



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Microbiologie

قسم : الميكروبيولوجيا

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Mycologie et Biotechnologie Fongique

Intitulé :

**Evaluation de la résistance variétale de neuf
variétés de blé tendre à l'égard
de deux souches de *Fusarium culmorum***

Préparé par : AYAD Maroua

MAYANE Meriem

Le :09/2021

Jury d'évaluation :

Président du jury : BECHKRI Sakina (Maître de conférences A UFMC1).

Rapporteur : ABD ELAZIZ Ouided (Maître de conférences B UFMC1).

Examineurs : BELLIL Inès (Maître de conférences A UFMC1).

*Année universitaire
2020- 2021*

Remerciement

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude de reconnaissance à Dieu, que ta volonté soit faite .Tu as été notre lumière, notre guide et secours .Tu n'as cessé de montrer le bon chemin, le chemin de la vérité, du travail et de la réussite. Que ce travail honore et glorifie ton nom.

Nous voudrions aussi par ces lignes, exprimer nos reconnaissance envers notre professeur, Madame « **BELLIL Ines**», de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université des Frères Mentouri Constantine 1 ; pour son encadrement, sa disponibilité mais surtout ses encouragements quel soient sur le plan professionnel ou bien personnel.

Il est agréable d'exprimer notre pleine gratitude pour votre simplicité et votre générosité preuve de votre qualité humaine et scientifique.

Nous tenons à exprimer notre respectueuse gratitude à madame **BECHKRI Sakina** de la faculté des sciences de la Nature et de la Vie de l'université des Frères Mentouri Constantine1 de nous avoir fait l'honneur d'accepter et de présider notre jury.

Mes sincères remerciements sont adressés à madame **ABD ELAZIZ Ouided** d'avoir accepter de faire partie du jury et d'examiner notre travail.

Un grand merci à **Mr. BOUANAKA Hamza** Doctorant de l'Université des Frères Mentouri Constantine 1 pour son aide et leur conseil et encouragements.

Nos remerciements vont aussi à tous ceux qui ont aidé ou qui ont attribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Maroua et Meriem



Dédicace

Avec un énorme plaisir, Un cœur ouvert et une immense joie. Je remercie, tout d'abord, Dieu tout puissant de m'avoir donné la force

et le courage pour accomplir ce modeste travail que je dédie :

A ma très chère mère, source de tendresse et d'amour pour leurs soutiens moral et ses prières pour avoir la force et la volonté pour terminer ce travail.

A mon très cher père, pas un mot ne pourrait exprimer ma gratitude pour ton soutien indéfectible tout au long de ma vie, pour tous tes encouragements et tes sacrifices...

Que dieu les gardes et les protèges.

A mes chers frères, Et mes chères sœurs :

Qu'ils trouvent l'expression de mes grands attachements.

Qu'ils se trouvent le témoignage de mes immenses affections.

En leurs souhaitant la réussite et le bonheur.

A mon partenaire de travail, Meriem.

A mes chères amies :

Nada, Rayane, Meriem, Nihed, Amira,

Hanane, Amel

Maroua

Dédicace

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et de bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire

"Ya Kayoum"

J'ai le grand honneur de dédier modestement le fruit de mes longues années d'études tout d'abord :

A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère ...

A mon père, écolle de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager à me donner l'aide et à me protéger.

Que dieu les gardes et les protèges.

A mes adorables sœurs Bouchra et Maram

A mon très chère frère Siradj

A ma grand-père, Dieu prolonge leur âge.

A mon binôme Maroua, et à toute sa famille.

A tous ceux qui me sont chères, que j'aime et qui m'aiment.

Meriem

Table de matières

List des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction.....	1

Partie I : Etude bibliographique

Chapitre 1 : Généralité sur le blé tendre

1- Importance économique du blé	4
1-1-Dans le monde	4
1-2- En Algérie	4
2- Historique.....	5
3- Origine génétique du blé tendre	6
4-Classification botanique du blé tendre	7
5- Structure et composition biochimique du grain du blé	8
5-1- Structure du graine	8
5-1-1- L'albumen	9
5-1-2-L'enveloppe	9
5-1-3- Le germe	10
5- 2- Composition biochimique.....	10
6- Cycle biologique de développement	11
6-1- Période végétative	11
6-1- 1- Phase de germination -levée	11
6-1-2- Phase levée- tallage.....	12
6-2- Période reproductrice	12

6-2-1- Phase montaison- gonflement	12
6-2-2- Phase épiaison- floraison	13
6- 3- période de formation et de maturation du grain	13

Chapitre 2 : Les maladies phytopathogènes

1- Les principales maladies fongiques du blé	15
2- La fusariose.....	17
2-1- Agents responsables	17
2-2- Symptomologie	20
2-2-1- Symptômes sur la partie basale	20
2-2-2- Symptômes sur épi et feuilles	20
3- Conditions favorables au développement de la maladie	21
3-1- Facteurs climatiques	21
3-2- Facteurs agronomiques	22
3-3- Factures physiologiques	22
4- Le genre <i>Fusarium</i>	22
4-1- Généralité	22
4-2- Classification	23
4-3- Ecologie	23
4-4- Biologie du genre <i>Fusarium</i>	23
4-4-1- Cycle biologique	23
4-4-2- L'infection	24
4-5- Critères d'identification du <i>Fusarium</i>	24
4-5-1- Caractères cultureux généraux	24

4-5-2- Caractéristiques microscopique.....	25
4-6- Pouvoir pathogène et potentiel toxigène	26
4-6-1- Le potentiel toxigène.....	26
4-6-2- Le pouvoir pathogène.....	26

Chapitre 3 : Mécanisme de défense chez les plantes

1- Les interactions plantes-pathogènes	28
1-1- La reconnaissance.....	28
1-2- La transduction des signaux.....	28
1-3- Les réponses de défense.....	29
1-3-1- un renforcement de la paroi cellulaire.....	29
1-3-2- Protéines PR.....	29
1-3-3- Réaction hypersensible.....	29
2- La résistance chez les plantes	30
2-1- Résistance passive	30
2-1-1- Les barrières structurales constitutives.....	31
2-1-2- Les barrières chimiques constitutives	31
2-2- La résistance active.....	31
3- La résistance variétale.....	32

Partie II: Etude Expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

1- Matériel végétal.....	34
2- Agent pathogène.....	34
3- Méthodologie.....	34
3-1- Test de l'inoculation du collet dans des tubes à essai	34

3-1-1-Préparation des tubes.....	34
3-1-2-Préparation des graines de blé.....	34
3-1-3-Inoculation des tubes par les disques fongiques	35
3-2-Test des boites de pétri : test de germination.....	36
3-2-1-Préparation des boites.....	36
3-2-2-Préparation de suspension sporale.....	37
4-Lecture des résultats.....	37

Chapitre 2 : Résultats et discussion

1-Test <i>in vitro</i> : tubes à essai	38
1-1-Croissance et poids du coléoptile chez les variétés de blé tendre dans le groupe témoins.....	40
1-1-1- Selon la croissance du coléoptile	40
1-1-2-Selon le poids du coléoptile.....	41
1-2- Croissance et poids de la coléoptile chez les variétés de blé tendre dans le groupe des plantes inoculées.....	43
1-2-1- Selon la croissance	43
1-2-2- Selon le poids du collet.....	43
1-3- Comparaison de la croissance du coléoptile chez les variétés de blé témoins et inoculées.....	44
1-4- Comparaison du poids de coléoptile chez les variétés de blé tendre témoins et inoculées	46
1-5-Pourcentage du retard de croissance du coléoptile chez les variétés étudiées	48
1-6- L'indice de maladie chez les variétés étudiées	50
1-7-Corrélation entre le retard de croissance du coléoptile et l'indice de maladie.....	52
2-Test <i>in vitro</i> : boites de pétri.....	53

2-1-L'analyse des paramètres étudiés par l'effet de l'agent pathogène FC1.....	54
2-1-1- Le pourcentage d'inhibition de germination des variétés par <i>Fusarium culmorum</i> 1.....	54
2-1-2- Analyse de la sensibilité à l'infection initiale (AUDPC)	54
2-1-3- Corrélation entre le pourcentage d'inhibition de germination et la sensibilité à l'infection initiale.....	55
2-2-L'analyse des paramètres étudiés avec l'effet de l'agent pathogène FC2	
2-2-1- Le pourcentage d'inhibition de germination des variétés par <i>Fusarium culmorum</i> 2.....	56
2-2-2 - Analyse de la sensibilité à l'infection initiale (AUDPC)	57
2-2-3- Corrélation entre le pourcentage d'inhibition de germination et la sensibilité à l'infection initiale.....	58
3- Evaluation de la résistance variétale.....	5
Conclusion.....	62
Références bibliographiques.....	66
Résumés	

Liste des abréviations

AUDPC: The Area Under the Disease Progress Curve

Avr : Gène d'avirulence

CCPI : Croissance du Coléoptile dans la Plante Inoculée

CCPT : Croissance du Coléoptile dans la Plante Témoin

ET: Molécule d'éthylène

ETI: Effector-Triggred- Immunity

FCR: Fusarium crown rot

FC1: *Fusarium culmorum 1*

FC2: *Fusarium culmorum 2*

GBBV : Laboratoire de Génétique Biochimie et Biotechnologies Végétales

GI : Inhibition de germination

IM : Indice de maladie

INRA : Institut National de la recherche Agronomique d'Algérie

JA : molécule de Jasmonate

MALT : Gélose à l'extrait de malt.

MAP : Mitogen Activated Protein

MR : Résistance modérée

MS : Modérément sensible

Na Clo: Hypochlorite de sodium

PAMP: Pathogen Associated Molecular Pattern

PDA: Potato-dextrose-agar

PRP : Pathogens related proteins

RC : Retard de croissance

RH : la réaction hypersensible

SA : acide salicylique

t/ha : Tonne par hectare

VMT : Virus de la mosaïque du tabac

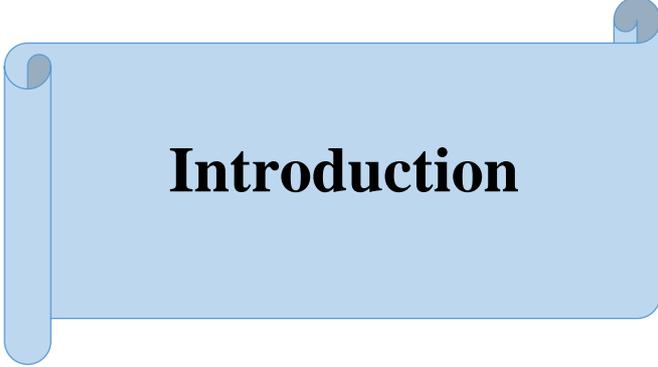
Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification botanique du blé tendre (2009).....	8
Tableau 2 : Composition biochimique du grain du blé (2000).....	11
Tableau 3 : Les principales maladies fongiques du blé.....	15
Tableau 4 : La nouvelle classification taxonomique de <i>Fusarium</i>	23
Tableau 5 : Les <i>Fusarium</i> producteurs des mycotoxines.....	26
Tableau 6 : Les classes de sévérité de la maladie sur le coléoptile.....	38
Tableau 7 : Paramètres analysés chez les variétés de blé tendre étudiées en tubes à essai sous Conditions de chambre de culture chez (FC1).....	39
Tableau 8 : Paramètres analysés chez les variétés de blé tendre étudiées en tubes à essai sous conditions de chambre de culture chez (FC2).....	39
Tableau 9 : Paramètres analysés chez les variétés de blé tendre étudiées en boîte de pétri (FC1)	53
Tableau 10 : Paramètres analysés chez les variétés de blé tendre étudiées en boîte de pétri (FC2).....	56
Tableau 11 : Classement des variétés selon leur résistance et/ou sensibilité à l'agent pathogène <i>Fusarium culmorum</i> dans chaque test réalisé.....	59

Liste des figures

Figure 1 : Production et consommation algérienne totale du blé entre 1961 et 2009.....	5
Figure 2 : phylogénie schématique du blé tendre.....	7
Figure 3 : Dimensions moyennes d'un grain de blé.....	9
Figure 4 : Coupe longitudinale d'un grain de blé.....	10
Figure 5 : Les différentes étapes de développement du blé.....	14
Figure 6 : Principales maladies du blé tendre.....	16
Figure 7 : Le <i>Fusarium culmorum</i>	18
Figure 8 : <i>F.graminearum</i>	19
Figure 9 : Caractéristiques de <i>Fusarium oxysporum</i>	20
Figure 10 : Symptômes de la fusariose.....	21
Figure 11 : Cycle de <i>Fusarium</i> spp.....	24
Figure 12 : caractères morphologiques des <i>Fusarium</i>	25
Figure 13 : Schéma simplifié des réactions de défense induites dans les interactions plantes / agents pathogènes.....	30
Figure 14 : Croissance du coléoptile chez les variétés étudiées inoculées par (FC1).....	40
Figure 15 : Croissance du coléoptile chez les variétés étudiées inoculées par (FC2).....	41
Figure 16 : Poids du coléoptile chez les variétés du blé tendre étudiées inoculées par (FC1).....	42
Figure 17 : Poids du coléoptile chez les variétés du blé tendre étudiées inoculées par (FC2).....	42
Figure 18 : Comparaison de la croissance du coléoptile chez les groupes de variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC1).....	45
Figure 19 : Comparaison de la croissance du coléoptile chez les groupes de variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC2).....	46

Figure 20 : Comparaison de poids du coléoptile chez les variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC1).....	47
Figure 21 : Comparaison de poids du coléoptile chez les groupes de variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC2).....	48
Figure 22 : Pourcentage du retard de croissance de la coléoptile enregistrée chez les variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC1).....	48
Figure 23 : Pourcentage du retard de croissance de la coléoptile enregistrée chez les variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC2).....	49
Figure24 : Pourcentage de l'indice de maladies enregistrées chez les variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC1).....	50
Figure 25 : Pourcentage de l'indice de maladies enregistrées chez les variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC2).....	51
Figure 26 : Corrélation entre le retard de croissance du coléoptile et l'indice de maladie (FC1)	52
Figure 27 : Corrélation entre le retard de croissance du coléoptile et l'indice de maladie (FC2)	53
Figure 28 : Pourcentage d'inhibition de germination chez les variétés de blé tendre étudiées (FC1).....	54
Figure 29 : Pourcentage de l'infection initiale enregistrée chez les variétés du blé tendre étudiées (AUDPC)	55
Figure 30 : Corrélation entre le pourcentage d'inhibition de germination et la sensibilité à l'infection initiale.....	56
Figure 31: Pourcentage d'inhibition de germination chez les variétés de blé tendre étudiées (FC1).....	57
Figure 32 : Pourcentage de l'infection initiale enregistrée chez les variétés du blé tendre étudiées (AUDPC).....	58
Figure 33: Corrélation entre le pourcentage d'inhibition de germination et la sensibilité à l'infection initiale.....	58



Introduction

Introduction

Les céréales constituent un élément fondamental dans les traditions culinaires algériennes. Culturellement et nutritionnellement, elles constituent la base de notre alimentation et jouent la carte de la diversité (**Hamou et al ., 2009**).

Elles représentent environ 30% des sources énergétiques alimentaires dans les pays développés, contre plus de 50% dans les pays en voie de développement, atteignant parfois 90% dans certains pays d’Afrique (**Nedjah, 2015**).

La production des céréales en Algérie est importante, et le blé tendre est l’espèce la plus cultivée occupant 60% de la ration alimentaire du citoyen algérien, et ses habitudes alimentaires (pâte, biscuit, pain) font de lui un grand consommateur de cette denrée (**Benbelkacem et Sadli ., 1995**) .

Au cours du cycle de production de blé, ce dernier est confronté à diverses maladies et qui sont provoquées par de nombreuses espèces phytopathogènes. Parmi celles-ci, les espèces du genre *Fusarium* (**Ghorri, 2015**).

Sur le plan économique, le genre *Fusarium* est très important parce qu’il regroupe de nombreuses espèces phytopathogène, susceptibles d’induire des maladies comme la fusariose chez de nombreuses plantes.

Ces maladies peuvent causer des pertes importantes dans le rendement allant jusqu’ à 50% lorsque les variétés utilisées sont sensibles et les conditions environnementales sont favorables (**Tiziouaiou, 2009**).

La fusariose est une maladie responsable du flétrissement ou de la pourriture des racines et des collets des plantes.

Pour réduire l’impact de cette maladie et lutter contre ces agents pathogènes, les plantes sont capables de reconnaître des signaux produits au moment où l’agent pathogène débute son action. Ces signaux activent le système immunitaire de la plante et lui permettent ainsi de se protéger contre ses agresseurs, et mettre en place les barrières les plus appropriées.

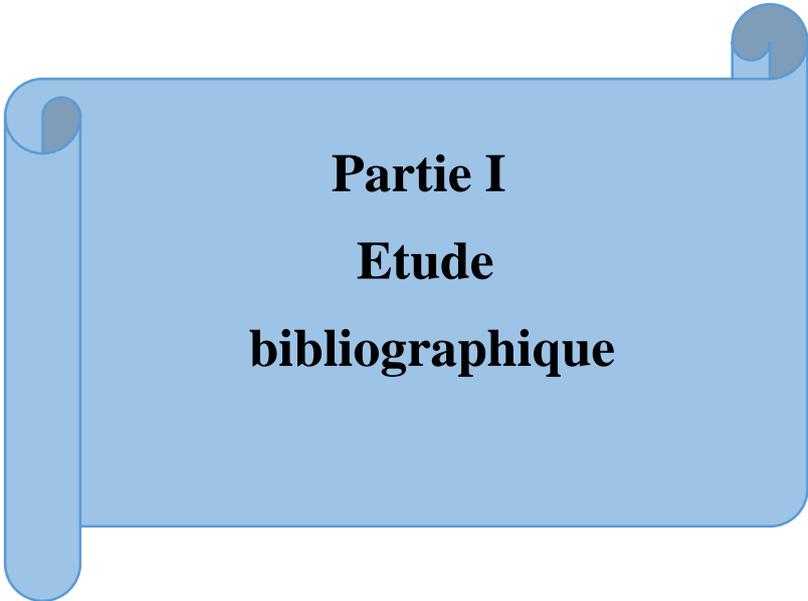
Parmi ces barrières, on compte plusieurs mécanismes de défenses : la réponse hypersensible (RH), l’accumulation de protéines reliées aux pouvoirs pathogènes (protéines PR), la production de métabolites secondaires antimicrobiens, le renforcement de la paroi cellulaire (**Langlois, 2006**).

Introduction

Notre travail s'inscrit dans ce contexte qui a pour objectif d'étudier la résistance de neuf cultivars de blé tendre Algérien vis-à-vis de deux souches pathogènes de *Fusarium culmorum* afin de caractériser leur tolérance à la maladie qui fera partie des critères de choix pour les agriculteurs car aujourd'hui, peu de variétés de blé sont résistantes à la fusariose.

La première partie de notre étude est consacrée à la description de données bibliographique relatives aux généralités sur le blé tendre, une présentation des maladies cryptogamiques, ainsi qu'une description de la résistance des plantes dont le blé aux agents pathogènes.

La seconde partie est consacrée au travail expérimental et est basée sur les différents tests utilisés, et d'une autre partie exposant les résultats et leur discussion. Une conclusion et des perspectives sont enfin données.



Partie I
Etude
bibliographique

Chapitre 1 : Généralité sur le blé tendre

1- Importance économique du blé

Le blé est l'une des ressources alimentaires de base de l'humanité. Sa production est devenue aujourd'hui un enjeu important pour la nourriture (**Feillet, 2000**) et (**Branlard et al, 2001**).

1-1- Dans le monde

Le blé tendre est l'une des premières plantes domestiquées par l'homme, il est abondamment cultivé dans le monde (**xiaojie et al ., 2012**). Cette culture constitue plus de 90% de la production mondiale des blés (**Ghennai et al ., 2017**). Le blé tendre est principalement utilisé pour la production du pain, des nouilles, des biscuits et des gâteaux (**Lopes et al ., 2012**).

Selon le conseil International du Grain (**CIC, 2016**), la production mondiale du blé tendre est passée de 611 à 736 millions de tonnes entre 2007-2008 à 2015-2016. Ce niveau de production dépasse largement les besoins de la population mondiale avec des hausses de stocks. La Chine, l'Union Européenne, l'Inde, la Russie et les USA sont les plus gros producteurs de blé tendre. Les pays exportateurs sont la Chine et l'Egypte. L'Afrique participe à la production mondiale du blé tendre avec 25% (**CIC, 2016**).

1-2- En Algérie

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien (**Djermoun, 2009 ; Boukarboua et Boulkroun, 2016**). Le blé tendre représente 60% de la ration alimentaire du citoyen algérien. La production algérienne en blé tendre reste très faible. Du point de vue productivité, le rendement moyen de blé tendre enregistré au cours de la campagne 2014-15 est de 1,26 t/ha (figure1) (**INRAA ,2016**). La variation des rendements des céréales des zones semi-arides tire son origine en grande partie des effets de contraintes abiotiques (**Bouzerzour et al ., 1994**).

Actuellement, l'Algérie est un grand importateur de blé notamment le blé tendre (**Djermoun, 2009**) et se trouve dépendante du marché international.

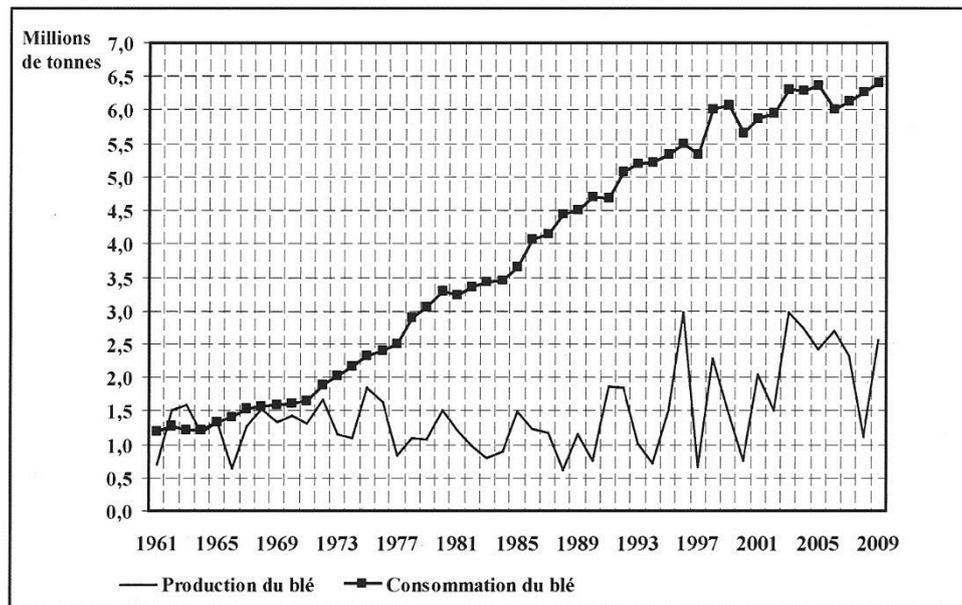


Figure 1 : Production et consommation algérienne totale du blé entre 1961 et 2009 (Boukarboua, 2016).

2- Historique

Durant le développement de la civilisation indo-européenne, le blé est devenu la principale céréale des peuples occidentaux sous climat tempéré (Henry et De Bayser, 2001). Sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique, née en Europe il y a 8000 ans. La plus ancienne culture semble être le blé dur dans le croissant fertile de la Mésopotamie (Feillet, 2000). Le blé tendre est apparu entre 5000 et 6000 ans avant Jésus - Christ dans le croissant fertile puis s'est dispersé à partir de la Grèce en Europe (Doussinault et al., 1992). C'est à partir de cette zone que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe. La route la plus ancienne de diffusion des céréales vers les pays du Maghreb fut à partir de la péninsule italienne et de la Sicile (Boulal et al., 2007).

En Algérie, Léon Ducellier (1878-1937) en particulier, parcourant le blé, fit au début du siècle le recensement d'une flore mal connue. Il découvrit et analysa les nombreuses variétés qui peuplaient les champs cultivés, recueillit les échantillons les plus caractérisés, les plus productifs, les plus résistants à la sécheresse ou à quelques maladies. Le blé tendre était inconnu en Afrique du Nord avant l'arrivée des français (Lery, 1982).

3- Origine génétique du blé tendre

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae*. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscence, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (**Feuillet, 2000**).

Le blé tendre a une composition complexe .Il est constitué de trois génomes possédant chacun 7 paires de chromosomes homologues, soit 42 chromosomes au total. Il possède une structure génomique hexaploïde (**AA BB DD**).

