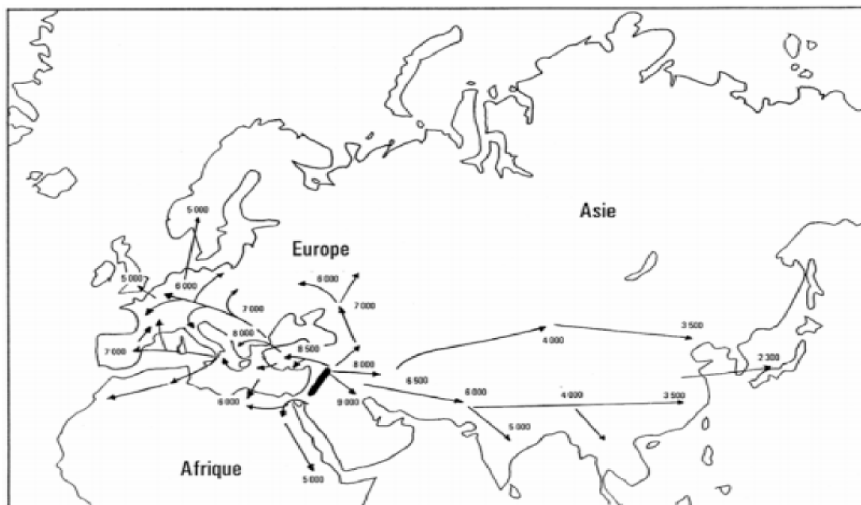


Figure 1 : carte de la diffusion de la culture du blé dans le monde (Feldman, 2001).

2. Classification classique du blé dur

Le blé dur obéit à la classification suivante (Prats, 1960 ; Crête ,1965 ; Feillet, 2000) :

Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super ordre	Comméliniflorales
Famille	Gramineae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf.

3. Utilisation

Le blé est cultivé essentiellement pour ses grains. L'albumen amylacé, réduit en farine est consommable par l'homme et les animaux domestiques, il est aussi utilisé pour la paille et le fourrage qu'il procure à l'état vert. La consommation du blé est très élevée dans le monde. C'est un produit énergétique, stocké à long terme et qui présente une certaine facilité de transport (Mekhlouf et *al.*, 2006).

La production du blé dur est destinée essentiellement à l'alimentation humaine. On ne peut pas dissocier production de blé dur et qualité. De plus, les pâtes distribuées sont essentiellement des pâtes de qualité supérieure : elles ne sont constituées que de semoule de blé dur et d'eau. La qualité de nos produits est donc directement liée à la qualité de la matière première (Harlan, 1971 ; Mas, 2008 ; et Jlibene, 2009).

4. Importance du blé

4.1. Dans le monde

En 2010, la consommation mondiale a atteint 36 millions de tonnes tandis que la production mondiale avoisinait les 34,4 millions de tonnes. Nous assistons à une baisse de la pression mondiale très significative avec un déficit de production par rapport à la consommation qui devrait entraîner une baisse des stocks aux Usa, au Canada et en Europe (C.I.C, 2010).

Tableau 1 : stock initial, production et exportation attendues en blé dur (campagne 2014/2015) en millions de tonnes des plus grands pays producteurs du monde (C.I.C, 2016).

Pays	Production	Exportation	Stock initial
Union européenne	8,7	2,1	0,9
Canada	3	3,8	2,7
USA	2,9	2,4	1

4.2. En Algérie

La culture des céréales est fort ancienne en Algérie ; le blé et l'orge tiennent une place de premier ordre parmi les plantes cultivées.

Depuis l'indépendance, les différentes politiques et interventions de l'Etat dans le secteur agricole avaient pour but d'améliorer le niveau de production des céréales, en général, et du blé dur en particulier. Les céréales sont les cultures annuelles les plus importantes pour l'agriculture algérienne. Dans ce secteur, les céréales occupent annuellement presque 50% en moyenne de la superficie agricole utile.

Les céréales, essentiellement les blés, représentent près de 60% des apports énergétiques de la ration alimentaire algérienne moyenne. Cependant, malgré cette large suprématie dans le secteur agricole et au plan de la consommation, la production nationale des céréales demeure insuffisante et ne couvre pas plus de 25 à 30% des besoins domestiques (Makhlouf, 2006 ; Chouaki et *al.*, 2006 et Labbani, 2007).

5. Exigences du blé

5.1. Exigences pédoclimatiques

5.1.1. Eau

Les besoins en eau pour le blé dur sont d'environ 450 à 550 mm en moyenne au cours de son cycle de développement (Boulal et *al.*, 2007).

5.1.2. Température

Le zéro de végétation pour le blé est de 0 °C (Simon et *al.*, 1989 ; Gate et *al.*, 2003 ; Soltner, 2005) . Selon la sensibilité variétale, le seuil thermique de mortalité varie entre ± 12 et ± 16 °C (Simon et *al.*, 1989). La température moyenne idéale pour une croissance normale du blé se situe entre 20 et 22 °C. Pour accomplir son cycle végétatif le blé a besoin d'une somme cumulée de température de 2350 °C (Prévost, 2006).

5.1.3. Photopériode

Le blé dur est une espèce de jours longs. Il faut que la durée d'ensoleillement soit d'environ 12 heures pour que l'épis commence à monter dans la tige (Simon et *al.*, 1989). Au dessous de cette valeur seuil de durée de jours, il n'y aura pas de formation de primordia d'épillets (Boulal et *al.*, 2007).

5.1.4. Sol

Le blé dur exige un sol sain, drainant bien mais pas trop sujet au stress hydrique surtout pendant la période de l'accumulation des réserves dans le grain. L'installation du blé dur dans les terres se ressuyant mal, le rend plus sensible aux maladies cryptogamiques telles que les piétins et les fusarioses (El Mourid et *al.*, 1992, cité par Boulal et *al.*, 2007).

Les séquences de travail du sol à adopter doivent être fonction du précédent cultural, de la texture du sol, et de la pente.

5.2. Fertilisation

5.2.1. Fertilisation azotée

Le blé dur est relativement exigeant en azote, mais il faut cependant se méfier des risques possibles de verse de maladies fongiques.

Dose d'azote (kg/ha) = (Rendement objectif - Rendement témoin) x (EUN/CUA)
Rendement témoin (qx/ha): rendement grain du témoin estimé à partir de l'un des indices de disponibilité de l'azote. Le rendement du témoin peut être estimé à partir de la teneur du sol en matière organique:

$$\text{Rendement témoin} = 2,3 + 27,1 \times \text{MO}(\%)$$

CUA : coefficient d'utilisation de l'engrais azoté, généralement compris entre 60 et 65%. **EUN** : efficience d'utilisation de l'azote, généralement comprise entre 3,5 à 3,95 kg N/ql de grains de blé.

5.2.2. Fertilisation phospho-potassique

Sachant qu'il faut 1,7 kg de P et 2,2 kg de K pour produire un quintal de blé, les besoins de la culture dépendent du rendement objectif. Or, ce dernier varie essentiellement en fonction des disponibilités en eau.

6. Cycle végétatif du blé dur

Le blé dur est une graminée monocotylédone composée d'un appareil végétatif herbacé, qui comporte un système racinaire fasciculé, une tige plus ou moins creuse et des feuilles engainantes.

Les stades et phases repères

a. germination-levée

Cette phase correspond à la mise en place du nombre de pieds/m². Le sol est percé par le coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille. La levée est notée quand 50 % des plantes sont sorties de la terre. Pendant cette phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une perte des plantes et au froid qui provoque le déchaussage.

b. Tallage

Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille. Le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille du talles latérale primaire puis d'autres talles naissent successivement à l'aisselle de la 2^{ème} et le 3^{ème} feuille de la tige centrale.

Ces talles primaires peuvent ensuite émettre des talles secondaires, lesquels à leur tour émettent des talles tertiaires. La fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds.

c. Montaison- gonflement

Elle se manifeste, à partir du stade épi à 1cm, par l'élongation du premier entre-nœud. Ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin-maître atteint 1cm de hauteur à partir de la couronne ou plateau de tallage.

Ce stade est sensible aux basses températures variant entre +4 et 0°C). la montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Tout stress hydrique ou thermique au cours de cette phase réduit du nombre d'épis montants par unité de surface. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle (stade gonflement).

d. Epiaison- floraison

L'épiaison se détermine par l'apparition de l'épi hors de la gaine de la dernière feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 à 8 jours après l'épiaison. Les basses températures au cours de ce stade réduisent fortement la fertilité des épis.

e. Remplissage du grain

Après la fécondation, l'évolution du poids du grain se fait en trois étapes. La première est une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert, dont la teneur en eau est élevée. Ensuite la phase du remplissage actif du grain avec les assimilats provenant de la photosynthèse de la feuille étendard et de transfert des hydrates de carbones non structuraux stockés dans le col de l'épi. La quantité d'eau contenue dans le grain tend à se stabiliser : c'est le pallier hydrique.

Les fortes températures au cours de cette période provoquent l'arrêt de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain : c'est l'échaudage du grain. Puis suit la phase de dessèchement du grain, qui perd de son humidité pour atteindre son poids sec final (Wardlaw, 2002).

7. Principales maladies fongiques du blé

Selon Ezzahiri (2001), le blé peut être attaqué par de nombreuses maladies à différents stades de son développement, lorsque les variétés utilisées sont sensibles et les conditions de l'environnement sont favorables à l'expansion de la maladie ces attaques peuvent occasionner des dégâts importants.

Les septorioses, les rouilles et l'helminthosporiose constituent les principales maladies foliaires du blé. En absence de la plante-hôte, les champignons responsables des maladies du blé peuvent se conserver dans différents supports comme la semence, les débris ou le sol (Tab.2).

7.1. Septorioses

7.1.1. Conservation

La principale source de la septoriose des feuilles est constituée par les chaumes de la culture précédente. En présence de débris contaminés par les

pycnides de la septoriose dans la parcelle de blé ou à sa proximité, les premières infections apparaissent sur les plantules du blé.

Les principales sources de la septoriose des glumes sont la semence et les chaumes du blé à la surface du sol (Ezzahiri, 2010).

7.1.2. Importance

La septoriose est la maladie foliaire du blé la plus fréquente et qui surtout peut être à l'origine de pertes de rendement importantes (Gautier, 2004). Chaque année, peut faire perdre entre 11 et 25 qx/ha selon le niveau de risque, voire 50 qx/ha en cas de variété sensible et d'année calamiteuse (Axel, 2010).

7.1.3. Position taxonomique des septorioses

Classe	Deuteromycetes (champignon imparfait)
Ordre	Sphaeropsidales
Genre	<i>Septoria</i>
Espèces	<i>Septoria tritici</i> <i>Septoria nodorum</i> (Eyal et al., 1987).

7.1.4. Morphologie

a. *Septoria tritici*

Les pycnides sont grandes, noires et éminentes, les masses de spores (cirres) sont de couleur blanc-crème, les pycnidiospores (conidies) sont allongées, filiformes, droites ou arquées, hyalines, subdivisées transversalement par de nombreuses cloisons ; leur taille est de 43-70 X 1, 5-2 µm. La pycnide est d'une taille de 60-200 µm, le pycnidiospore est filiforme d'une taille de 35-98 X 1-3 µm (Eyal et al., 1987).

b. *Septoria nodorum*

Les pycnides sont petites, brunes et discrètes, les masses de spores (cirres) sont de couleur rose-saumon, les pycnidiospores (conidies) sont légèrement courbées sont d'une taille de 19 X 4µm (Parry, 1990). La pycnide est d'une taille de 160-210 µm , le pycnidiospore est d'une forme cylindrique avec une taille de 15-32 X 2-4 µm (Eyal et al., 1987).

7.1.5. Cycles de vie des septoriose

a. *Septoria nodorum*

Septoria nodorum survit sous forme de mycélium dormant, ainsi que sous forme de pycnides et de périthèces sur les grains, le chaume, les résidus, les cultures à semis automnal et les repousses de céréales. En l'absence de résidus de culture, les premières infections survenant en automne ou au printemps peuvent entraîner la libération d'ascospores aériennes des périthèces, sur de longues distances. A mesure que la température et le taux d'humidité augmentent, des pycnidiospores sont produites dans les pycnides, et sont dispersées par les éclaboussures sur le plant infecté, puis de plant à plant.

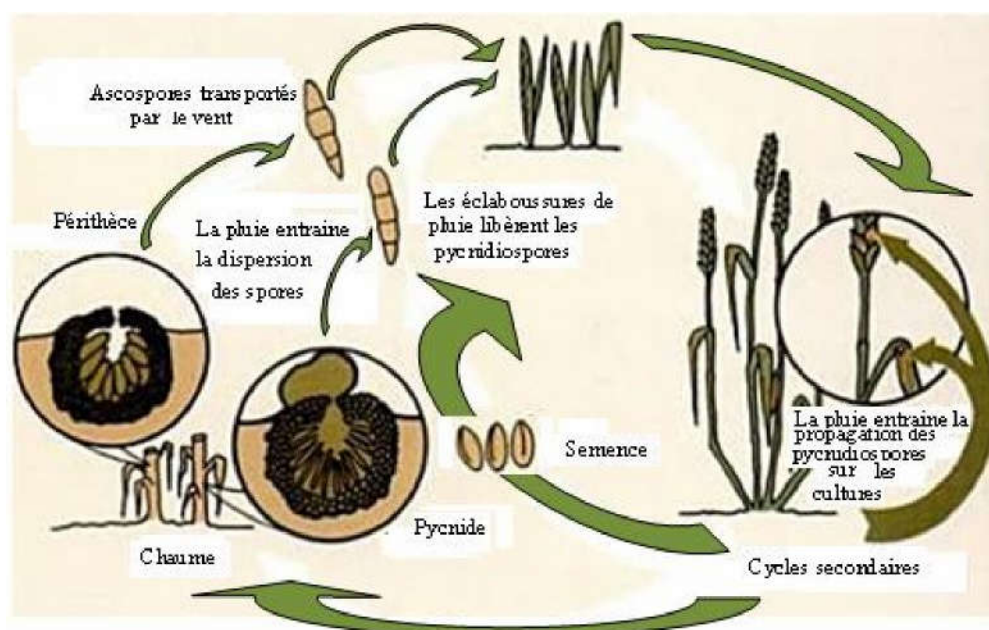


Figure 2 : cycle biologique de *Septoria nodorum* (*Leptosphaeria nodorum*) (Eyal et al., 1987).

b. *Septoria tritici*

Les périthèces formés sur les résidus de la culture libèrent en automne des ascospores responsables des contaminations primaires. Les pycnidiospores libérées en présence d'humidité constituent ensuite le moteur de l'épidémie. Elles requièrent de l'eau libre pour germer. La phase d'incubation (apparition des premiers symptômes et des pycnides) dans les tissus de blé est relativement longue (15 à 21 jours). Concrètement, chaque pycnidiospore peut être à l'origine d'une nouvelle lésion, ainsi la maladie se propage des feuilles inférieures aux étages foliaires supérieurs par les éclaboussures de pluie, lors des fortes précipitations.

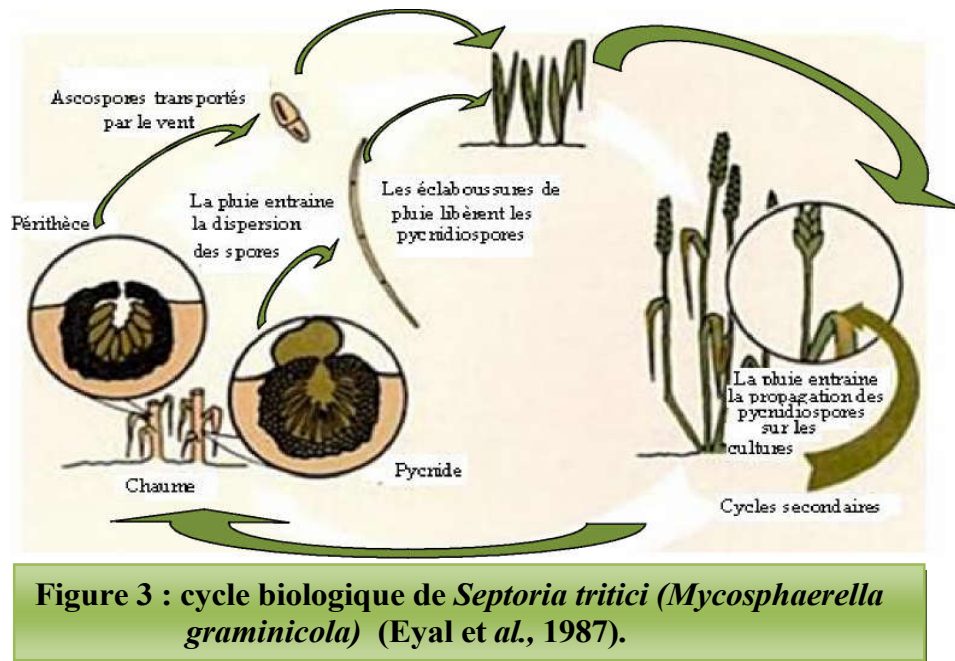


Figure 3 : cycle biologique de *Septoria tritici* (*Mycosphaerella graminicola*) (Eyal et al., 1987).

7.1.6. Symptomatologie

a. Septoriose des feuilles (*Septoria tritici*)

Les premiers symptômes sont observés sur les feuilles du bas et progressent au fur et à mesure vers les feuilles supérieures de la plante. Ces symptômes se présentent sous forme de taches allongées de taille variable sur les feuilles.

Les taches sont d'abord chlorotiques et deviennent nécrotiques par la suite. Dans les parties nécrosées des feuilles, des fructifications se forment. Elles sont visibles sous forme de petites boules microscopiques soulevant légèrement l'épiderme. Il s'agit de pycnides qui ont l'aspect de petits points noirs, isolés, globuleux ou ovales. A l'intérieur des pycnides se trouvent les pycnidiospores (Fig.2, 4).

b. Septoriose des feuilles et épis (*Septoria nodorum*)

Les symptômes se manifestent aussi bien sur le feuillage que sur les glumes, la gaine des feuilles et les nœuds. Sur les feuilles, se forment des taches ovales ou lenticulaires brunes. Elles peuvent être entourées d'une chlorose ou jaunissement périphérique. Lorsque les taches de septoriose sont abondantes sur une feuille, elles se rejoignent pour former de grandes plages nécrotiques.

Après quelque temps, des fructifications se forment sur les nécroses et sont visibles sous forme de petites boules soulevant légèrement l'épiderme. Ces boules ou pycnides de couleur brun clair sont beaucoup moins apparentes que celles de *S. tritici*.

Plus tard, ces pycnides virent au gris-foncé, et à ce moment là, leur distinction de celles de *S. tritici* devient moins apparente et seul un examen microscopique les différencierait. Le démarrage de la maladie est souvent difficile à détecter. La maladie commence sous forme de nécroses apicales. Par la suite, ces nécroses se généralisent sur la feuille en leur donnant un aspect qui se confond facilement avec la sénescence normale des tissus. Ce n'est que sur la base d'observation de groupes de pycnides sur les feuilles nécrosées qu'on peut confirmer la présence de *S. nodorum*.

Cette situation est observée surtout en cours de montaison sur les feuilles situées à la base de la plante où l'humidité est importante (Fig.3, 4).

En cas de forte attaque, la maladie atteint les glumes des épis. Elle affecte plus particulièrement la partie supérieure des glumes. Les symptômes sur les glumes se manifestent par de petites taches grises qui vont s'étendre jusqu'à la base en faisant apparaître des pycnides de couleur gris foncé ou brune. Les grains atteints présentent des colorations brunes ou des symptômes d'échaudage (Ezzahiri, 2001).



Figure 4 : symptômes provoqués par les septorioses : a. *Septoria tritici* , b. *Septoria nodorum* (Sutton et Hunt, 1990 ; Cousin et Moronval, 2011).

7.1.7. Epidémiologie

La septoriose est favorisée par des pluviométries abondantes et répétées qui, sous l'action éblouissante des gouttelettes, fait monter la maladie des feuilles basses vers le haut de la plante (Masson, 2006).

Les sources du champignon sont le chaume ou la paille infestée, le blé spontané et la semence (*S. nodorum* et *S. tritici* seulement). Les spores des pycnides semblables à des mouchetures et les spores sexuelles (ascospores) déclenchent la maladie dans le blé d'automne en automne ou au printemps. Les spores se développent abondamment sur le blé atteint durant toute la saison de pousse quand le temps est humide. Les éclaboussures de pluie propagent les spores dans la culture.

La maladie est plus grave au stade de l'épiage. Un temps humide et venteux, avec des températures de 15 à 27°C favorisent les attaques de la maladie (Walker, 2006 ; Sutton et Hunt, 1990).

7.1.2. Rouilles

Trois espèces de rouille s'attaquent au blé : la rouille brune, la rouille noire et la rouille jaune. Les trois espèces de rouille s'attaquent aussi bien au blé tendre qu'au blé dur. Concernant leur importance relative, la rouille brune est la plus répandue dans sa distribution, alors que la rouille noire est la plus dévastatrice quand elle se développe. La rouille jaune est limitée au climat tempéré froid et aux zones d'altitude. La répartition spatiale et temporelle des trois rouilles est dictée par les exigences thermiques différentes pour leur développement: la rouille brune se développe à des températures de 10 à 30°C; la rouille noire est favorisée par des conditions humides et des températures élevées (15 à 35°C) et la rouille jaune se développe entre 2 et 15°C (Ezzahiri, 2001).

