

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTER DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE IBN KHALDOUN TIARET

FACULTÉ DE SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire de Master

Domaine: Science de la nature et de la vie

Filière: Sciences Biologiques

Spécialité: Génétique moléculaire et amélioration des plantes

Thème

**Inventaire des maladies fongiques foliaires du blé dur
(*Triticum durum*) durant la campagne agricole 20/21
dans une région aride cas de Tiaret.**

Présenté par :

BELARBI Sarah Saliha

Devant le jury

Président	Mr NEGADI M	MAB	Univ. Tiaret
Examineur	Mr RAHMOUN B	MCA	Univ. Tiaret
Promoteur	Mr BOUMAAZA. B	MCA	Univ. Tiaret
Co-promoteur	Mr BENZOHRA. IE	Maître de recherche	CRSTRA

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Je tiens à remercier et rendre grâce à Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de mener à bon terme ce travail du début jusqu'à la fin.

Je remercie mes parents pour leurs amour, leurs encouragements et leur sacrifices pendant toute ma vie car aucun mot ne pourra exprimer ma haute gratitude et profonde affection. Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement durant toutes mes études.

Je remercie Mon Encadreur Monsieur BOUMAAZA Boualem pour ses conseils et ses orientations et ses critiques tout au long de ce travail de recherche ; il m'a laissé la liberté dont j'ai besoin.

Je lui être reconnaissante surtout pour ses qualités intellectuelles et humaines Je remercie aussi les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail et participer à la soutenance.

Je dois un remerciement à tous les enseignants de l'université IBN Khaldoun de Tiaret.

Je tiens à remercie chaleureusement tous mes proches et tous ceux qui mon apporté leurs sollicitude pour accomplir ce travail.

*D*édicace

A Mes chers parents

MOUHAMED et OUM ELKHIR sources de mes joies , secrets de ma force vous serez toujours le modelés papa de ta détermination , ta force et ton honnêteté . Maman, dans ta bonté ; ta patience et ton dévouement pour nous Merci pour tous vos sacrifices.

Merci de tenir sans relâche malgré les péripéties de la vie au bien être de vos enfants.

Merci d'être tout simplement c'est a vous que je dois réussite e t je suis fier de vous l'offrir.

A mes chers frères

Mon bras droit Khaled .

Mon confident Youcef .

Mon bonheur Abd el Madjid.

A mes cher amis de loin ou de près, pour leur encouragement permanant et leur soutiens moral.

Résumé

Le blé est un aliment de base pour la plupart de personnes dans le monde. Les pertes de rendement dans la production agricole sont causées par plusieurs stress biotiques et abiotiques. Les contraintes biotiques telles que les parasites et les maladies causent également des dommages importants aux cultures. Une étude a été effectuée au niveau de DSA de Tiaret. Dans ce travail nous avons essayé d'identifier les différentes maladies fongiques chez les culture de blé dur rencontrées durant la campagne agricole 2020-2021 dans la région aride de Tiaret. La prospection sur terrain nous a permis de repéré la présence ces agents pathogènes; la tache septorienne, *Fusarium sp*, rouille jaune et la tache helminthosporienne. Les résultats obtenus de notre analyse météorologiques, a montré l'impact des précipitations et les températures sur la propagation et le développement des maladies.

Mots clés : blé dur, maladies fongiques, prospection, stress biotiques, symptômes, variété.

Abstract

Wheat is a staple food for most people around the world. Yield losses in agricultural production are caused by several biotic and abiotic stresses. Biotic stresses such as pests and diseases also cause significant damage to crops. A study was carried out at the level of DSA of Tiaret. In this work, we tried to identify the different fungal diseases in durum wheat crops encountered during the 2020-2021 crop year in the arid region of Tiaret. Field prospecting enabled us to identify the presence of these pathogens; septoria leaf spot, Fusarium sp, yellow rust and leaf blotch. The results obtained from our meteorological analysis showed the impact of precipitation and temperatures on the spread and development of diseases.

Key words: durum wheat, fungal diseases, survey, biotic stress, symptoms, variety.

ملخص

القمح هو غذاء أساسي لمعظم الناس حول العالم. تنتج خسائر الغلة في الإنتاج الزراعي عن العديد من الضغوط الحيوية وغير الحيوية. كما تتسبب الضغوط الحيوية مثل الآفات والأمراض في أضرار جسيمة للمحاصيل. أجريت دراسة على مستوى DSA لتيارت. حاولنا في هذا العمل تحديد الأمراض الفطرية المختلفة في محاصيل القمح القاسي التي تمت مواجهتها خلال موسم المحاصيل 2020-2021 في منطقة تيارت القاحلة. مكنا التنقيب الميداني من تحديد وجود هذه العوامل الممرضة ؛ بقعة أوراق septoria ، Fusarium sp ، صدأ أصفر وبقع الأوراق. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من تحليلنا للأرصدة الجوية تأثير هطول الأمطار ودرجات الحرارة على انتشار وتطور الأمراض.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب ، الأمراض الفطرية ، المسح ، الإجهاد الحيوي ، الأعراض ، التنوع .