Le blé tendre, d'un point de vue phylogénétique, est issu de deux évènements d'hybridations majeures interspécifiques suivies d'un doublement chromosomique.

- Un premier évènement résultant du croisement entre deux espèces diploïdes ($2n=14$), *Triticum urartu* (AA) et une espèce proche d'*Aegilops sepltoïdes* (BB), a permis l'apparition du blé dur sauvage(*Triticum turgidum* ssp *dicoccoides*) au génome AABB , à l'origine du blé dur actuel *Triticum durum* .
- Un second croisement entre le tétraploïde *Triticum turgidum* et le diploïde *Triticum tauschii* (aussi appelé *Aegilops tauschii* ou *Aegilops squarosa*, génome DD) a conduit à l'obtention de blés hexaploïdes tels que le blé tendre (*Triticum aestivum*) et l'épeautre (*Triticum spelta*) (figure 2) (**Bednarek, 2012**).

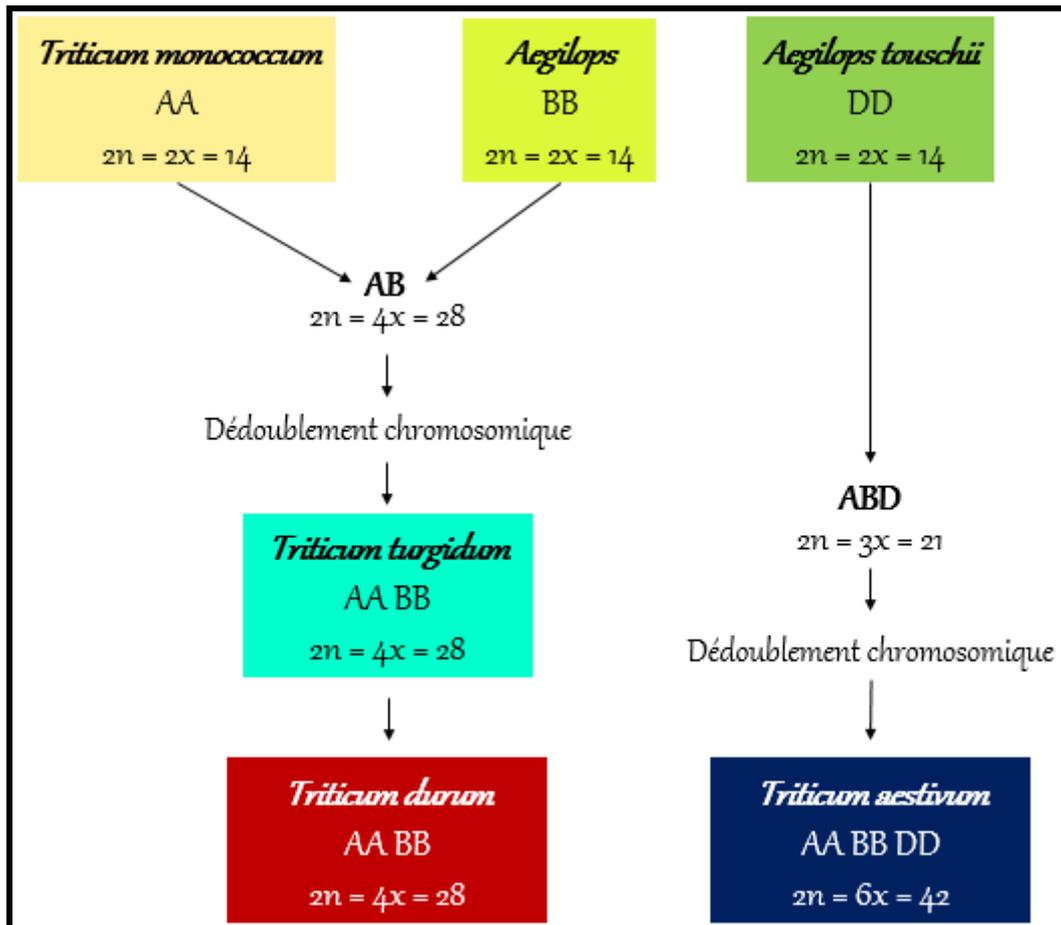


Figure 2 : phylogénie schématique du blé (Chen et al., 1984).

Le génome du blé tendre comprend 17 milliards de paires de base (cinq fois le génome humain) dont plus de 80% de séquences répétées. La taille, ainsi que le pourcentage élevé de séquences répétées, constituent des obstacles importants pour le séquençage du génome du blé (Paux et al, 2008).

4- Classification botanique du blé tendre

D'après Bonneuil et al, 2009, le blé tendre appartient à la classification suivante :

Tableau 1 : Classification botanique du blé tendre (2009).

Classification	Blé tendre
Règne	<i>Plantae</i>
Sous –règne	<i>Tracheobionta</i>
L'embranchement	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Liliopsysda</i>
Sous- Classe	<i>Comelinidae</i>
Ordre	<i>Cyperales</i>
Famille	<i>Poaceae</i>
Sous – Famille	<i>Pooideae</i>
Tribu	<i>Triticeae</i>
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum aestivum</i>

5- Structure et composition biochimique du grain du blé

5-1- Structure du grain

Le grain du blé à une forme ovoïde et possède sur l'une de leur faces une cavité longitudinale « le sillon » et à la base dorsale du grain, se trouve le germe qui est surmonté par une brosse. Le grain de blé mesure entre 5 et 8 mm de long, et entre 2,5 et 3,5 mm d'épaisseur, pour un poids compris entre 20 et 50 mg (figure 3) (Surget et Barron, 2005).

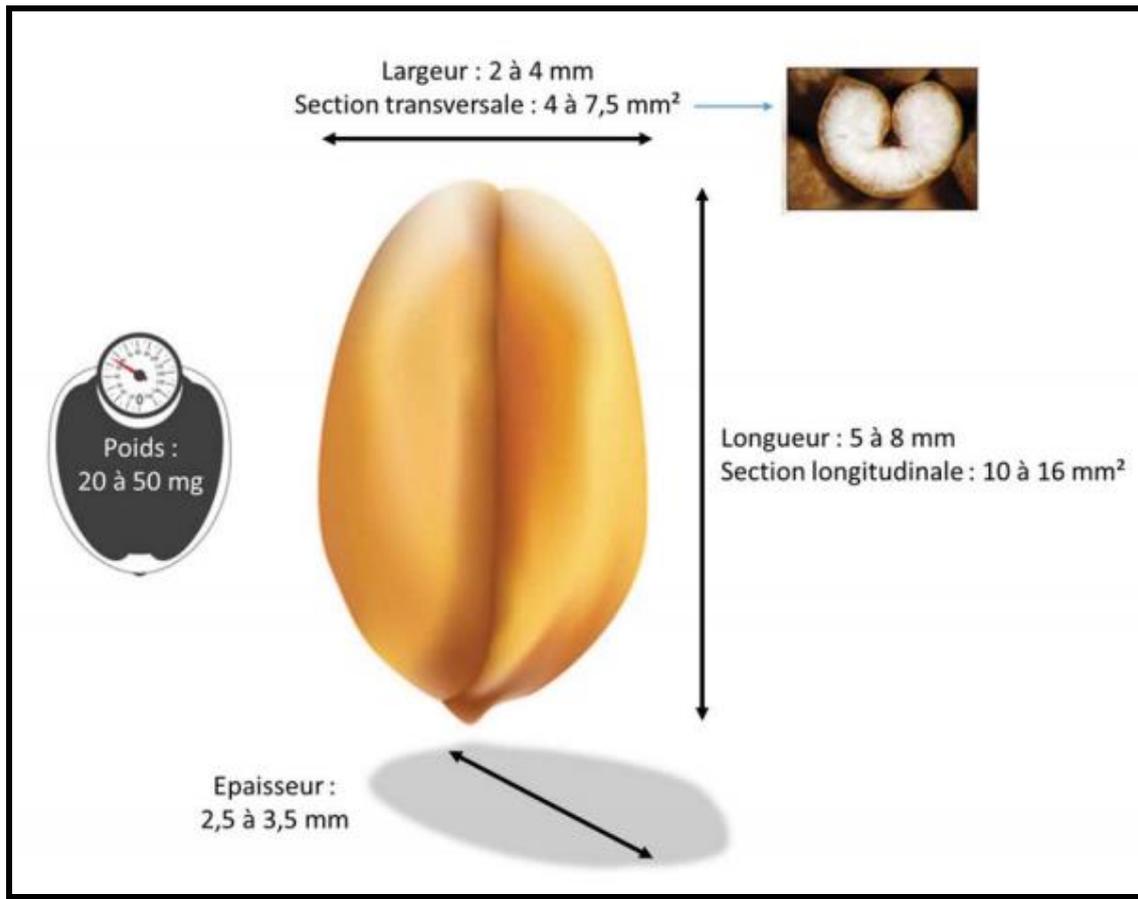


Figure 3 : Dimensions moyennes d'un grain de blé (Claire, 2019).

Le grain de blé se compose de trois parties principales (figure 4) :

5-1-1- Albumen

C'est un tissu de réserves énergétiques riche en protéine qui nourrit la plantule au moment de la germination, il constitue la majeure partie du grain et représente environ 80% de son poids (Pomeranz, 1988)

L'albumen contient des granules d'amidon enchâssés dans le réseau protéique (gluten) (Nedjah, 2015).

5-1-2- L'enveloppe

Les enveloppes sont de nature cellulosique, elles servent à protéger le grain et représentent 14-16% de la masse du grain (Godon, et William, 1991). Elles sont formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal, cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et l'épicarpe (13-17%) (Feillet, 2000).

5-1-3- Le germe (Embryon)

Le germe provient de la fusion des gamètes mâles et femelles. Il constitue un organe de réserve, riche en protéines et en lipides pour la jeune plantule et forme environ 2,5% à 3% du grain de blé (Surget, et Barron ,2005).

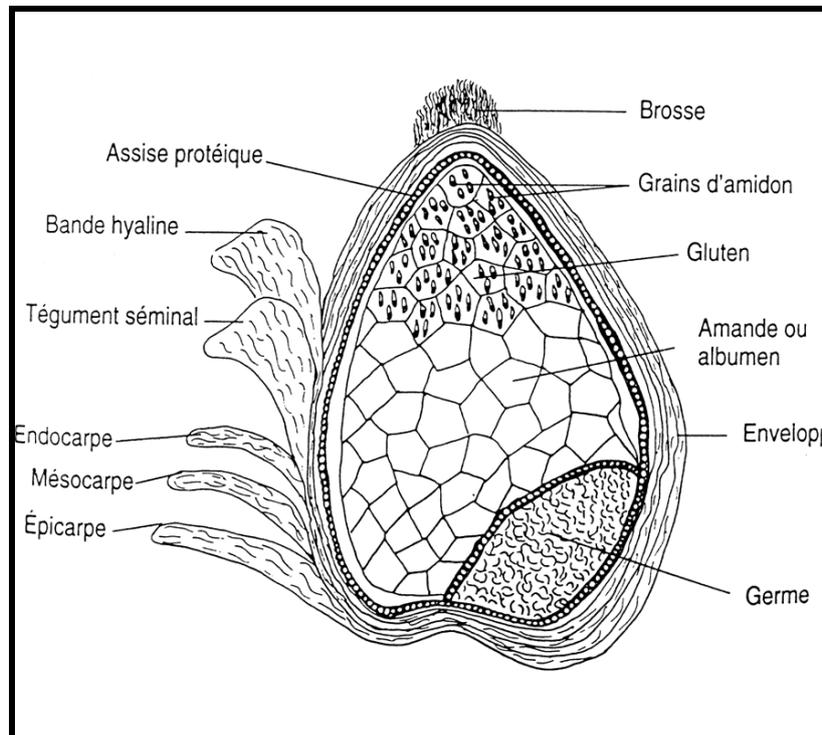


Figure 4 : Coupe longitudinale d'un grain de blé (Nedjah, 2015).

5-2- Composition biochimique

Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéine (10 à 15%) selon les variétés et les conditions de culture, les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (tableau 2) (Feillet, 2000).

Tableau 2 : Composition biochimique du grain du blé (Felliet, 2000).

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

6- Cycle biologique de développement

De la levée à la maturation du grain, le cycle de développement de blé tendre passe par différentes étapes phénologiques (figure 5). La durée et la vitesse de chaque étape et de l'ensemble du cycle de développement sont liées à la température et plus précisément, aux unités de chaleur accumulée, à l'exception des conditions d'extrême sécheresse (James E.N et al, 2000).

On distingue trois périodes importantes :

- Période végétative : qui s'étale de la germination à la montaison (Hennouni, 2012).
- Période reproductrice : qui s'étale de tallage à la fécondation (Bebba, 2011).
- Période de maturation : qui s'étale de fécondation à la maturation du grain (Fritas, 2012).

6-1- Période végétative

Elle se caractérise par un développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à fin tallage. Elle se divise en deux stades principaux :

6-1-1- Phase de germination -levée

Selon (Clement, et al 1970), la germination est un processus préparatoire qui commence quand le grain a absorbé environ 25% de son poids d'eau. À ce niveau d'humidité, les

téguments se déchirent, la racine principale couverte d'une enveloppe appelée « coleorhize » va sortir, suivie par la sortie de coléoptile du grain et permet de protéger l'extrémité molle de la tige jusqu'à la sortie totale de cette dernière à la surface du sol. En effet, la germination se complète en 4 à 6 jours dans des températures optimales entre 20°C et 25°C (Lee R.D. et al., 1996).

La réalisation de cette phase est sous la dépendance de facteurs propres à la semence (énergie germinative) et de facteurs extérieurs (T°/humidité du sol) (Clément, 1981).

6-1-2- Phase levée - tallage

Le tallage est un mode de développement propre aux graminées, commence à l'issue du développement de la troisième feuille, lorsqu'un renflement apparaît à 2cm de la surface du sol, c'est le « futur plateau de tallage » ce dernier s'épaissit et des racines secondaires se développent très vite. Ses nouvelles feuilles apparaissent et à chacune correspond l'apparition d'un talle (Clément et al., 1970).

Le nombre de talles produites dépend de la variété, du climat, de l'alimentation minérale et hydrique de la plante, ainsi que la densité de semis (Maciejewski., 1991).

La fin du tallage représente la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive (Gate, 1995).

6-2- Période reproductrice

C'est la formation et la naissance de l'épi (Fritas, 2012), elle est marquée par un accroissement de la demande en eau, lumière et l'azote et s'étend de la montaison à la floraison.

Cette période comprend deux phases :

6-2-1- Phase montaison - gonflement

La montaison débute à la fin du tallage .Selon (Boufenar et Zaghane., 2006), cette phase est marquée par une différenciation des pièces florales : glumelles, organes sexuels et aussi la tige et l'inflorescence s'allongent. Elle est caractérisée par l'évolution de certain nombre de talles herbacées vers des tiges couronnées d'épis, tandis que d'autres commencent à régresser.

La montaison se termine par l'émission de la dernière feuille et des manifestations du gonflement qui provoquent les épis dans la graine. La durée de cette phase est de 29 à 30 jours (**Clément et Prat., 1970**).

6-2-2- Phase épiaison -floraison

L'épiaison est le résultat de l'élongation du pédoncule qui pousse l'épi en dehors du col de la dernière feuille (**Nelson J.E et al ., 2001**). Durant cette phase, la formation des organes floraux s'achève avec la méiose qui donnera le pollen dans les anthères et le sac embryonnaire dans le carpelle (**Bednarek, 2012**). Cette méiose commence au centre de l'épi pour s'étendre de part et d'autre part de cette zone (**Claire, 2019**). L'épiaison dure environ 32 jours.

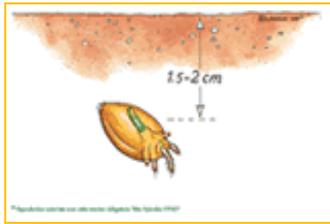
La floraison, où l'anthèse s'observe à partir du moment où les étamines (les anthères) sortent des glumelles de la fleur, et elles sont considérées comme point de référence pour la fécondation (figure 5). Lorsque les anthères apparaissent, elles sont jaunes ; après exposition au soleil, elles deviennent blanches. L'anthèse commence dans la partie centrale de l'épi et s'étend à ses extrémités pendant une période de 3 à 5 jours (**Bednarek, 2012**).

6-3- Période de formation et de maturation du grain

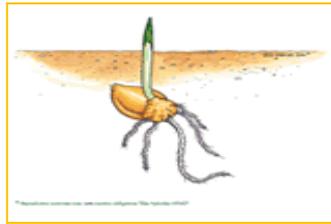
C'est la dernière phase du cycle végétatif, où l'embryon se développe et l'albumen se charge de substances de réserves.

Après la fécondation, le grain passe par trois stades consécutifs : laiteux, pâteux et grain dur. La phase de maturation succède au stade pâteux (45% d'humidité). La quantité d'eau contenue dans le grain entre les stades laiteux, pâteux est stable : C'est le palier hydrique.

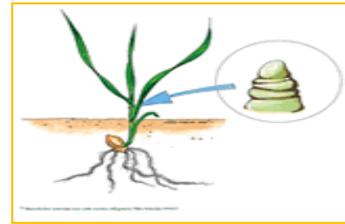
Lorsque la température est élevée pendant cette phase, elle provoque l'arrêt de la migration des réserves, des feuilles et des tiges vers le grain : C'est l'échaudage du grain qui accompagne un dessèchement du grain, qui perd de son humidité pour atteindre son poids sec final (**Wardlaw, 2002**).



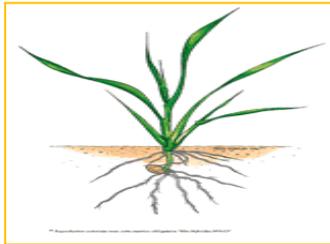
1-germination



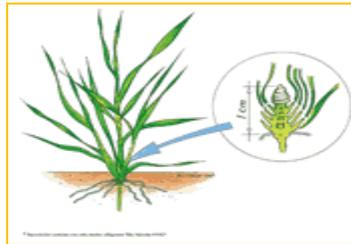
2- La levée



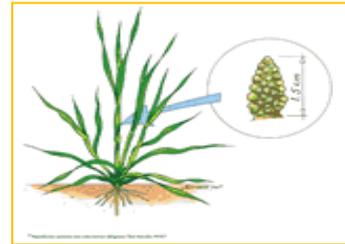
3-Trois feuilles



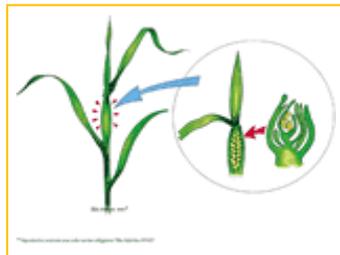
4- Début tallage



5- Épi à 1cm



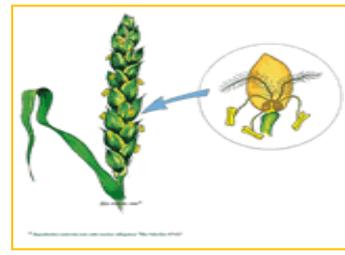
6- Un nœud



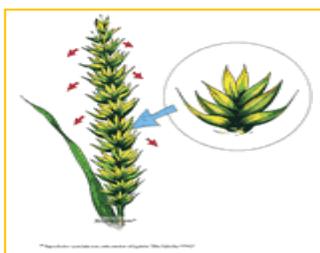
7- Méiose pollinique



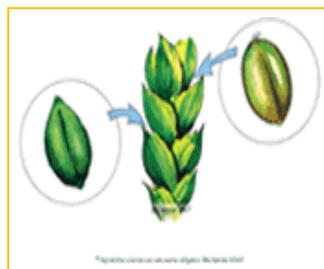
8- L'épiaison



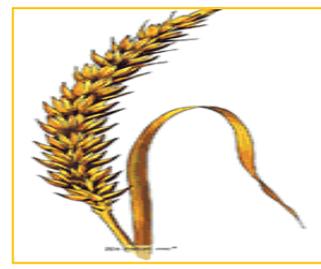
9- La floraison



10- Bâillement



11- Gains formé



12-Épi à maturité

Figure 5 : Les différentes étapes de développement du blé (Soltner, 2005).

Chapitre 2 : Maladies cryptogamiques

1- Principales maladies fongiques du blé

Selon Ezzahiri (2001), le blé peut être attaqué par de nombreuses maladies à différents stades de son développement, qui peuvent être regroupées selon le symptôme qu'elles induisent et les parties qu'elles affectent (Aouali et Douicikhalfi., 2013). Les principales maladies fongiques répandues en Algérie sont regroupées dans le tableau ci-dessous et la figure 6:

Tableau 3 : Les principales maladies fongiques du blé en Algérie

Organes attaqués	Nom de la maladie	Agents causaux	Symptômes
Feuilles	Rouille brune	<i>Puccinia recondita</i>	Présence de petites pustules circulaires ou ovales de couleur orange ou brune (urédospores), apparaissent sur la face supérieure des feuilles et par fois sur la face inférieure. En fin de saison, ces pustules prennent une couleur noir (téleutospores).
	Rouille jaune	<i>Puccinia striiformis</i>	Formation de pustules de forme globuleuse et de couleur jaune ou orange, disposées en stries le long des nervures. Elles peuvent aussi se développer sur la face inférieure des feuilles sur les épis et les grains.
	Oïdium	<i>Erysiphe graminis</i>	Les premiers symptômes apparaissent sous forme d'un duvet blanchâtre ou gris pâle sur les limbes des feuilles basales, puis se développent sur les feuilles des étages supérieurs.
	Tache septorienne	<i>Mycosphaerella graminicola</i>	Petites taches verdâtres à jaunâtres entre les nervures des feuilles inférieures, ces taches s'allongent pour former des lésions brunes rougeâtres avec une apparition des pycnides.

	Tache helminthosporienne (tache bronzée)	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>	Taches nécrotiques ovales sur les feuilles, la présence d'une nécrose brune foncée au centre de la lésion chlorotique.
Epis	Caries	<i>Tilletia caries</i> et <i>Tilletia foetida</i>	Au stade de remplissage des grains, un épi contaminé s'identifie à l'ouverture des grains par la présence de spores noires très volatiles à odeur de poisson pourris. Cette poudre altère l'aspect et la saveur de la farine qui devient immangeable.
	Charbon nu	<i>Ustilago tritici</i>	Epis infectés noircis, graines détruites et remplacées par une masse sporifère noirâtre.
Pied	Piétin échaudage	<i>Gaeumannomyces graminis</i>	Nécroses ou pourriture au niveau des racines, s'étendent au collet et à la base de la tige, blanchissement des épis.
	Pourriture racinaire	<i>Cochliobolus sativus</i>	Le symptôme le plus fréquemment observé est la coloration brune foncée des nœuds inférieurs ; sur les plantes âgées. Une infection par la fusariose peut produire une vraie pourriture du pied, où la base de la tige devient brune et pourri, ce qui entraîne l'émergence de l'épi blanc, ce symptôme est très observé dans les saisons très sèches.
		<i>Fusarium culmorum</i>	
		<i>Fusarium graminearum</i>	
<i>Fusarium avenaceum</i>			

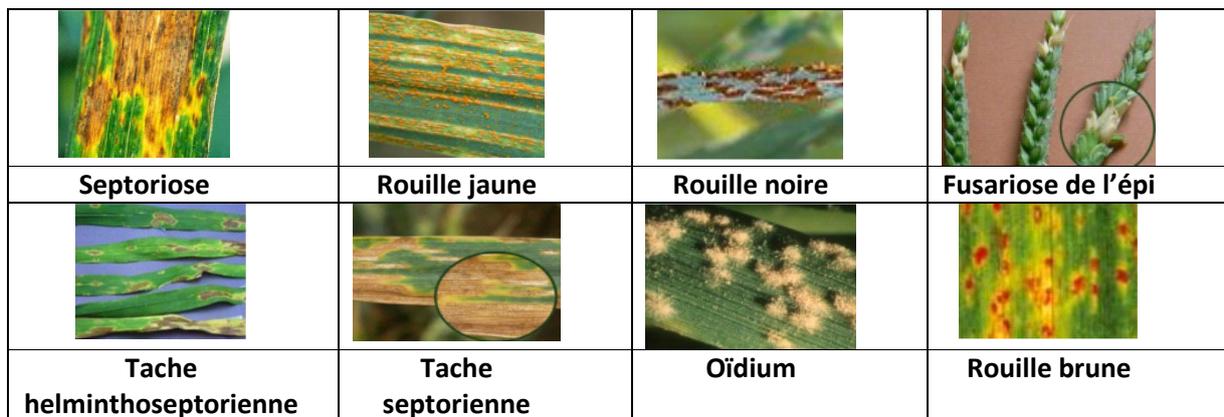


Figure 6 : principales maladies du blé tendre (Alvarez, 2010).