7.1.2.1. Importance

La rouille jaune peut occasionner jusqu'à 40 q/ha de perte de rendement (Axel, 2010). La rouille brune peut provoquer une perte de 20 à 40 q/ha de rendement si elle n'est pas traitée à temps en début de cycle (Axel, 2010).

7.1.2.2. Position taxonomique des rouilles

Règne	Fungi
Phylum	Basidiomycota
Classe	Urediniomycetes
Ordre	Uredinales
Famille	Pucciniaceae
Genre	<i>Puccinia</i>
Espèces	<i>Puccinia triticina</i>
	<i>Puccinia striiformis</i>
	<i>Puccinia graminis</i> (Erikss. 1899)

7.1.2.3. Morphologie

a. Rouille brune

Bien que le nombre peut varier considérablement, d'environ 3 000 spores sont produites par uredinium par jour. Ce niveau de production peut se poursuivre pendant trois semaines ou plus si les feuilles de blé restent en vie aussi longtemps (Chester, 1946; Stubbs et al., 1986). Les urédies (pustules) sont rouges, de forme ovale et dispersées, et elles percent l'épiderme. Les urédospores sont rouge-orange à rouge foncé, échinulées, sphériques et mesurent généralement entre 20 et 28 μm de diamètre. Les téléutospores sont brun foncé, bicellulaires avec des murs épais et arrondi ou aplati au sommet (Fig.4). Les basidiospores sont également hyalines et sensibles à la lumière (Ezzahiri et al., 1992).

b. Rouille noire

Les urédospores se développent dans des pustules (urédies) qui provoquent des ruptures de l'épiderme exposant des masses de spores brun-rougeâtre. Les urédies sont plus grandes que celles de la rouille des feuilles et sont de forme ovale ou allongée, avec le tissu épidermique en vrac ou déchiré le long des marges. Les urédospores sont brun-rougeâtre, elliptiques à ovoïdes, structures mesurant 24 à 32 μm x 18 à 22 μm (Fig.5).

Quand l'hôte arrive à maturité, les telia sont directement produites à partir des infections des urédospores, ou les téléutospores peuvent être produites dans une pustule mature. Les téléutospores sont sombres, brun, bicellulaires et un peu en forme de coin, ils ont des épais murs et mesurent 40 à 60 μm x 18 à 26 μm . La cellule apicale est arrondie ou légèrement pointue (Johnson, 1949).

c. Rouille jaune

Les urédosores sont disposés à la face supérieure du limbe foliaire, très petits, jaune pâle et émettent une sporée pulvérulente jaune vif. Les téléutospores, plus rares, sont surtout visibles à la face inférieure des feuilles et restent généralement recouverts par l'épiderme (Fig.6). Ils ont l'aspect de petites stries courtes grises foncées (Raynal, 1989).

Les urédospores sont plus ou moins sphérique, échinulées et font entre 28 et 34 μm de diamètre. Les télisporos sont brun foncé bicellulaires et similaires en taille et en forme à ceux de *P. tritricina* (Johnson, 1981).

7.1.2.4. Cycles de vie

a. Rouille brune

Le champignon hiverne essentiellement sur les repousses de céréales et les cultures à semis précoce. Les hôtes intermédiaires de *Puccinia triticina* comprennent des espèces de *Thalictrum*, *Isopyrum* et *Clematis*.

Jusqu'à peu, la maladie était rarement sévère au printemps, car la sporulation et la germination des spores requièrent des températures comprises entre 15°C et 22°C, et une humidité relative de 100 %. De ce fait, les épidémies de rouille brune surviennent normalement de mi-été à la fin d'été, avec les jours de vent sec qui disséminent les spores, et les nuits fraîches avec rosée, favorables à la maladie. Néanmoins, lorsque les hivers ont été doux, la rouille brune peut également être observée de façon importante au printemps. Du fait du changement climatique, les hivers doux et les printemps chauds devraient devenir plus fréquents ; la rouille brune pourrait ainsi devenir un problème beaucoup plus récurrent plus tôt dans la saison.

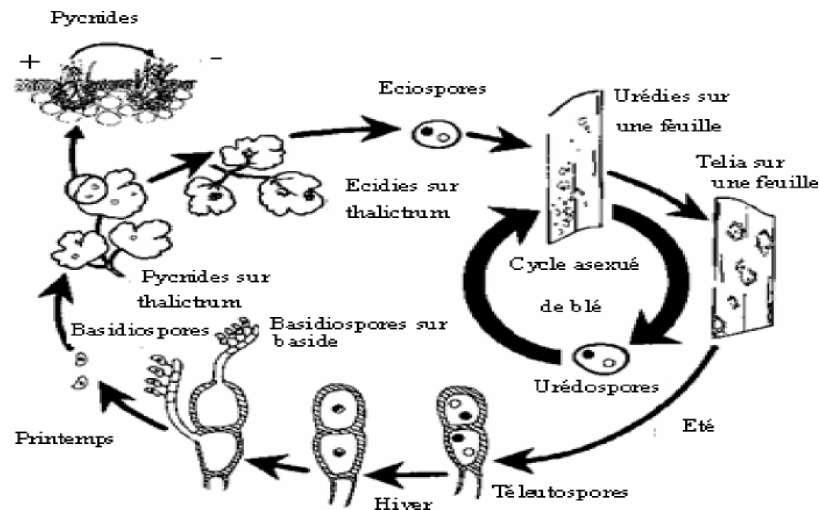


Figure 5 : Cycle de vie de la rouille brune, *Puccinia triticina* (Singh, Huerta-Espino et Roelfs, 2002).

b. Rouille noire

Le cycle de cette rouille hétéroxène, hétéroxène signifie que deux hôtes sont obligatoires pour boucler le cycle évolutif. Ici l'hôte principal est une graminée. L'hôte secondaire (écidien) est l'épine vinette *Berberis vulgaris*. C'est dans les téléutospores qu'a lieu la méiose.

L'éradication de l'épine vinette a beaucoup contribué au recul de la maladie. Les épines vinette sont contaminées au début du printemps lorsqu'elles commencent à bourgeonner et les écidies sont matures à partir du mois de mai.

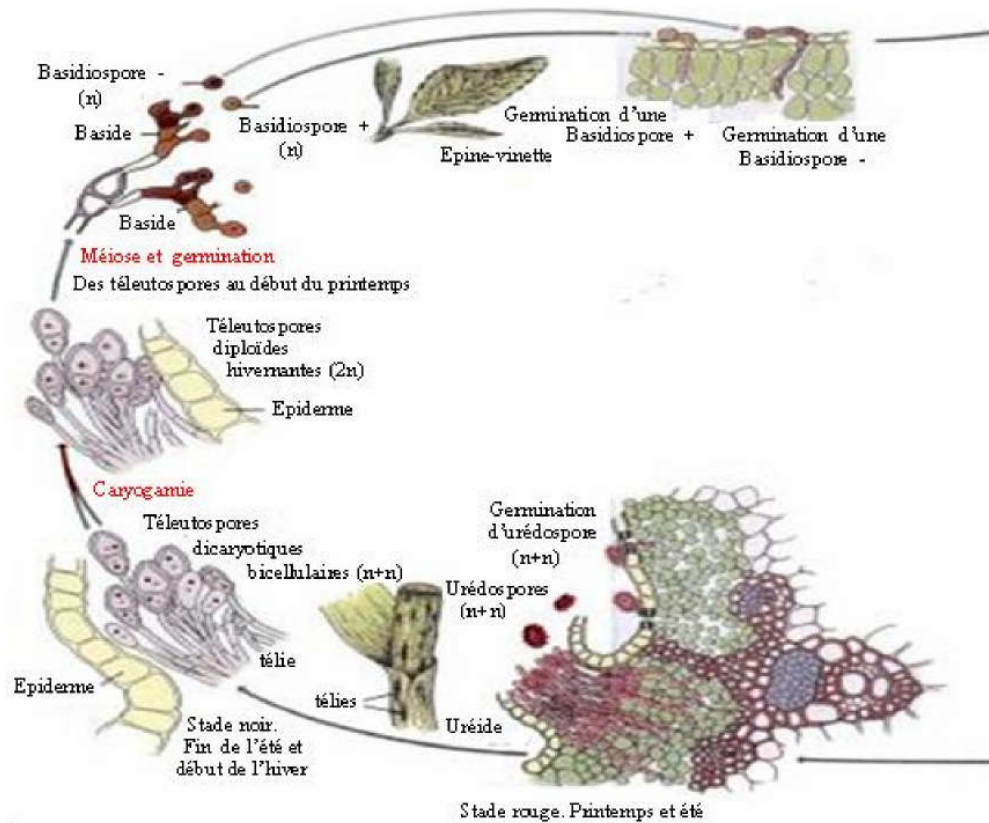


Figure 6 : cycle de vie de la rouille noire (Raven et al., 1971).

c. Rouille jaune

Puccinia striiformis a besoin de matière végétale vivante pour survivre. En fin d'été, des téleutospores noires peuvent être produites. Celles-ci peuvent germer pour produire des basidiospores, mais aucun hôte intermédiaire n'a été identifié. Bien que les téleutospores semblent n'avoir aucune fonction dans le cycle de la maladie, ils peuvent contribuer au développement de nouvelles races par recombinaison sexuée.

Le cycle complet de la maladie, de l'infection à la production de nouvelles spores, peut être achevé en sept jours dans des conditions idéales et se répéter de nombreuses fois en une saison.

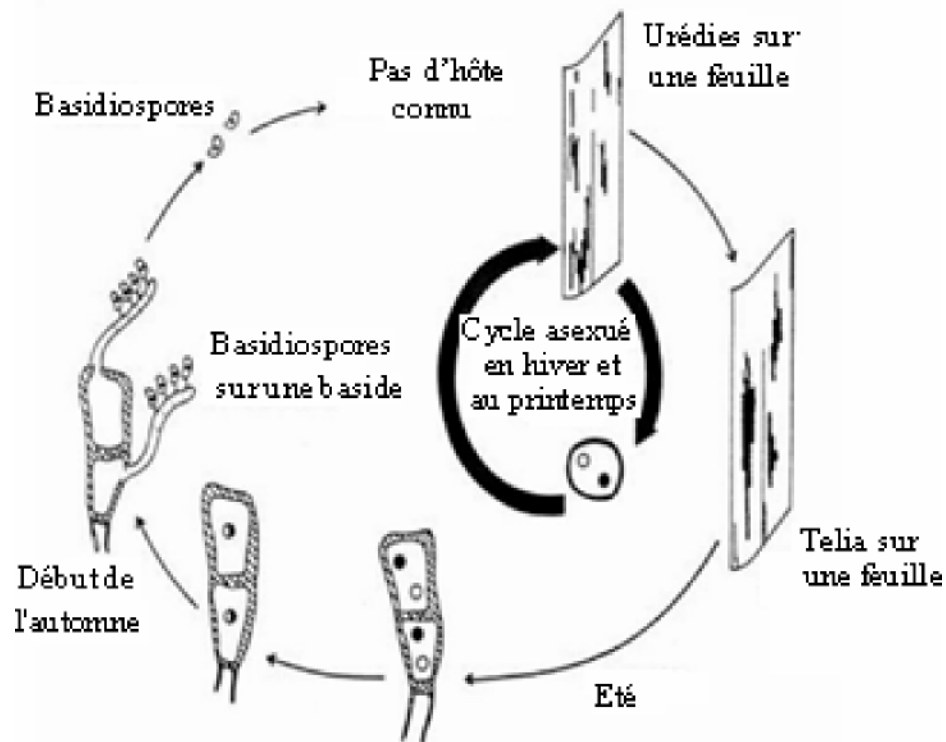


Figure 7 : cycle de vie de *Puccinia striiformis* (Line, 2002 ; Davis et Jackson, 2002).

7.1.2.5. Symptomatologie

L'identification des rouilles est facile du fait qu'elles forment des pustules caractéristiques. Les pustules correspondent à une déchirure de l'épiderme et l'apparition d'une poudre (orange, brunâtre, rouge brique, marron foncé ou jaunâtre en fonction des espèces) composée uniquement de spores facilement transportées par le vent.

Les symptômes spécifiques à chaque espèce de rouille sont les suivants :

a. Rouille brune : pustules de petite taille, circulaires ou ovales, oranges ou brunâtres. Elles apparaissent de préférence sur la face supérieure des feuilles (Fig.5, 8);

b. Rouille noire : pustules plus longues que celles de la rouille brune et de couleur rouge-brique à marron foncé. Elle se développe sur les feuilles, sur les tiges et sur les épis (Fig.6, 8) ;

c. Rouille jaune : pustules jaunâtres, alignées le long des nervures des feuilles (Fig.7, 8), sous forme de stries. Les pustules se développent aussi sur la face inférieure des feuilles et sur les épis (Ezzahiri, 2001).



Figure 8 : symptômes provoqués par les différentes rouilles : a. rouille brune, b. rouille noire, c. rouille jaune (Coffman, 2008 ; Cornec, 2009 ; Simone, 2010).

7.1.2.6. Epidémiologie

a. Rouille brune

Les spores de rouille brune sont transportées par le vent pour de longues distances. Dans ce cas, ce qui importe c'est la date d'arrivée des premières spores dans une parcelle. Plus l'arrivée des spores est précoce, plus les dégâts vont être importants. Des températures moyennes entre 15 et 20 °C et des périodes humides (pluie, rosée) favorisent la propagation de la rouille brune dans un champ de blé.

b. Rouille noire

Ces spores sont emportées par le vent à l'échelle locale et régionale. La rouille noire peut provoquer des dégâts même à la fin du cycle du blé (Sutton et Hunt, 1990).

c. Rouille jaune

Comme pour la rouille brune, les spores de rouille jaune sont aussi transportées par le vent sur de longues distances. Une arrivée précoce des spores et en présence de conditions favorables peut résulter en un développement de la maladie dommageable à la culture du blé. Les pertes peuvent aller jusqu'à 50% du rendement, en réduisant le poids des grains. Les conditions favorisant le développement de la rouille jaune sont les températures nocturnes entre 10 et 15°C et des humidités relatives supérieures à 80% pendant 18 heures (Ezzahiri, 2010).

7.1.3. Helminthosporiose

Cette maladie est causée principalement par le champignon *Pyrenophora tritici-repentis*.

7.1.3.1. Importance

La maladie de la tache helminthosporienne est largement distribuée dans les régions productrices du blé. Les attaques sont importantes dans les régions à pluviométrie importante. Les pertes de rendement causées par cette maladie varient avec les conditions climatiques, la sensibilité de la variété et le stade de la culture au moment de l'attaque. Ces pertes peuvent atteindre 30% quand la maladie est présente tout au long du cycle de la culture, et entre 10 à 15% quand elle attaque aux stades tardifs seulement (Ezzahiri, 2001).

7.1.3.2. Systématique

Pyrenophora tritici-repentis, est classée par Drechsler en 1923.

Regne	Fungi
Phylum	Ascomycota
Classe	Dothideomycetes
Sous classe	Pleosporomycetidae
Ordre	Pleosporales
Famille	Pleosporaceae
Genre	<i>Pyrenophora</i>
Espèce	<i>P. tritici-repentis</i>

7.1.3.3. Morphologie

Pyrenophora tritici-repentis (Died.) Drechs. est un champignon homothallique. En automne des pseudothèces sont formés sur les résidus du blé. Des carposomes fongiques petits noir éminents sont souvent abondants ; au début du printemps ces carposomes produisent des asques avec 8 ascospores. Les ascospores sont brunes et font 18-28 x 45-70 Inm de taille, ovales, cloisonnés en 2, avec la cellule médiane ayant 1 cloison longitudinale. Les conidies sont sous-hyalines, cylindriques, principalement cloisonnées en 4 à 7, et font 12-21 x 45-200 Inm de taille, la cellule basale a une forme ressemblant à une tête de serpent (Khasanov, 1988).

7.1.3.4. Cycle de vie

L'agent pathogène se conserve sous forme de spores et de mycélium sur les résidus du blé infecté à la surface du sol.

Sur les chaumes, les périthèces (structures de reproduction sexuée) et le mycélium constituent la principale source d'inoculum primaire. En présence d'humidité, les périthèces libèrent les ascospores et le mycélium produit des conidies (Fig.9).

Les deux types de spores sont disséminés pour initier l'infection primaire sur les plantules de blé en début de saison. Au cours de la saison, l'infection secondaire est assurée par les conidies qui sont facilement disséminées par le vent. La germination des conidies et l'infection des tissus sont favorisées par une durée d'humectation du feuillage de 24 à 48h.

Les températures optimales pour l'infection se situent entre 18 et 28°C. La sporulation au niveau des taches foliaires est favorisée par des conditions humides (Ezzahiri, 2001).

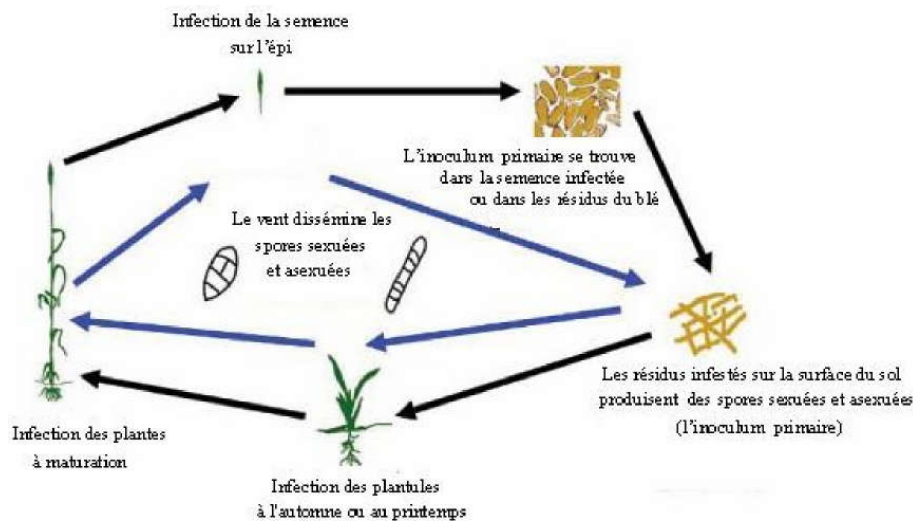


Figure 9 : cycle de vie de *Pyrenophora tritici-repentis* (Engle et al., 2004).

7.1.3.5. Symptomatologie

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 (Sutton et Hunt, 1990). Ces symptômes (Fig.10) peuvent être confondus avec ceux de *S. nodorum*. Cependant, la présence de petites nécroses de couleur brun foncé au centre des taches chlorotiques est un critère distinctif des lésions de *P. tritici-repentis* (Ezzahiri, 2001).



Figure 10 : symptômes provoqués par *Pyrenophora tritici-repentis* (Engle, Lipps et Mills, 2004).

7.1.3.6. Epidémiologie

Les spores transportées par le vent à partir des débris de blé ou de graminées vers les cultures de blé saines, 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 (Sutton et Hunt, 1990).

7.1.4. Charbon nu

Agent causal : *Ustilago tritici*

7.1.4.1. Importance

Le charbon nu se développe aussi bien sur blé tendre que sur blé dur. Des attaques sporadiques du blé par ce champignon sont observées de temps en temps.

7.1.4.2. Symptômes

Les symptômes du charbon sont visibles entre la floraison et la maturité. Au début, les épis infectés sont noircis, et apparaissent un peu plutôt que les épis sains. Les enveloppes de la graine, ainsi que leur contenu, sont détruites et remplacés par une masse noirâtre, constituée de spores du champignon.

7.1.4.3. Développement de la maladie

L'origine de l'infection du blé par le charbon se trouve dans la semence. En effet, le champignon responsable du charbon nu se conserve dans l'embryon du grain sous forme de mycélium dormant. Au moment de la germination de la semence, le mycélium est activé.

L'agent pathogène infecte la jeune plantule du blé et poursuit son développement au niveau de l'apex. Au moment de l'épiaison, tout le tissu de l'épi, sauf le rachis, est transformé en une masse sporifère. Les spores produites sont libérées et infectent les fleurs des plantes voisines. Le mycélium issu des spores va infecter le jeune embryon du grain. Celui-ci ne montre aucun symptôme et évolue normalement. Pour détecter l'infection au niveau de son embryon, il faut recourir aux techniques histologiques et microscopiques appropriées.

Les conditions favorables à l'infection par le charbon nu correspondent à un temps doux (16-22°C).

7.1.5. Caries

Agents pathogènes : *Tilletia caries* et *Tilletia foetida*.

7.1.5.1. Importance

La carie est traditionnellement présente dans les zones de production extensive. Cependant, des dégâts importants ont été signalés sur les nouvelles variétés de blé.