Liste d'abréviations

BD :	Blé dur
Kg :	Kilogramme
LI :	Lutte Intégré
g :	Gramme
G :	Grossissement
h:	Heure
ha :	Hectare
Hab :	Habitant
kg :	Kilogramme
kg/ha :	Kilogramme par hectare
Cm :	Centimètre
D:	Densité.[W /g]
T°C max :	Température maximale
T°C min :	Température minimale
T°C moy :	Température moyenne
ITGC :	Institut Technique des Grandes Culture
INPV :	Institut national de protection des végétaux
CCLS :	Coopérative des céréales et des légumes secs
CE :	Conductivité électrique

Liste des figures

Figure1 : Schéma de l'origine des génomes portés par	5
les différents blés d'après	5
Figure2 : céréale au stade de tallage	8
Figure3 : Anatomie du grain de blé dur	9
Figure 4 : Cycle végétal du blé selon	10
Figure 5 : Evolution de la production mondiale des blés	11
Figure6 : Production et superficie récoltées	13
Figure 7 :Rendement en blé dur
Figure8 :: Symptômes des maladies de la rouille du blé causées par <i>Puccinia graminis</i>	27
Figure 9.: Symptômes des maladies des taches foliaires	28
Figure10 :Cycle de vie <i>Zymoseptoria tritici</i>	30
Figure 11 :symptômes de fusarium sur blé tendre	33
Figure 1 2 : Cycle de vie de <i>F. graminearum</i> .	34
Figure13 :.tache d'elmenthosperuim	35
Figure 14 : Reproduction de l'oïdium du blé	37
Figure 15 : Symptômes de l'oïdium du blé	37
Figure 16 :Localisation géographique de la ferme sougeur	39
Figure 17 :Localisation géographique de la ferme	40
Figure 18 :Localisation géographique de la ferme Ain dheb	40
Figure19 :Localisation géographique de la ferme de Boukhateche Bouziane Rahouia	41
Figure 20 :champs de blé dur cas de Sougeur	43
Figure21 : Champs de blé dur cas de Sebaine	43
Figure22 : Champs de blé dur cas de la ferme Ain dheb	44
Figure23 : Champs de blé dur cas de la ferme pilote de Rahouia	45
Figure24 :Diagramme ombrothermique de la campagne agricole 2020-2021.	50
Figure : Tache septorienne (personnel 2021)	50
Figure25 : La sévérité de la Fusariose	51
Figure26 : La sévérité de l'helminthosporiose	51
Figure27 : Symptômes l'helminthosporiose (personnel 2021)	52
Figure28 : Symptômes de la rouille jaune (personnel 2021)	52
Figure 29 : La sévérité de l'helminthosporiose	53
Figure 30 : Symptômes l'helminthosporiose	53

Liste des tableaux

Tableau 1 :Les dix grands premiers producteurs de blé dans le monde (million	12
de blé en Algérie, moyenne 1994-2016	12
Tableau2 : classification de blé dur d'après.....	17
Tableau 3 : Quelques insectes ravageurs de blé au champ dans le Maghreb.....	18
Tableau4 :la pluviométrie de Sabaine et Rahouia	41
Tableau5 :Données climatiques de la campagne 2020/2021.....	42
Tableau 6 : Les caractéristiques des variétés	46
Tableau 7 : Les caractéristiques des sites	48
Tableau 8 : l'état phytosanitaire des parcelles au moment des observations.....	52

Table des Matières	
Remerciment	
Résumé	
Abstract	
الملخص	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations.....	
Table Des Matières	
Introduction générale	2

Partie bibliographique

Chapitre -I

Plante Hôte : Blé dur

Historique de blé dur.....	4
I.1.L'origine du blé dur (<i>Triticum durum</i>)	4
I.1.1- Origine génétique	4
I.2- Origine géographique	5
I.3.Classification botanique	5
I.4.- Le cycle biologique	7
I.5.- Description morphologique	7
I.5.1.- L'appareil végétatif	7
I.5.2- L'épillet.....	8
I.5.3- Le grain	8
I.6. La croissance et développement de la culture du blé	8
I.6.1- Période végétative	9
I.6.1.a-Phase Germination	9
I.6.1.c-Phase Levée-Début du tallage	9
I.6.1b-Phase Semi-levée	9
I.6. 2- Période de reproduction	10
I.6.2.a Phase Tallage herbacé – Gonflement	10
I.6.2.b-Phase Epiaison – Floraison	10