2- La fusariose

La culture du blé (*Triticum durum* et *T.aestivum*) est soumise à une intense pression parasitaire, dont la fusariose est considérée parmi les contraintes majeures de sa production à travers le monde. La fusariose est une maladie des céréales dites « à petites grains » qui sévit partout (Parry et al., 1995) et les attaque du semis à la récolte. Causée par des champignons appartenant au genre *Fusarium*.

L'importance économique de la fusariose est attribuée aux pertes de rendements considérables telles que l'avortement des fleurs, diminution du nombre et du poids des grains et à l'altération de la qualité des grains (Pirgozliev et al., 2003).

2-1- Agents responsables

De nombreuses espèces fusariennes ont été identifiées dans la nature dont les principales sont capables d'induire la fusariose de l'épi de blé : *F.culmorum*, *F.graminearum*, *F.oxysporum*. D'après Dorothée (2013), ces espèces sont capables de produire des mycotoxines qui présentent une augmentation de l'incidence de la maladie sur les productions agricoles.

- *F.culmorum*

C'est un agent phytopathogène responsable de plusieurs symptômes notamment la fonte de semi, la pourriture racinaire, la fusariose de l'épi, la pourriture de la tige. Il se caractérise par une croissance rapide sur géloses, PDA et au MALT. Les colonies sont duveteuses, blanches à jaunâtres ou rose puis ocracées à rouge brunâtre et le revers est rouge à pourpre.

Les phialides courtes et larges, formées sur le mycélium aérien, sont groupées en sporodochies. Les microconidies sont absentes. Les macroconidies sont fusiformes, courbées et septées. La cellule apicale est courte et pointue. Les chlamydo-spores intercalaires ou terminales, formées par le mycélium ou par les conidies, sont sub-globuleuses, brunâtres, lisses ou verruqueuses (figure 7) (Elhouiti, 2018).

Les espèces de *F. culmorum* sont des producteurs importants de trichothécènes du groupe B, appelé aussi vomitoxine, ils produisent également la zéaralénone.

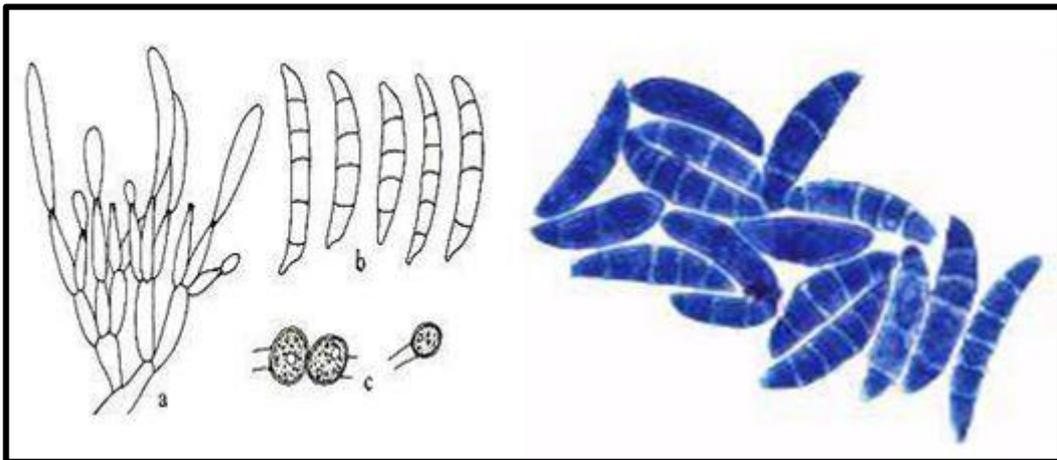


Figure 7 : le *Fusarium culmorum* (Elhouiti, 2018).

a) macrophialides et macroconidies ; b) macroconidies ; c) chlamydospores.

- *F.graminearum*

C'est un agent pathogène saprophyte et facultatif responsable de la fusariose de l'épi sur blé (Parry et al., 1995), et aussi impliqué dans la fusariose du collet et la pourriture racinaire chez le blé et d'autres céréales. Il se caractérise par un thalle rose grisâtre ou rouge à pourpre, les phialides peuvent s'agréger en sporodochies. Les microconidies étant absentes et les macroconidies sont fusiformes, courbées, septées à la cellule terminale longue et pointue. Les chlamydospores sont intercalaires, globuleuses, hyalines à brun pâle (Benoit, 2005).

Dans la nature, *F.graminearum* est capable de former des périthèces, superficielles, ovoïdes, garnis de tubercules sur un grand nombre de graminées (Elhouiti, 2018). Les ascospores sont hyalines ou brunes très claires, fusiformes, triseptées (figure 8) (Botton et al., 1985).

Ce champignon produit une vaste gamme de mycotoxines, les plus connues sont la famille des trichothécènes du groupe A, B, C et D, et également la zéaralénone et d'autres métabolites secondaires plus au moins toxiques (Bennett et Klich, 2003).

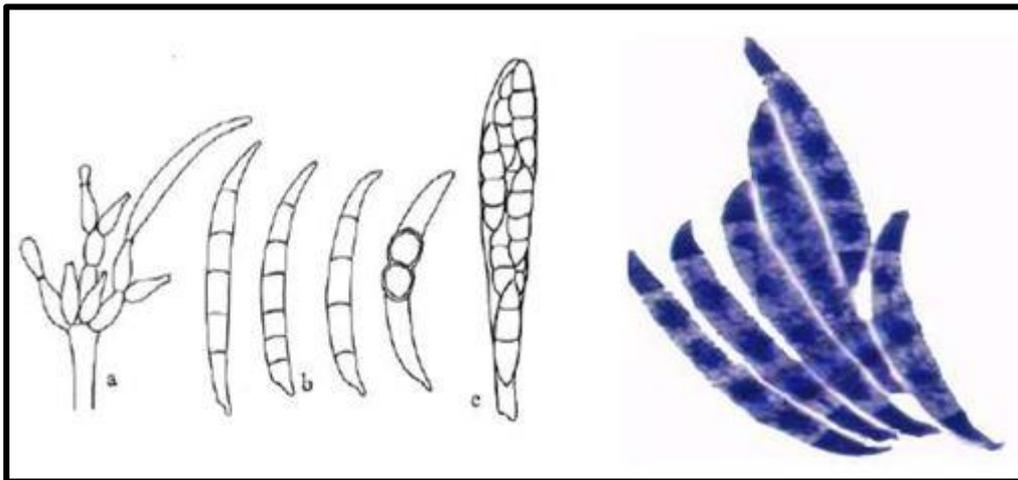


Figure 8 : *F.graminearum* (Elhouiti, 2018).

a) macrophialides et macroconidies ; b) macroconidies ; c) asque octosporé.

- *F.oxysporum*

C'est un agent vasculaire saprophyte et tellurique qui se conserve dans le sol sous forme de chlamydospores. Selon **Snyder et Hansen en 1940**, ce champignon filamenteux appartient à la famille des tuberculiacées. Il provoque des maladies sur de nombreuses espèces végétales cultivées d'intérêt économiques (**Amstrong, 1981**) en particulier : la fusariose.

F.oxysporum se caractérise par un thalle de croissance modérée, blanc, pêche, rose, saumon à violet. Le revers est pourpre, les microconidies sont abondantes, variables, ovoïdes et les macroconidies sont fusoïdes, plus au moins courbes, pointues aux deux extrémités septées. Leurs chlamydospores sont terminales ou intercalaires présentes dans le mycélium et les conidies (figure 9) (**Botton et al., 1985**).

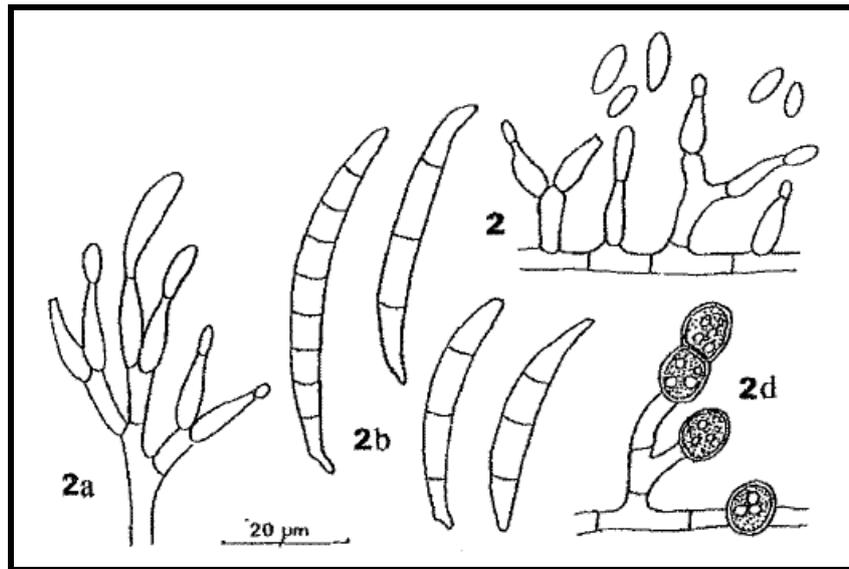


Figure 9 : Caractéristiques de *Fusarium oxysporum* (Botton *et al.*, 1985).

2 - *Fusarium oxysporum* ; 2a-macrophialides ; 2b -macroconidies ; 2c -microphialides et microconidies ; 2d- chlamydospores.

2-2- Symptomologie

Lorsque les conditions climatiques sont favorables, la fusariose peut attaquer à tous les stades de développement et tous les organes de la plante, depuis les racines jusqu'aux épis (Parry *et al.*, 1995).

2-2-1- Symptômes sur la partie basale

Les symptômes se manifestent par des nécroses sur les talles inférieures, le collet, entre nœuds, et brunissement de la partie supérieure des racines (figure 10)(Schilling *et al.*, 1996 ; Agricos,2005).

2-2-2- Symptômes sur épi et feuilles

- **Sur épi** : la partie attaquée peut prendre une coloration variant du rose au saumon orangé qui apparaissent initialement à l'extrémité de l'épi (Bailey *et al.*, 2004). Les épillets infectés se dessèchent prématurément, sont souvent blanchis et stériles (Bérubé, 2010).
- **Sur grains** : Les grains fusariés sont petits et ridés avec un aspect crayeux et on peut parfois observer une coloration rose ou orangée correspondant à la fructification du

champignon (**Bailey et al., 2004**). Si l'infection est plus tardive, les grains peuvent être de taille normale mais ils se décolorent en rose (**McMullen et al., 2008**).

- **Sur feuilles :** En fin de montaison, l'apparition d'une tache ovale et verdâtre virant au marron puis se desséchant souvent au bord de la feuille.



Figure 10 : Symptômes de la fusariose.

A- Symptômes de mycotoxines sur grains ; B- Fusariose de l'épi chez le blé ; C - Fusariose sur collets ; D- Fusariose qui s'étend jusqu'au 1er nœud ; E –Fusariose racinaire ; F- Jeunes symptômes de la bigarrure fusarienne provoquée par *F. nivale* sur feuille de blé (Zillinsky, 1983).

3- Conditions favorables au développement de la maladie

La sévérité de la fusariose est conditionnée par trois facteurs indépendants des champignons : les facteurs climatiques, agronomiques et physiologiques de la plante hôte (**Bai et Shaner, 1994**).

3-1- Facteurs climatiques

La température et l'humidité relative sont les plus importants facteurs environnementaux qui influencent le développement de la fusariose. En effet, ces facteurs jouent un rôle principal puisqu'ils vont conditionner la germination et l'infection du

champignon. Selon **Doohan et al en 2003**, chaque agent pathogène possède ses propres conditions optimales, ces champignons se retrouvent souvent dans des régions géographiques qui présentent un climat similaire à celui de leur région d'origine.

3-2- Facteurs agronomiques

Ils sont des facteurs qui influencent la conservation des propagules et débris des végétaux des cultures précédentes, lesquels vont constituer un inoculum primaire pour les cultures suivantes (**Xu, 2003**). Par exemple, un précédent cultural sensible à la fusariose (blé), c'est-à-dire potentiellement infecté lors de son cycle est une source potentielle d'inoculum pour la culture suivante via ses résidus. Également, un travail du sol augmenterait la dégradation des résidus en favorisant l'activité microbienne et donc limiterait la colonisation des résidus par *F.graminearum* (**Pareyra et al ., 2004**).

3-3- Facteurs physiologiques

La physiologie de la plante (sensibilité à la maladie) est un autre facteur qui influence l'intensité de la maladie. Cette dernière dépend de la quantité d'inoculum présent (**Champeil et al ., 2004**).

4- Le genre *Fusarium*

4-1- Généralité

Il existe plus d'une centaine d'espèces appartenant au genre *Fusarium* dont le nom vient de la forme de leurs spores en forme de fuseau et dont la première véritable description a été réalisée par Link en 1809, ceux –ci appartiennent à la classe des Ascomycètes (**Hunyadi,2016**). Ces champignons sont des organismes eucaryotes, hétérotrophes, leurs structure est organisée autour de thalle composé de structures filamenteuses appelées hyphes. À partir de ce thalle, se différencie le stade reproductif anamorphe (asexué) du stade reproductif téléomorphe (sexué) à l'origine du cycle de vie de ces champignons (**Bensalem, 2015**).

Le genre *Fusarium* provoque des maladies sur plusieurs cultures d'importance agronomique, y compris les céréales. Elles peuvent aussi être nocives pour les êtres humains et les animaux (**Elhouiti, 2018**).

4-2- Classification

Selon **Debourgogne** en **2013**, la nouvelle classification taxonomique du genre *Fusarium* basée sur la phylogénie moléculaire est la suivante :

Tableau 4 : La nouvelle classification taxonomique de *Fusarium*.

Règne	Fungi
Division	Ascomycota
Classe	Sordariomycetes
Sous classe	Hypocreomycetidae
Ordre	Hypocreales
Famille	Nectriaceae
Genre	<i>Fusarium</i>

4-3- Ecologie

Les champignons du genre *Fusarium* sont très répandus dans les sols sous forme de chlamydospores ou d'hyphes, dans les résidus de plantes et des matières organiques, abondamment dans les zones fertiles des sols cultivés plutôt que dans les sols forestiers.

Ces organismes sont retrouvés dans les habitats aquatiques et aussi bien sous les climats tempérés que sous les climats subtropicaux (**Benlabiod et al., 2019**).

4-4- Biologie du genre *Fusarium*

4-4-1- Cycle biologique

Les *Fusarium* sont assez communs dans les sols et peuvent y persister pendant de nombreuses années sous forme de spores très résistantes, ces dernières produites sur les résidus restés à la surface du sol peuvent être transportées par le vent ou amenées d'une feuille à l'autre jusqu'aux épis par les éclaboussures de pluie. Une fois que les conditions climatiques deviennent plus favorables avec l'arrivée du printemps, les spores présentent sur les anthères peuvent germer et pénétrer dans les tissus de l'épi en produisant un hyphes infectieux. Si cet événement a lieu au moment où les fleurs s'ouvrent et laissent sortir les anthères, l'hyphes infectieux pénètre alors dans les tissus de l'anthère pour ensuite coloniser les bractées florales et le rachis (figure11).

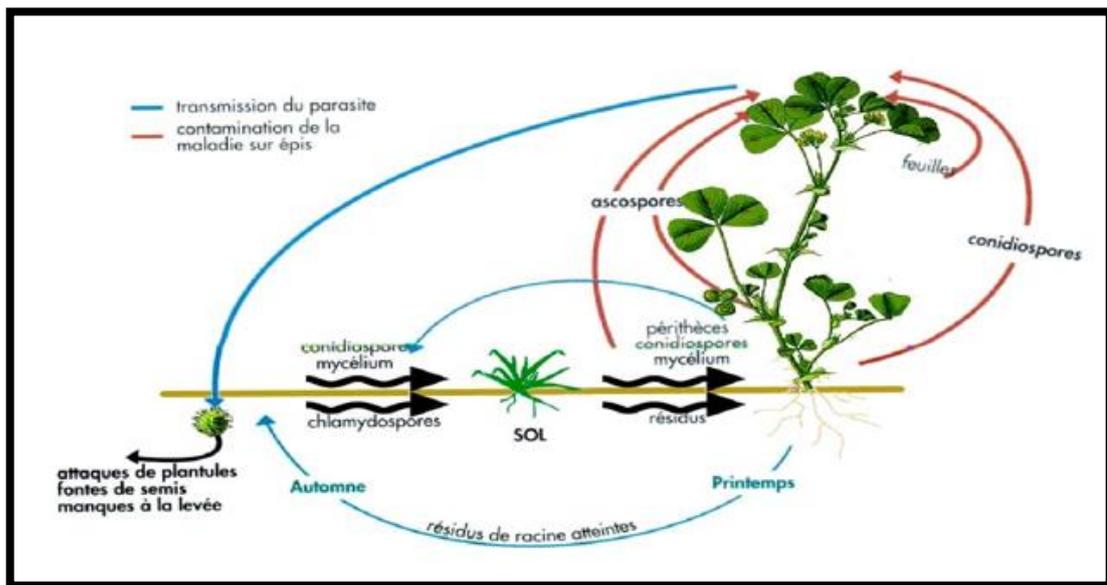


Figure 11 : Cycle de *Fusarium* spp. (Caron, 2002).

4-4-2- L'infection

La spore qui se trouve sur la plante hôte germe en produisant un mycélium. Les hyphes qui forment le mycélium proviennent à pénétrer dans la plante, C'est-à-dire à l'infecter. Le champignon pénètre ensuite dans la fleur et s'enfile dans les stomates, les blessures et les étamines (Mascher et al., 2005). Ces dernières sont le site préféré de pénétration parce qu'elles contiennent des composés qui stimulent la croissance des champignons (Strange et Smith, 1971). Quand l'épillet est infecté, le champignon se propage dans le reste de l'épi, soit à l'extérieur, soit à l'intérieur, c'est la phase asymptomatique de la maladie. Il rejoint les vaisseaux conducteurs du xylème et se développe ainsi dans la moelle de la tige qui permet au champignon de se développer dans l'ensemble de la plante. C'est le début de la phase symptomatique (Ballois, 2012).

4-5- Critères d'identification du *Fusarium*

4-5-1- Caractères culturels généraux

Les *Fusarium* poussent sur milieu Sabouraud, mais se développent mieux sur gélose à l'extrait de malt ou sur milieu PDA (potato-dextrose-agar). Leur température optimale de croissance est comprise entre 22 et 28°C. En culture, les colonies sont d'un aspect duveteux ou cotonneux, de couleur variable selon l'espèce : blanche à crème, jaune brunâtre, rose, rouge, violet ou lilas. Les pigments diffusent souvent dans la gélose.

4-5-2- Caractéristiques microscopiques

Le principal caractère morphologique des *Fusarium* est la présence de macroconidies fusiformes et cloisonnées (figure 12).

Les cellules conidiogènes se forment sur des hyphes aériens ou sur des conidiophores courts, ramifiés et densément branchés. Ce dernier porte des phialides qui permettent la production des conidies par des sites de bourgeonnement unique (monophialide) situé à l'extrémité d'un col allongé ou court et trapus. Chez d'autres espèces, on trouve plusieurs sites de bourgeonnement (polyphialides) (Chabasse et al., 2002).

Les conidies sont de deux types :

- Des macroconidies sont pluricellulaires, fusiformes, souvent courbées, pluri septées avec une cellule basale pédicellée, formant une sorte de talon plus au moins visible.
- Des microconidies sont uni ou bicellulaires petites, généralement septées, avec une forme ovoïde, subsphérique. Elles présentent une base arrondie ou tronquée, et produisent en séries basipétales sur des mono ou polyphialides et accumulées en petites têtes ou en chaînes.

Certaines espèces peuvent produire les deux types de spores, d'autres ne forment que des macroconidies. Les chlamydo-spores sont présentes, hyalines ou pâles, terminales ou intercalaires et possèdent une paroi épaisse (Ghorri, 2015).

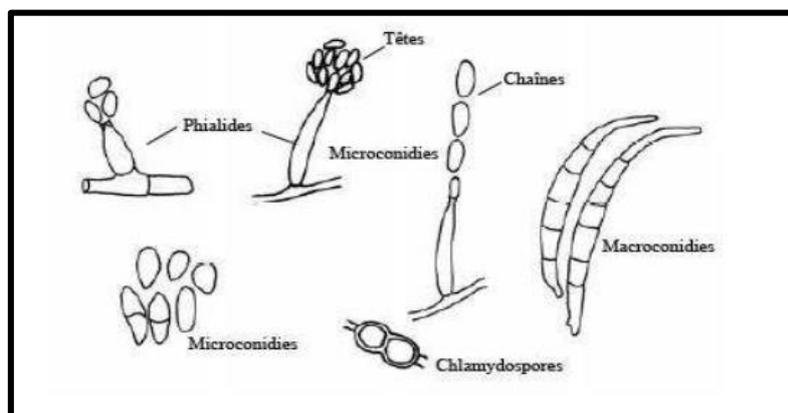


Figure 12 : caractères morphologiques des *Fusarium* (Elhouiti, 2018).

4-6- Pouvoir pathogène et potentiel toxinogène

4-6-1- Le potentiel toxinogène

Les espèces du genre *Fusarium* sont capables de produire plusieurs types de mycotoxines en particulier : les trichothécènes, la zéaralénone et les fumonisines...etc. (tableau 5) (Pitt, 2000).

Tableau 5 : Les *Fusarium* producteurs des mycotoxines (Elhouiti, 2018).

Espèces de <i>Fusarium</i>	Mycotoxines produites
<i>Fusarium acuminatum</i>	moniliformine, trichothécènes type A
<i>Fusarium anthophilum</i>	Moniliformine
<i>Fusarium avenaceum</i>	Fusarine C, moniliformine
<i>Fusarium chlamydosporum</i>	Moniliformine
<i>Fusarium cerealis</i>	Culmorine, fusarine C, trichothécènes type B
<i>Fusarium culmorum</i>	Culmorine, fusarine C, trichothécènes type B, zéaralénone
<i>Fusarium graminearum</i>	trichothécènes type B, zéaralénone
<i>Fusarium oxysporum</i>	acide fusarique, moniliformine, oxysporine
<i>Fusarium pallidorozeum</i>	moniliformine, zéaralénone
<i>Fusarium poae</i>	fusarine C, trichothécènes type A
<i>Fusarium proliferatum</i>	Moniliformine
<i>Fusarium sachari</i>	Moniliformine
<i>Fusarium sambucinum</i>	fuarine C, trichothécènes type A
<i>Fusarium solani</i>	Acide fusarique, naftoquinone
<i>Fusarium sporotrichoides</i>	fusarine C, trichothécènes type A, zéaralénone
<i>Fusarium verticillioides</i>	fumonisines, fusarine C, gibberelines, moniliformine, naftoquinone

4-6-2- Le pouvoir pathogène

Le genre *Fusarium* regroupe plusieurs espèces phytopathogènes qui attaquent nombreuses plantes et céréales qui sont importantes pour la nutrition humaine et animale. Elles infectent spécifiquement certaines parties telles que les grains, les semis, les racines et les tiges et provoquent diverses maladies connues sous le nom de fusariose (Hoquette et al., 2015 ; Askun, 2018).

Leur pouvoir pathogène chez l'homme et les animaux est varié. Certaines espèces sont à l'origine des kératites et endophtalmies. D'autres espèces (*F.solani*, *F.moniliforme*) sont impliquées dans des infections systémiques (**Guarro et Gene, 1992**).

Chapitre 3 : Mécanisme de défense chez les plantes

1- Les interactions plantes-pathogènes

Les plantes sont souvent exposées à des attaques parasitaires dues à l'agression de champignon, de virus et de bactéries. Ils peuvent être classés en deux classes, ceux qui provoquent la mort de leur hôte et senourrissent de son contenu (nécrotrophes) et ceux qui ont besoin d'un hôte vivant pour la nutrition et la supplémentation de leur cycle de développement (biotrophes).

L'interaction entre l'agent pathogène et la plante se caractérise par trois étapes (figure14) :

- La reconnaissance.
- La transduction des signaux.
- La réponse de défense.

1-1- La reconnaissance

La reconnaissance fait intervenir deux types de perception : le premier type de reconnaissance « non spécifique », est basée sur les éliciteurs généraux (PAMP) communs à de nombreux agents pathogènes, ils stimulent les réactions de défense dans tous les génotypes d'une espèce végétale.