7.1.5.2. Symptômes

Les symptômes n'apparaissent qu'au moment du remplissage des grains. Seul le contenu du grain est transformé en une masse poudreuse noirâtre alors que les glumes et les glumelles sont épargnées. Les épis cariés sont difficiles à détecter avant le battage. Parmi les signes indiquant la présence des épis cariés dans un champ au moment du remplissage des grains, on peut citer la couleur vert foncée des glumes et des glumelles et les épillets qui s'écartent du rachis.

7.1.5.3. Développement de la maladie

L'agent responsable de la carie se conserve sous forme de téléutospores sur la semence et dans le sol. L'infection des jeunes plantes du blé se fait à des températures de 5 à 15°C. Le mycélium du champignon colonise le tissu méristématique et progresse vers l'épi, au fur et à mesure que la plante se développe.

8. Fusariose du blé

La fusariose est une des maladies les plus importantes altérant le blé en Algérie comme dans le monde. L'espèce fongique *Fusarium graminearum* est l'un des agents principaux de la maladie, bien que d'autres espèces fongiques soient aussi impliquées. De plus, l'interaction hôte-pathogène peut entraîner la production de mycotoxines toxiques pour l'homme et l'animal. Les mycotoxines sont des métabolites secondaires produits par certains champignons microscopiques (**Prandini et al., 2007**). Elles peuvent être produites avant la récolte dans les épis et donc retrouvées dans les grains, pendant le transport et le stockage des céréales. Elles diffusent dans le substrat qu'elles contaminent même après la destruction du champignon responsable de leur production.

La fusariose est associée à un complexe d'espèces regroupant deux genres de champignons phytopathogènes, *Fusarium* et *Microdochium* (**Arseniuk et al., 1999**). Ces deux genres regroupent environ 19 espèces capables d'induire la fusariose de l'épi de blé et d'orge (**Liddell, 2003**). L'agent principal responsable de la fusariose du blé est *Fusarium graminearum* Schwabe, mais environ une vingtaine d'espèces appartenant au genre *Fusarium* et une appartenant au genre *Microdochium* peuvent être impliquées dans le complexe provoquant cette maladie (**Arseniuk et al., 1999**).

8.2. Historique

La fusariose a été décrite pour la première fois en Angleterre en 1884, mais de récentes épidémies ont été décrites en Asie, en Amérique et en Europe (**Goswami and Kistler, 2004**). Les conséquences économiques dues à cette maladie sont considérables. Par exemple, les pertes causées par la fusariose dans les états du Nord et du Centre des Etats-Unis entre 1998 et 2000 ont été évaluées à 2,7 milliards de dollars (**Nganje et al., 2002**).

Le développement de la maladie peut occasionner des pertes de rendement par une diminution du poids de 1000 grains, mais aussi par une réduction du nombre de grains par épis et par une diminution du poids des épis (**Arseniuk et al., 1993**). De plus la qualité des grains affectés par la fusariose peut-être altérée. Outre les pertes quantitatives qu'ils occasionnent, les champignons responsables de la maladie produisent de mycotoxines dans les grains et les rendent impropres à la consommation (**Jouany, 2007; Keller, 2011**). Conditions favorables au développement de la maladie. La sévérité de la fusariose est conditionnée par trois facteurs indépendants des champignons : les facteurs climatiques, les

facteurs agronomiques et les facteurs physiologiques de la plante hôte (**Bai & Shaner, 1994 ; Sutton, 1982 ; Walter et al., 2009 ; Alvarez et al., 2009**).

8.3. Fusariose du système racinaire

Le *Fusarium culmorum* et le *Fusarium graminearum* sont parmi les principaux agents causaux des pourritures racinaires des céréales.

8.3.1. Importance

Les pertes localisées peuvent être occasionnées par la diminution du nombre de talles ; par la réduction de la taille des épis et par le dépérissement total des plants.

Cette maladie apparaît plus particulièrement dans les zones semi-arides et durant les années à faible pluviométrie.

8.3.2. Symptômes

Les plantes atteintes montrent des épis blancs non remplis. Pour s'assurer de la nature exacte de la maladie, on doit arracher quelques plantes atteintes et observer le système racinaire. Des taches brunes sont observées sur le collet, le sous-collet et les racines.

8.3.3. Développement de la maladie

L'association des champignons responsables des pourritures avec les racines du blé est inévitable. Ce sont des champignons qui sont constamment présents dans le sol. Ils infectent les racines du blé quand les conditions leur sont favorables. Les principaux facteurs prédisposant à l'attaque de ces champignons sont le stress hydrique et des températures élevées (Ezzahiri, 2001).

8.4. Fusariose de l'épi

La fusariose de l'épi est une maladie fongique du blé provoquée par une vingtaine d'espèces de champignons du genre *Fusarium* dont les principales sont *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. sporotrichioides* (Trottet, 2007).

8.4. 1. Importance

Les pertes de rendement sont de l'ordre de 5 à 30 qx/ha en conditions météorologiques favorables, peuvent ne pas s'accompagner d'un développement de mycotoxines, alors que l'inverse est faux. En cas d'absence de précédent à risque et de météo clémente, la perte estimée atteint 1 à 2 qx/ha (Axel, 2010).

La fusariose constitue avec la septoriose les deux maladies principales à combattre sur blé. Cette maladie occasionne des pertes de rendement non négligeables et entraîne le développement de toxines dont le déoxynivalenol ou DON (Masson et Moquet, 2009).

8.4. 2. Symptômes

La fusariose sur épi du s'exprime après la floraison par des épis partiellement ou complètement échaudés. Parfois, une couche duveteuse grise, blanche et s'étend sur les glumes et sur les grains. Les premiers symptômes visibles de la fusariose sur épi sont de petites taches brunes sur les glumes. Typiquement, la maladie envahit progressivement l'épi. Au premier stade, seuls quelques épillets sont atteints tandis que le reste de l'épi est vert. En suite, la partie supérieure de l'épi sèche prématurément avant que tout l'épi ne meure. Les grains issus de ces épis infectés sont blanchâtres, atrophiés et malformés. Le champignon peut rester bien visible sur les grains sous forme de la fine couche duveteuse décrite plus haut (Jones et Mirocha, 1998).

8.4. 3. Développement de la maladie

La fusariose est favorisée par un temps pluvieux et chaud (25 à 32°C) au début de l'épiaison suivi d'un temps chaud et humide pendant la pleine épiaison ou la floraison (Breault et *al.*, 2009).

Durant tout le cycle cultural, l'humidité et le vent favorisent également la survie et la dispersion de l'inoculum primaire (Mc Mullen et al., 1997 ; Alvarez et al., 2009).

Aussi, les facteurs agronomiques contribuent à la propagation de la fusariose, à titre d'exemple un précédent cultural sensible à la fusariose (maïs, blé, orge), c'est-à-dire potentiellement infecté lors de son cycle, est une source potentielle d'inoculum pour la culture suivante via ses résidus. Par ailleurs, un travail raisonnable du sol favorise la dégradation des résidus par l'activité microbienne et donc limiterait la colonisation des résidus par les espèces fusariennes (Pereyra et al., 2004).

L'intensité de la maladie dépend non seulement de la quantité d'inoculum initial et de la virulence des souches pathogènes, mais aussi des caractéristiques physiologiques de la plante (taille, densité d'épillets...), son état de stress, son stade de développement, la date et la durée de la floraison et le niveau de résistance de la variété cultivée (Xu et al., 2005 ; Champeil et al., 2004 ; Bai & Shaner, 1994 ; Audenaert et al., 2009).

8.5. Cycle biologique de la fusariose

Le cycle de vie des agents pathogènes responsables de fusariose est illustré dans la figure 11 par le cycle de *F. graminearum*. Pendant l'hiver et tout au long du cycle cultural, les agents pathogènes responsables de la fusariose des épis survivent dans le sol sous forme de chlamydospores (Bai & Shaner, 1994). Cet inoculum primaire est capable d'infecter les semis et induire une fonte des semis (*seedling blight*) et une pourriture du collet (*foot rot*) (Arsan et al., 2011). L'inoculum est formé principalement de macroconidies ou microconidies (phases télomorphes *Fusarium* et *Microdochium*) et d'ascospores (phases anamorphes *Gibberella* et *Monographella*) qui sont produites en conditions humides et chaudes (Xu et al., 2005 ; Champeil et al., 2004 ; Bai & Shaner, 1994). Les ascospores et les conidies sont dispersés par le vent (Fernando et al., 1997) ou par *splashing* (dispersion par la pluie de feuille en feuille).

Il est à noter que *F. culmorum* et *F. poae* ne se reproduisent pas de façon sexuée (Doohan et al., 2003).

Trois sources d'inoculum peuvent être à l'origine du développement des fusarioses:

- **Les résidus de culture** : les cultures infectées l'année précédente (source principale) et en particulier les tissus qui se dégradent plus difficilement comme les nœuds (Champeil et al., 2004 ; Osborne & Stein, 2007). La survie des champignons sur résidus peut atteindre plus de 2 ans après récolte ce qui les classe en « source à long terme ». Lorsque les résidus restent en surface, la survie de l'inoculum est plus longue (Pereyra et al., 2004 ; Audenaert et al., 2009). Les précédents culturaux les plus à risque sont les cultures hôtes de la fusariose comme le maïs, le blé et l'orge. Dans la partie plus profonde du sol, seules les chlamydospores peuvent subsister jusqu'à quatre ans (Caron, 1993).
- **Les semences infectées** : lors des infections sur épi, le mycélium attaque les grains à travers les glumes, pénètre dans le péricarpe, l'albumen, voire l'embryon. Cette source d'inoculum permet à la maladie de se développer durant l'automne. Pendant la germination, le mycélium reprend son activité et, selon le degré de pénétration initial, il ralentit ou inhibe

la germination, entraînant des manques à la levée et la fonte des semis (Xu & Nicholson, 2009).

- **Les plantes hôtes :** (*Agrostis*, *Bromus*, *Medicago*, *Festuca*-), peuvent également jouer le rôle de réservoir de *Fusarium* sans présenter de symptômes visibles (Leonard & Bushnell, 2003 ; Champeil *et al.*, 2004).

La maturation des spores dépend des interactions avec les facteurs de l'environnement ; elle est favorisée par l'humidité, la chaleur et la lumière (Guenther & Trail, 2005) et freinée par la sécheresse et le froid de l'hiver (Champeil *et al.*, 2004). Les spores germent ensuite en surface des tissus de l'hôte lorsque les conditions y sont favorables.

Ces conditions regroupent une forte humidité (>90%) pendant 48 à 72h en conditions contrôlées et 4 à 5 jours en conditions naturelles, et des températures comprises entre 15°C et 30°C (Bai & Shaner, 1994 ; De Wolf *et al.*, 2003 ; Gilbert *et al.*, 2008). Lorsque ces périodes favorables sont discontinues ou que la température excède 30°C, la germination est possible mais l'efficacité de l'infection sera réduite.

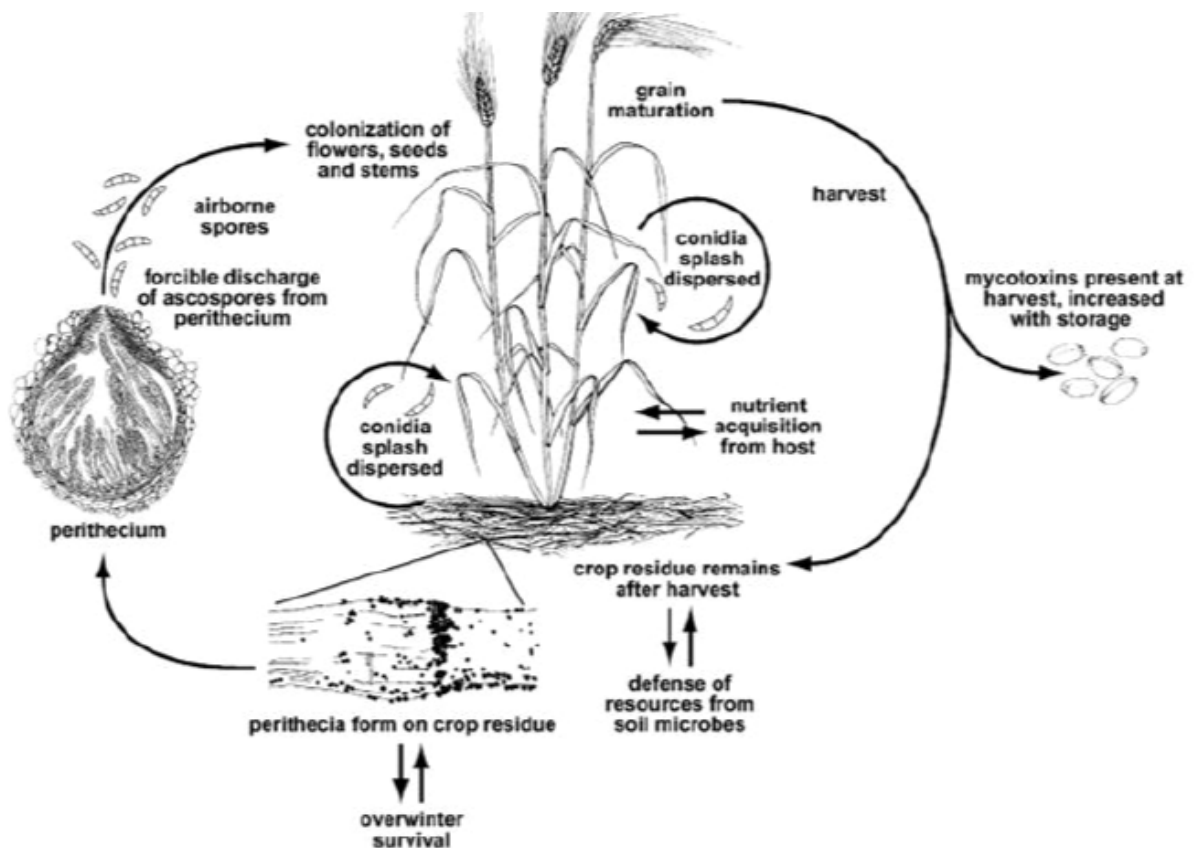


Figure 11 : Cycle de vie de *F. graminearum*, principal agent responsable de la fusariose des épis de blé (Trail, 2009).

9. Lutte contre les maladies des blés

9.1. Lutte culturale

Les techniques de prophylaxie permettent d'éviter ou de limiter le développement des parasites. Parmi les mesures prophylactiques, le choix de variétés tolérantes reste le facteur le plus déterminant, quoique fragile du fait de contournement des résistances par les champignons (Cottart, 2009).

Une série de pratiques, réalisées en amont de l'apparition des maladies, permet d'en prévenir l'apparition ou la propagation : successions de culture, travail du sol, gestion des résidus infestés, choix de la variété, raisonnement de la date et de la densité de semis, etc.

L'utilité de cette prophylaxie n'est pas toujours perçue. La prophylaxie n'est pas pour autant une panacée, mais elle peut occuper une place plus importante que la place qu'elle occupe parmi les moyens de lutte actuels (Maumené, 2009). Cependant, aucun de ces moyens de prophylaxie ne permet d'occulter aujourd'hui totalement les interventions fongicides contre les maladies du blé (Cottart, 2009).

9.2. Lutte biologique

Au Canada des essais ont été faits en laboratoire et dans un environnement d'épidémie simulée au champ, afin de déterminer l'efficacité de 20 agents biologiques différents (15 bactéries et 5 champignons) sur le *Fusarium graminearum* et, ACM941, une souche de *Clonostachys rosea*, a été l'agent biologique le plus efficace (Xue et al., 2009).

9.3. Lutte chimique

La meilleure protection contre les maladies est atteinte lorsqu'il y a deux applications par saison. Cette façon de faire permet de contrôler les maladies en début de saison et permet de cibler par la suite les maladies qui attaquent la feuille étendard et l'épi.

L'utilisation des produits (systémiques) unisites seuls ou combinés avec d'autres fongicides multisites (de contact), ou des associations entre des produits unisites appartenant ou non à la même famille chimique peut protéger les étages supérieurs de la plante décisifs pour le rendement. La date de traitement est un facteur important. Un gain de rendement a été observé pour une application aux stades montaison et gonflement (Zahri et al., 2008).



Matériel et Méthodes

1. Technique de diagnostique de laboratoire

1.1. Matériel utilisé

Le matériel végétal constitutif de cette expérimentation est la semence de blé dur, variété Chen'S. Cette dernière est une sélection de CIMMYT-ITGC en 1990, caractérisée par une paille courte et un cycle végétatif précoce ce qui lui confère une meilleure adaptation aux conditions arides, semi-arides et sahariennes (< 150 mm).

La variété Chen'S est classée comme variété est classée tolérante pour certaines maladies cryptogamiques et à la verse

Au laboratoire plusieurs outils sont utilisés pour mener à terme l'expérimentation
(Figure 12) :

- différents milieux de culture (PDA, SNA, CLA) ;
- un autoclave pour stériliser les milieux de culture en plus aux boîtes de pétri destinées à les contenir après un transfert stérile près d'une flamme d'un bec benzène ;
- une balance de précision pour effectuer les différentes pesées (les constituants des milieux de culture, les graines de blé...).
- microscope optique, des lames et lamelle et un ruban adhésif transparent pour les observations microscopiques.
- flacons autoclavables en verre de 250 ml.
- eau distillée utilisée pour la préparation des différents milieux de culture, préparation des dilutions d'hypochlorite de Sodium (eau javel) et d'antibiotique : amoxicilline à 1g/l.
- Des pipettes pasteur des micropipettes ont été utilisées pour l'ensemencement. Ainsi, qu'une étuve réglée à 25C° pour l'incubation.



Figure 12 : Matériel utilisé durant l'expérimentation (original).

1-Microscope optique, 2 –Autoclave, 3-Boîtes de pétri, lames et lamelles, 4-Balance de précision, 5-Bec bunzen et micropipette, 6-Etuve (Original 2016).

1.2. Préparation des milieux de culture

a) Milieu P.D.A (Potato Dextrose Agar)

200 g de pomme de terre sont pelées, découpées en petites tranches puis cuites dans de l'eau distillée pendant 15-20 mn puis filtrées à l'aide d'une mousseline.

20 g de glucose et 20 g d'agar-agar sont ajoutés au filtrat le tout dans un bécher posé sur un agitateur magnétique pour homogénéisation. La préparation est complétée avec de l'eau distillée jusqu'à 1000 ml. Le milieu est stérilisé par autoclavage pendant 20mn à 120 C°. Une fois le milieu est prêt on le coule dans des boîtes de pétri de 90 mm de diamètre.

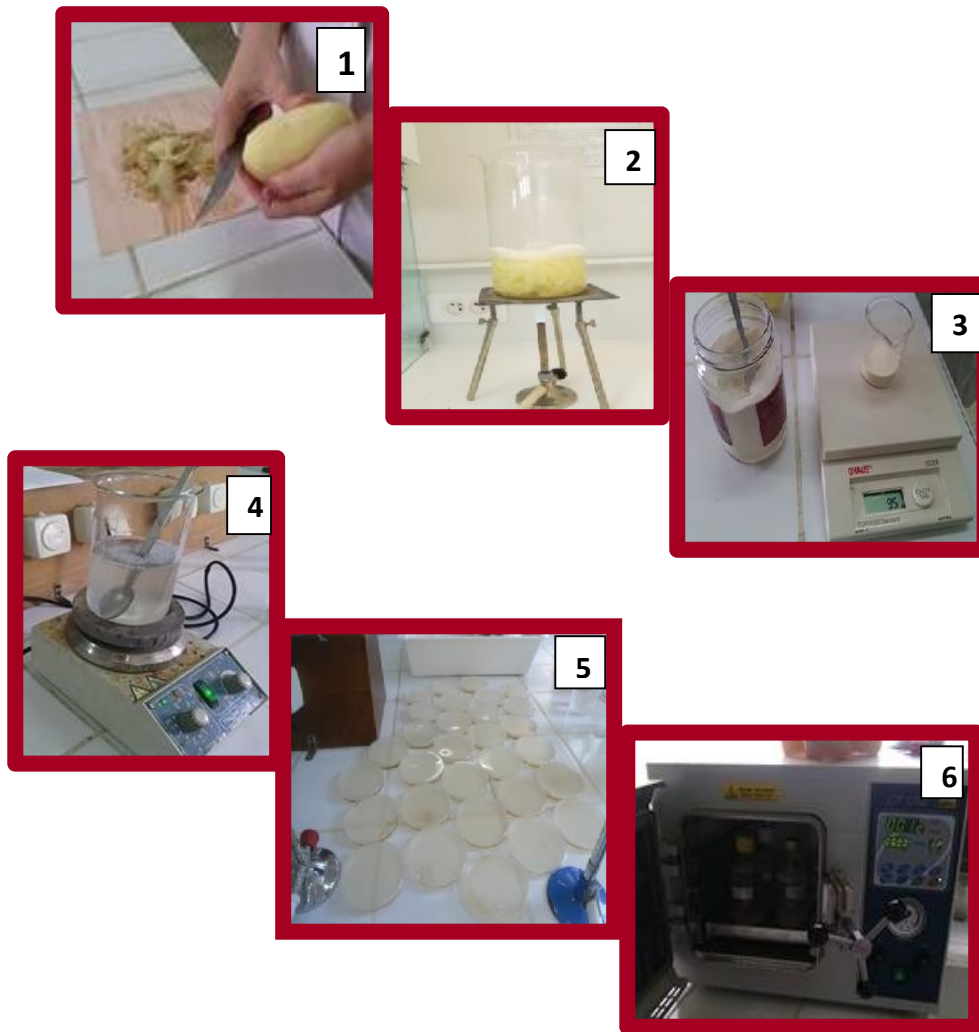


Figure 15 : Les étapes de préparation d'un milieu de culture (original, 2016)

b) Milieu S.N.A (Spezieller Nährstoffärmer Agar).

C'est un milieu synthétique pauvre sur lequel l'effondrement des colonies mycéliennes ne survient pas, il permet un bon développement des conidiophores et une importante sporulation. L'ajout du papier whatman peut stimuler la sporulation.

Il est composé de :

- 1g de KH_2PO_4 ;
- 1g de KNO_3
- 0,5g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- 0,5g de KCl
- 0,2 de glucose

- 0,2 de sucrose
- 15g Agar
- 1000 ml d'eau distillée

c) Milieu CLA (Carnation Leaf-Piece Agar)

Le milieu CLA est obtenu par l'ajout de fragments de feuilles d'œillet (5-8mm²) séchés et stérilisés au milieu water agar à 2% (un fragment de feuille est ajouté par 2 ml du milieu).

Sur ce milieu les espèces du genre *Fusarium* produisent des quantités abondantes de macroconidies homogènes sur des sporodochies au niveau des feuilles d'œillet et des microconidies sur le milieu AWA.

1.3 Isolement et identification de l'agent pathogène

1.3.a. Analyse des échantillons

L'isolement de l'agent pathogène a été effectué à partir d'un lot de blé dur de la variété Chen'S. Ce lot a été analysé à l'œil nu pour déceler les graines présentant les symptômes de la fusariose, couleur rosâtre. Afin de mettre en évidence la mycoflore présente dans les semences, notamment fusarienne, un isolement est effectué.

1.3.b. Désinfection

Les zones altérées contiennent non seulement l'agent parasite primaire, mais également des saprophytes qui peuvent compliquer l'isolement des espèces cibles. Il faudra alors procéder à une désinfection préalable pour éliminer la microflore saprophyte de la surface du végétal. Le choix du désinfectant, sa concentration et la durée de son action doivent être définis pour chaque cas (Rapilly, 1968 ; Lepoivre, 2003).

Les graines de blé, présentant le symptôme caractéristique de la fusariose (couleur rosâtre) ont été scindé en deux puis immergées dans une solution d'hypochlorite de sodium (eau de javel) à 1% et à 2% pendant 5 minutes suivie de 4 rinçages à l'eau distillée stérile (4 fois 5mn), puis séchées (**Figure 13-1**).

1.3.C. Ensemencement et incubation

Les graines ainsi désinfectées sont transférées aseptiquement sur milieu PDA à raison de 5 graines par boîte de Petri. Les boîtes ensemencées sont mises dans une étuve obscure pendant 48 heures à une température de 25°C (**Figure 13**).

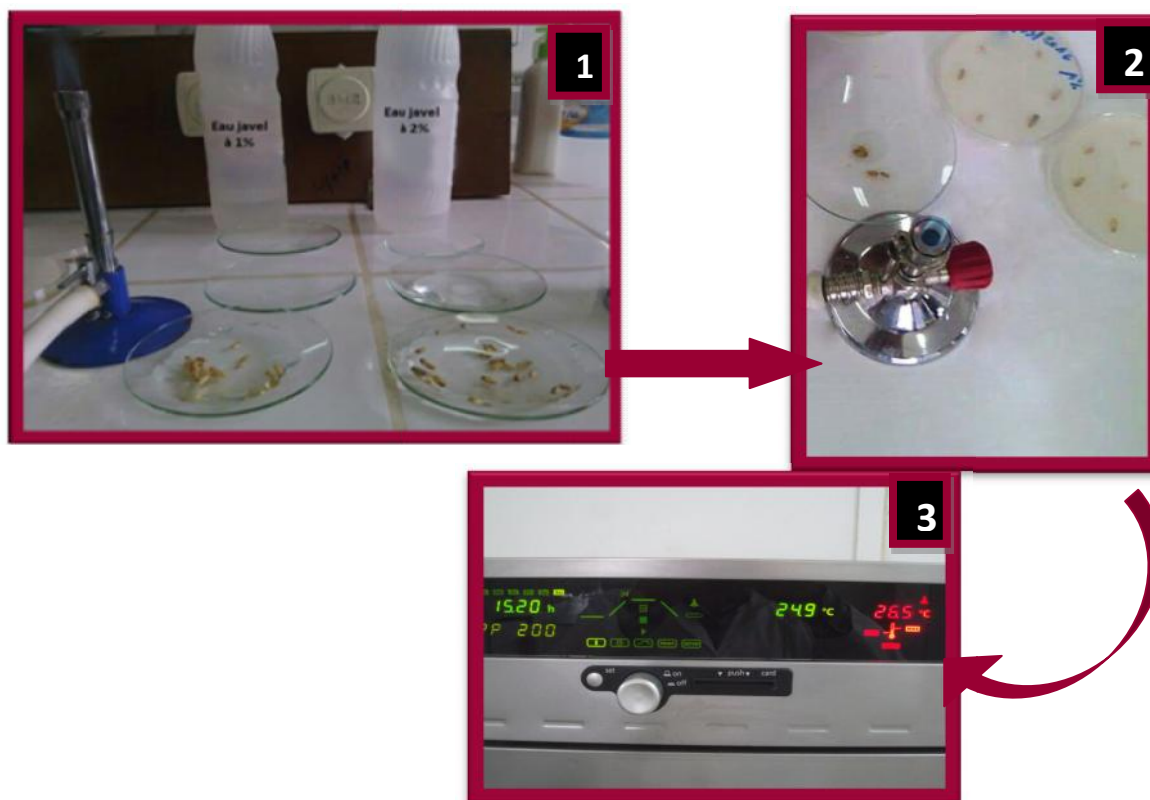


Figure 13 : Schéma illustratif du protocole d'isolement des espèces fusariennes inféodées au blé dur : 1)-Désinfection, 2)- Ensemencement, 3)- Incubation (Original 2016).

1.3.d. Purification

Afin d'obtenir des colonies pures, chaque colonie fongique contenue dans le mélange a été repiquée sur milieu de culture (PDA) en prélevant un fragment mycélien à partir de chaque colonie émergée à partir des graines ensemencées.

Les colonies ainsi obtenues sont soumises aux différentes étapes d'identification décrites par **Leslie et Summerell (2006)**. Selon le protocole décrit on avait besoin de trois types de milieux de cultures à savoir PDA, CLA et le milieu SNA (**Figure 14**).

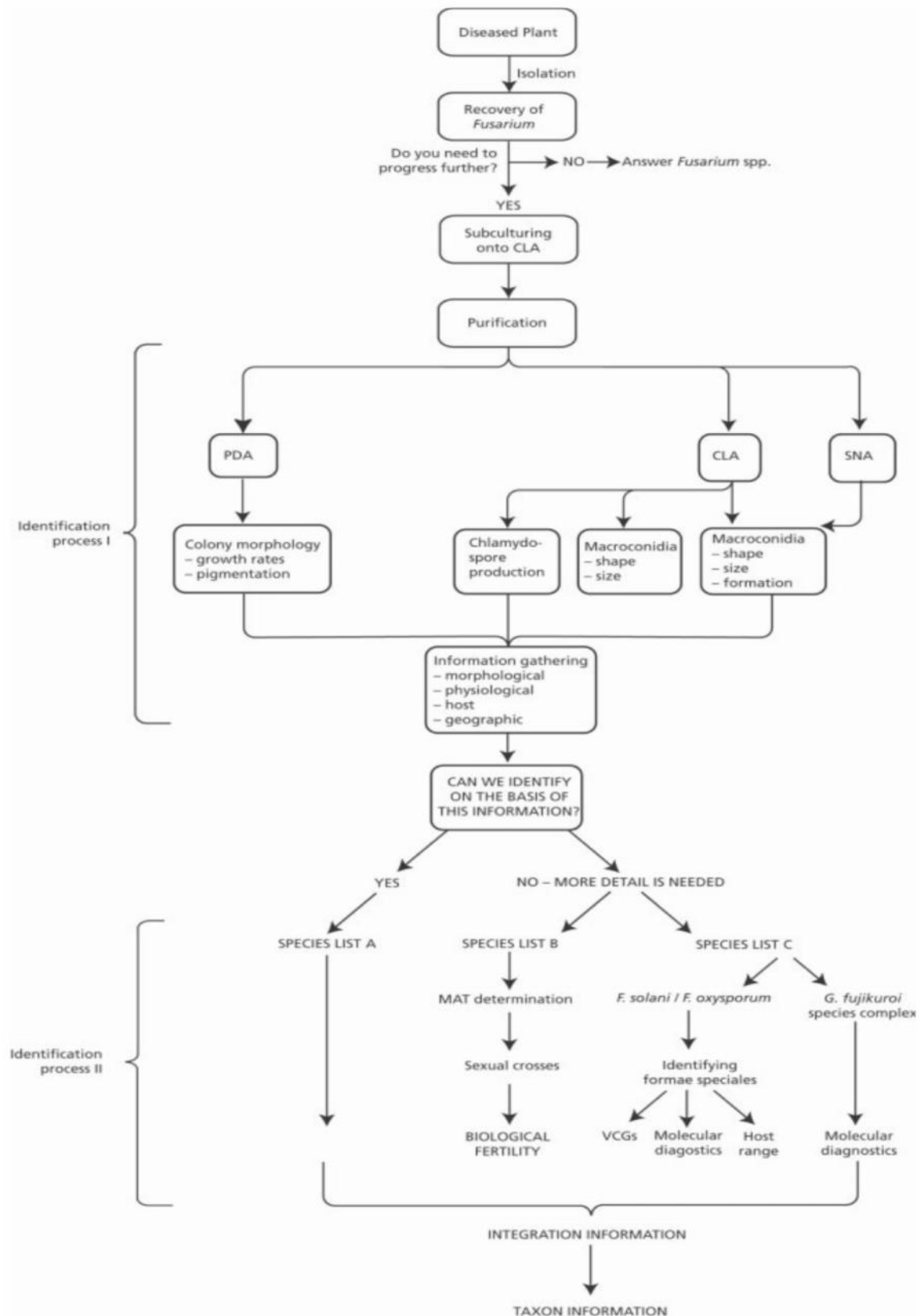


Figure 14: Organigramme du protocole d'identification utilisé pour l'identification des espèces du genre *Fusarium* (Leslie et Summerell, 2006).

1.3.E. Identification

L'identification des espèces fongiques isolées est basée sur des critères morphologiques :

➤ **Aspect macroscopique :**

- ✓ aspect du mycélium ;
- ✓ couleur de la colonie fongique ;
- ✓ type de fructification du champignon ;
- ✓ taille et odeur des colonies.

➤ **Aspect microscopique :**

- ✓ présence ou absence des conidiophores ;
- ✓ forme des conidiophores ;
- ✓ forme des conidies ;
- ✓ taille des conidies ;
- ✓ mode d'insertion des conidies sur les conidiophores ;
- ✓ formes de conservation présente. Exemple : chlamydospores (**Leslie et Summerell, 2006**).

2. Tests d'efficacité de quatre types de traitement de semences

Les traitements utilisés sont quatre fongicides homologués et largement utilisés en Algérie à savoir : Dividend, Celest Extra, Acil et Raxil (Fig.).

2.1. Test sur semences in vitro

L'expérimentation consiste en un traitement de quatre lots d'une même semence avec un quart des doses recommandés (Doses usuelles) de chaque traitement puis avec une demi-dose et en fin avec la dose usuelle pour chaque produit.

2.1.1. Présentation des traitements utilisés

- a. **Dividend** : Est un fongicide systémique pour le traitement de semences des céréales sa matière active est le Difénoconazole (30g /l) ;
- b. **ACIL 60 FS** : fongicide systémique, à base de Tebuconazole destiné pour traitement de semences des céréales ;

- c. **RAXIL PRO** : Fongicide pour le traitement des semences servant à les protéger de certaines maladies transmises par les semences et par le sol. il est composé de tébuconazole 30g/L, Prothioconazole 15,4 g/L et du métalaxyl 6,2 g/l ;
- d. **Celest Extra** : est un traitement fongicide des semences de céréales à paille. Sa matière active est le Fludioxonil (25 g/l).



Figure 16 : quatre traitements utilisés.
1-Acil, 2-Raxil, 3- Dividend, 4- Celest Xtra

2.1.2 Traitement de la semence et ensemencement

A. Traitement avec la dose recommandée

Les quantités recommandées par les fabricants sont de 200 ml/ql pour Celest Extra et Dividend et de 150ml/ql pour Acil et Raxil. Les traitements sont dilués dans un litre d'eau avant le traitement. Ce dernier s'effectue en mélangeant le produit avec la semence jusqu'à ce que toutes les graines soient entièrement recouvertes.

Au niveau du laboratoire nous avons traité 100g de graines de blé avec des quantités correspondantes aux quantités précédentes de ce fait nous avons utilisé pour Celest Extra et Dividend 0,2 ml/100g de semences ; alors que pour Acil et Raxil nous avons appliqué 0,15 ml pour 100g de la semence.

Les graines traitées sont séchées puis ensemencées dans des boîtes Pétri contenant le milieu PDA à raison de 5 graines par boîtes et six répétitions pour chaque traitement. A la fin, les boîtes ont été placées à l'étuve à 25° sous surveillance durant la période de germination (15 jours) afin de dénombrer les graines qui présenteront un développement mycélien.

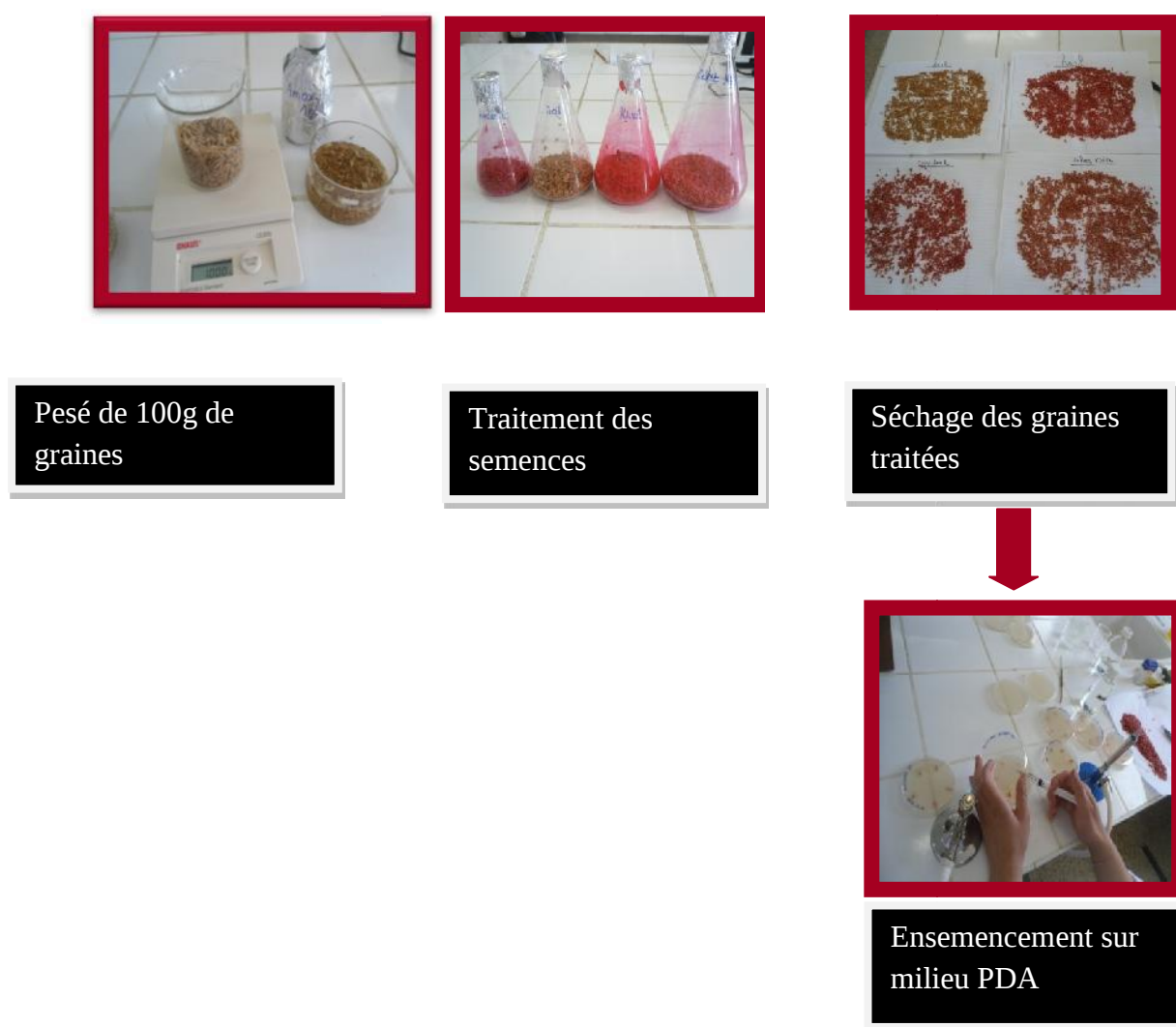


Figure 17: Schéma illustratif des différentes étapes du protocole expérimental des tests sur semences (originales).

B. Traitement avec la moitié et le quart de la dose recommandée.

Le même principe de ces expériences est le même que la précédente avec une seule différence au niveau des quantités des produits.

➤ A demi dose :

Celest Extra et Dividend : 0,1 ml/ 100g

Acil et Raxil : 0 ,075 ml/ 100g



Figure 18 : Teste d'efficacité des quatre produit sur semence in vitro à $\frac{1}{2}$ de la dose usuelle (originales, 2016).

➤ **A un quart de dose :**

Celest Extra et dividend : 0,05 ml/ 100g

Acil et Raxil : 0 ,037 ml / 100g



Figure 19 : Test d'efficacité des quatre produit sur semence in vitro à $\frac{1}{4}$ de la dose (originales, 2016).

2.2. Mesure de l'influence de 4 fongicides sur la vitesse de croissance de *Fusarium chlamydosporum*

Les espèces fongiques qui affectent la semence de blé dur sont nombreuses et causent des dégâts qui diffèrent en importance selon l'agent causal, le stade d'infection et la sévérité de l'attaque. Parmi ces espèces les plus redoutées en céréaliculture le *Fusarium chlamydosporum* isolé à partir d'un lot de blé dure.

Les traitements fongicides appliqués dans cette expérimentation sont : Acil, Raxil, Dividend, et Celest Extra.

2.2.1 Protocole expérimental

Cette expérimentation est basée sur la préparation de milieu de cultures PDA auquel trois doses de la matière active (0,1 mg, 0,01mg et 0,001mg), du fongicide testé, sont rajouter a raison de trois répétitions pour chaque dose. Ainsi, nous avons préparé un milieu de culture PDA exempt de matières actives servant de témoin.

Un fragment mycélien de l'espèce *Fusarium chlamydosporum* est transféré dans les différentes boîtes de Pétri. Ce protocole a été appliqué pour les quatre traitements (Celest Extra, Dividend, Acil et Raxil (**Figure 20**).