Le deuxième qui est « spécifique » ou appelée « reconnaissance gène pour gène » lorsque les parasites sont capables de franchir la barrière de la reconnaissance non spécifique.

Dans ce système de reconnaissance qualifiée d'ETI (Effector-TriggredImmunity), la présence simultanée et spécifique du produit d'un gène de résistance (R) dans le génome d'une plante et du produit d'un gène d'avirulence (Avr) correspondant dans celui d'un parasite conduit à une résistance spécifique souvent caractérisée par la mort cellulaire programmée des cellules attaquées (Jones et Dangl, 2006).

1-2- La transduction des signaux

Après la perception de l'agent pathogène par la plante, de nombreux composants intervenant dans les cascades de signalisation sont activés (Torres-Zabla et al ., 2007), afin d'induire des réponses de défense (Nürnberger et Scheel , 2001). Ces signaux peuvent être : précoces ou secondaires.

- **Les réponses précoces** : implique dans la réaction hypersensible et quelque modification des flux ioniques, la production de formes réactives de l'oxygène et l'activation de cascade de signalisation, via des MAP kinases ainsi que d'autres protéines (Nürnberg et al., 2004).
- **Les signaux secondaires** : L'amplification et la spécificité sont assurées par des signaux précoces et qui entraînent la production des molécules d'éthylène (ET), de jasmonate (JA) et d'acide salicylique (SA) (Garcia-Brugger et al., 2006).

1-3- Les réponses de défense

Quand l'agent pathogène attaque la plante, elle doit réagir très vite pour mettre en place une défense. Il y a une production intensive de plusieurs molécules entraînant des modifications morphologiques dans le but de restreindre l'expansion de l'agent pathogène, (Langlois, 2006). On distingue :

1-3-1- un renforcement de la paroi cellulaire

C'est une barrière physique naturelle très efficace (Benhamou, 1996) qui constitue l'une des premières étapes de lutte contre les agressions (Bouarab, 2000). Cette paroi va être renforcée par des dépôts de composés phénoliques, d'ester et de polysaccharides (Benhamou, 1996). Ce mécanisme de défense favorise la résistance d'une plante à un agent pathogène.

1-3-2- Protéines PR

Les protéines reliées au pouvoir pathogène (PRP) ont été découvertes en 1970 chez les feuilles de tabac régissant de façon hypersensible (VMT) (Gianinzi et al., 1970 ; van Loon et van Kammen, 1970). Il s'agit de 14 classes de protéines induites lors d'un stress biotique ou abiotique (van Loon et al., 1994).

Ces protéines sont capables de dégrader la paroi des champignons et des bactéries. Le résultat de la dégradation constitue alors des éliciteurs capables d'introduire d'autres mécanismes de défense (Heitz et al., 1994 ; Legrand et al., 1987 ; ponstein et al., 1994 ; Strintzi et al., 1993 ; Kauffmann et al., 1987).

1-3-3- Réaction hypersensible

La réaction hypersensible (RH) est l'une des mécanismes de défense complexe induit par une plante suite à l'infection par des agents pathogènes de nature variée (Morel et Dangl,

1999 ; Heath, 2000), elle se traduit par une mort cellulaire programmée, au point de pénétration de l'agent pathogène conduisant à une formation de nécrose (Almi, 2016). Les mécanismes moléculaires de cette mort ne sont pas très bien connus (Dietrich et al., 1994 ; Greenberg et al., 1994).

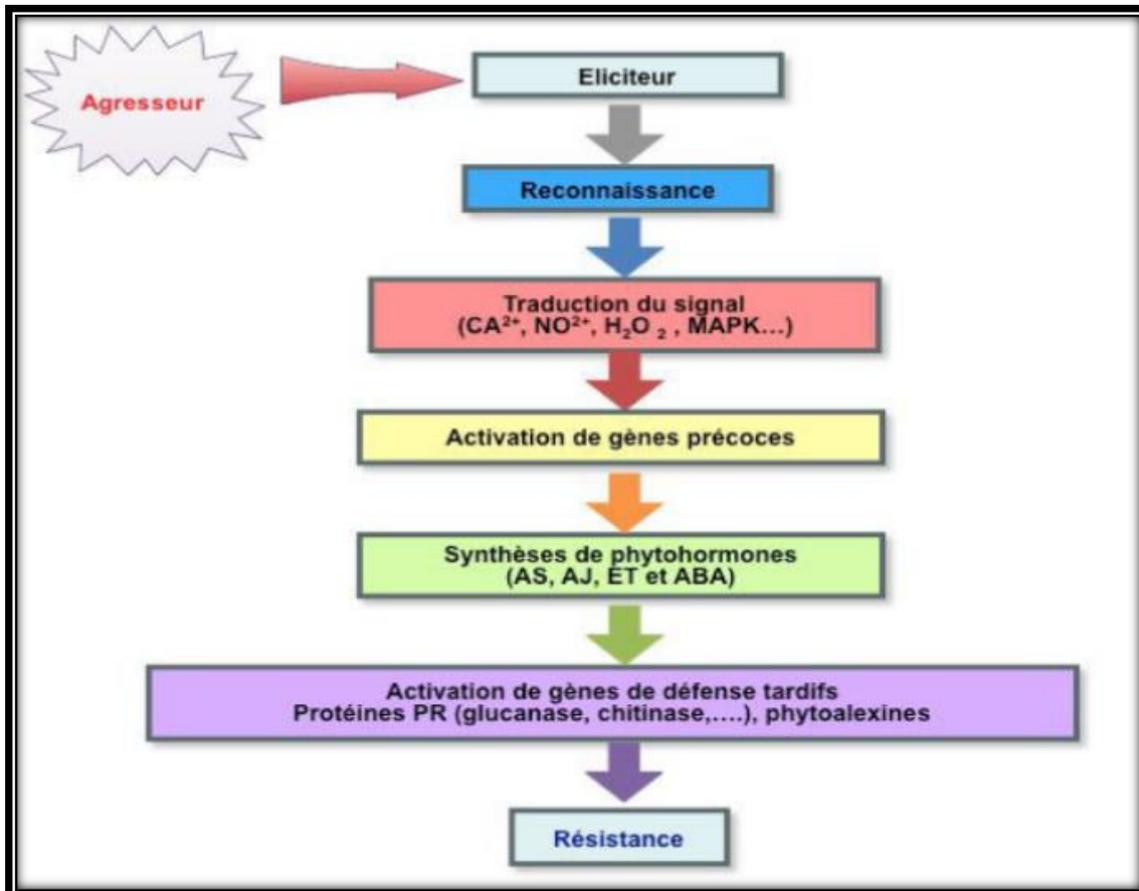


Figure 13 : Schéma simplifié des réactions de défense induites dans les interactions plantes / agents pathogènes (Hilarion., 2017).

2- La résistance chez les plantes

La résistance représente chez une plante tout phénomène qui empêche ou limite le développement d'un parasite, cette caractéristique est spécifique à un couple hôte-parasite qui s'exprime par un effet mesurable sur le niveau de la maladie (Rapilly, 1990).

Deux types de résistance sont généralement décrits chez les plantes : la résistance passive (constitutive) et la résistance active.

2-1- Résistance passive

Les plantes ont acquis une variété de défenses fondamentales leur donnant un certain niveau de résistance passive (Cécile, 2019). Cette dernière implique des barrières

préformées ou constitutives dont la plante s'est dotée à la suite d'une adaptation climatique (**Benhamou et Rey, 2012**). Elle se divise en deux grandes catégories :

2-1-1- Les barrières structurales constitutives

Les barrières structurales constitutives représentent la première barrière qu'un bioagresseur rencontre avant son contact avec la paroi des cellules épidermiques de la plante ou s'effectuera le premier degré de reconnaissance responsable de l'interaction (**Cécile, 2019**). Ces barrières sont les poils, les trichomes, les épines et les aiguillons, permettant d'empêcher ou de ralentir l'attachement de l'agent pathogène à la surface de la plante, ainsi que la cuticule reste la structure de protection la plus efficace (**Jeffree, 1996**).

2-1-2- Les barrières chimiques constitutives

Les produits chimiques appelés phytoanticipines se trouvent principalement dans la plante. Ils rassemblent différentes familles chimiques : les alcaloïdes, les lactones, les saponines, les glycosides cyanogéniques, les composés phénoliques. Ceux-ci comprennent les acides phénoliques simples, les flavones, l'acide chlorogénique et la quinone (**King et Young, 1999**). Ils ont un fort potentiel antifongique et antibactérien qui conduit à un effet néfaste sur les traits d'histoire de vie des agents pathogènes tels que :

- La germination des spores (**Benhamou et Rey, 2012**).
- La croissance mycélienne (**Benhamou et Rey, 2012**).
- La production d'enzymes hydrolytiques (**Benhamou et Rey, 2012**).
- La synthèse et l'activité biologique des toxines fongiques (**Benhamou et Rey, 2012**).

2-2- La résistance active

Quand l'agent pathogène réussit à surmonter la première ligne de défense passive (exemple : la cuticule), un nouveau système de résistance a été créé » au moment où il est détecté par la plante ayant le seul but le confinement de l'agresseur dans les cellules attaquées ; la plante est prête. La relation plante –agent pathogène provoque l'activation de plusieurs voies métaboliques pour :

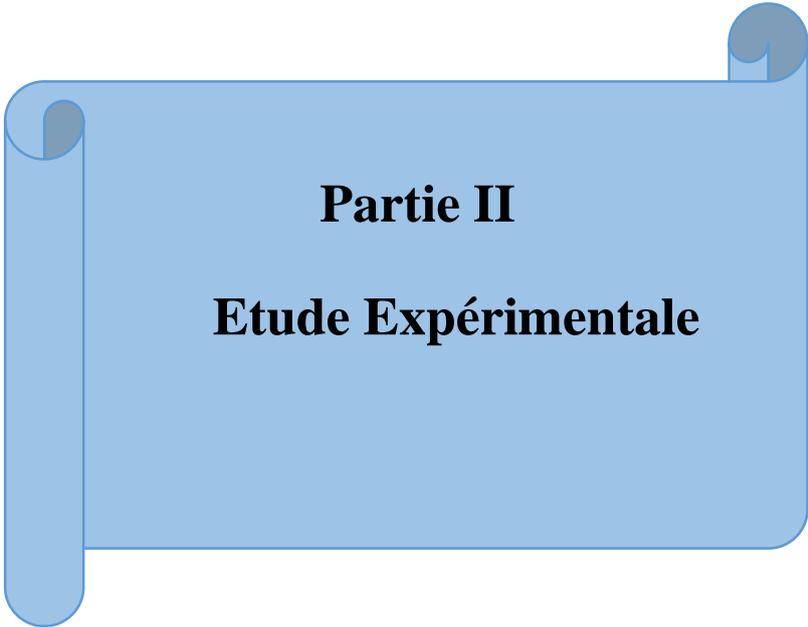
- Renforcer les barrières externes comme la paroi, pour retarder et empêcher la pénétration de l'agent pathogène
- Favoriser la création d'un environnement toxique dans le cas où le parasite parviendrait à franchir les barrières structurales nouvellement formées.

La résistance active fait intervenir les mécanismes physiologiques de la résistance. Classiquement, 5 constituantes de la résistance du blé à la fusariose ont été identifiées :

- Type I ; la résistance à l'infection primaire.
- Type II ; la résistance à la progression du champignon dans l'épi.
- Type III ; la résistance à l'infection des grains par le champignon.
- Type IV ; tolérance à la baisse de rendement du champignon.
- Type v ; résistance à l'accumulation des mycotoxines dans le grain.

3- La résistance variétale

La résistance est la capacité d'une variété à réduire la croissance et le développement d'un pathogène spécifique ou les dommages qu'ils causent, par rapport à des variétés sensibles et dans des conditions similaires environnementales et de pression de ce pathogène. Les variétés sensibles peuvent présenter quelques symptômes de la maladie ou de dommage en cas de pression élevée du pathogène. Pour cela, il est nécessaire d'utiliser des variétés résistantes ou tolérantes lorsqu'elles sont disponibles.



Partie II
Etude Expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et méthode

1- Matériel végétal

Medracen, El Hachimia, Boumerzoug, Akhamokh, Nif encer, Arz, Ain Abid, Bordj Mehis, Hidhab, neuf cultivars de blé tendre cités par ordre d'importance relative à leur utilisation par les agriculteurs. Ces variétés nous ont été fournies par la station expérimentale de l'INRA.

Les échantillons de blé tendre sont retenus pour étudier leur sensibilité / résistance vis-à-vis de deux souches pathogènes de *Fusarium culmorum* responsable de la fusariose de blé. Dans cette optique, deux tests « *in vitro* » ont été réalisés.

2- Agent pathogène

Les deux souches de *Fusarium culmorum* 1 et 2 caractérisées comme étant les plus agressives parmi une collection de *Fusarium* phytopathogène du blé, nous ont été fournies par le laboratoire de génétique, biochimie et biotechnologies végétales (GBBV) de l'université Frères Mentouri Constantine 1 pour effectuer les différents tests.

3- Méthodologie

Cette partie expérimentale a été effectuée au niveau du laboratoire de génétique Biochimie et Biotechnologies végétales de l'université Frères Mentouri Constantine 1 afin d'estimer la résistance des variétés de blé tendre sélectionnées, en réalisant deux tests « *in vitro* » dans des tubes à essai et dans des boîtes de pétri.

3-1- Test de l'inoculation du collet dans des tubes à essai

3-1-1- Préparation des tubes

Ce test a été réalisé selon la méthode de **Bouanaka et al. (2021)**, où 81 tubes à essai (14cm×3cm) ont été remplis par 4 cm de coton, et 20 ml d'eau distillée ont été ajoutés à chaque tube. Les tubes ont été recouverts avec du papier aluminium, puis stérilisés par autoclavage à 180 C° pendant 2 heures.

3-1-2- Préparation des graines de blé

405 graines de blé sain de chaque variété étudiée ont été soigneusement choisies à l'aide d'une pince. Les grains sélectionnés ont été désinfectés en surface par de l'hypochlorite de sodium (Na Clo) à 2% pendant 5 min et rincés trois fois successives par de l'eau distillée stérile. Les graines ont été déposées sur le coton humide dans chaque tube à essai (5 graines/tube).

Les tubes ont été fermés avec des bouchons transparents et mis dans l'étuve à 28±1 °C pendant 4 jours, où les semis ont atteint le stade une feuille (**Zadoks et al., 1974**).

3-1-3- Inoculation des tubes par les disques fongiques

Selon la méthode de **Bouanaka et al., (2021)**, sous la hôte microbiologique et dans des conditions d'asepsie, les disques fongiques d'un diamètre de 13 mm des deux souches de *Fusarium culmorum* utilisé dans les tests proviennent des cultures jeunes âgées de 7 jours sur milieu PDA. Dans chaque tube à essai précédemment préparé, un disque du champignon a été placé. Après inoculation, les tubes ont été transférés dans une chambre de culture (25/19 °C température jour/nuit, 16/8 h cycle éclairage/obscurité) pendant 10 jours, ils ont été disposés selon un plan de randomisation complet. Une fois les semis ont atteint le stade deux feuilles, les plantules ont été retirées soigneusement du coton avec de l'eau. Les classes de gravité de la FCR (fusariose du collet) en fonction de la décoloration des collets ont été attribuées au laboratoire sur une échelle de 0 à 4.

- ❖ La gravité de la maladie (DS) de chaque traitement par la souche pathogène a été calculée à l'aide de l'indice de **Mackinney (1923)**, qui exprime le pourcentage de la gravité maximale de la maladie selon la formule :

$$DS = \left\{ \sum (c \times f) / n \times N \right\} \times 100$$

Où :

- c = classe de maladie.
 - f = fréquence.
 - n = nombre d'observations.
 - N = la plus grande valeur de l'échelle empirique adoptée (classe 4).
- ❖ Le pourcentage du retard de croissance du coléoptile de nos variétés a été évalué selon la formule suivante :

$$\%RC = (1 - CCPI/CCPT) \times 100$$

Où :

- %RC : Pourcentage du retard de croissance de la coléoptile
- CCPI : Croissance de la coléoptile dans la plante inoculée
- CCPT : Croissance de la coléoptile dans la plante témoin

3-2- Test des boites de pétri : test de germination

3-2-1- Préparation des boites

Selon la méthode de **Bouanaka et al (2021)**, 900 graines de blé tendre de chaque cultivar, ont été soigneusement choisies à l'aide d'une pince, puis désinfectées dans une solution d'hypochlorite de sodium (Na Clo) à 2% et immergées pendant 5 minutes afin d'éliminer toute contamination superficielle puis rincées 3 fois par l'eau distillée stérile. Pour chaque cultivar, 8 boites de Pétri de 9cm de diamètre préalablement couvertes par du papier absorbant en triple couche sur lequel 25 graines saines ont été déposées dans chacune des boites, 4 boites ont été inoculées avec 10ml d'inoculum fongique, et les 4 autres témoins avec 10ml d'eau distillée stérile. Les boites de Pétri ont été incubées dans une étuve à 28°C en obscurité totale.

- ❖ Les graines germées dans les boites témoins de chaque cultivar ont été comptées 3 jours après l'inoculation et ce nombre a été considéré comme 100% de germination et de même pour les 4 boites infectées, et le nombre obtenu sert à calculer le pourcentage d'inhibition de la germination (GI%) selon la formule suivante :

$$GI \% = 100 - \left\{ \frac{GG_I \times 100}{GG_T} \right\}$$

Avec :

- **GG_I** = nombre des graines germées dans les boites infectées
- **GG_T** = nombre des graines germées dans les boites témoins

La valeur GI % varie de 0% (très résistante, les graines germées \geq à celles du témoin) à 100% (très sensible, toutes les graines n'ont pas germées au jour 3).

- ❖ The Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC) illustrant les symptômes sur les graines déjà germées et donc la sensibilité à l'infection initiale avec les deux souches de *Fusarium culmorum*. Les graines non germées ou avec des taches brunes sur les coléoptiles et/ou par le mycélium couvrant complètement les graines ont été identifiées sur les boites de Pétri infectées par *Fusarium culmorum* et comptées tous de 3 à 6 jours. La cinétique de progression de la maladie en pourcentage des graines symptomatiques (PGS) entre la première et la dernière notation a été suivie. L'AUDPC est calculé par la relation suivante :

$$\text{AUDPC} = \left\{ \sum_0^n \left(\frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} \right) \right\} / t$$

Avec :

- Y_i = le PGS à la $i^{\text{ème}}$ notation.
- t = nombre de jours écoulés entre la 1^{ère} et la dernière notation.
- n = nombre total de notations.

Les valeurs du AUDPC sont limitées entre 0 (très résistant, les semis sont semblables à ceux du témoin) à 100 (très sensible, tous les semis sont malades au jour 3).

3-2-2- Préparation de suspension sporale

Suivant le protocole de **Bouanaka et al., (2021)**, les deux isolats ont été cultivés sur quelques boîtes de Pétri sur un milieu PDA durant 45 jours, 10 ml d'eau distillée stérile avec 0.05% (v/v) de tween 20, ont été ajoutées à la partie aérienne mycélienne sur la surface de chaque boîte, puis grattées soigneusement jusqu'à récupération de la partie superficielle du champignon, le mélange de macroconidies, mycélium et le milieu PDA a été récupéré dans un bécher, puis filtré à travers une double couche d'étamines. La concentration de la suspension macroconidienne 8×10^6 macroconidies /ml a été ajustée par la cellule de Malassez.

4- Lecture des résultats

Les observations et la lecture des résultats ont été effectuées après 17 jours pour le premier test des tubes à essai et après 3 jours pour le deuxième test des boîtes de pétri.

- Pour le premier test, les paramètres étudiés sont :
 - Le pourcentage du retard de croissance.
 - La gravité de la maladie.
 - La longueur et le poids du coléoptile.
- Pour le deuxième test, les paramètres étudiés sont :
 - Le pourcentage d'inhibition de la germination (GI%)
 - La susceptibilité à l'infection initiale (AUDPC)

Chapitre 2 : Résultats et discussion

Le présent travail porte sur l'étude de la résistance variétale de 9 cultivars de blé tendre Algérien à l'égard de deux espèces du genre *Fusarium culmorum*.

1- Test *in vitro* : tubes à essai

Les résultats *in vivo* du test de pathogénicité des souches de *Fusarium culmorum*, sur le collet de différents cultivars de blé tendre ont été attribués au laboratoire sur une échelle de 0 à 4 (tableau 6).

Tableau 6 : Les classes de sévérité de la maladie sur la coléoptile.

Classes de sévérité	Symptômes observés	Photos
Classe 0	collet sain	
Classe 1	brunissement léger du collet	
Classe 2	brunissement de la moitié du collet	
Classe 3	brunissement complet du collet	
Classe 4	mort des plantules	

Tous les résultats de ce test *in vitro* sont résumés dans les tableaux suivants :

Tableau 7 : Paramètres analysés chez les variétés de blé tendre étudiées en tubes à essai sous des conditions contrôlées en chambre de culture en utilisant la souche pathogène (FC1).

<i>Fusarium culmorum 1</i>						
Variété de blé tendre	Moy .croissance coléoptile plantes (mm)		Moy .poids coléoptile plantes (mg)		% Retard de croissance coléoptile	% Indice de maladie
	Témoins	Inoculés	Témoins	Inoculés		
Medracen	146,07	112	67,1	50,46	23,32	75
El Hachimia	161,6	99,93	94,29	35,68	38,16	85
Boumerzoug	161,2	160,47	91,85	69,93	0,45	56,66
Akhamokh	156,15	148,14	84,45	58,16	5,13	64,29
Nif encer	156,54	134,33	93,38	41,63	14,19	75
Arz	156,14	124,77	84,91	22,30	20,09	82,69
Ain Abid	171,46	122,36	94,35	57,64	28,64	77,27
Bordj Mehis	149,33	141,86	102,05	62,81	5,00	71,43
Hidhab	160,79	136,25	103,69	68,67	15,26	81,25

Tableau 8 : Paramètres analysés chez les variétés de blé tendre étudiées en tubes à essai sous des conditions contrôlées en chambre de culture en utilisant la souche pathogène (FC2).

<i>Fusarium culmorum 2</i>						
Variété de blé tendre	Moy .croissance coléoptile plantes (mm)		Moy .poids coléoptile plantes (mg)		% Retard de croissance coléoptile	% Indice de maladie
	Témoins	Inoculés	Témoins	Inoculés		
Medracen	146,07	166,73	67,1	86,86	-14,14	38,33
El Hachimia	161,6	170,83	94,29	83,46	-5,71	50
Boumerzoug	161,2	147,4	91,85	75,69	8,56	45
Akhamokh	156,15	145,58	84,45	72,56	6,77	20,83
Nif encer	156,54	131,5	93,38	58,76	16	57,14
Arz	156,14	144,27	84,91	65,83	7,60	46 ,67
Ain Abid	171,46	139,08	94,35	48,95	18,88	75
Bordj Mehis	149,33	118,14	102,05	54,04	20,89	78,57
Hidhab	160,79	162,73	103,69	78,62	-1,21	75

1-1- Croissance et poids du coléoptile chez les variétés de blé tendre dans le groupe témoins.

1-1-1- Selon la croissance du coléoptile

❖ *Fusarium culmorum* 1

La figure 14 et le tableau 7, permettent de comparer les moyennes de la croissance du coléoptile des variétés de blé tendre témoins. A titre d'exemple, la moyenne de la croissance de coléoptile la plus importante est enregistrée pour la variété Ain Abid qui présente une longueur de 171,46 mm avant inoculation en étant témoin. A l'inverse la moyenne de la croissance de coléoptile la plus faible est notée pour la variété Medracen dans le groupe des témoins avec une valeur de 146,07 mm (figure 14). Des valeurs relativement moyennes de 161,6 mm, 161,2 mm et 160,79 mm sont enregistrées pour les variétés El Hachimia, Boumerzoug et Hidhab, respectivement. Les variétés Nif encer, Akhamokh et Arz présentent une croissance du coléoptile relativement faible par rapport aux autres variétés (156,54 mm, 156,15 mm et 156,14 mm, respectivement).