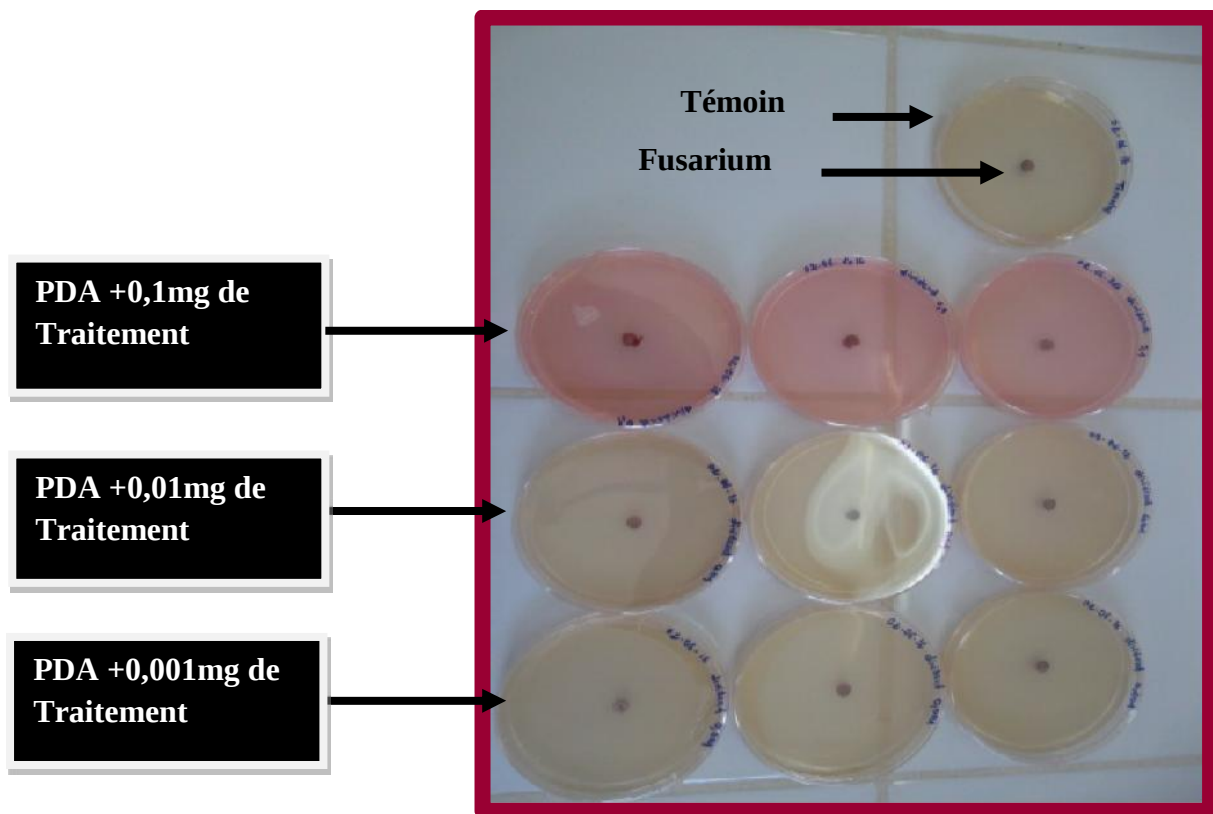


Figure 20 : test d'efficacité des traitements à différentes doses sur *Fusarium chlamydosporum*(originales, 2016).

Une fois ensemencées, les boîtes de Pétri sont incubées dans une étuve réglée à 25°C. Par la suite la croissance mycélienne est mesurée, chaque 72 heures, à l'aide d'un pied à coulisse. Au total 4 observations sont effectuées.

3- Etude d'efficacité sur terrain

L'expérimentation a été menée au niveau d'une parcelle localisé dans la région de Timizar Loghbar située à l'Est de la wilaya de Tizi Ouzou ,éloigné de 5 Km du chef lieux de cette dernière.



Figure 21 :Photo satellitaire de Timizarloghbar montrant la localisation et le site de l'expérimentation (Google earth pro. 2016).

semences traitées avec Acil, Raxil, Dividend et Celest Xtra en plus à une parcelle témoin qui a reçu une semence non traitée. Pour avoir des résultats fiables l'expérimentation est répétée 4 fois.

Le semis a eu lieu le 15/01/2016 (blé d'hiver) Chaque parcelle a reçu 266 graines de blé dur variété Chain S espacées entre elles par 4cm et semées dans des lignes espacées par 15cm (**Figure 21**).

La station expérimentale a été visitée à plusieurs reprises :

- lors de la levée pour estimer le nombre de graines germées ;

- au moment du tallage pour évaluer le nombre de thalle/m² ainsi que le nombre de thalle/plants ;
- au stade épiaison on a comptabilisé le nombre d'épis/m² et le nombre d'épis fusariés/m² ;
- Enfin, on a procédé à la récolte ou on a mesuré deux paramètres qui sont : le nombre graines par épis et le poids de 1000 graines.



Résultats et Discussions

1. Recherche des espèces fusariennes inféodées aux semences du blé

1.1. Résultats de l'isolement

Après incubation des graines ensemencées sur le milieu PDA pendant 7 jours à 25°C, un mélange de colonies fongiques et bactériennes est obtenu. Par la suite, les colonies présentant des caractères macroscopiques spécifique aux espèces du genre *Fusarium* ont été purifiées (Figure 22).



Figure 22 : colonie du *Fusarium spp.* purifiée sur milieu PDA (Original, 2016).

1.2. Identification de l'espèce isolée

L'espèce fongique isolée à partir de la semence du blé a été identifiée étant *Fusarium chlamydosporum* Wollenweber et Reinkin.

Les caractères de cette espèce ont été étudiés et détaillé afin de permettre une identification morphologique la plus exacte mais une identification phylogénétique grâce à une PCR est envisagée pour confirmer l'exactitude de l'identification.

1.2.1. Description macroscopique de *F. chlamydosporum*

Sur milieu PDA, les jeunes colonies fongiques sont formées d'un mycélium aérien blanchâtre à légèrement rosâtre (Figure 23). Les plus anciennes diffusent une coloration rouge

bourgogne dans le milieu et forment des chlamydospores au bout de 15 à 21 jours d'incubation (Figure 23).

La production de conidies sur des sporodochies jaune orangé donne une coloration jaune à orange pour la surface des colonies sur milieu PDA (Figure 23-B)

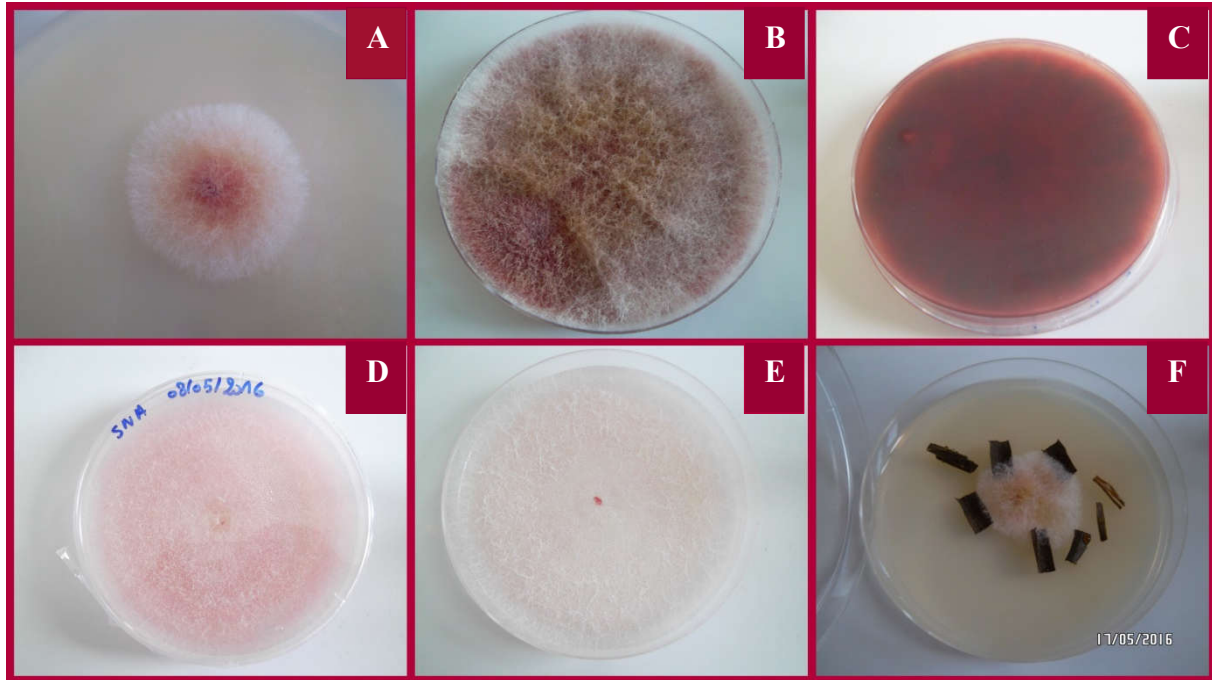


Figure 23 : Photo de colonie de *Fusarium chlamydosporum* :

A : Jeune colonie sur milieu PDA. **B**) : colonie après 15 jours d'incubation. **C** : pigmentation Rouge bourgogne diffuse dans le milieu vu de la face inférieure de la boîte de petri

D et E : Aspect des colonies sur milieu SNA noté la coloration légèrement rosâtre

F : colonie de *F. chlamydosporium* sur milieu CLA (Original 2016).

1.2.2 Description microscopique de *F. chlamydosporum*

a. Macroconidies

L'espèce a présenté des macroconidies sur des sporodochies jaune orange formé sur les feuilles d'œillet. Ces macroconidies de forme légèrement incurvée (courbure dorsiventrale) présentant 3 à 5 septums avec une paroi épaisse (Figure 24).

La cellule apicale est courte effilée et incurvée (en crochet) par contre la cellule basale est crantée et parfois elle prend la forme d'un pied.

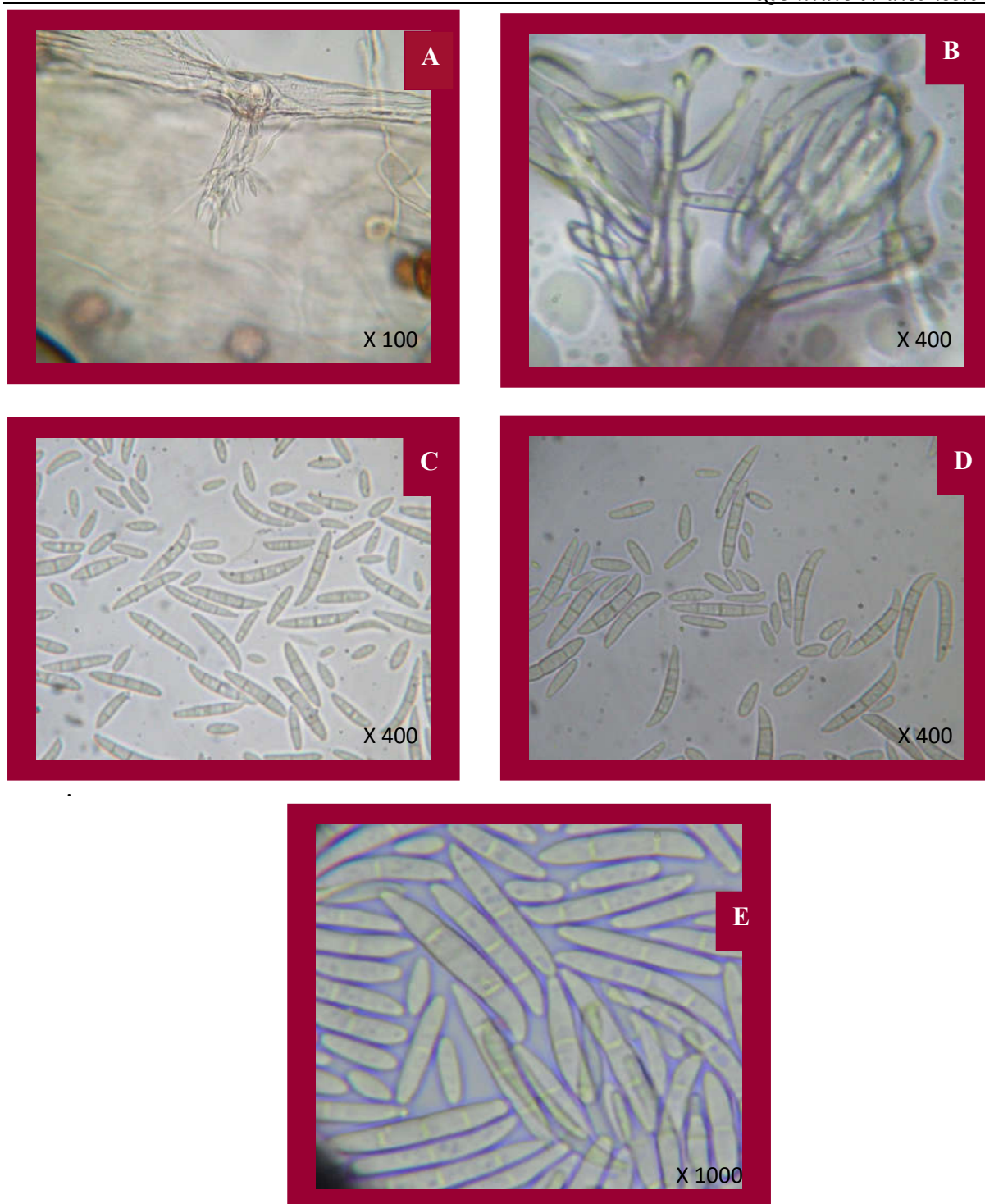


Figure 24 : Photos microscopiques de *Fusarium chlamydosporum* (x400) : A) conidiophore en sporodochie. B) phialide portant des macroconidies. C,D,E) macro et microconidies.

b. Microconidies

Les microconidies de *F. chlamydosporum* prennent naissance à partir des polyphialides insérées sur des conidiophores sous forme d'un arbre ramifié. Leur production est très abondante sur le mycélium aérien (Leslie et Summerell, 2006), (Figure 25).

Elles sont ovale parfois légèrement allongées. Elles sont généralement monocellulaires mais on peut observer certaines qui sont septées par un septum (Figure 26).

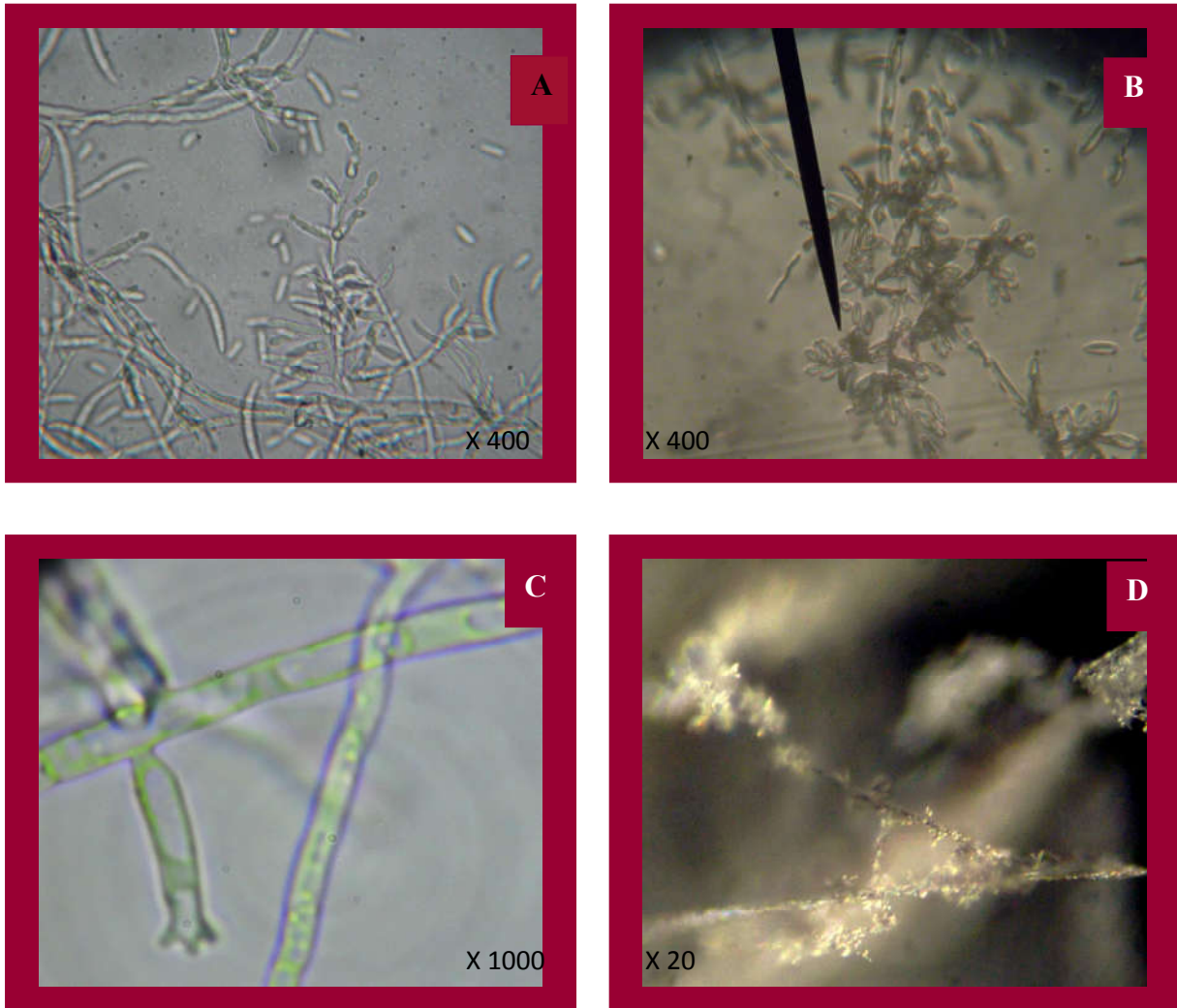


Figure 25 : Photo de microconidies de *F. chlamydosporum* prise sous microscope optique :

A et B) : Microconidies ovoïdes sur Polyphialides en forme de branche d'arbre.

C : Polyphialides en formation insérées sur conidiophore.

D : Photo de microconidies in situ sur milieu SNA (Original 2016)...



Figure 26 : Photo des deux types de microconidies de *F. chlamydosporum* (monocellulaire et bicellulaire) observées sous microscope optique X400 (Original 2016).

c. Chlamydospores

Les chlamydospores sont rapidement formées ; au bout de 20 jours d'incubation. Elles sont produites en chaîne ayant des formes sphériques et ovoïdes (Leslie et Summerell, 2006). Leurs paroi est très épaisse et de couleur brune (Figure 27).

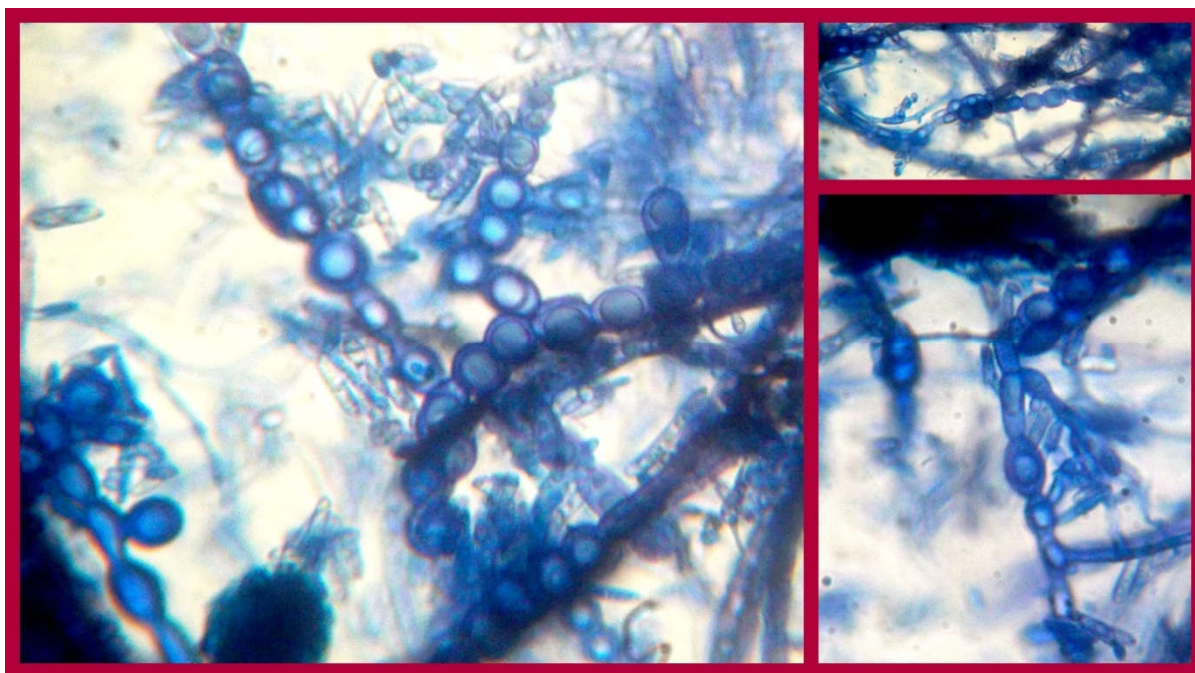


Figure 27 : Photo des chlamydospores de *F. chlamydosporum* en chaîne colorées avec le bleu de méthylène observé sous microscope optique X400 (Original 2016).

2. Résultats des Tests sur *F. chlamydosporum* in vitro

Les résultats issus de l'expérimentation ont été soumis au test de l'analyse de la variance (ANOVA) tableau 2 selon plusieurs critères de classification.

Selon la valeur de la probabilité (P) on a :

$P > 0,05$ il n'y a pas de différence significative

$0,01 < P \leq 0,05$, il y a une différence significative ;

$0,001 \leq P \leq 0,01$, il y a une différence hautement significative ;

$P \leq 0,001$, il y a une différence très hautement significative.

Tableau 2 : Tableau des résultats d'analyse de la variance ANOVA pour les tests sur *F. chlamydosporum* (Original, 2016).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	204092,8	239	853,945				
VAR.FACTEUR 1	2908,266	3	969,422	23,606	0***		
VAR.FACTEUR 2	169190,6	3	56396,87	1373,299	0***		
VAR.FACTEUR 3	9137,297	4	2284,324	55,625	0***		
VAR.INTER F1*2	884,859	9	98,318	2,394	0,01436*		
VAR.INTER F1*3	1164,969	12	97,081	2,364	0,00802**		
VAR.INTER F2*3	11536,97	12	961,414	23,411	0***		
VAR.INTER F1*2*3	2699,156	36	74,977	1,826	0,00628**		
VAR.RESIDUELLE 1	6570,672	160	41,067			6,408	15,62%

Facteur 1 : Traitement.