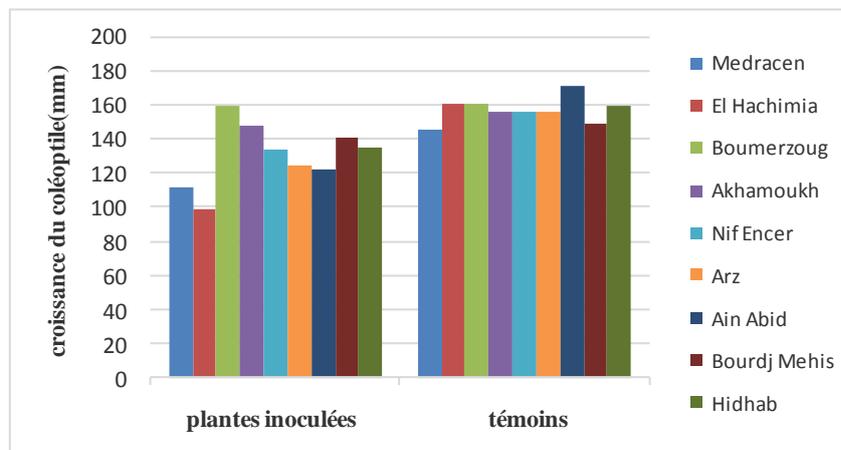


Figure14 : Croissance de la coléoptile chez les variétés étudiées inoculées par (FC1).

❖ *Fusarium culmorum* 2

La figure 15 et le tableau 8, présentent les moyennes de la croissance du coléoptile des variétés de blé tendre témoins.

La croissance du coléoptile dans le groupe des témoins varie de 146,07 mm à 171,46 mm. La variété Ain Abid enregistre une valeur plus élevée de 171,46 mm, suivies par El Hachimia,

Boumerzoug, Hidhab, Nif encer, Akhamokh, Arz, et Bordj Mehis avec des valeurs moyennes (161,6 ; 161,2 ; 160,79 ; 156,54 ; 156,15 ; 156,14 ; et 149,33 mm successivement). La valeur la plus faible est notée pour la variété Medracen (146,07 mm) (figure 15).

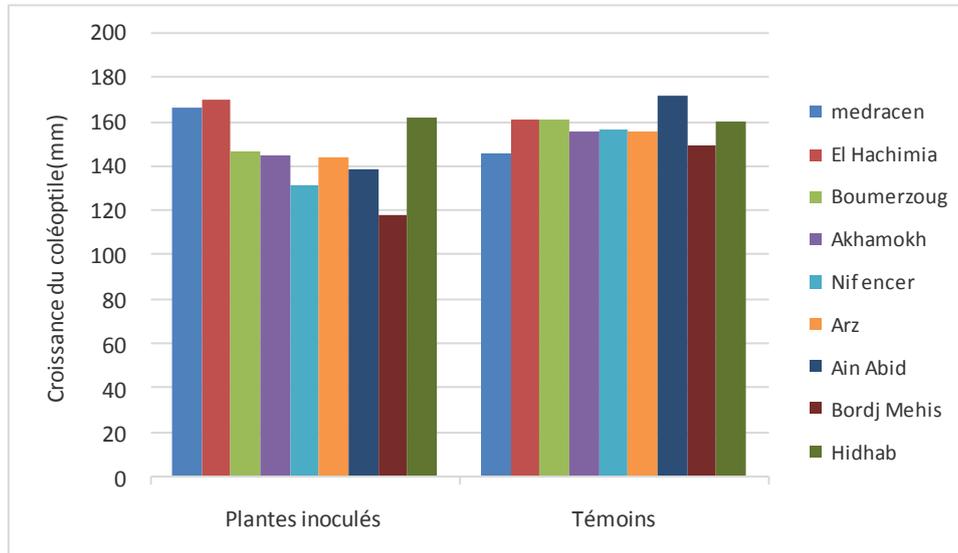


Figure 15 : Croissance du coléoptile chez les variétés étudiées inoculées par (FC2).

1-1-2- Selon le poids du coléoptile

❖ *Fusarium culmorum* (FC1)

D'après la figure 16, nous remarquons que la variété Hidhab enregistre le poids du coléoptile le plus important avec une valeur de 103,69 mg suivie de la variété Bordj Mehis qui elle aussi a enregistré un poids du coléoptile élevé de l'ordre des 102,05 mg. Les variétés qui possèdent des valeurs moyennes du poids de coléoptile sont Ain Abid, El Hachimia, Nif encer, Boumerzoug, Arz et Akhamokh avec : 94,35 mg, 94,29 mg, 93,38 mg, 91,85 mg, 84,91 mg et 84,45 mg, respectivement (figure 16). Enfin, la variété Medracen présente une valeur plus faible en comparaison avec les autres variétés (67,1mg).

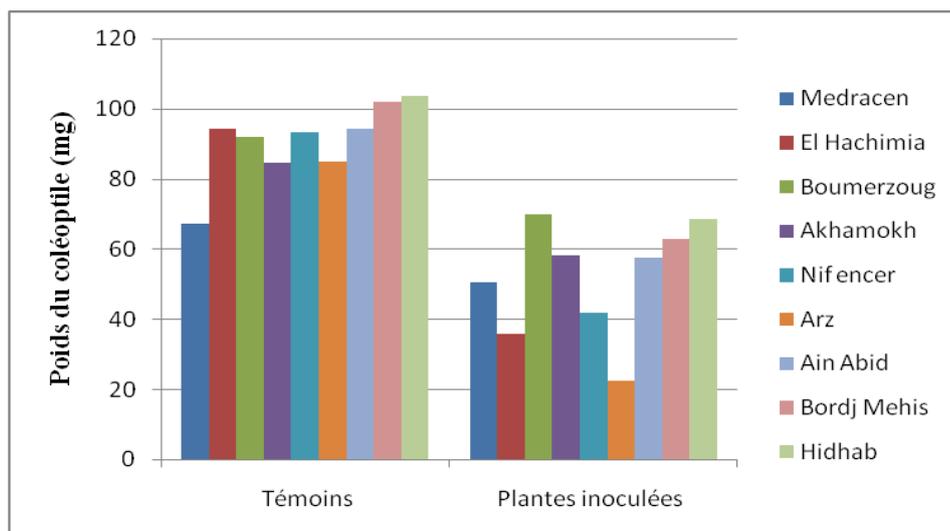


Figure 16 : Poids du coléoptile chez les variétés du blé tendre étudiées inoculées par (FC1).

❖ *Fusarium culmorum* (FC2)

Les moyennes du poids du coléoptile de différentes variétés de blé tendre témoins sont représentées dans la figure 17.

Nous observons que la plus importante valeur du poids du coléoptile est enregistrée chez la variété Hidhab (103,69mg), suivie par Bordj Mehis, Ain Abid, El Hachimia, Nif encer, Boumerzoug, Arz, et Akhamokh avec des valeurs moyennes de 102,05 ; 94,35 ; 94,29 ; 93,38 ; 91,85 ; 84,91 ; et 84,45 mg, respectivement. Enfin, Medracen possède la plus faible valeur de l'ordre 67,1mg (figure 17).

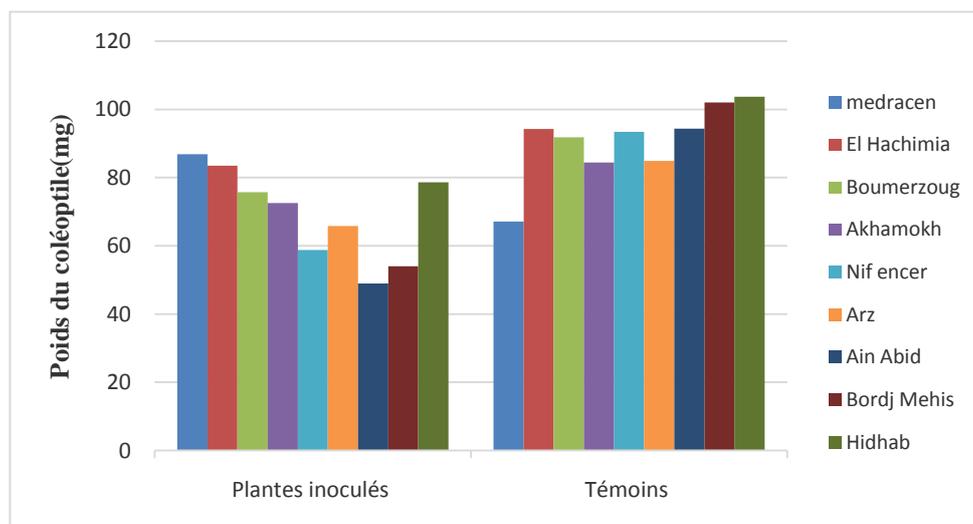


Figure 17 : Poids du coléoptile chez les variétés du blé tendre étudiées et inoculées par (FC2).

1-2- Croissance et poids de la coléoptile chez les variétés de blé tendre dans le groupe des plantes inoculées

1-2-1- Selon la croissance

❖ *Fusarium culmorum* (FC1)

Après inoculation des variétés du blé par l'agent pathogène *Fusarium culmorum* 1, nous pouvons clairement constater d'après la figure 14 des différences significatives de la croissance de coléoptile entre les témoins et les plantes inoculées où les valeurs enregistrées varient de 99,93 mm pour la variété El Hachimia jusqu' à 160,47 mm chez la variété Boumerzoug. Les variétés Akhamokh, Bordj Mehis et Nif encer présentent une croissance de coléoptile moyenne (148,14 ; 141,36 ; et 134,33 mm ; respectivement), tandis que les faibles valeurs sont notées pour les variétés Arz, Ain Abid et Medracen avec 124,77 mm ; 122,36 mm ; 112 mm, successivement (figure 14).

❖ *Fusarium culmorum* (FC2)

La croissance du coléoptile dans le groupe des variétés de blé tendre inoculées par l'agent pathogène *Fusarium culmorum* (FC2) est montrée dans la figure 15.

Selon la figure, nous remarquons qu'il existe des différences entre les témoins et les inoculées où les valeurs notées varient de 118,14mm pour la variété Bordj Mehis jusqu' à 170,83 mm pour la variété El Hachimia. Les valeurs moyennes de la croissance du coléoptile (166,73 ; 162,73 ; 147,4 ; 145,58 ; 144,27 ; 139,08 ; et 131,5 mm) sont enregistrées pour les variétés Medracen, Hidhab, Boumerzoug, Akhamokh, Arz, Ain Abid, Nif encer ; respectivement (figure15).

1-2-2- Selon le poids du collet

❖ *Fusarium culmorum* (FC1)

L'inoculation des variétés de blé tendre par l'agent *Fusarium culmorum* (FC1) provoque des modifications majeures sur le poids du coléoptile dans le groupe des plantes inoculées par rapport au groupe témoins. On a noté que la variété Arz perd un poids important par rapport à son témoin avec une valeur de 22,30 mg, suivie par El Hachimia, Nif encer , Medracen , Ain

Abid , Akhamokh , Bordj Mehis , Hidhab et Boumerzoug avec des valeurs de : 35,68 mg , 41,63 mg , 50,46mg , 57,64mg , 58,16 mg , 62,81mg , 68,67mg , 69,93mg (figure 16).

❖ *Fusarium culmorum* (FC2)

Après inoculation par *Fusarium culmorum* (FC2), les différentes variétés de blé tendre enregistrent des modifications au niveau du poids de coléoptile dans le groupe inoculé par rapport à celui du témoin.

A partir de la figure 17 , nous constatons que la variété Medracen note une fréquence plus importante de l'ordre de 86, 86 mg en comparaison avec les autres variétés : El Hachimia , Hidhab , Boumerzoug , Akhamokh , Arz , Nif encer ,et Bordj Mehis qui possèdent les valeurs relativement moyennes de 83,46 ; 78,62 ; 75,69 ; 72,56 ; 65,83 ; 58,76 ;et 54,04 mg respectivement .Finalement, la valeur la plus faible est constatée chez la variété Ain Abid (48,95 mg).

1-3- Comparaison de la croissance du coléoptile chez les variétés de blé témoins et inoculées

❖ *Fusarium culmorum* (FC1)

Les moyennes de la croissance du coléoptile des variétés de blé tendre témoins et inoculées par *Fusarium culmorum* (FC1) sont exprimées dans la figure 18.

A titre d'exemple, les moyennes de la croissance de coléoptile chez les témoins sont 171,46 mm pour la variété Ain Abid et 161,6 pour la variété El Hachimia. Chez les mêmes variétés inoculées par *Fusarium culmorum* (FC1), ces moyennes sont beaucoup plus basses, elles sont de l'ordre de 122 ,36 mm et 99,93 mm, respectivement (Figure 18) .La même observation est notée pour toutes les autres variétés où les valeurs de croissance du coléoptile sont beaucoup plus faibles chez les variétés inoculées.

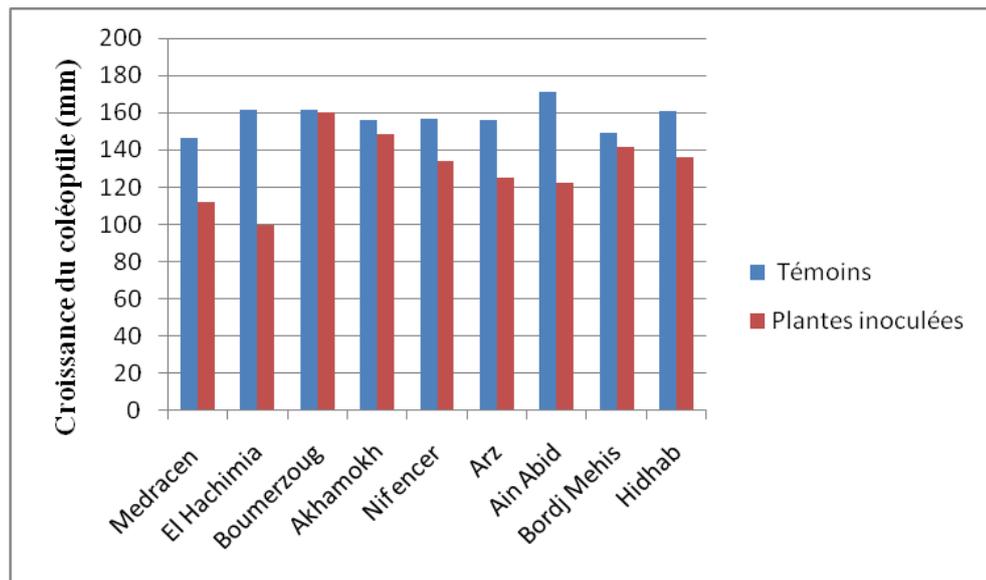


Figure 18 : Comparaison de la croissance du coléoptile chez les groupes de variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC1).

L'analyse statistique des données révèle que l'effet du *Fusarium culmorum* (FC1) responsable de la fusariose du blé est significatif sur la croissance du coléoptile. Il n'existe pas une différence remarquable entre le témoin et l'inoculé à cause de la faible pathogénicité de la souche, chez la variété Boumerzoug, il s'agirait probablement d'une variété résistante.

❖ *Fusarium culmorum* (FC2)

Les moyennes de la croissance du coléoptile des variétés de blé tendre témoins et inoculées par *Fusarium culmorum* 2 sont exprimées dans la figure 19.

Les variétés Ain Abid, Boumerzoug, Nif encer, Akhamokh, Arz et Bordj Mehis se caractérisent par une diminution des valeurs de croissance de coléoptile chez les inoculées par rapport aux témoins, où la plus importante valeur est enregistrée pour la variété Ain Abid qui présente une longueur de 171,46mm avant inoculation et de 139,08 mm après inoculation par le champignon *Fusarium culmorum* 2. A l'inverse, la longueur la plus faible est notée pour la variété Bordj Mehis en étant témoin avec l'ordre de 149,33 mm et inoculée avec une valeur de 118,14 mm. A l'exception des variétés El Hachimia, Hidhab et Medracen, qui enregistrent une meilleure augmentation des valeurs de la croissance de coléoptile dans le groupe inoculées par rapport aux témoins avec des valeurs : 170,83 ; 162,73 ; et 166, 73 mm, respectivement (voir figure 19).

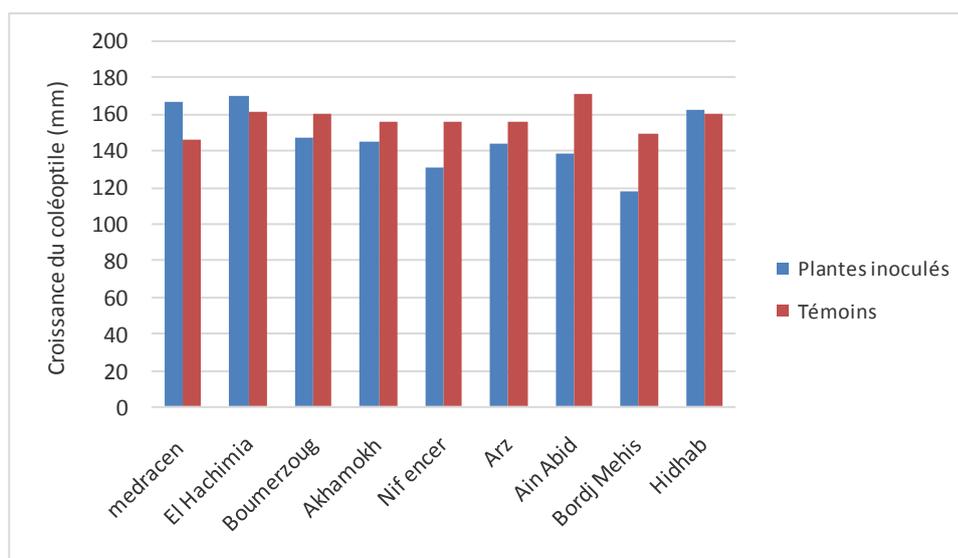


Figure 19 : Comparaison de la croissance du coléoptile chez les groupes de variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC2).

L'analyse statistique des résultats indique que l'effet positif du champignon responsable de la fusariose du collet (FCR) est significatif sur la croissance du coléoptile chez les variétés Ain Abid, Bumerzoug, Nif encer, Akhamokh, Arz et Bordj Mehis, cela signifie ces variétés sont plus au moins sensibles. On observe, par contre, un effet négatif de la souche sur la croissance du coléoptile chez les variétés El Hachimia, Hidhab et Medracen montrant qu'il s'agirait des variétés résistantes.

1-4- Comparaison du poids de coléoptile chez les variétés de blé tendre témoins et inoculées

❖ *Fusarium culmorum* (FC1)

Les résultats des moyennes du poids du coléoptile des variétés de blé tendre témoins et inoculées par *Fusarium culmorum* 1 sont présentées dans la figure 20.

Nous constatons que les variétés Arz, El Hachimia et Nif encer perdent plus que la moitié de leur poids par rapport aux témoins, où le poids du coléoptile est divisé par 4 chez la variété Arz, par 2 chez la variété El Hachimia, par 2 chez la variété Nif encer ; après inoculation par l'agent pathogène (figure 20). Il existe donc une différence très significative grâce à l'effet négatif du *Fusarium culmorum* 1 sur les différentes variétés de blé tendre.

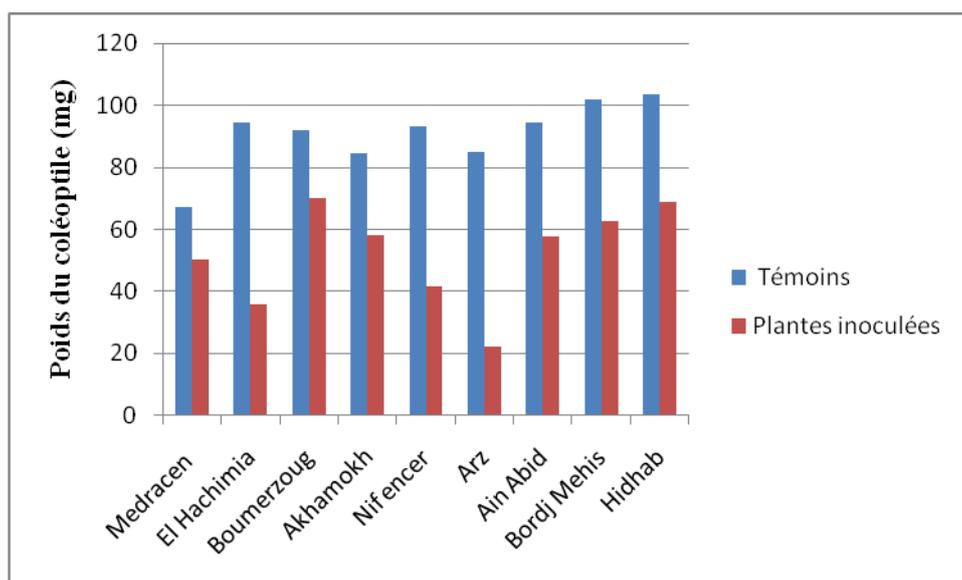


Figure 20 : Comparaison de poids du coléoptile chez les variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC1).

❖ *Fusarium culmorum* (FC2)

Les résultats de ce paramètre des variétés de blé témoins et inoculées sont montrés dans la figure 21.

Nous remarquons que la valeur la plus élevée est de 103,69 mg dans le groupe des témoins et de 78,62 mg dans le groupe des inoculées chez la variété Hidhab, par contre Akhamokh présente la plus faible valeur de 84,45 mg dans le groupe des témoins et de 72,56 mg dans le groupe des inoculées (figure 21). Il existe donc une différence significatif chez toutes les variétés entre le groupe des témoins et des inoculées à l'exception de la variété Medracen qui enregistre une valeur plus importante de 86,86 mg par rapport à son témoin (67, 1mg).

Nous concluons alors que, *Fusarium culmorum* 2 n'a pas influé sur la variété Medracen, c'est à dire qu'elle est résistante. Par opposition, les autres variétés sont apparues sensibles avec des valeurs minimales.

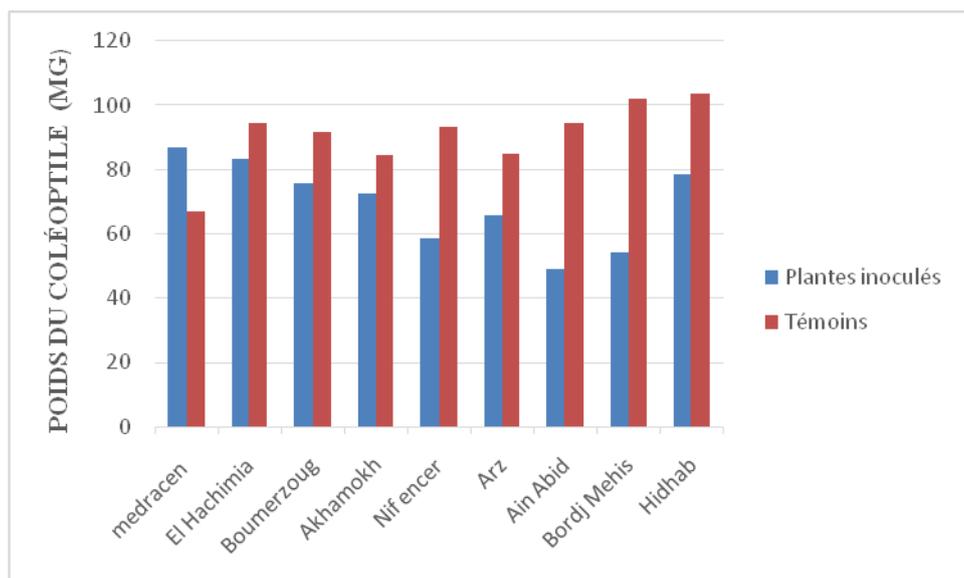


Figure 21 : Comparaison de poids du coléoptile chez les groupes de variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC2).

1-5- Pourcentage du retard de croissance du coléoptile chez les variétés étudiées

Le résultat de % du retard de croissance de coléoptile enregistré chez les variétés du blé inoculées par FC1 est présenté dans la figure 22.

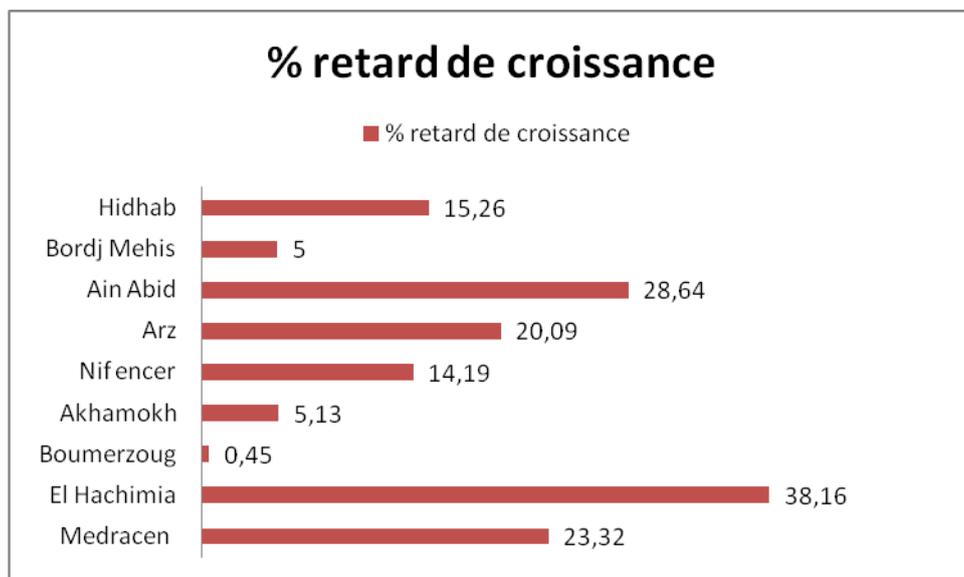


Figure 22 : Pourcentage du retard de croissance du coléoptile enregistré chez les variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC1).

Selon la figure 22, nous observons que la variété El Hachimia enregistre le retard de croissance le plus élevé avec une valeur de 38,16 % ce qui explique que cette variété est la plus tardive suivie de la variété Ain Abid et Medracen qui elles aussi enregistrent un retard de croissance important de l'ordre 28,64% et 23,32 % respectivement .Les variétés qui notent un retard de croissance moyen sont Arz, Hidhab, Nif encer avec des valeurs de 20,09%,15,26%,14,19%, respectivement. Nous remarquons aussi qu'il existe des variétés faiblement tardives comme Akhamokh et Bordj Mehis avec les proportions du retard de croissance du coléoptile respectives suivantes ; 5,13% et 5%. Enfin, la variété la moins tardive est Boumerzoug qui présente une valeur relativement faible par rapport aux autres variétés (0,45%).

Ce premier résultat (%RC) dans ce premier test *in vitro* sur tube permet de conclure que la variété El Hachimia est la plus sensible au *Fusarium culmorum* 1 qui se traduit par un retard de croissance du coléoptile important. Par contre, ce paramètre (RC%) indique que la variété Boumerzoug est la plus résistante à l'agent pathogène et présente le retard de croissance de coléoptile le plus faible.

Le résultat de % du retard de croissance de coléoptile enregistré chez les variétés du blé inoculées par **FC2** est présenté dans la figure 23.

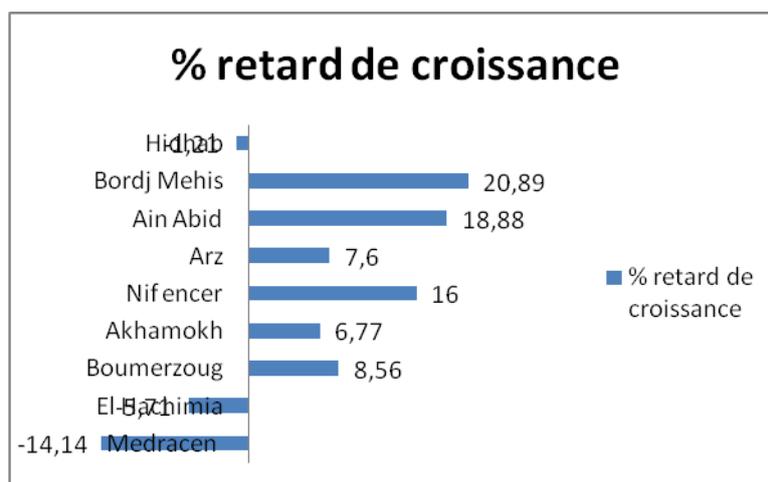


Figure 23 : Pourcentage du retard de croissance du coléoptile enregistré chez les variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC2).

Les résultats obtenus montrent que les variétés Boumerzoug, Akhamokh , Nif encer Arz et Bordj Mehis sont tardives mais à des degrés variables .Ainsi les variétés les plus tardives sont Bordj Mehis, Ain Abid et Nif encer avec un pourcentage de retard de croissance

important de 20,89%, 18,88% et 16%, respectivement. Les variétés faiblement tardives sont Boumerzoug, Arz et Akhamokh avec les pourcentages de RC suivants : 8,56%, 7,6% et 6,77%, successivement (figure 23).

Nous remarquons également, une croissance totale chez les autres variétés (Medracen, El Hachimia et Hidhab) avec des proportions variables de l'ordre : -14,14 % ; -5,71% et -1,21%, respectivement, ces valeurs négatives stipulent que l'agent pathogène FC2 a joué un rôle positif et a stimulé la croissance des plante ! (figure 23).

Cette analyse détermine que la variété Bordj Mehis est la plus sensible à l'agent pathogène FC2 qui se traduit par un retard de croissance du collet élevé. A l'inverse, ce paramètre indique que la variété Medracen est la plus résistante au champignon FC2 présentant aucun retard de croissance.

1-6- L'indice de maladie chez les variétés étudiées

- Les pourcentages de l'indice de maladie calculés pour chaque variété de blé tendre inoculée par *Fusarium culmorum* 1 sont présentés dans la figure 24.

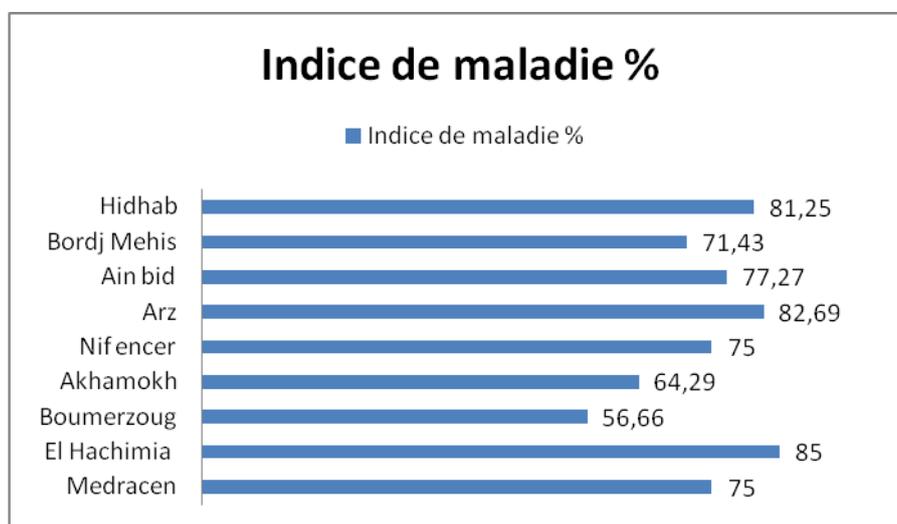


Figure 24 : Pourcentages de l'indice de maladies enregistré chez les variétés de blé tendre étudiées inoculées par (FC1).

Les résultats obtenus indiquent que toutes les variétés de blé tendre étudiées sont sensibles à la fusariose mais avec des degrés variables. Par conséquent, les variétés les plus sensibles sont : El Hachimia, Arz, Hidhab et Ain Abid, avec un indice de maladie important de 85%, 82,69%, 81,25% et 77,27% respectivement. Les variétés moyennement sensibles

sont : Medracen, Nif encer, Bordj Mehis avec un indice de maladie de 75% ; 75% ; 71,43% respectivement (figure 24). Medracen et Nif encer ont le même pourcentage d'indice de maladie. Finalement, les variétés les moins sensibles c'est -à-dire les plus résistantes sont Akhamokh et Boumerzoug ayant des indices de maladie de 64,29% et 56,66%, respectivement.

Les résultats de ce deuxième paramètre pour le premier test des tubes *in vitro* permettent de constater également que la variété El Hachimia est plus sensible au *Fusarium culmorum* 1 comme dans le premier résultat ce qui signifie un indice de maladie important. À l'inverse, ce paramètre (% IM) indique que la variété Boumerzoug est la plus résistante au *Fusarium culmorum* 1 présentant l'indice de maladie le plus faible.

- Les pourcentages de l'indice de maladie calculé pour chaque variété de blé tendre inoculée par *Fusarium culmorum* 2 sont présentés dans la figure 25.

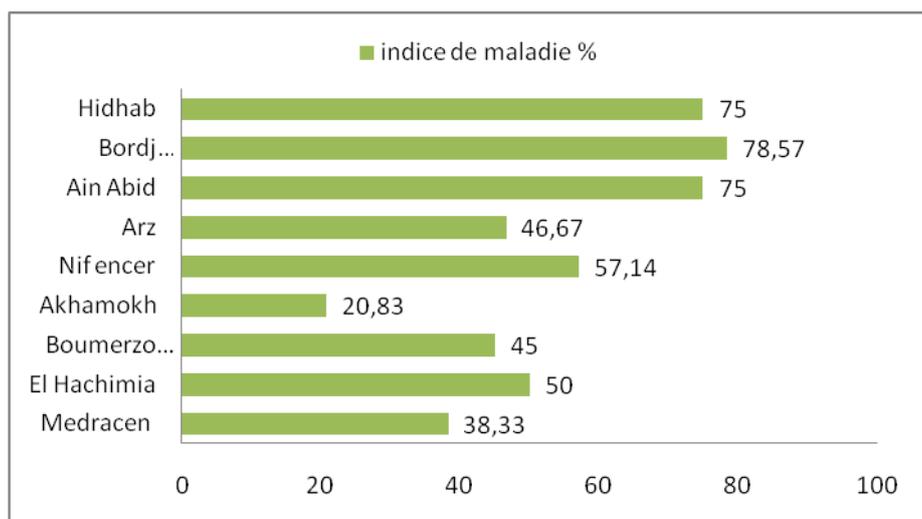


Figure 25 : Pourcentages de l'indice de maladies enregistré chez les variétés de blé tendre étudiées et inoculées par (FC2).

Les résultats de ce paramètre varient entre 78,57% et 20,83%, la valeur la plus élevée est observée chez la variété Bordj Mehis 78,57%, cette dernière indique qu'elle est sensible (figure 25). Cependant, Akhamokh note la plus faible valeur de 20,83% que signifie que cette variété est résistante. Ain Abid et Hidhab possèdent le même pourcentage d'indice de maladie de l'ordre 75%. Les variétés plus au moins sensibles sont : Nif encer, El Hachimia, Arz, Boumerzoug et Medracen avec des pourcentages de 57,14 ; 50 ; 46,67 ; 45 ; et 38,33%, respectivement.

1-7- Corrélation entre le retard de croissance du coléoptile et l'indice de maladie

❖ *Fusarium culmorum* (FC1)

La représentation schématique des deux paramètres le pourcentage du retard de croissance du coléoptile et le pourcentage de l'indice de maladie mesurés lors du premier test des tubes *in vitro* est résumé dans la figure 26.

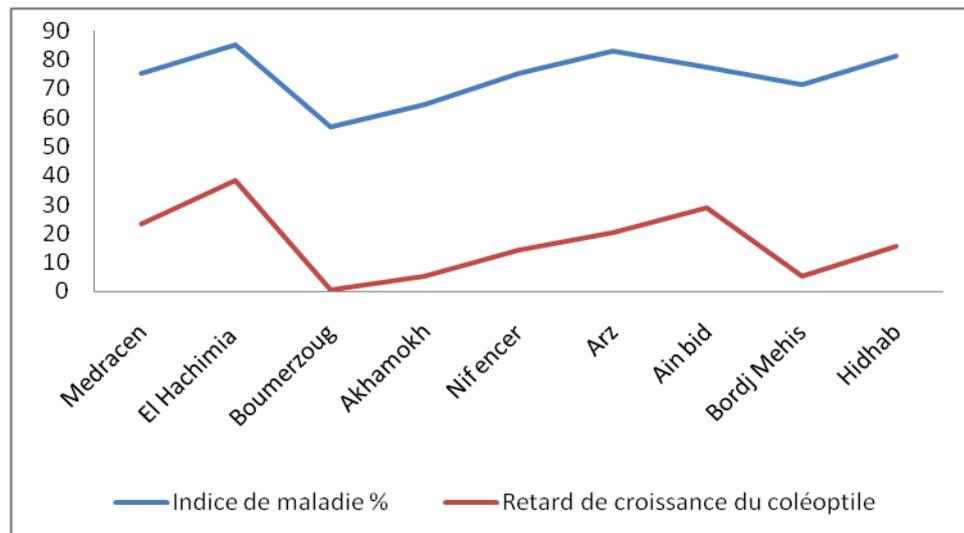


Figure 26 : Corrélation entre le retard de croissance du coléoptile et l'indice de maladie (FC1).

L'analyse statistique des données explique que les deux paramètres présentent une corrélation significative. Ainsi, nous pouvons clairement constater d'après la figure 26 que la relation entre ces deux paramètres est directe c'est-à-dire que plus le retard de croissance du coléoptile est important et plus l'indice de maladie est important et vis versa. Cette relation confirme que la fusariose a un impact sur la croissance du coléoptile et se traduit nettement par l'allure des deux courbes (figure 26) qui se suivent et se ressemblent pour toutes les variétés de blé tendre analysées.

❖ *Fusarium culmorum* (FC2)

L'analyse statistique des données montre que les deux paramètres présentent une corrélation significative. Ainsi, nous pouvons clairement observer d'après la figure 27 que la relation entre le pourcentage du retard de croissance du coléoptile et le pourcentage de l'indice de maladie est directe, c'est-à-dire que plus le pourcentage de RC de la variété est important, le pourcentage de IM est important et vis versa (figure 27). Cela se traduit par l'allure des deux courbes qui se suivent et qui se rassemblent pour toutes les variétés de blé tendre analysées à l'exception de Medracen et El Hachimia qui sont inversement corrélées, où ces deux variétés

enregistrent un pourcentage de RC négatif par rapport aux pourcentages d'indice de maladie. Cette observation, suppose que ces deux variétés sont résistantes.

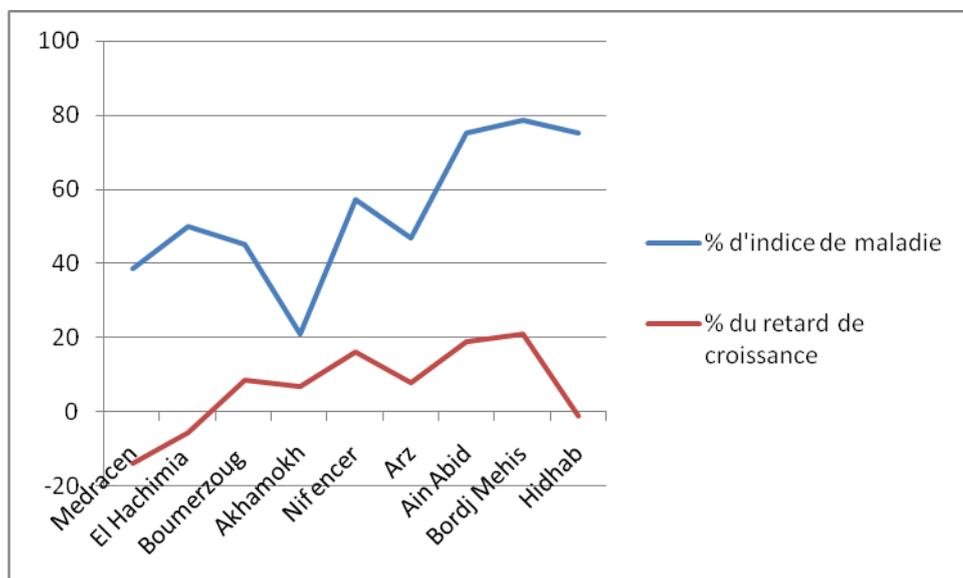


Figure 27 : Corrélation entre le retard de croissance du coléoptile et l'indice de maladie (FC2).

2-Test *in vitro* : boîtes de pétri

Les résultats concernant le pourcentage d'inhibition de germination et l'infection initiale des graines germées AUDPC des différentes variétés de blé tendre sont représentées dans le tableau 9.

Tableau 9 : Paramètres analysés chez les variétés de blé tendre étudiées en boîte de pétri.

<i>Fusarium culmorum</i> 1		
Variétés	% d'inhibition de germination	AUDPC
Medracen	18,75	31,25
El Hachimia	27,66	33,69
Boumerzoug	53,76	58,78
Akhamokh	26,32	36,84
Nif encer	27,66	36,88
Arz	26,32	36,32
Ain Abid	32,63	34,68
Bordj Mehis	23,23	30,04
Hidhab	22,34	36,53

2-1- L'analyse des paramètres étudiés par l'effet de l'agent pathogène FC1

2-1-1- Le pourcentage d'inhibition de germination des variétés par *Fusarium culmorum*1

D'après la figure 28, nous distinguons que ce paramètre diffère d'une variété à une autre. A titre d'exemple, la variété Boumerzoug enregistre le pourcentage d'inhibition de germination le plus élevé de l'ordre 53,76 % par rapport aux autres variétés, suivie par Ain Abid avec une proportion de 32,63%. Les variétés El Hachimia et Nif encer occupent le même niveau de GI (27,66%), la même observation est notée chez Akhamokh et Arz avec une valeur de 26,32%. A l'opposé, la variété Medracen enregistre un faible pourcentage de l'ordre 18,75% (figure 28).

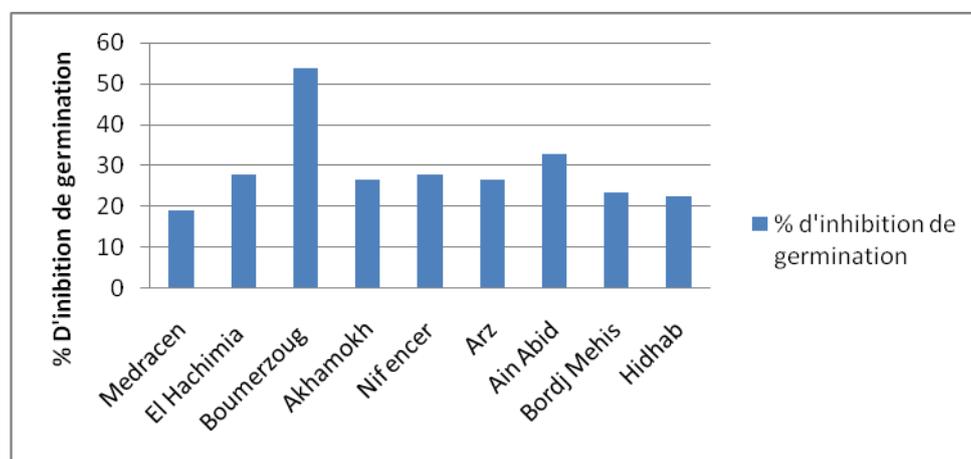


Figure 28 : Pourcentage d'inhibition de germination chez les variétés de blé tendre étudiées (FC1).

A partir de l'analyse de la figure 27, nous pouvons déterminer que toutes les variétés sont sensibles mais avec des valeurs minimales, ce qui se traduit par un effet d'infection positif.

2-1-2- Analyse de la sensibilité à l'infection initiale (AUDPC)

Les résultats statistiques de ce paramètre indiqués en figure 29, montrent que tous nos cultivars ont une sensibilité dès les 3 premiers jours vis-à-vis du pathogène FC1, avec une diminution du nombre des graines germées dans chacun des génotypes en comparaison avec son propre témoin. Bordj Mehis est le génotype qui a montré la résistance la plus importante à l'infection initiale des graines germées avec une sensibilité AUDPC=30.04%, et Boumerzoug est apparue la plus sensible avec AUDPC=58.78% (Tableau 9). Les autres variétés ont des pourcentages d'AUDPC presque identiques.

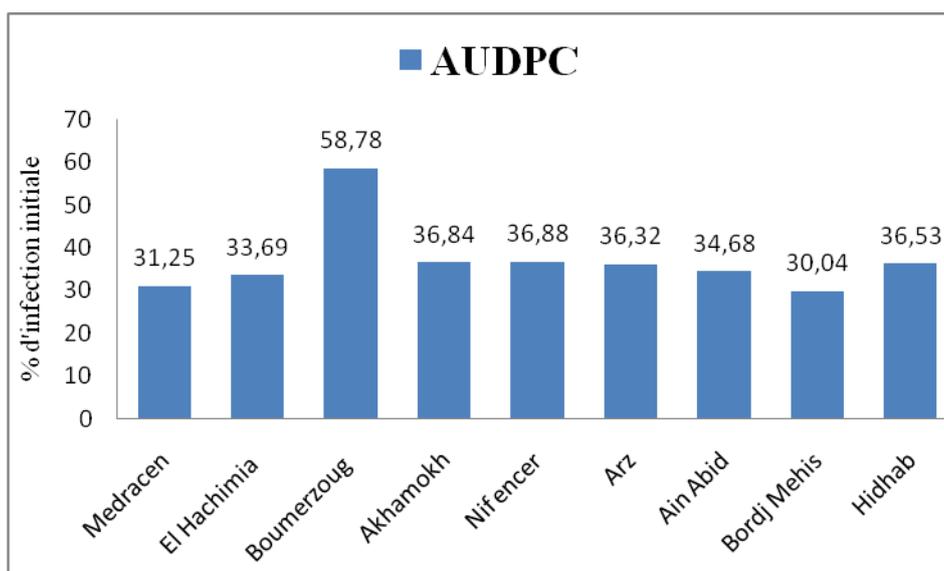


Figure 29 : Pourcentages de l'infection initiale enregistrée chez les variétés du blé tendre étudiées (AUDPC).

2-1-3- Corrélation entre le pourcentage d'inhibition de germination et la sensibilité à l'infection initiale

La représentation schématique des deux paramètres du pourcentage d'inhibition de germination et le pourcentage de la sensibilité à l'infection initiale mesurées lors du deuxième test *in vitro* sur boîtes de pétri est résumée dans la figure 30.

L'analyse statistique des données montre que les deux paramètres présentent une corrélation significative (positive). Ainsi, nous pouvons clairement observer d'après la figure 31 que la relation entre le pourcentage de GI et le pourcentage d'AUDPC est direct, c'est-à-dire que plus le pourcentage de GI de la variété est important, l'AUDPC est important et vis versa. Cela se traduit par l'allure des deux courbes qui se suivent et qui se rassemblent pour toutes les variétés de blé tendre analysées à l'exception d'Ain Abid et Hidhab qui sont inversement corrélées, où Ain Abid enregistre un pourcentage de GI important alors que leur pourcentage d'AUDPC est faible et aussi la variété Hidhab montre une valeur faible de GI par rapport à son AUDPC qui est élevé (figure 30). Cette observation, suppose que ces deux variétés sont probablement résistantes aux stades de germinations mais après certain temps (3 à 6 jours), elles deviennent sensibles après.

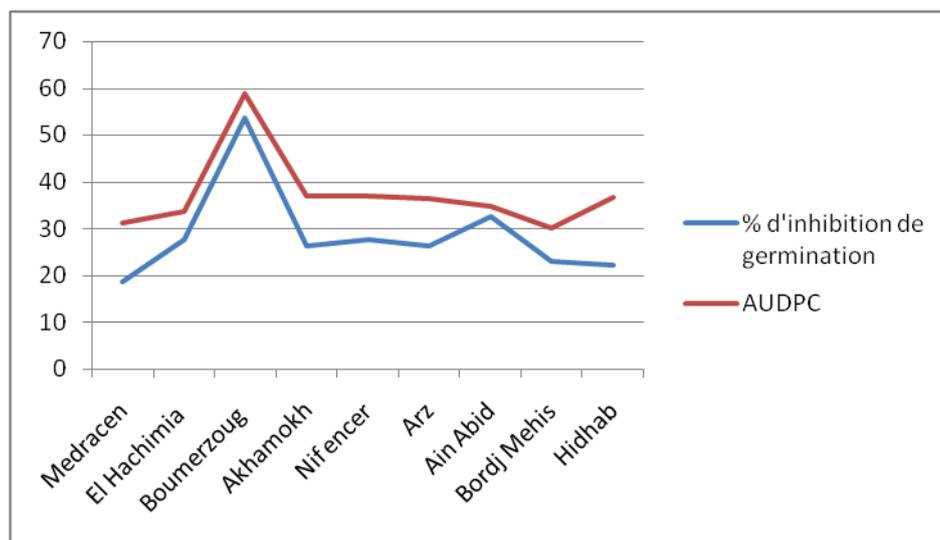


Figure 30 : Corrélation entre le pourcentage d'inhibition de germination et la sensibilité à l'infection initiale.

2-2- L'analyse des paramètres étudiés avec l'effet de l'agent pathogène FC2

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 10 : Paramètres analysés chez les variétés de blé tendre étudiées en boîte de pétri.