Facteur 2 : Temps.

Facteur 3 : La dose.

* Variation significative

** Variation hautement significative

*** Variation très hautement significative

Le résultat de l'analyse statistique (Tableau 2) pour le facteur « traitement » ($p=0 \leq 0,001$ au seuil $\alpha=0,05$) a donné suite au rejet de l'hypothèse H_0 : les quatre traitements ont une action inhibitrice identique sur la croissance de *F. chlamydosporum* en conséquence il y a une différence très hautement significative entre l'action des quatre traitements.

Le résultat $p=0 \leq 0,001$ au seuil $\alpha=0,05$ pour le facteur temps, implique le rejet de l'hypothèse H_0 : la croissance de *F. chlamydosporum* est constante durant toute la durée de l'expérimentation. Ainsi, nous avons déduit qu'il y a une différence de croissances très hautement significative en fonction du temps.

L'étude statistique des issues de l'expérimentation pour le facteur dose ($p=0 \leq 0,001$ au seuil $\alpha=0,05$) a nié l'hypothèse H_0 : les différentes doses des traitements ont la même action sur

la croissance de *F. chlamydosporum*, impliquant la présence de différences très hautement significatives entre l'action des doses.

L'analyse de l'interaction entre les trois facteurs (traitements, doses et temps) a abouti au résultat : $0,001 \leq P=0,00628 \leq 0,01$ qui décline l'hypothèse positive H_0 : les quatre traitements à différentes doses ont le même impacte inhibiteur sur *F. chlamydosporum* durant le temps d'incubation. En conséquence, la différence d'efficacité des quatre traitements enregistre une variation hautement significative

2.1 Evaluation de l'efficacité des traitements sur la croissance de *F. chlamydosporum*

A partir des figures 28, 29, 30 et 31, on constate une corrélation positive entre l'efficacité des quatre traitements et les doses utilisées sur *F. chlamydosporum* en fonction du temps (après deux jours, quatre jours, sept jours et dix jours).

2.1.1 Après deux jours d'incubation

Après deux jours d'incubation à 25°C, on constate qu'avec la plus faible dose 0,001mg la croissance mycélienne est très importante pour les quatre traitements. La taille moyenne des colonies dépasse les 20mm enregistré avec Celest extra et atteignant sa taille la plus élevée qui est de 38mm avec Acil (Figure 28).

En comparaison avec le témoin (59mm) on a noté une faible inhibition de la croissance fusarienne, en conséquence nous avons enregistré un écart moyen de 39 mm avec Celest extra et 25mm avec Dividend, Raxil 22mm et en dernier Acil avec 20mm. Ainsi, on constate que les quatre traitements n'ont pas pu empêcher la prolifération du mycélium.

Avec la dose 0,01mg, Celest extra est le traitement qui a le plus inhibé la croissance mycélienne avec une taille moyenne des colonies ne dépassant pas les 14mm, suivi par Acil et Dividend avec 19mm et 32mm dans l'ordre. Puis en derniers, Raxil a enregistré l'efficacité la plus faible avec une taille moyenne des colonies de 32mm qui ne diffère du témoin que de 27mm.

A la dose 0,1mg Celest extra devance toujours les autres traitements en termes d'efficacité avec l'inhibition la plus forte (taille moyenne des colonies 7mm) succédé par les autres traitements avec des résultats qui se rapproche entre eux (Raxil et Acil 11mm pour chacun, et Dividend 12mm).

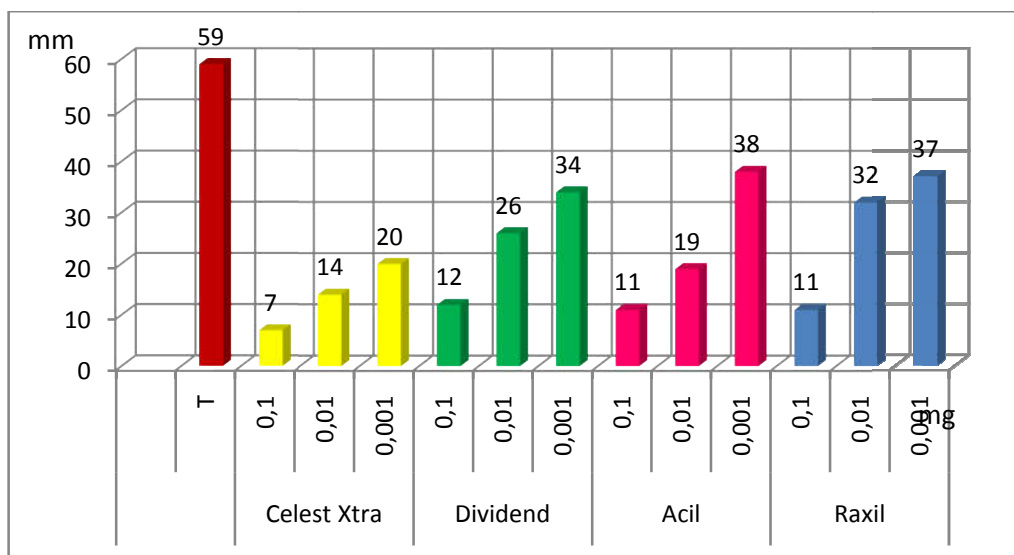


Figure 28: Croissance moyenne des colonies fusariennes après deux jours d'incubation (Original 2016).

2.1.2 Après quatre jours d'incubation

Après quatre jours, les colonies fongiques témoins ont présentés une taille moyenne importante 74mm.

A la concentration la plus forte 0,1mg on a remarqué que les tailles moyennes des colonies s'accroissent d'un écart important par rapport au 2^{ème} jour. En conséquence avec Acil on a relevé 13mm suivi par Dividend avec 8mm puis Raxil 5mm et enfin Celest Extra qui a l'effet inhibiteur le plus notable avec un petit écart de croissance de 4mm (Figure 29).

Avec les dose 0,01mg et 0,001mg, on a remarqué ,toujours, les tailles moyennes des colonies les moins développée dans les boites contenant Celest extra (31mm pour 0,01mg et 41mm).En comparaison avec ce dernier, les autres fongicides ont permis une croissance mycélienne qui se rapproche de la taille moyenne des témoins (74mm) d'autant plus pour la plus faible dose 0,001mg : Dividend 56mm, Raxil 53mm et Acil 50mm.

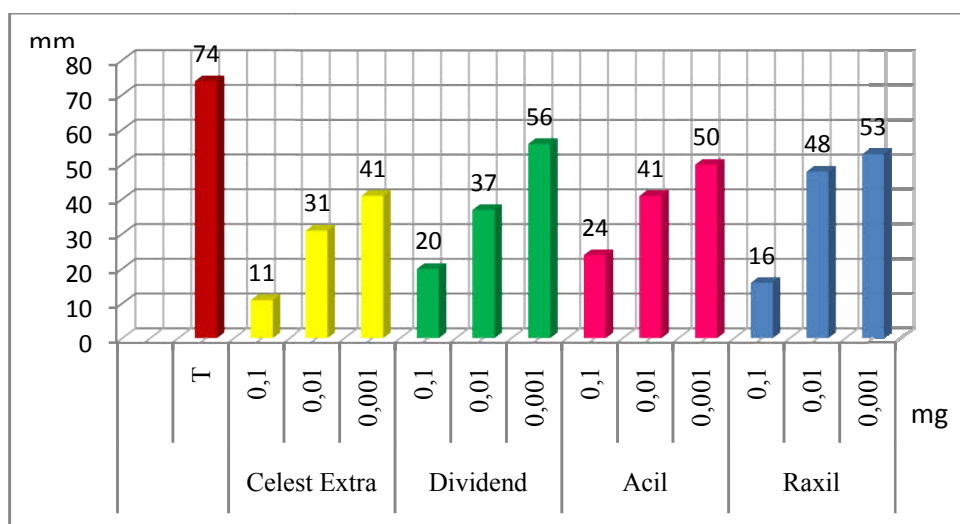


Figure 29 : Croissance moyenne des colonies fusariennes après quatre jours d'incubation (Original 2016).

2.1.3 Après sept jours d'incubation

Après sept jours d'incubation, les colonies témoins ont presque couvert toute la surface de la boîte (88mm).

Avec la dose 0,001mg on a obtenu des resultats contrastés. En effet l'inhibition la plus notable est enregistré avec Celeste extra qui a reduit concédérablement la tailles des colonies (53mm). Les autres traitements se sont révélés a très faible action.

Avec la dose 0,01mg deux traitements ont pu réduire la croissance de *F. chlamydosporum* de moitié (44mm), il s'agit de Celest extra et Raxil (Figure 30). qu'avec, Acil et Dividend.

A la dose 0,1mg Celest extra a devancé les autres traitements qui ont permis une croissance mycélienne supérieure à 17 mm.

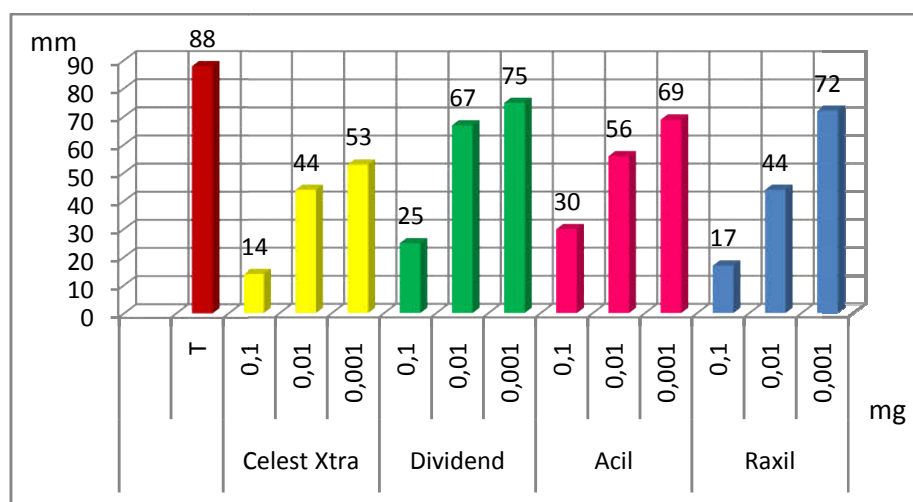


Figure 30 : Croissance moyenne des colonies fusariennes après sept jours d'incubation (Original 2016).

2.1.4 Après dix jours d'incubation

Après dix jours, on a constaté que les colonies fongiques des témoins ont complètement couvert la totale surface des boîtes de pétri (90mm). En comparaison avec les témoins tous les traitements ont limité la croissance du *Fusarium* et ce avec les trois doses utilisées (Figure 31).

Les résultats obtenus avec les doses 0,01mg et 0,001 mg était très limité en terme d'efficacité en particulier ceux obtenues avec Dividend et Acil avec lesquelles on a relevé des tailles moyennes des colonies qui se rapprochent des tailles des colonies témoin.

A la dose 0,1mg, deux traitements, Celest Extra et Raxil, ont donnés des résultats intéressants du fait qu'ils ont maintenus la croissance de *F. chlamydosporum* en dessous de 20 mm.

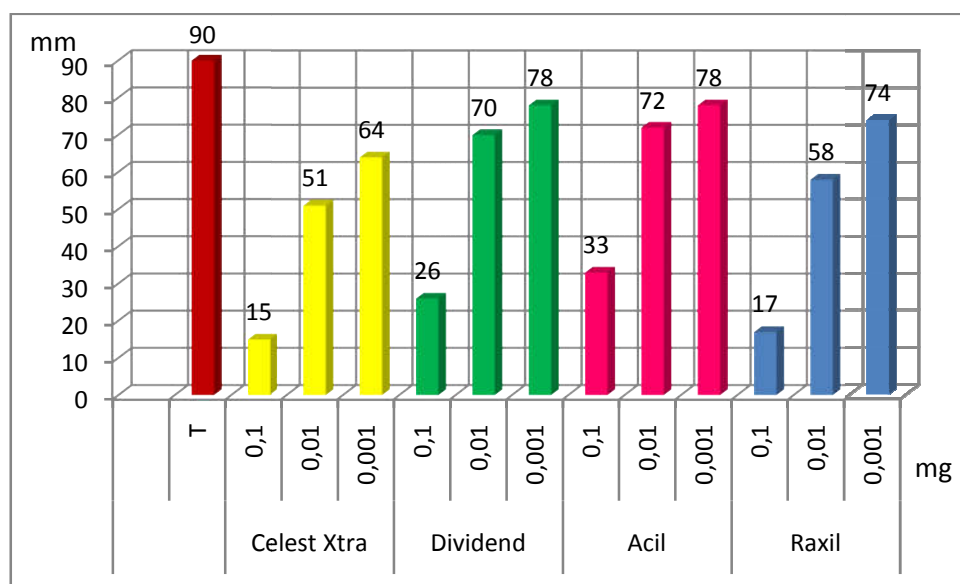


Figure 31 : Croissance moyenne des colonies fusariennes après sept jours d'incubation (Original 2016).

Les différences d'efficacité des quatre produits peuvent être expliquées par :

- ✓ la différence de la matière active contenue dans chaque produit.
- ✓ La formulation contenant différents adjuvants qui diffèrent d'un produit à un autre, où certains adjuvants agissant d'une manière synergique avec la matière active avec laquelle ils sont mélangés.

2.2. Evaluation de l'efficacité des traitements sur semences du blé dur

On a effectué des observations après 2 jours, 4 jours, 6 jours et 10 jours (Figure 32) afin d'estimer le nombre de graines infectées (présentant une croissance fongiques) en prenant en considération trois facteurs : le type de traitement, le temps et la dose.

Les résultats issus de l'expérimentation ont été soumis au test de l'analyse de la variance (ANOVA) à trois facteurs : F1 (Pesticide), F2 (Temps) et F3 (Dose) selon plusieurs critères de classification (Tableau 3).

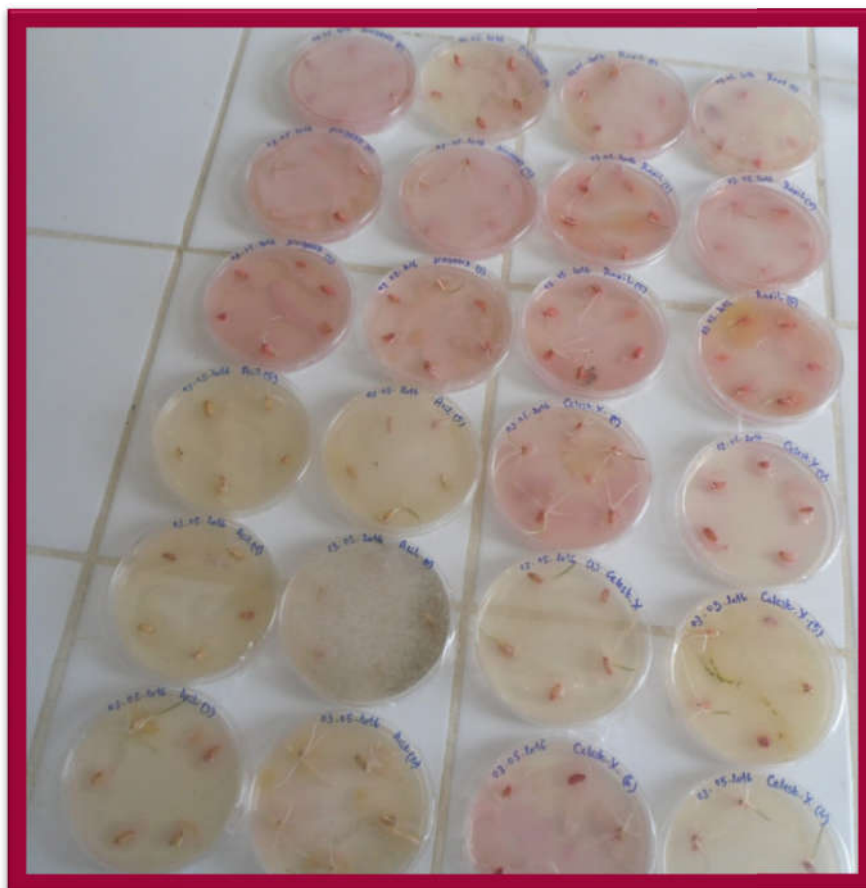


Figure 32 : Photos des résultats de quelques tests sur semence de blé dur (Original 2016).

Tableau 3: Résultat d'analyse statistique de la variance (ANOVA).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	303,222	143	2,12				
VAR.FACTEUR 1	83,167	3	27,722	54,685	0***		
VAR.FACTEUR 2	119,667	3	39,889	78,685	0***		
VAR.FACTEUR 3	6,764	2	3,382	6,671	0,00209**		
VAR.INTER F1*2	6,611	9	0,735	1,449	0,17773		
VAR.INTER F1*3	2,625	6	0,438	0,863	0,52636		
VAR.INTER F2*3	24,458	6	4,076	8,041	0***		
VAR.INTER F1*2*3	11,264	18	0,626	1,234	0,25015		
VAR.RESIDUELLE	48,667	96	0,507			0,712	26,98%

* Variation significative

** Variation hautement significative

*** Variation très hautement significative

$P > 0,05$ il n'y a pas de différence significative

$0,01 < P \leq 0,05$, il y a une différence significative ;

$0,001 \leq P \leq 0,01$, il y a une différence hautement significative ;

$P \leq 0,001$, il y a une différence très hautement significative.

Selon le tableau d'analyse si dessus l'interaction entre les trois facteurs a abouti au résultat $P=0,25015 \geq 0,05$ au seuil $\alpha = 0,05$ impliquant l'acceptation de l'hypothèse H_0 : l'efficacité des quatre traitements est égale de fait on conclut qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements.

Par contre l'interaction entre les deux facteurs dose et temps a donné le résultat $P=0 \leq 0,001$ qui exprime le rejet de H_0 : l'augmentation des doses ne réduit pas le taux d'infection au fil du temps ; ainsi l'augmentation des dose accroît l'efficacité du produit au fil du temps avec une différence hautement significative.

A partir des histogrammes qui suivent nous avons décelé une corrélation positive entre l'efficacité des quatre produits et les doses utilisées sur la semence.

Les grains non traitées ont présentés un pourcentage d'infections important dues aux champignons pathogènes et/ou saprophytes.

2.2.1 Après deux Jours d'incubation

Avec le quart des doses recommandées par les fabricant, on constate que le traitement qui présente le taux le plus élevé d'infection en comparaison le témoin (80%) est Dividende avec 60% des graines infectées suivis par Acil et Raxil avec un taux de 40% puis Celest extra avec un taux de 20%. Ainsi, même à faible dose les traitements utilisés ont réduit

le taux de graines infecté lors de la germination. Le résultat le plus intéressant est obtenu avec Celest extra qui a réduit de 60% le taux d'infection fongique par rapport aux graines non traité (témoins) (Figure 33).

En utilisant la moitié de la dose recommandée du traitement (100ml/quintal), Raxil c'est révélé le traitement le moins efficace avec 60% des graines infectées suivi par Acil et Dividende avec un taux d'infection de 40%. Par contre Celest extra c'est révélé efficient à 100% du fait qu'on a relevé un taux d'infection nul 0%.

L'utilisation des traitements à la dose recommandée pour chacun n'a donnée d'effet total après deux jour d'incubation qu'avec Celest extra mais ce qu'on constate c'est qu'à cette dose les traitements sont plus efficace comparés au doses précédentes Acil, Dividend et Raxil ont montré un taux d'infection de 20%.

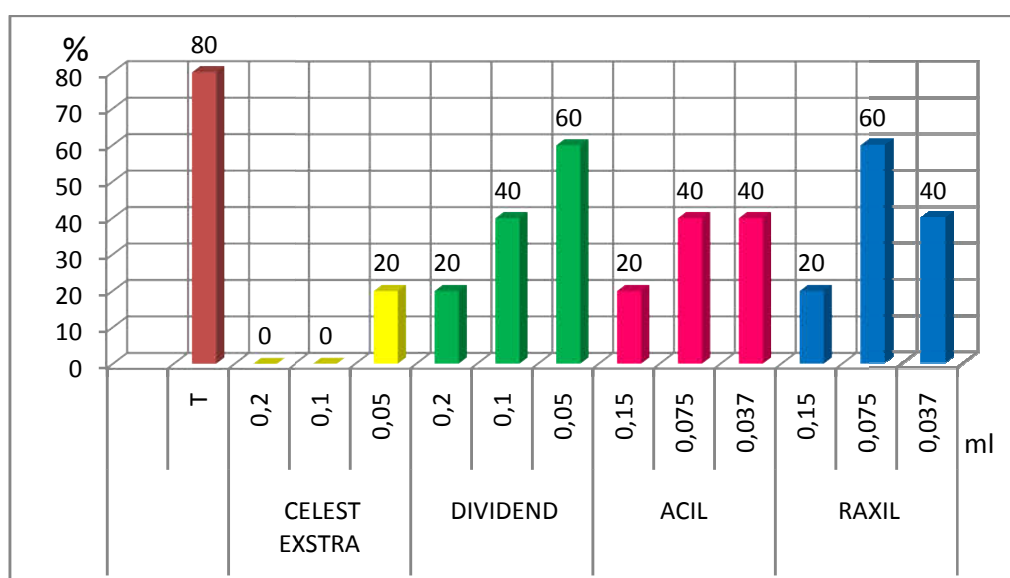


Figure 33 : Portion de graines infectées après deux jours d'incubation (Original 2016).