<i>Fusarium culmorum 2</i>		
Variétés	% d'inhibition de germination	AUDPC
Medracen	40,62	64,93
El Hachimia	22,34	44,68
Boumerzoug	67,74	80,65
Akhamokh	28,42	45,79
Nif encer	30,85	58,51
Arz	48,42	62,28
Ain Abid	69,47	63,69
Bordj Mehis	39,39	55,39
Hidhab	53,19	70,92

2-2-1- Le pourcentage d'inhibition de germination des variétés par *Fusarium culmorum2*

Pour ce paramètre les valeurs s'étalent entre 22,34% et 69,47 % présentées par nos cultivars (Figure 31), avec une valeur maximale chez la variété Ain Abid et Boumerzoug

(69,47% et 67,74%) ce qui signifie qu'elles sont sensibles. Medracen, Arz et Hidhab trois génotypes classés modérément sensible avec des valeurs de (40,62% e, 48,42et 53,19%).

Les génotypes Nif encer, et Bordj mehis étaient classés modérément résistants avec un pourcentage de GI 30,85% et 39,39%, respectivement. El Hachimia et Akhamokh ont des valeurs minimales de l'ordre 22,34% et 28,42% ce qui explique qu'elles sont des variétés résistantes.

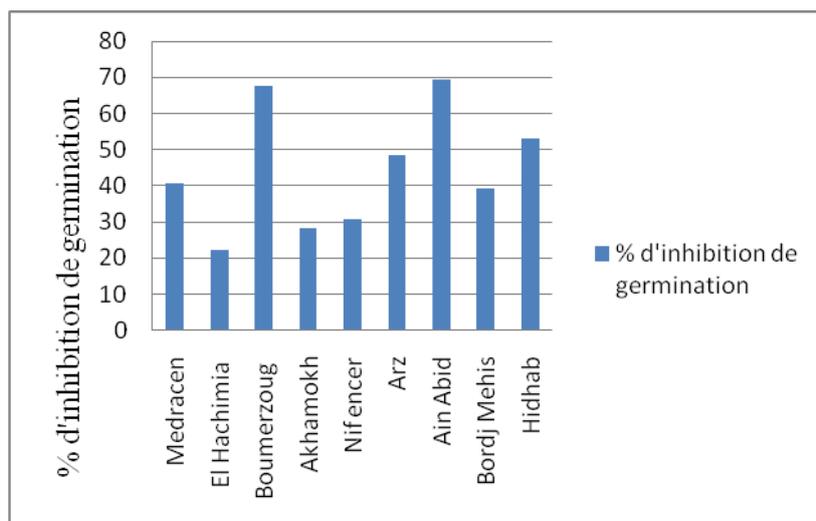


Figure 31 : Pourcentage d'inhibition de germination chez les variétés de blé tendre étudiées.

2-2-2 - Analyse de la sensibilité à l'infection initiale (AUDPC)

Les données de la figure 32 indiquent la résistance à l'infection initiale des graines germées. Les variétés El Hachimia et Akhamokh étaient résistantes (R) avec un AUDPC de 44,68% et 45,79% respectivement, Bordj Mehis et Nif encer présentaient une réaction de résistance modérée (MR) avec des valeurs de 55,39% et 58,51 % alors que Arz, Ain Abid, Medracen et Hidhab étaient modérément sensibles (MS), avec des AUDPC de 62,28%, 63,69%, 64,93% et 70,92%, respectivement. La variété Boumerzoug était sensible (S) avec le plus haut score de 80,65%.

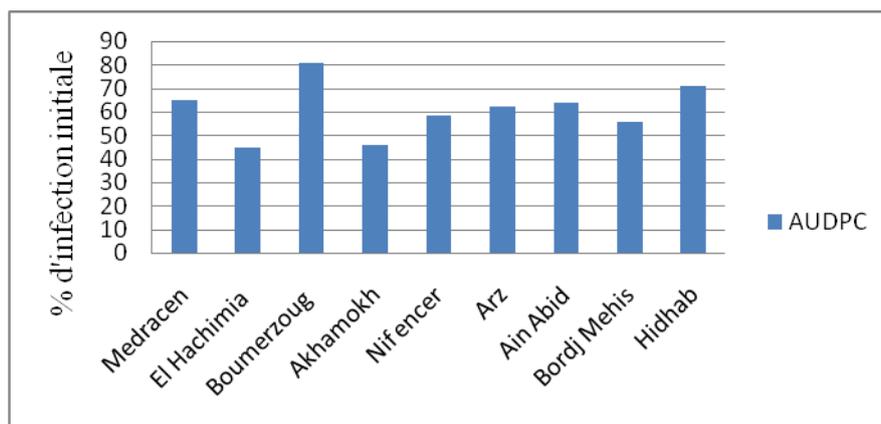


Figure 32 : Pourcentages de l'infection initiale enregistrée chez les variétés du blé tendre étudiées (AUDPC).

2-2-3- Corrélation entre le pourcentage d'inhibition de germination et la sensibilité à l'infection initiale

La représentation schématique des deux paramètres calculés pour chaque variété de blé tendre est représentée dans la figure 33.

A l'issue des résultats précédents, nous pouvons constater qu'il y a une corrélation directe entre ces deux paramètres, c'est à dire que le pourcentage d'inhibition de germination de variétés testées est important, le pourcentage d'AUDPC est important est vis versa (figure 33). Cette relation confirme que les deux courbes ce suivent et se rassemblent pour toutes les variétés sauf Arz et Ain Abid qui sont inversement corrélées.

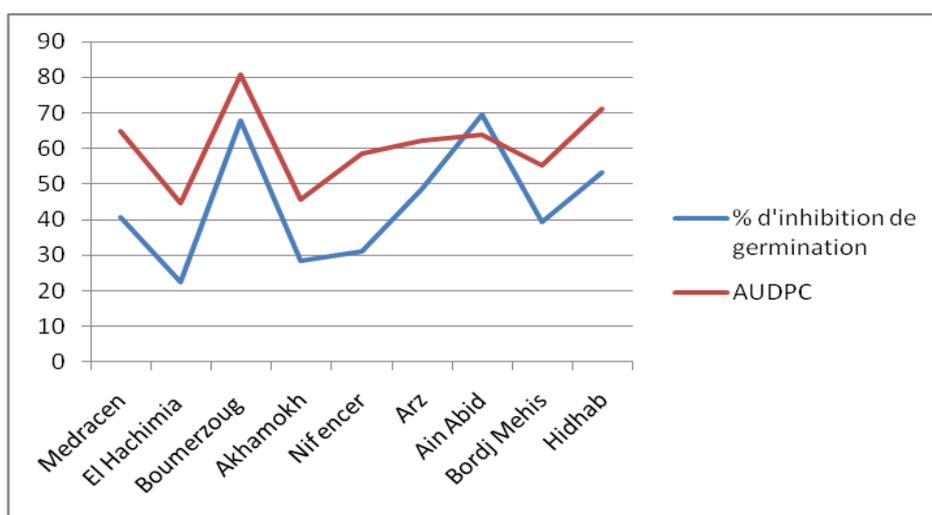


Figure 33 : Corrélation entre le pourcentage d'inhibition de germination et la sensibilité à l'infection initiale.

3- Evaluation de la résistance variétale

L'évaluation de la résistance variétale qui donne une idée sur le classement des variétés de blé tendre étudiées en fonction de leur résistance à l'égard de l'agent pathogène *Fusarium culmorum* est représentée dans le tableau 11.

Il est à noter que l'ordre croissant des chiffres indique la sensibilité des variétés étudiées à l'agent pathogène FC1 et FC2 autrement dit plus le chiffre est grand et plus la variété est sensible. Les chiffres varient de 1 à 9 selon le nombre des variétés de blé tendre étudiées.

Tableau 11 : Classement des variétés selon leur résistance et/ou sensibilité à l'agent pathogène *Fusarium culmorum* dans chaque test réalisé.

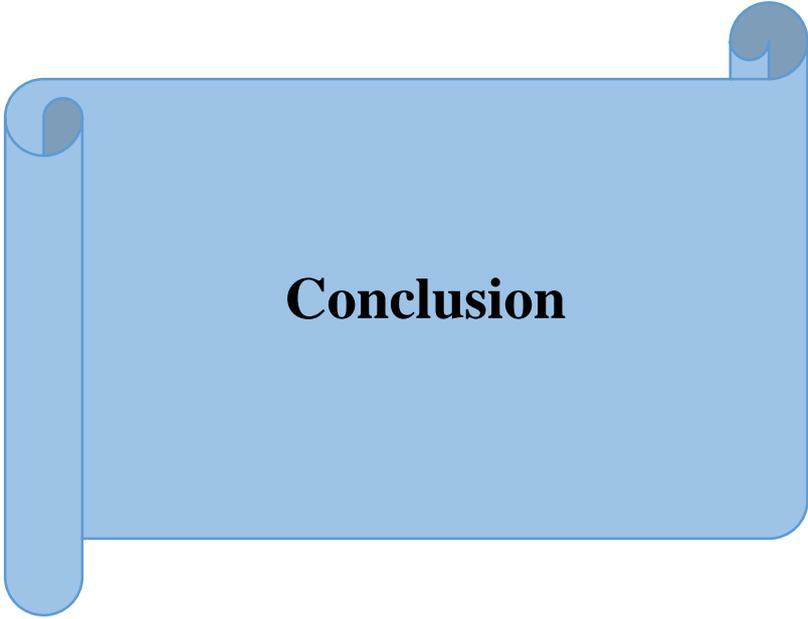
Variétés	<i>Fusarium culmorum</i> -1-					<i>Fusarium culmorum</i> -2-					Classement global
	%RC	%IM	%GI	%AUDPC	Classement	%RC	%IM	%GI	%AUDPC	Classement	
Medracen	7	5	1	2	7	1	2	5	7	1	7
El Hachimia	9	9	7	3	9	2	5	1	1	6	9
Boumerzoug	1	1	9	9	1	6	3	8	9	3	1
Akhamokh	3	2	4	7	2	4	1	2	2	2	2
Nif encer	4	4	6	8	4	7	6	3	4	4	4
Arz	6	8	5	5	5	5	4	6	5	5	5
Ain Abid	8	6	8	4	8	8	8	9	6	8	8
Bordj Mehis	2	3	3	1	3	9	9	4	3	9	3
Hidhab	5	7	2	6	6	3	7	7	8	7	6

RC : retard de croissance de la coléoptile ; IM : indice de maladie ; GI : pourcentage d'inhibition de germination ; AUDPC : Pourcentage de sensibilité à l'infection initiale.

A la lumière de tous les résultats précédents, nous avons pu classer nos variétés de blé tendre étudiées. L'évaluation de la résistance variétale dans chaque test réalisé et à travers tous les paramètres évalués nous a permis d'établir le classement global suivant de la variété la plus résistante (1) jusqu'à la variété la plus sensible (9).

La variété Boumerzoug est la plus résistante à l'agent pathogène *Fusarium culmorum* 1 suivie de la variété Akhamokh tandis que la variété la plus sensible est El Hachimia, mais la variété Medracen est la plus résistante à l'agent pathogène *Fusarium culmorum* 2 suivie de la variété Akhamokh par contre la variété Bordj Mehis est la plus sensible.

A partir du classement global, il ressort que la variété Boumerzoug est la plus résistante suivie de la variété Akhamokh alors que la variété la plus sensible est El Hachimia.



Conclusion

Conclusion

La culture du blé est constamment menacée par des maladies fongiques et plus particulièrement la fusariose, constituant l'une des principales maladies causant des pertes de rendement mais aussi la qualité sanitaire de la récolte par la présence de toxines dans les grains. Pour cela, la résistance variétale est actuellement très recherchée et fait partie des critères de choix dans les programmes de sélection car peu de variétés de blé sont résistantes à la fusariose.

Notre travail a été d'étudier la résistance variétale de neuf cultivars de blé tendre Algérien à l'égard de deux souches du genre *Fusarium*.

Les principaux résultats obtenus des différents tests réalisés ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- La croissance du collet dans le groupe des témoins avant inoculation par le champignon *Fusarium culmorum* 1 varie de 146,07 mm à 171,46 mm. La croissance la plus importante est notée pour la variété Ain Abid. La valeur la plus faible est notée pour la variété Medracen.
- La croissance du collet dans le groupe des plantes inoculées par le champignon *Fusarium culmorum* 1 varie de 99,93mm pour la variété El Hachimia jusqu' à 160,47 mm pour la variété Boumerzoug.
- Le poids du coléoptile le plus important est enregistré pour la variété Hidhab qui présente un poids de 103,69 mg avant inoculation en étant témoin et de 68,67 mg après inoculation par le champignon *Fusarium culmorum* 1. A l'inverse, la valeur la plus faible est notée pour la variété Medracen avec 67,1 mg.
- Une nette différence dans la longueur et poids du coléoptile entre les groupes témoins et les plantes inoculées par l'agent pathogène est observée.
- Le paramètre % du Retard de Croissance évalué lors du premier test *in vitro* sur tubes à essai permet de constater que la variété El Hachimia est la plus sensible à l'agent pathogène FC1. Par contre, ce paramètre (%RC) indique que la variété Boumerzoug est la plus résistante au champignon FC1. Il en est de même pour le paramètre % d'indice de maladie évalué lors du premier test *in vitro* sur tubes à essai.
- L'analyse statistique explique que les deux paramètres % RC et %IM présentent une corrélation très significative pour toutes les variétés.

Conclusion

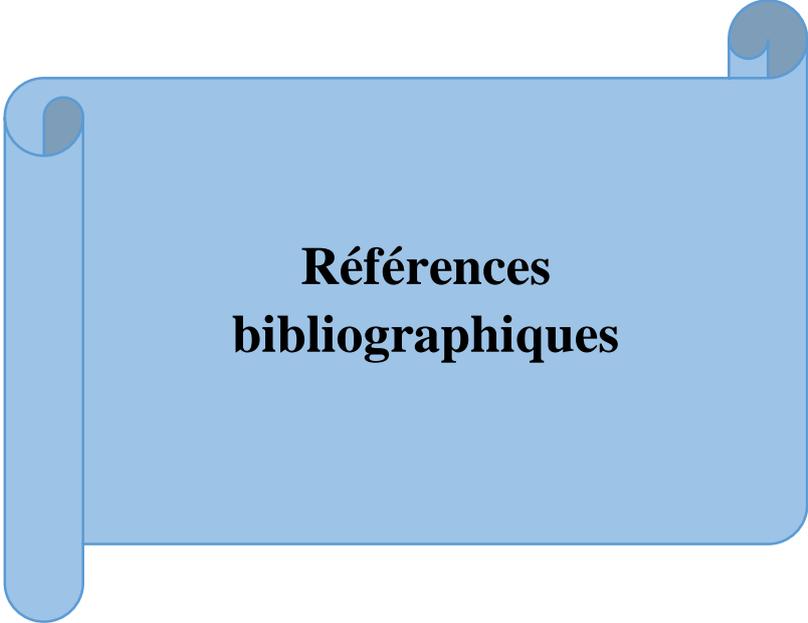
- L'inoculation par le deuxième agent pathogène *Fusarium culmorum* 2 provoque une diminution de la longueur du coléoptile par rapport aux témoins pour toutes les variétés à l'exception de Medracen, El Hachimia et Hidhab.
- Le poids du coléoptile le plus important est enregistré pour la variété Hidhab qui présente un poids de 103,69 mg avant inoculation en étant témoin et de 78,62 mg après inoculation par le champignon *Fusarium culmorum* 2. A l'inverse, la valeur la plus faible est notée pour la variété Medracen de 67,1mg.
- Le paramètre % du Retard de Croissance évalué lors du premier test *in vitro* sur tubes à essai permet de constater que la variété Bordj Mehis est la plus sensible à l'agent pathogène FC2. Par contre, ce paramètre (%RC) indique que la variété Medracen est la plus résistante au champignon FC2.
- Le paramètre % d'indice de maladie pour le deuxième champignon *Fusarium culmorum* 2 permet de constater également que la variété Bordj Mehis est la plus sensible à l'agent pathogène FC2. A l'inverse, ce paramètre (%IM) indique que la variété Akhamokh est la plus résistante au champignon FC2.
- Le deuxième test des boîtes de pétri permet de noter que le pourcentage d'inhibition de germination (%GI) pour le premier agent pathogène (FC1) varie de 18,75 % chez la variété Medracen à 53,76 % pour la variété Boumerzoug.
- Le pourcentage de la sensibilité à l'infection initiale (AUDPC) permet de constater que la variété Boumerzoug est la plus sensible .Par contre, ce paramètre (AUDPC) indique que la variété Bordj Mehis est la plus résistante au *Fusarium culmorum* 1.
- L'analyse statistique montre que les deux paramètres % GI et % AUDPC présentent une corrélation significative pour toutes les variétés inoculées par le champignon FC1 à l'exception de Ain Abid et Hidhab.
- Le pourcentage d'inhibition de germination (%GI) pour le deuxième agent pathogène (FC2) varie de 22,34 % chez la variété El Hachimia à 69,47 % pour la variété Ain Abid.
- Le pourcentage de la sensibilité à l'infection initiale (AUDPC) permet de constater que la variété Boumerzoug est la plus sensible avec une valeur de l'ordre 80,65% .Par contre, ce paramètre (AUDPC) indique que la variété El Hachimia est la plus résistante au *Fusarium culmorum* 2 avec une valeur de 44,68%.

Conclusion

- L'analyse statistique montre que les deux paramètres % GI et % AUDPC présentent une corrélation significative pour toutes les variétés inoculées par le champignon FC2 à l'exception de Arz et Ain Abid.
- A la lumière de tous les résultats précédents, l'évaluation de la résistance variétale montre que la variété Boumerzoug est la plus résistante suivie de la variété Akhamokh alors que la variété la plus sensible est El Hachimia.

En se basant sur ces résultats, il est d'intérêt primordial de fixer les points suivants comme perspectives :

- Étudier les gènes de résistance aux maladies chez les variétés de blé cultivées et non cultivées afin de caractériser leur tolérance à la maladie qui fera partie des critères de choix pour les agriculteurs car aujourd'hui, peu de variétés de blé sont résistantes à la fusariose.



**Références
bibliographiques**

A

- Abdi, Y. (2015).** Distribution spatiale des maladies fongiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et effet de la fusariose sur le rendement en zones semi-arides de Sétif. Thèse de Magister : Génétique et amélioration des plantes. Sétif : Université Ferhat Abbas Sétif 1, 101p.
- Acevedo, E., Silva, P., Silva, H. (2002).** Growth and wheat physiology, development. In: Bread wheat: improvement and production. Edited by Curtis BC, Rajaram S, and Gomez Macpherson H: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2002: 567p.
- Agricos, G.N. (2005).** Plant pathology. Fifth edition, Elsevier Academic Press, San Diego, CA 962 P.
- Almi, H. (2016).** Etude des myco-pathogènes de *Lens culinaris* et évaluation de l'effet de deux souches de *Trichoderma harzianum* : cas de la Fusariose de la Cylindrosporiose. Thèse de Doctorat : Bioprocédés et Biotechnologies, Applications Mycologiques. Constantine : Université des Frères Mentouri Constantine1, 139p.
- Alvarez, C. L., Somma, S., Moretti., A., and Fernández Pinto, V. (2010).** Aggressiveness of *Fusarium graminearum* sensu stricto isolates in wheat Kenels in Argentina. J. Phytopathol. 158: 173-181
- Armstrong, G.N. et Armstrong, J.K., 1981.** Formae spéciales and races of *Fusarium oxysporum* causing wilt diseases, p.391-399. In P.E. Nelson, T.A. Toussoun, and R.J. Cook (ed), *Fusarium* : diseases, biology, and taxonomy. Pennsylvania State University Press, University Park.
- Aouali, S., Douici-Khalfi, A. (2013).** Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte. ITGC.8-36.
- Askun T (2018).** Introductory Chapter: *Fusarium*: Pathogenicity, Infections, Diseases, Mycotoxins and Managment. In: *Fusarium: Plant Diseases, Pathogen Diversity, Genetic Diversity, Resistance and Molecular Markers* 1, 2-12
- Azoui, H. (2015).** Etude du comportement d'une collection de blés cultivés en Algérie vis-à-vis de quelques stress biotiques. Mémoire de Magister : Production et amélioration des plantes. Batna : Université el Hadj Lakhdar Batna. 75p

B

Bachir Bouiadjra, S. (2017). Etude *in vitro* et *in vivo* du pouvoir pathogène de *Fusarium oxysporum* sur variétés fixes et hybrides de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Mémoire de Master : Phytopathologie. Mostaganem : Université Abdelhamid Ibn Badis, 60p.

Bai G. et Shaner G., 1994. Scab of wheat: Prospects for control. Plant Disease 78,760-766

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

Ballois, N. (2012). Caractérisation de la diversité des espèces de *Fusarium* et de leur potentiel mycotoxinogène sur céréales françaises. Mémoire de Magister : Science de l'environnement. France : Université de Lorraine, 36p.

Bebba, S. (2011). Essai de comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* L. var. Carioca et Vitron) conduite sous palmier dattier au niveau de la région d'Ouargla. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie Saharienne : Phytotechnie. Ouargla : Université Kasdi Merbah, 71p.

Bednarek, J. (2012). Analyse fonctionnelle de TaGW2, une E3 ligase de type RING, dans le développement du grain de blé tendre (*Triticum aestivum*). Thèse de Doctorat : Physiologie et génétique moléculaire. Clermont -Ferrand : Université Blaise Pascal, 197p.

Belagrouz, A. (2013). Analyse du comportement du blé tendre, Variété EL WIFAK (*Triticum aestivum* L.) Conduite en Labour Conventionnel, Travail Minimum et Semis Direct sur les Hautes Plaines Sétifiennes. Thèse de Magister : Production Végétale et Agriculture de Conservation .Sétif : Université Ferhat Abbas Sétif, 87p

Bennamou., N. (1996). Elicitor –induced plant defense pathways. Trends Plant Sci. 1,233-240.

Benhamou, N ., Rey, P. (2012). Stimulateurs des défenses naturelles des plantes : Une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. Principes de la résistance induite, 92 (1), 1-23

Benlabiod, L ., Menakh, L. (2019). Identification des espèces phytopathogènes appartenant au genre *Fusarium*. Mémoire de Master : Mycologie et Biotechnologie Fongique. Constantine : Université des Frères Mentouri Constantine 1, 59p.

Bennet, J W., Klich, M.ycotoxines *Clin Microbial Rev* (2003); 16:496-516. CrossRef Pub Med, CAS, Web of science @Times Cited, 428

by *Trichoderma afroharzianum* against *Fusarium culmorum* responsible of fusarium head blight and crown rot of wheat in Algeria. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, **31** (68), 2-13

Bonneuil, C., Roerich, R., Anglade, P. (2009).Innover autrement, la recherche l'avènement d'un nouveau régime de production et de régulation des savoirs en génétique végétale, Docier de l'environnement de l'INRA, 30, 2006, P.29-51.

Benoît, J. (2005). Les fusariotoxines sur céréales : détection, risque et nouvelle réglementation. Thèse de Doctorat : Pharmacie. Nancy : Université Henri Poincare-Nancy 1, 111p.

Ben salem, O. (2015). Etude de l'abondance relative de souches de *Fusarium graminearum* dans un inoculum mixte par séquençage 454. Mémoire de Maître ès sciences : Biologie végétale. Canada : Université Laval, 61p.

Bérubé M E., 2010.Effet du Gluphosate sur la fusariose de l'épi chez le blé et l'orge selon différents travaux du sol, mémoire pour l'obtention du grade de maitre en science, université lavel, Qubec.131p

Botton B., Breton A., Evre M., Guy PH., arpent J.P et Veau P., (1985).Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle. Biotechnologies. Masson, p139 à 145.

Bouanaka, H., Bellil, I., Harrat, W. Boussaha, S., Benbelkacem, A., Khelifi, D. (2021). On the biocontrol by *Trichoderma afroharzianum* against *Fusarium culmorum* responsible of fusarium head blight and crown rot of wheat in Algeria. *Egypt J Biol Pest Control* **31**, 68. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00416-3>.

Bouanaka, H., Bellil, I., Khelifi, D. (2021). Multiple methods for varietal resistance assessment of durum wheat cultivars against *Fusarium culmorum* the causal agent of Fusarium Head Blight and Crown Rot in Algeria. *Physiological and molecular Plant Pathology*, 115, 101683.

Bouarab, K. (2000). Bases biochimique et cellulaires des interactions plante- pathogène dans le système chondrus crispus *Acrochaete operculata*. Thèse de Doctorat : Océanologie Biologique et Environnement Marin. Paris : Université Paris 6,107p.

Boufenar-Zaghouane, F ., Zaghouane, O. (2006). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine) .ITGC d'Alger, 1^{ère} Ed, 152p.

Boukarboua, A ., Boulkroun, M B. (2016). Appréciation de la qualité technologique des farines commerciales par des tests indirects. Mémoire de Master : Analyse protéomique et santé. Constantine : université des Frères Mentouri Constantine ,40p.