2.2.2 Après quatre jours d'incubation

Après quatre jours d'incubation, nous avons enregistré une hausse des taux d'infection des graines au niveau des graines traitées avec les trois doses des trois traitements Dividend, Acil et Raxil une hausse dépassant les 20% révélant une inefficacité accrue en particulier avec le demi dose et le quart de dose recommandée (Figure 34)

A l'encontre des autres résultats Celest extra a enregistré une stabilité des niveaux d'infections en particulier avec la forte dose au il a gardé une efficacité absolu (protection totale : 0% infection).

On note que le témoin a atteint un taux de 100% seulement en quatre jours.

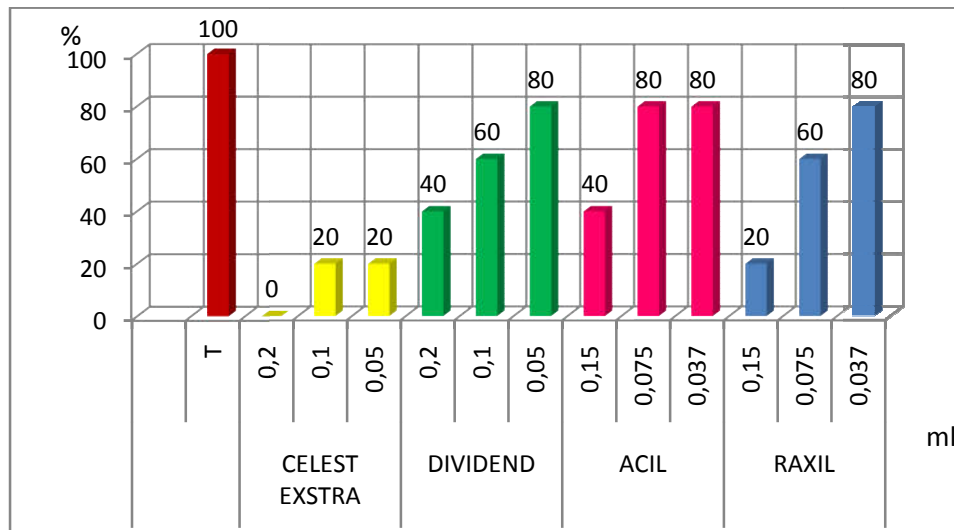


Figure 34 : Nombre de graines infectées après quatre jours d'incubation (Original 2016).

2.2.3 Après sept jours d'incubation

Les résultats de la troisième observation représentés par l'histogramme (Figure 35) (après 7 jours d'incubation) ont montré une infection totale (100%) des graines traitées avec le demi dose, tandis que seulement 20% des graines ont été préservées avec le quart de dose et ce pour les trois traitements Dividend, Acil et Raxil. ces dernier même à leur dose usuelle ils se sont montré insuffisamment efficace. Ainsi, Raxil a préservé 60% des graines, Dividend qui a préservé 40% des graines germées et en dernier Acil qui n'a préservé que 20% des graines.

Cependant avec Celest extra on a observé une augmentation des taux d'infections de 20% avec toutes les doses.

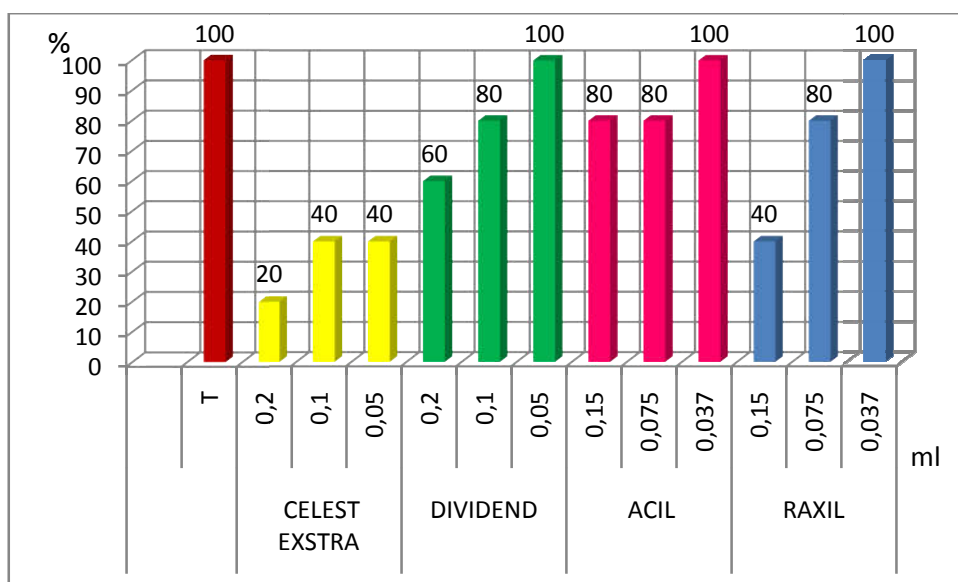


Figure 35 : Nombre de graines infectées après sept jours d'incubation (Original 2016).

2.2.4 Après dix jours d'incubation

L'observation effectuée après 10 jours de traitement de semences de blé révèle les résultats représentés par l'histogramme de la figure (36).

Après dix jours du début de l'expérimentation Acil a affiché une défaillance totale comme le taux d'infection a atteint les 100% des graines traité avec les trois doses. Aussi Dividend et Raxil ont affiché la même tendance avec le demi et le quart de la dose et d'un degré moindre avec la dose recommandée (40% des graines préservées).

Le traitement qui a le mieux protégé les semences c'est Celest extra avec qui on a noté 60% de semence préservé avec les deux faible doses et 80% des semences protégé avec la dose recommandé par le fabricant.

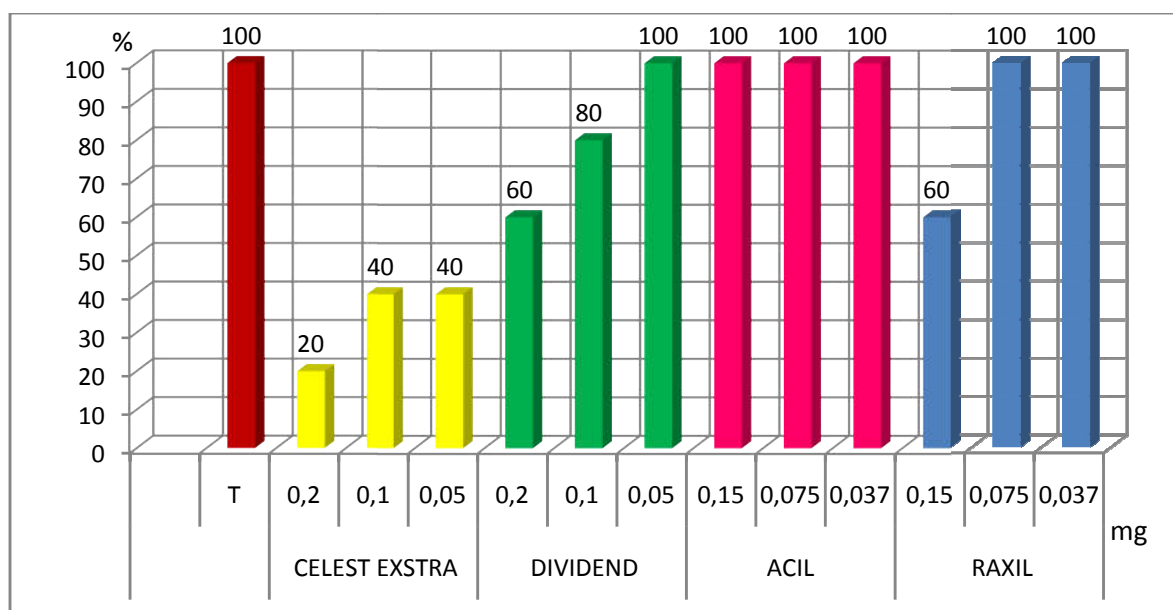


Figure 36: Taux de graines infectées après dix jours d'incubation (Original 2016).

3. Evaluation comparée des traitements sur le terrain

Plusieurs paramètres ont été évalués et analysés à savoir :

- le taux de germination par m^2 ;
- le nombre de thalle par m^2 ;
- le nombre d'épis par m^2 ;
- le nombre d'épis fusariés par m^2 .

3.1. Taux de germination

Ce paramètre a été mesuré au stade levé. Nous montre de légère différence entre les taux de graines germées par mètre carré selon le traitement utilisé, on constate que les parcelles traitées avec dividende (37,54%) et Raxil (37,45) ont donné le plus de plant en comparaison avec la parcelle témoin. Par contre Celest Extra et Acil ont donné des résultats en dessous de ceux du témoin (figure 37).

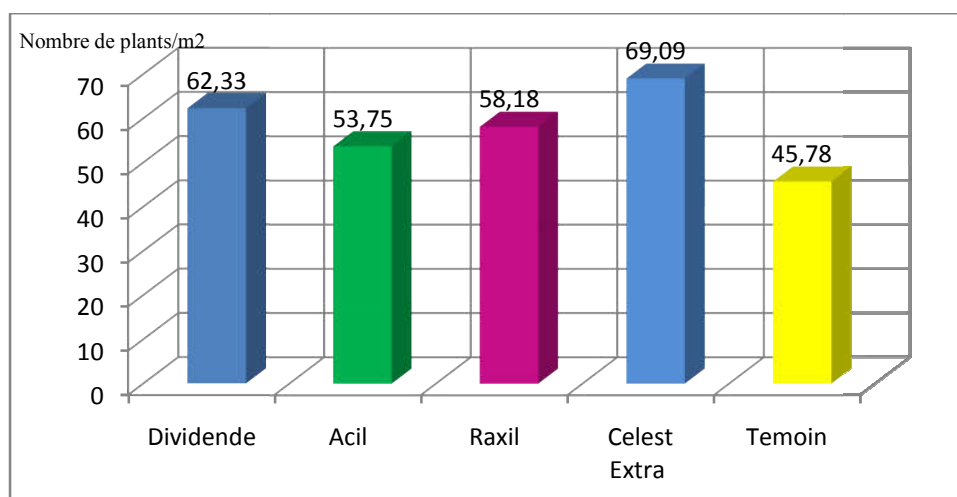


Figure 37 : Taux de graines germées par m² (Original 2016).

3.2 Nombre de talles

Le classement des moyennes de nombre de talle par plant fait ressortir que traitement réalisé avec Celest extra présente le résultat le plus important avec 612 talles /m². Ces résultats sont obtenus grâce à la protection, du système racinaire, par les matières actives constitutives du Celest Extra (Figure 38).

Il est suivi juste après par le traitement Dividend (570 talles / m²). Ensuite, viennent les traitements Raxi, Acil et le Témoin avec respectivement 550 ; 538 et 421 talles / m².

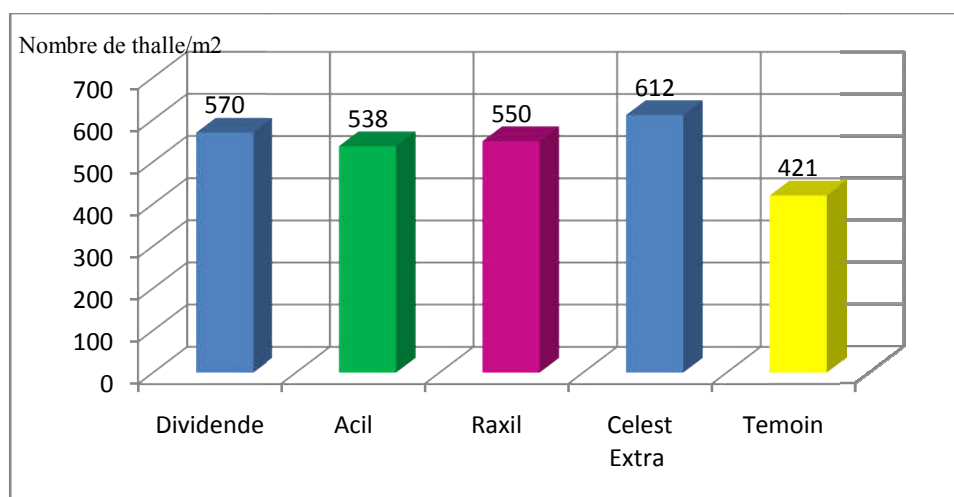


Figure 38: Nombre de talles formés par m² (Original 2016).

3.3. Nombre d'épis

Le comptage des épis, par unité de surface (m^2), est effectué au stade épiaison et leurs moyennes sont représentées dans la figure 39.

Le classement des moyennes a fait ressortir que le traitement avec Celest Extra a donné le nombre d'épis le plus élevé qui est de 278,88 épis/ m^2 . Les traitements avec Acil, Dividend et Raxil ont donné respectivement 254,68 ; 245,78 ; 213,59 épis / m^2 . La plus modeste valeur est enregistrée aux niveaux des échantillons non traités.

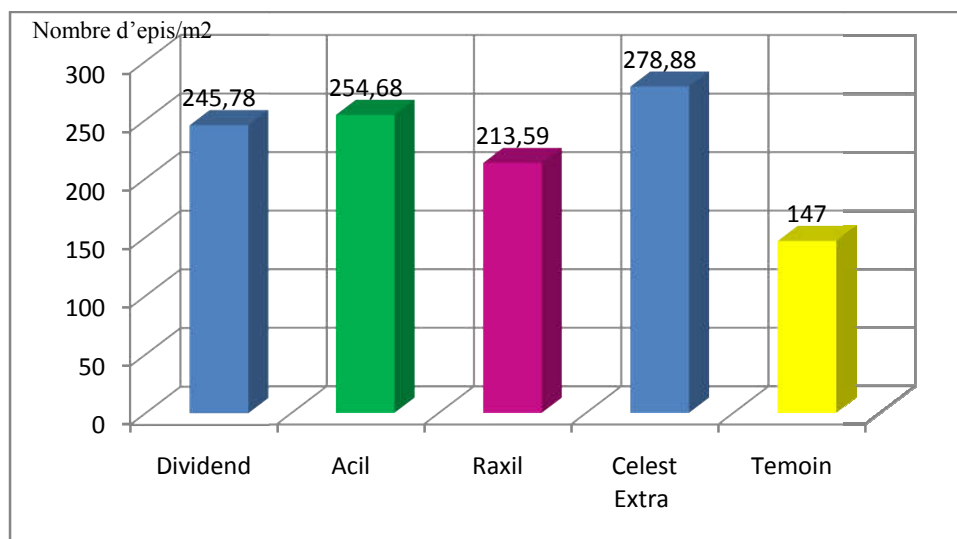


Figure 39: Histogramme représentant le nombre d'épis par mètre carré (Original 2016).



Figure 40: Photo des parcelles expérimentales à l'épiaison illustrant les différences enregistrées à la fin de l'expérimentation (Original 2016).

3.5 Nombre de grains par épis

Pour le nombre de graine par épi, il ressort de la figure 41 que la moyenne la plus élevée est enregistrée dans le traitement avec Celes extra avec 49,84 graines / épi. Ils sont suivis par les traitements Dividend, Raxil et Acil avec respectivement 47,92 ; 41,44 et 37,39 graines/ épi. Le témoin non traité offre la plus faible moyenne 35,36 graines/épi. Ces résultats sont nettement supérieurs a ceux observés à la station de L'ITGC de Sétif en 2014, sur la variété Boussalem , où 33,66 graines / épi sont obtenus dans le traitement avec Celest Extra (Syngenta, 2016).

Bérubé (2010), note que les épillets infectés par le *Fusarium* se dessèchent prématurément et sont souvent blanchis et stériles ce qui réduirait certainement le nombre de graine.

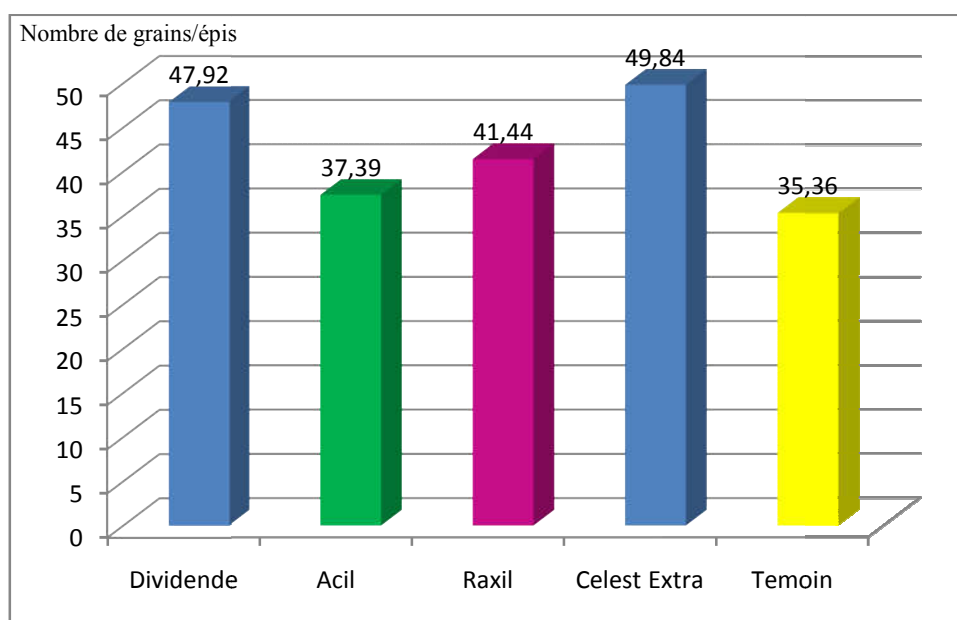


Figure 41 : Nombre moyen de grain par épi de blé dur (Original 2016).

3.6. Taux d'épis fusariés

Le résultat du comptage d'épis fusariés nous a montré que le témoin est l'élément qui a enregistré la portion la plus élevée d'épis fusariés 16,07% par rapport aux parcelles traitées avec Raxil (14,55%) ; Dividend (12,56%) et Acil (13,81%). Par ailleurs, les échantillons traités avec Celest extra ont donné le plus faible taux d'épis fusariés le moins avec 7,20% (Figure 42).

Ces résultats signifient que le traitement de semence n'est pas la solution absolue pour contrôler la fusariose du blé.

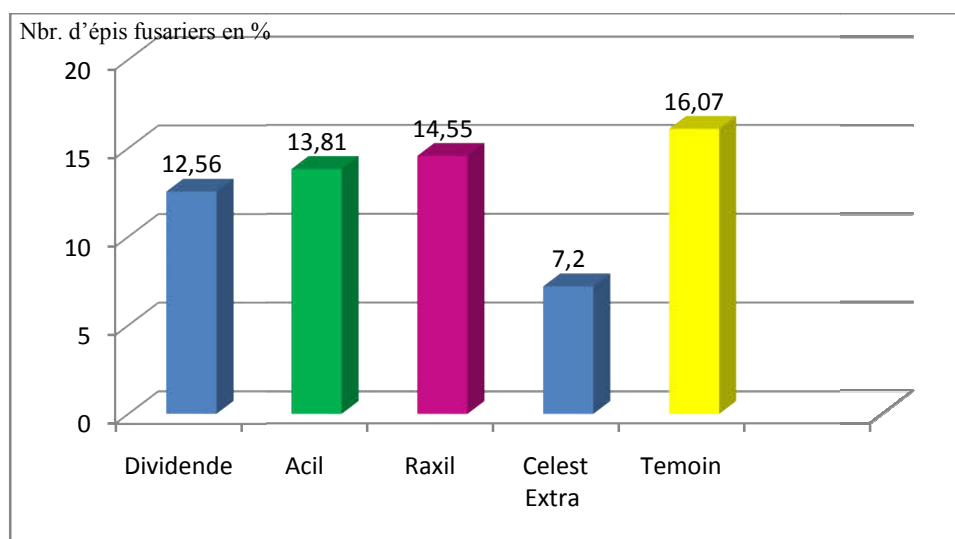


Figure 42: Nombre d'épis fusariés/m² (Original 2016).

3.5 Poids de mil graines (PMG)

Le PMG le plus modeste a été noté au niveau du témoin avec 38,09 g. Pour les échantillons traités avec Acil, Raxil et Dividend ; les valeurs du PMG se rapprochant qui sont 41,03, 42,17 et 42,99 g respectivement (Figure 43).

Le meilleur PMG est obtenu dans traitement réalisé avec le Celest extra qui est 45,03gr. Cette valeur est supérieure à celle observée à la station de l'ITGC de Guelma sur le blé traité avec le Celest extra qui est de 43 g (Syngenta, 2014).