Boulal, H., Zaghouane, O., El Mourid, M ., Rezgui, S. (2007).Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Marghreb (Algérie, Maroc, Tunisie).(eds) TIGC,INRA,ICARDA, Algérie.176p.

Boulgheb, A. (2008). Caractérisation de quelques variétés /populations de blé tendre saharien de la région d'Adrar. Mémoire de Magister : Sciences et Technique des Productions Végétales. El Harrach : Institut National Agronomique ,111p.

Boutigny, A. (2007). Etude de l'effet de composés du grain de blé dur sur la régulation de la voie de biosynthèse des trichothécènes B : purification de composés inhibiteurs, analyse des mécanismes impliqués. Thèse de Doctorat : Alimentation & Nutrition. Paris : Université Bordeaux 1,186p. **Bouzerzour, H., Benmahammed, A. (1994).** Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateau of eastern Algeria. *Rachis* 12, 11-14

Branlard, G., Dardevet, M., Saccomano, R., Lagoutte, F., Gourdon, J. (2001).Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality.*Euphytica*, 119(1), 59-67

C

Carron J., (2002). Conférence présentée lors des journées horticoles régionales à St-Rémile 5 décembre 2002.

Cecile, T. (2019). Interaction entre résistance induite chez *Solanum tuberosum* et traits d'histoire de vie et effecteurs de *Phytophthora infestans*. Thèse de Doctorat : Science agronomique. Agrocampus Ouest : Bretagne Loire, 82p.

Chabasse D., Bouchra J-P ; De gentile L., Brun S., Penn P.2002.Cahier de formation les moisissures d'intérêt médicale.

Champeil A., Doré T. et Fourbet J.F., 2004. *Fusarium* head blight: epidemiological origin of effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by *Fusarium* in wheat grains. *Plant Science* 166, 1389-1415.

Chen P.D. & Gill B.S. (1984).The origin of chromosome 4A and the B and G genomes of tetraploid wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 10 :146-153.

CIC., Conseil International des Céréales., (2016). Les statistiques mondiales, calculées par le Conseil International des Céréales. *Marché des céréales*, 399p.

Claire, G. (2019). Analyse des facteurs de transcription de la famille NAC chez le blé tendre (*Triticum aestivum L.*) et leur implication dans la réponse à des stress abiotiques. Thèse de Doctorat : Biologie cellulaire et moléculaire végétale. Clermont Auvergne : Université Clermont Auvergne, 182p.

Clement-Grandcourt et PRAT. (1970). Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2^{ème} Ed. 351-360p.

Clément, J M. (1981). Dictionnaire Larousse Agricole. Librairie Larousse. ISBN2-03-514301-2.1207p

D

Debourgogne, A. (2013). Typage moléculaire du complexe d'espèces *Fusarium solani* et détermination de son mécanisme de résistance au voriconazole. Thèse de doctorat, Université de Lorraine, France. **Dendouga, W. (2017).** Impact des facteurs écologiques sur les moisissures antagonistes et productrices des enzymes hydrolytiques. Thèse de Doctorat : Microbiologie. Sétif : Université Ferhat Abbas Sétif, 123p.

Dietrich, R.A., Delaney, T P., Uknes, S J., Ward, E R., Ryals, J A., Dangl, J L. (1994). *Arabidopsis* mutants simulating disease resistance response. *Cell* 77, 565-577.

Dihazi, A. (2012). Interaction palmier dattier- *Fusarium oxysporum* f. sp. Albedinis: induction des réactions de défense par l'acide salicylique et rôle de quelques microorganismes antagonistes de l'agent pathogène dans le contrôle de la maladie du Bayoud. Thèse de Doctorat : Biotechnologies et physiologies végétales. Agadir : Université Ibn Zohr, 186p.

Djebali, N. (2008). Etude des mécanismes de résistance de la plante modèle *Medicago truncatula* vis-à-vis de deux agents pathogènes majeurs des légumineuses cultivées : *Phoma medicaginis* et *Aphanomyces euteiches*. Thèse de Doctorat : Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomique et Bioingénieries. France : Université Toulouse III, 191p.

Djermoun A. (2009). La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie* (1), 45-53

Doohan, F. M., Brennan, J., & Cooke, B. M. (2003). Influence of climatic factors on Fusarium species pathogenic to cereals. *European Journal of Plant Pathology*, 109(7), 755-768.

Dorothee, S. (2013). Développement épidémique de la fusariose des épis de blé et conséquences des interactions entre espèces du complexe fusarien. Thèse de Doctorat : Biologie. Paris : Université Paris-Sud 11, 182p.

Doussinault, G., Kaan, F., Lecomte, C., Monneveux, p. (1992). Les céréales à paille présentation générale. In : Gallais A. et Bannerot H. (eds) Amélioration des espèces végétales cultivées. INRA, Paris : 13-21p.

E

Elhouiti, F. (2018). Valorisation des huiles essentielles de *Rhanterium adpressum* Goss. & Durieu par analyse chimique et étude de leurs bioactivités. Thèse de Doctorat : Biochimie. Ouargla : Université Kasdi Merbah Ouargla, 169p.

El Oirdi, M. (2009). Facteurs qui contrôlent le pouvoir pathogène chez Botrytis cinerea. Thèse de Doctorat : Biologie. Canada : Université de Sherbrooke, 168p.

Ezzahiri, B. (2001). Les maladies du blé et identification, facteurs de développement et méthodes de lutte, Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, 2 (77), 4

F

Feillet, P. (2000). Le grain de blé. Composition, utilisation. Edition INRA, Paris, 308p.

Fritas, S. (2012). Etude bioécologique du complexe des insectes liés aux cultures céréalières dans la région de Batna. (Algérie). Mémoire de Magister : Ecologie et biologie des populations. Tlemcen : Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen. 105p.

G

Garcia-Brugger, A., Lamotte, O., Vandelle, E., Bourque, S., Lecourieux, D., Poinssot, B.,

Wendehenne, D., Pugin, A. (2006). Early signaling events induced by elicitors of plant defenses. *Mol Plant Microbe Interact* **19**: 711-724

Gate, P. (1995). Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride. Mémoire de Magister :

Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Université Ferhat Abbas, Sétif.6-7-8p.

Ghennai, A., Zérafa, Ch., Benlarib, M. (2017). Étude de la diversité génétique de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et de blé dur (*Triticum durum* Desf.) selon la base des caractères de l'U.P.O.V. *Journal of Applied Biosciences* 113, 11246-11256

Ghorri, S. (2015). Isolement des microorganismes possédant une activité anti *-Fusarium*. Thèse de Doctorat : Bioprocédés et Biotechnologies, Applications Mycologiques. Constantine : Université Frères Mentouri, 116p.

Gianinazzi, S., Martin, C., Vallee, JC. (1970). Hypersensitivity to viruses, temperature and soluble proteins in *Nicotiana Xanthi n.c.* Appearance of new macromolecules at the repression of viral synthesis. C R Acad. Sci. Hebd. Seances Acad. Sci. D 270, 2383-2386

Godon, B., William, C I. (1991). Les industries de première transformation des céréales.79-85p. **Greenberg, JT., Guo, A., Klessig, DF., Ausubel, FM. (1994).** Programmed cell death in plants: a pathogen -triggered response activated coordinately with multiple defense functions. *Cell*.77, 551-563

Guarro, J., & Gené, J. (1992). Fusarium infections. Criteria for the identification of the responsible species. *Mycoses*, 35(5-6), 109-114.

H

Hamou, M ., Labdi, M ., Hamdi, S. (2009). Problématique de la céréaliculture et perspectives de développement de l'agriculture. Mostaganem- Algérie, 12-13 janvier. 8-15p.

Heath, MC. (2000). Hypersensitive response-related death. *Plant Molecular Biology* 44, 321-334

Dietrich, RA., Delaney, TP., Uknes, SJ., Ward, ER., Ryals, JA., Dangel, JL. (1994). *Arabidopsis* mutants simulating disease resistance response. *Cell* 77,565-577

Hilarion., V. (2017). Stimuler les défenses des plantes contre *Botrytis cinerea* par des rayonnements UV-C. Thèse de doctorat: Physiologie végétale. Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, 132p.

Hennouni, N. (2012). Evaluation du métabolisme respiratoire et enzymatique des racines de blé dur (*Triticum durum* Desf) issues de plantes infectées par les maladies cryptogamiques et

Références Bibliographiques

de plantes traitées avec un fongicide (ARTEA Ec 330).Thèse de Doctorat : Toxicologie cellulaire. Annaba : Université Badji Mokhtar, 142p.

Henry, Y ., De Buyser, J. (2001). L'origine des blés. *In* : Belin. Pour la science. (eds) de la graines à la plante. Ed. Belin, Paris: 69-72p.

Hetiz, T., Segond, S., Kauffmann , S ., Geoffroy , P., Prasad , v ., Brunner, F., Fritig , B., Legrandd , M.(1994). Molecular characterization of a novel tobacco PR protein: anew chitinase /lysosyme. *Mol.Gen. Genet*, 245, 246-254

Hoquette A., Grondin M ., Bertout S and Mallié M (2015).champignons des genres Acremonium,Beauveria ,Chrysosporium ,Fusarium,Onychocola,Paccilomyces ,Penicillium Scedosporium e Scopulariopsis Responsables de hyalohyphomycoses,Acremonium,Beauveria ,Chrysosporium,Fusarium,Onychocola ,Paecilomyces,Penicillium, Scedosporium And Scopulariopsis Fungi responsible for hyalohyphomycosis,139p-149s

Hunyadi, H. (2016). Gestion d'un nouveau pathogène. La fusariose de l'ail (*Allium sativum*) : mieux connaitre la maladie pour établir une lutte efficace. Mémoire d'ingénieur supérieur : Sciences et Productions Végétales / semences .France : Université Angers, 73p.

I

INRAA. (2016). Bilan de la campagne céréalière 2014/2015. Observatoire National des filières Agricoles et Agroalimentaires, 12 p.

J

Jamieson, PD., Cloughley, CG. (2000). Impacts of climate change on wheat production, pp.57-64.

Jeffree, CE. (1996). Structure and ontogeny of plant cuticles.*dans* G. Kerstiens (éd.), Plant cuticles: an

Integrated functional approach. Bios ScientificPublishers, Oxford, G.-B. 33-82P.

Jones, JD., Dangl, J.L. (2006).The plant immune system. *Nature* 444: 323-329

K

Kara, k. (2015). Interaction génotype- milieu de variétés de blé tendre (*Triticum aestivum L.*) sous stress hydrique. Thèse de Doctorat : Les bases biologiques de la production végétale. Constantine : université des Frères Mentouri Constantine ,145p.

Kauffmann S, Legrand M, Geoffroy P& Friting B. (1987). Biological function of pathogenesis-related proteins: four PR proteins of tobacco have 1, 3-B-glucanase activity. EMBO J.6, 3209-3212.

King, A., Young, G. (1999). Charactitistics and Occurrence of Phenolic Phytochemicals. Journal of the Amereican Dietetic Association. 213-218

L

Langlois, M. (2006). Le supresseur de silencing, P19, AGIT comme un nouveau genre d'éliciteur des réponses de défense .Mémoire du grande maitre ès sciences : Biologie. Canada : Université de Sherbrooke, 101p.

Lee, R D., Padgett, B., Hudson, R., Mac Donald, G. (1996). Intensive Wheat Management in Georgie,

1135: 77-89.

Legrand, M., Kauffmann, S., Geoffroy, P., Fritig, B. (1987).Biological function of pathogenesis -related proteins: four tobacco pathogenesis-related are chitinases. Proc. Natl. Acad. Sci .USA, 84, 6750-6754

Lery, F. (1982). L'agriculture au Maghreb ou pour une agronomie méditerranéenne. (Eds) Maisonneuve et Larose. Paris : 338p

Lopes, M S., Reynolds, M P., Jalal-Kamali, M R., Moussa, K S., Feltaous, M Y., Tahir, I S A., Barma, N., Vargas, M., Mannes, Y., Baum, M. (2012). The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. *Field Crops Research* 128, 129-136.

M

Mazouz, L. (2006). Etude de la contribution des paramètres phéno morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum Desf.*) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Mémoire de Magister : Agrotechnie. Batna : Université El -Hadj Lakhdar, 65p.

Maciejewski, J. (1991). Semences et plants. Paris : Lavoisier- Technique et documentation. 233p. **Mascher F., Michel V. et Browne R A., 2005.** Sélection des variétés de blé et l'orge. CÉROM Saint-Bruno-de-Montarville, bulletin technique : Phytopathologie : 2. (1).5p.

McKinney, H H. (1923). Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. Journal of Agricultural Research, 26 (5), 195–217

McMullen M.P., Stack R.w. « *Fusarium* head blight (Scab) of Small grains » [en ligne]. North Dakota State University, Plant Pathology Department, 2011. [Consulté le 12 juillet 2012]. Disponible sur le web : <<http://library.ndsu.edu/repository/handle/10365/17320>>.

Morel, JB, Dangl, JL. (1999). Suppressors of the Arabidopsis lsd5 cell death mutation identify genes involved in regulating disease resistance responses. Genetics 151, 305-319

N

Nedjah, I. (2015). Changement physiologique chez des plantes (blé dur *Triticum durum* Desf.) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb). Thèse de Doctorat : Biologie végétale et environnement. Annaba : Université Badji Moukhtar, 144p.

Nelson, J E., Kephart, K D., Bauer, A., Connor, J F. (2001). The Publications of Montana State University, Misc, Bulletin 4387, University of Idaho Misc., 118, p.75.

Nürnberg, T., Brunner, F., Kemmerling, B., Piater, L. (2004). Innate immunity in plants and animals: striking similarities and obvious differences. Immunol. Rev, 198: 249–266.

Nürnberg, T., Scheel, D. (2001). Signal transmission in the plant immune response. *Trends Plant Sci*, 6: 372–379.

P

Pareyra SA, Dill-Macky R, Sims AL, 2004. Survival and Inoculum production of *Gibberella zeae* in Wheat Residue. Plant Disease 88,724-730.

Parry W., Jenkinson, P., McLeod, L. (1995). *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals-a review. Plant Pathology, 44(2) ,207-238

Paux, E., Sourdille, P., Salse, J., Saintenac, C., Choulet, F., Leroy, P., Korol, A., Michalak,

M., Kianian, S., Spielmeier, W. (2008). A physical map of the 1-gigabase bread wheat Chromosome 3B. *Science*, 322(5898), 101

Pirgozliev, S R., Edward, S G., Hare, M C., Jenkinson, P. (2003).Strategies for the control of Fusarium head blight in cereals /European Journal of plant Pathology, 109,731-742

Pitt, J.I. (2000).Toxigenic fungi and mycotoxins.British medical bulletin, 56(1), 184-192.

Pomeranz, Y. (1988). Chemical composition of kernel structures. Wheat: *chemistry and technology*, 1 97-158

Ponstein,, AS., Bres-Vloemans, SA., Sala-Buurlage, MB., Van den Ellzen, PJM., Melchers, LS ., Cornelissen, BJC. (1994). A novel pathogen andwound--inductible tobacco (Nicotianna) protein with antifungal activity. Plant Physicol, 104, 109-118

Purahong, W., Alkadri, D., Nipoti, P., Pisi, A., Lemmens, M., Prodi, A. (2011). Validation of a modified Petri-dish test to quantify aggressiveness of *Fusarium graminearum* in durum wheat. European Journal Plant Pathol, 132 (3), 381-391

R

Rapilly F, 1990. Evolution historique des concepts de resistances des plantes Aux agents pathogènes Cahiers Agriculteurs 7(3):223-228.

S

Schilling, A.G., Moller, E.M., et Geiger, H.H., (1996).Polymerase chains reactin based assays for speices specific detection of Fusarium culmorum, F.graminearum, and F.avenaceum.Phytopathology 86 :515-522p.

Si Mohammed, A. (2010). Etude de la compatibilité végétative chez des populations de *Fusarium oxysporum* isolées dans l'ouest Algérien. Mémoire de Magister : Phytopathologie et phytopharmacie. Oran : Université d'Oran, 84p.

Snyder, W.C., and H.N.Hansen.1940.The species concept in *Fusarium*. *American Journal of Botany* 27 :64-67.

Soltner, (2005). Etude de la variabilité morfo-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur Algérien (*Triticum durum Desf.*).Mémoire de Magister. Faculté des sciences de la Nature et de la vie, Département de Biologie et Ecologie. Constantine : Université des Frères Mentouri, 9p.

Souilah, N. (2009). Diversité de 13 génotypes d'orge (*Hordeum vulgare L.*) et de 13 génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum L.*) : Eude des caractères de production et d'adaptation. Mémoire de Magister : Biodiversité et Production Végétale. Constantine : Université des Frères Mentouri ,162p.

Stinntzi, A., Geoffroy, p., Bersudder, D., Friting, B., Legrand, M. (1993). CDNA cloning and expression studies of tobacco class III chitinase-lysozymes. In Mechanisms of Plant Defense Responses, B. Fritig and M. Legrand, eds. (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers), 321-315

Strange RN. & Smith H., 1971. A fungal growth stimulant in anthers which predisposes wheat to attack by *Fusarium graminearum*. *Physiological plant pathologie* 1.141-150.

Surget, A. ; Barron, C. (2005). Histologie du grain de blé, *Industrie des céréales* (145), 4-7

T

Talamalil. (2000). La libération du marché des céréales en Algérie office algérien interprofessionnel des céréales OAIC Acte du premier symposium internationale sur la Filière blé, Alger, Algérie, P.11- 18.

Tizioualou, G. (2009). Recherche de marqueurs de la spécialisation parasitaires de *Pyrenophora tritici-repentis* (died) Drechs, agent de la tache brozée sur blé dur (*Triticum durum Desf*) et blé tendre (*Triticum aestivum L.*). Mémoire de Magister : Phytopathologie et Amélioration de la résistance des plantes aux maladies. El Harrach : Ecole nationale supérieure agronomique.91p

Torres-Zabala, M., Truman, W., Bennett, MH., Lafforgue, G., Mansfield, JW., Rodriguez, EP., et al. (2007). *Pseudomonas syringae* pv. Tomato hijacks the Arabidopsis abscisic acid signalling pathway to cause disease. *EMBO J*, 26:1434–43

V

Van Loon, L C., Pierpoint, W S., Boller, T H., Conejero, V. (1994). Recommendations for naming plant pathogenesis –related proteins. *Plant Molecular Biology Reporter*, 12(3), 245-264.

Van Loon, LC., Van Kammer, A. (1970). Polyacrylamide disc electrophoresis of the soluble proteins from *Nicotiana tabacum* var. Samsun and Samsun NN. II. Changes in protein constitution after infection with tobacco mosaic virus. *Virology* 40, 199-211

W

Wardlaw, I F. (2002). Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. *Annals of Botany*, 90(4), 469-476.

X

Xiaojie, C., Donghong, M., Tauqeer, AY., Yin-Gang, H. (2012). Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crops Research* 137,195-201

Xu, X. (2003). Effects of environmental conditions on the development of Fusarium ear blight. *European Journal of Plant Pathology*, 143-154

Z

Zadoks, J C., Chang, T T., Konzak, C F. (1974). A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. *Weed Research*, 14 (6), 415–421

Zillinsky F J., 1983. Maladies communes des céréales à pailles : Guide d'identification. Mexico, Cimmyt. 141 pages.

ملخص

تم إجراء هذا البحث لتقييم المقاومة المتنوعة لتسعة أصناف من يتم تسويقها وزراعتها على نطاق واسع في الجزائر ضد عفن التاج (FCR). تم اختبار سلالتين شديديتي الإضرار من *Fusarium culmorum* (FC1) و (FC2) المعترف بهما كعوامل مسببة لذبول الفيوزاريوم في الجزائر.

في الواقع، تم استخدام هذين الممرضين في اختبارين للقابلية. تم قياس العديد من المتغيرات المظهرية، واختبار الأنبوب الزجاجي وتلقيح العنق في غرفة الثقافة بمعيار شدة المرض (DS) أو مؤشر المرض لمقاومة FCR، الاختبار الثاني لصندوق طبق بتري مع تثبيط إنبات النسبة المئوية (% GI) لتقييم الإنبات، ومعيار المنطقة الواقعة تحت منحنى تقدم المرض (AUDPC) لتقييم مقاومة العدوى الأولية للبذور المنبتة.

أظهرت نتائج تقييم مقاومة الصنف أن الصنف الجيني "بومرزوق" أظهر أعلى مستويات المقاومة، يليه الصنف الأخموخ بينما الصنف الأكثر حساسية هو الصنف الهاشمية.

الكلمات المفتاحية

القمح الطري، الفيوزاريوم، *Fusarium culmorum*، مقاومة الأصناف.

Summary

This research was carried out to assess the varietal resistance of nine cultivars of bread wheat widely marketed and cultivated in Algeria against crown rot (FCR). Two highly pathogenic strains of *Fusarium culmorum* (FC1) and (FC2) recognized as causative agents of Fusarium wilt in Algeria were tested.

Indeed, these two pathogens were used in two susceptibility tests. Several phenotypic parameters were measured, the glass tube test and inoculation of the neck in the culture chamber with the standard Disease Severity (DS) or disease index for resistance to FCR, the second test of the box of Petri dish with the percent germination inhibition (% GI) parameter to assess germination, and the Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC) standard to assess resistance to initial infection of sprouted seeds.

The varietal resistance assessment results revealed that the "Boumerzoug" genotype showed the highest resistance levels, followed by the Akhamokh variety while the most susceptible variety is El Hachimia.

Key words

Bread wheat, Fusarium, *Fusarium culmorum*, varietal resistance.

Résumé :

Cette recherche a été menée pour évaluer la résistance variétale de neuf cultivars de blé tendre largement commercialisés en Algérie contre la pourriture du collet (FCR), deux souches hautement pathogènes de *Fusarium culmorum* (FC1) et *Fusarium culmorum* (FC2) reconnues comme agents causals des maladies en Algérie. Parmi ces maladies, on retrouve un cas particulier, la fusariose.

En effet, ces deux agents pathogènes ont été utilisés dans deux essais de sensibilité. Plusieurs paramètres phénotypiques ont été mesurés, le test des tubes en verre est l'inoculation du collet dans la chambre de culture avec la norme Disease Severity (DS) pour la résistance à la FCR, le deuxième test de la boîte de Pétri avec le paramètre pourcentage d'inhibition de la germination (%GI) pour la résistance de la germination, et la norme the Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC) pour la résistance à l'infection initiale des graines germées. Les résultats d'évaluation de la résistance variétale ont révélé que le génotype « Boumerzoug » a montré des niveaux de résistance les plus hausses, suivie de la variété Akhamokh tandis que la variété la plus sensible est El Hachimia.

Mots clés

Blé tendre, fusariose, *Fusarium culmorum*, résistance variétale.

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Mycologie et Biotechnologie Fongique

Evaluation de la résistance variétale de neuf variétés de blé tendre à l'égard de deux souches de *Fusarium culmorum* responsable de la fusariose du blé.

Résumé :

Cette recherche a été menée pour évaluer la résistance variétale de neuf cultivars de blé tendre largement commercialisés en Algérie contre la pourriture du collet (FCR), deux souches hautement pathogènes de *Fusarium culmorum* (FC1) et *Fusarium culmorum* (FC2) reconnues comme agents causals des maladies en Algérie. Parmi ces maladies, on retrouve un cas particulier, la fusariose.

En effet, ces deux agents pathogènes ont été utilisés dans deux essais de sensibilité. Plusieurs paramètres phénotypiques ont été mesurés, le test des tubes en verre est l'inoculation du collet dans la chambre de culture avec la norme Disease Severity (DS) pour la résistance à la FCR, le deuxième test de la boîte de Pétri avec le paramètre pourcentage d'inhibition de la germination (%GI) pour la résistance de la germination, et la norme the Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC) pour la résistance à l'infection initiale des graines germées. Les résultats d'évaluation de la résistance variétale ont révélé que le génotype « Boumerzoug » a montré des niveaux de résistance les plus hausses, suivie de la variété Akhamokh tandis que la variété la plus sensible est El Hachimia.

Mot clés : Blé tendre, Fusariose, *Fusarium culmorum*, Résistance variétale.

Membre du jury :

Président du jury : BECHKRI Sakina (Maître de conférences A UFMC1).

Rapporteur : ABD ELAZIZ Ouided (Maître de conférences B UFMC1).

Examineurs : BELLIL Inès (Maître de conférences A UFMC1).

Présentée par :

- AYAD Maroua
- MAYANE Meriem

Année universitaire : 2020-2021