Le fongicide Celest extra contient deux matières actives ; Fludioxinil et Difenoconazole. Le Fludioxinil est efficace sur les fusarioses, l'helminthosporiose et la septoriose. Le Difenoconazole est efficace sur les caries, les fusarioses, le charbon du blé et d'orge, ce qui a permis de donner de meilleurs résultats avec ce traitement (Syngenta, 2016).

Prescott et *al.* (1987) à noter que d'autres maladies hors que la fusariose, telles que la septoriose et les rouilles, peuvent contribuer dans la diminution du PMG.

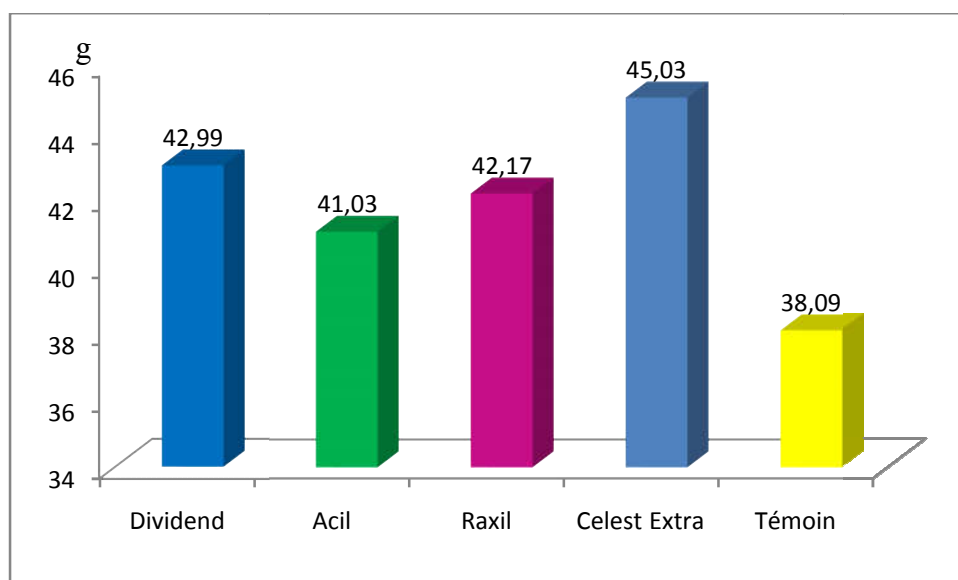
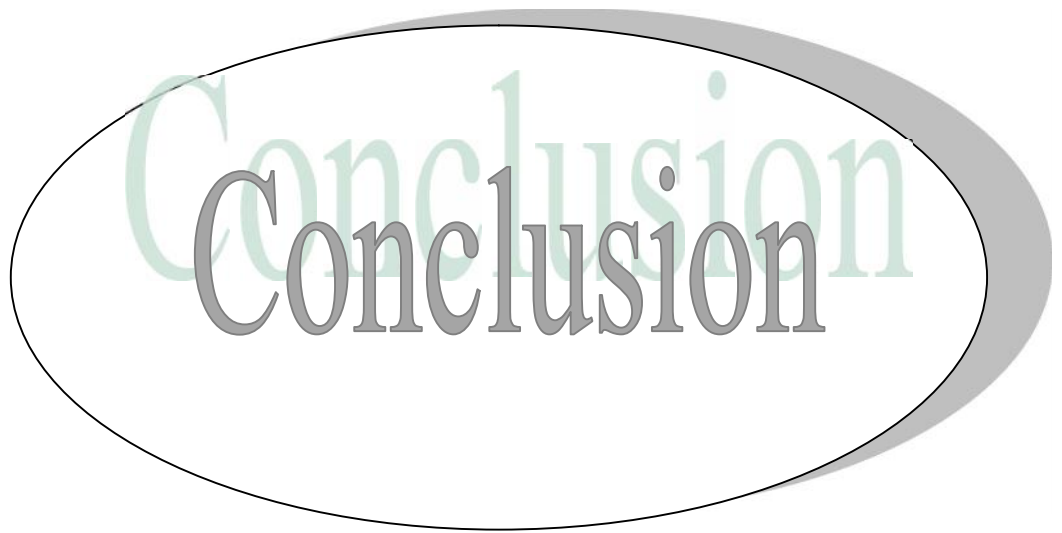


Figure 43: Poids de mille graines PMG issu des différentes parcelles (Original 2016).



Conclusion

Les maladies inféodées aux céréales, provoquent des pertes de rendements croissantes au fil des années. Il existe de nombreuses espèces du genre *Fusarium* qui affectent les céréales. Ces champignons forment un complexe de maladies qui infectent les grains, les semis et les plants adultes. Parmi les espèces inculpées dans la fusariose sont *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. tricinctum*, ... L'opération des traitements de semences s'inscrit entre l'ensemble d'actions visant à réduire le risque de la fusariose du blé.

Notre travail a été initialiser dans le but de mettre en évidence les espèces fusariennes inféodées aux semences, du blé dur, produites localement. Ainsi que l'étude d'efficacité de quatre fongicides sur cette maladie

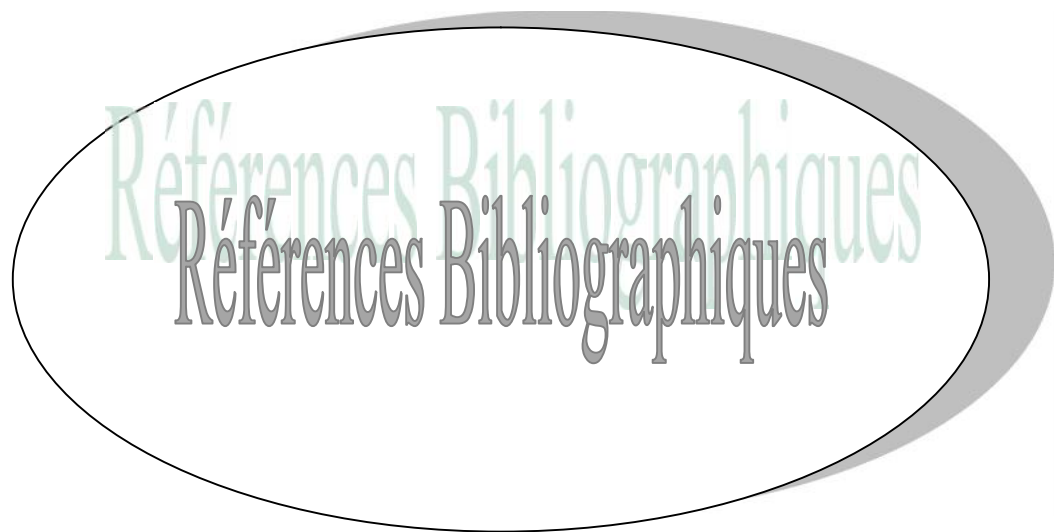
Le résultat de l'isolement au laboratoire a abouti à l'identification de l'espèce *Fusarium chlamydosporum* comme une espèce présente sur les semences locales algériennes. Cette dernière est connue l'espèce tellurique des régions semis arides et arides (Leslie et Summerell, 2006).

L'étude au laboratoire de l'interaction de *F. chlamydosporum* avec les traitements utilisés a révélé que les faibles doses des traitements (0,01 mg et 0,001 mg) sont d'une efficacité réduite durant toute l'expérimentation. Par contre, à la dose 0,1 mg les deux traitements : Celest Extra et Raxil ont donné des niveaux d'inhibition du développement fongique très appréciable. Les essais sur semence ont prouvé que Celest Extra est le meilleur produit et qui a réussi à protéger 80% des semences avec la dose 200ml/ql et 60% des graines avec la moitié et le quart de la dose initiale. Les essais sur le terrain ont confirmés les résultats du laboratoire avec tous les paramètres étudiés. Les parcelles témoins (non traités) ont données les résultats les plus faibles sur tous les paramètres étudiés . mais en conséquence portion d'épis fusariés la plus élevée .

A la lumière de ces résultats il nous est apparu que les interventions efficaces contre la fusariose nécessite une combinaison de moyens de lutte incluant lorsque justifié l'application de fongicides. La stratégie d'intervention optimale ne doit pas reposer uniquement sur l'usage de fongicides. De plus, la plupart des autres moyens de lutte n'engendre pas de cout supplémentaire, exemple : choix des cultivars ; travaux culturaux ; choix de la semence certifiée.

Afin d'aboutir à une agriculture durable et pour optimiser l'utilisation de ces produits phytosanitaires il faut qu'il y est des études plus approfondies afin de déterminer les doses nécessaires et précises. Comme, il faut cerner les différent facteurs qui interviennent et contribuent à la propagation de cette maladie, car l'utilisation de ces produits à forte doses

peut engendrer des résistances et dans ce cas la durabilité de notre agriculture sera compromise.



Références Bibliographiques

1. **ACTA, 2010.** *Guide pratique de décence des cultures.* 15^{eme} édition, Paris, p 575.
2. **Arsan MR, Eraky Amal MI, 2011.** Aggressiveness of certain *Fusarium graminearum* isolates on wheat seedlings and relation with their trichothecene production. *Plant Pathology* 10(1), 36-41.
3. **Axel O., 2010.** *Fusariose : Impasse sur le traitement en l'absence de risque.* Edi. ARVALIS, France, pp 1-2.
4. **Axel O., 2010.** *Nuisibilité des maladies : Septoriose au nord, rouille brune au sud.* Edi. ARVALIS, France, pp 1-3.
5. **Axel O., 2010.** *Rouille jaune et oïdium Moins fréquentes mais une nuisibilité potentielle forte.* Edi. ARVALIS, France, pp 1-2.
6. Bai G. et al., Reduced virulence of Trichothecen-nonproducing mutants of *Giberellazeae* in wheat field test
7. **Bareault J., Duval B., Parent C., Pouleur S., Rioux S., 2009.** Maladies des céréales et stratégies de lutte. *Bull. Info. Grandes Cult., Québec, N°11, p 10.*
8. **Boulal H., Zaghoulane O., El Mourid M. et Rezguis, 2007.** *Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie).* Ed. ITGC, INRA et ICARDA, 176p.
9. **Champeil, A., Doré, T., Fourbet, J.F. 2004.** *Fusarium head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by Fusarium in wheat grains.* *Plant Science* 166, 1389-141.
10. **Chester, K.S., 1946.** The nature and prevention of the cereal rusts as exemplified in the leaf rust of wheat. In *Chronicobotanica*. Waltham, MA, USA. 269 pp.
11. **Chouaki S., Bessedik F., Chebouti A., Maamri F., Oumata S., Kheldoun S., Hamana M. F., Douzene M., Bellah F. et Kheldoun A., 2006.** *L'état des ressources phytogénétiques.* Edi. INRA Algérie N° 2, pp 8-9 1.
12. **Coffman R., 2008.** Gates Foundation awards Cornell \$26.8 million to lead global
13. **Comeau A. et Makkouk K.M., 1988.** Recent progress in barley yellow dwarf virus research: Interactions with diseases and other stresses. *Rev. Rachis* N° 7, pp 5-11.
14. **Cottart J., 2009.** *Lutter contre les maladies des céréales : des stratégies à adapter régionalement.* Edi. ARVALIS, France, p 22.
15. **Doohan F. , Brennan J., Fagan B., Van Maanen A., Cooke B., 2003.** Studies on in vitro growth and pathogenicity of European *Fusarium* fungi. *European Journal of Plant Pathology* 109, 577–58.
16. **Drechsler C.H., 1923.** *Some graminicolous species of helminthosporium.* *Agr. Res.* 24, 641.
17. **Engle S. J., Lipps E. P. et Mills D., 2004.** Tan Spot: Yellow Leaf Spot or Blotch. *Bulletin AC- 50-04, Extension Fact Sheet ,Ohio State University, p 2.*
18. **Eriksson, J., 1899.** Nouvelles études sur la rouille brune des céréales. *Annls Sci. Nat., Bot., Sér. 8,* pp 241-288.
19. **Eyal Z., Scharen A. L. , Prescott J. M. et van Ginkel M. ,1987.** *The Septoriadiseases of Wheat: concepts and methods of disease management.* D.F.. CIMMITY, ISBN 968-6127-06-2, Mexico, editing : Gene P. Hettel, pp 52.

20. **Ezzahiri B., 2001.** Les maladies du blé identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. *Bull. Infor. et de Liai., Rabat, Vol.2, N° 77, p 4.*
21. **Ezzahiri B., 2010.** Maladies fongiques foliaires du blé. *Rev. Agri. du Magh. , RabatN°41, pp 68-74.*
22. **Ezzahiri B., Diouri S. et Roelfs A.P., 1992.**The Role of the alternate host, *Anchus*
23. **Feldman M., 2001.***Origin of Cultivated Wheat.*Edi.Bonjean A.P. etAnguse W.J. Andover, Angleterre, pp 3-58.
24. **Fernando WGD, Paulitz TC, Seaman WL, Dutilleul P, Miller JD, 1997.** Head blight gradients caused by Gibberellazeae from area sources of inoculum in wheat field plots. *Phytopathology* 87, 414-421.
25. **Gautier X., 2004.** *Protection fongicide des céréales à paille : campagne 2004.* Edi. ARVALIS, France, p 7.
26. **Harlan J.R., 1971.** Agricultural origins:centers and non centers. *Rev. Science N°174, pp 468-474.*
27. **Jlibene M., 2009.** *Amélioration génétique du blé tendre au Maroc à L'aube du 21^{ème} siècle.* Edi. INRA, Maroc, p 76.
28. **Johnson R., 1981.***Durable disease resistance.* Eds. Jenkynet Plumb, Strategies for control of cereal diseases, p 55063.
29. **Jones R. K. et Mirocha C. J., 1999.** Quality parameters in small grains from Minnesota affected by *Fusarium* head blight.*Rev. Plant Disease N° 83, pp 506-511.*
30. **Khasanov B.A., 1988.**Yellow leaf spot in cereals, caused by *Pyrenophoratrutici-repentis*(Died.)Drechs. *Rev. Mikologiya i Fitopatologiya N°22 Vol. 1, pp78-83.*
31. **Labbani Z., 2007.** *Réorientation androgénétique des microspores de Triticumturgidumsubsp.durum (Desf) Husn. L'albinisme peut-il être partiellement maîtrisé ?.*Thqse Doc. D'Etat Bio. Université Mentouri, Constantine, p 130.
32. **Lebreton J.C., Le Graët S., Guibert S., Masson F. Rigaud J.P., Pierre P. et Rocton L.** *La culture de l'orge d'hiver.* Edi. Cham. Agri. Mayenne (France), pp 1-4.
33. **Leslie J. et Summerell B., 2006.** *The Fusarium Laboratory Manual,* Edblackwellpublishing, 2006, pp 388.
34. **Lev-Yadun S., Gopher A. et Abbo S., 2000.**The cradle of agriculture. *Rev. Science, N° 288, pp 1602-1603.*
35. **Line, R. F., 2002.**Stripe rust of wheat and barley in North America: A retrospective historical review.*Annu. Rev. Phytopathol. N° 40, pp 75-118.*
36. **Mas J. F., 2008.** Les culturales Sud. *Rev. ARVALIS N° 6, p 20.*
37. **Masson E. et Moquet M., 2009.** *Protection contre les maladies.* Edi. ARVALIS, France, p 6.
38. **Masson E., 2006.** Le premier traitement fongicide sur blé : La septoriose est bien présente. Edi. ARVALIS, France, pp 1-2.
39. **Maumené C., 2009.** Lutter contre les maladies des céréales : des stratégies à adapter régionalement. . Edi. ARVALIS, France, p 22.
40. **Mc Mullen M, Jones R, Gallenberg D, 1997.**Scab of wheat and barley: A Re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease* 81(12), 1340-1348.
41. **Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., HadjSahraoui A. et Harkati N., 2006.**

- Adaptation des variétés de blé dur (Triticum durum Desf.) au climat semi-aride*. Ed. INRA Algérie, Vol. 17 N° 4, pp 507-513.
42. **ONPV, 2008.** Bilan ravageurs et maladies des céréales. *Bull. Infor. et de Liai.*, N° 11, p 5.
 43. **Parry D. W., 1990.** *Plant pathology in agriculture*. Ed. British library cataloguing in publication data, USA, P 385.
 44. **Prévost P., 2006.** *Les bases de l'agriculture*. 3^{ème} édition Lavoisier, 123p.
 45. **Raynal G., 1989.** *Ennemis et maladies des prairies*. Ed. INRA, Paris, pp 43-49.
 46. **Simon H., Codaccioni P. et Lecoeur X., 1989.** *Produire des céréales à paille*. Ed. Lavoisier, Paris, p 333.
 47. **Singh R.P., Huerta-Espino J. et Roelfs A.P., 2002.** *The wheat rusts*. In B.C. Curtis, S. Rajaram and H. Ed. Gómez Macpherson Bread improvement and production. FAO Plant Production and Protection Series. Rome: Food and Agriculture Organisation of the United Nations.
 48. **Sutton J.C. et Hunt L.A., 1990.** Maladies des feuilles du blé d'automne. Fiche *Technique* N° 90-008, Université de Guelph, Canada, p7.
 49. **Trottet M., 2007.** Incidence des contaminations tardives du blé tendre par *Fusarium culmorum* WNallliFFN)NlliAIRQD:1-W 7&7 :linW l1-W IaliinW01107)l1-NaliA-Lessard, F.& Barreau, C. Progrès et perspectives de la recherche sur les mycotoxines de Fusarium dans les céréales. Colloque Fusariotoxines des Céréales, Arcachon, p 11.
 50. **Xu X, Parry DW, Nicholson P, Thomsett MA, Simpson D, Edwards SG, Cooke BM, Doohan F., Brennan J., Moretti A., Tocco G., Mule G., Hornok L., Giczey G., Tatnell J., 2005.** Predominance and association of pathogenic fungi causing Fusarium ear blight in wheat in four European countries. *European Journal of Plant Pathology* 112, 143-154.
 51. **Xue A.G., Voldeng H.D., Savard M.E., Fedak G., Tian X., et Hsiang T., 2009.** Biological control of fusarium head blight of wheat with Clonostachys rosea strain ACM941. , *Canadian Journal of Plant Pathology* 1V° 31vol. 2, pp 169-179.
 52. **Zahri S., Farih A., Badoc A. et Douira A., 2008.** Efficacité de plusieurs fongicides contre la septoriose du blé. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 1V° 147, pp 39-48.

Résumé

Les maladies inféodées aux céréales, provoquent des pertes de rendements croissantes au fil des années.

Notre travail a été initialisé dans le but de mettre en évidence les espèces fusariennes inféodées aux semences, du blé dur, produites localement. Ainsi que l'étude d'efficacité de quatre fongicides sur cette maladie il s'agit de Raxil, Acil, Dividend et Celest Extra.

Le résultat de l'isolement au laboratoire a abouti à l'identification de l'espèce *Fusarium chlamydosporum* comme une espèce présente sur les semences locales algériennes. Cette dernière est connue l'espèce tellurique des régions semis arides et arides (Leslie et Summerell, 2006).

L'étude au laboratoire de l'interaction de *F. chlamydosporum* avec le traitement Celest Extra a donné des niveaux d'inhibition du développement fongique très appréciable.

Les essais sur semence ont prouvés que Celest Extra est le meilleur produit et qui a réussi à protéger 80% des semences avec la dose 200ml/ql et 60% des graines avec la moitié et le quart de la dose initiale.

Les essais sur le terrain ont confirmés les résultats du laboratoire avec tous les paramètres étudiés. Ainsi, Celest Extra a enregistré le taux de germination le plus élevé (69,09 plants/m²), le tallage le plus important avec 612 thalle/m² et le nombre d'épis par mètre carré le plus appréciable (278,88) dont seulement 7,2% sont fusariés. Ces résultats ont donné des répercussions positives sur le rendement en quantité (49,84 graines par épis) et en qualité (PMG 45,03g).

Mot clés : blé, maladie, Fongicides, *Fusarium*, céréales.

Abstract

The fusarium diseases on cereals, causes increasing losses of returns over the years. Our study was initialized in order to highlight the fusarium species restricted to seeds, durum wheat produced locally. As the efficacy study of four fungicides on this disease that are Raxil, Acil, Celest Extra and Dividend.

The result of the isolation in the laboratory resulted in the identification of species *Fusarium chlamydosporum* as a species present on the Algerian local seeds. This species is known as telluric species of arid and semi-arid regions (Leslie and Summerell, 2006).

The laboratory study of the interaction between *F. chlamydosporum* and the treatment Celest Extra gave a very significant level of inhibition of fungal development.

Tests on seed proved that Celest Extra is the best product and that has succeeded to protect 80% of the seeds with the dose 200ml / ql and 60% of seeds with half and a quarter of the initial dose.

The field tests have confirmed the laboratory results with all parameters studied. So Celest Extra recorded the highest germination rate (69.09 plants / m²), the largest tillering thallus with 612 / m² and the most significant number of ears per square meter (278.88) including only 7.2% are infected by fusarium. These results have given a positive impact on the amount yield (49.84 grains per ear) and quality (PMG 45.03 g9).

Key words: wheat, disease, Fungicides, *Fusarium*, cereals.