I.6.3-Période de Maturation	10
I.6.3.a-Phase pâteuse	10
I.6. 3.b-Phase de dessiccation	10
I.7. Situation de la céréaliculture	11
I.7.1- Dans le monde	11
I.7.2- En Algérie	12
I. 8-Les exigences de la culture du blé	13
I. 8.1- Exigences édaphique	13
I. 8.2- Exigences climatiques	14
I.9- Les contraintes à la production du blé	15
I.9.1-La sécheresse	15
I.9.2- Stress thermique	15
I.9.3- L'effet de la salinité	15
1.9.4- Les insectes ravageurs de blé :	16
1.9.5- La lutte raisonnée contre les ravageurs du blé	19

Chapitre –II-

Maladies cryptogamique du blé dur

Introduction	20
II.1- Les rouilles de blé (<i>Puccinia sp</i>).....	20
II.1.1- Rouille des feuilles du blé <i>Puccinia triticina</i> Eriks.....	21
II.1.1.1. Répartition géographique de la rouille des feuilles	21
II.1.1.2. Importance économique	22
II.1.1.3.Cycle de vie de la rouille des feuilles du blé.....	23
II.1.2. Rouille de la tige du blé <i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>Triticici</i>	24
II.1.2.1. Répartition géographique de la rouille des tiges	24
II.1.2.2. Importance économique.....	24
II.1.2.3. Cycle de vie de la rouille de la tige du blé	25
II .1.3. Rouille rayée du blé	25
II.1.3.1. Répartition géographique de la rouille rayée	26
II.1.3.2. Importance économique.....	26
II.1 3.3. Cycle de vie de la rouille rayée du blé.....	27
II .2- Les maladies des taches.....	27

II .2.1- Tache de <i>Septoria tritici</i>	28
II 2.1.1-Le cycle d'infection des champignons hémibiotrophes <i>Zymoseptoria tritici</i>	29
II .2.2-Tache de <i>Septoria nodorum</i>	29
II .2.2.1-Cycle de vie de <i>Septoria nodorum</i>	30
II .2.3-Tache de bronzage.....	31
II .3- Fusariose de l'épi	31
II .3.1- Cycle de vie	32
II .4- Tache et brûlure des feuilles par <i>Helminthosporium</i>	33
II .5- L'oïdium de blé <i>Blumeria graminis</i>	34
II .5.1- Biologie et écologie.....	35
II .5.2- Symptômes de l'oïdium du blé.....	37

Partie expérimentale

Chapitre – I –

Matériel et Méthodes

1.Description du site	39
1.1.Coordonnées géographiques de la station	39
Site 1	39
Site 2	39
Site 3	40
Site 4	40
2.-Les paramètres pédoclimatiques.....	41
2.1.Sol	41
2.2. Climat	41
Matériel végétal	43
4. Itinéraire technique	46
4.1. Préparation du sol	47
4.2.Semis :	47
4.3.Fertilisation.....	47
4.4.Désherbage	47
5- Observation et identification réalisées.....	49

Chapitre – II –
Résultat et discussion

Résultat.....	51
1-Analyse agro-météorologique	52
2. Condition climatique.....	53
3. Évaluation visuelle de la gravité de la maladie	53
3.1- Symptômes de la tache septorienne	53
3.2- Incidence de <i>Fusarium sp</i>	54
3.3- Rouille	55
3.4- Helminthosporiose.....	56
Discussion	57
Conclusion.....	61
Reference.....	



Introduction

Introduction générale

Le blé représente l'une des céréales les plus cultivées avec une superficie de production de 215 millions d'ha dans le monde (**Crystel, 2014**). Malheureusement, les maladies du blé restent une contrainte majeure à la production de blé (**Eyal et al., 1987**).

La protection des cultures repose souvent sur des applications préventives de fongicides à date calendaire, et les céréales à petits grains sont généralement traitées avec plusieurs applications foliaires de fongicides. Le rapport coût/revenu marginal du blé d'hiver et les impacts négatifs potentiels que la sur utilisation de pesticides peut avoir sur l'environnement sont des arguments convaincants pour minimiser les intrants, y compris les fongicides. Une estimation efficace du risque de développement épidémique de la maladie peut minimiser le nombre de pulvérisations de fongicides appliquées, conduisant à un système de production de blé plus durable et plus respectueux de l'environnement.

Les maladies du blé qui sont devenues économiquement importantes en Algérie comprennent la tache septorienne (SLB) causée par *Zymoseptoria tritici*, la rouille des feuilles du blé (WLR) causée par *Puccinia triticina* Eriks., la rouille jaune du blé (WSR) causée par *Puccinia striiformis* Westend. F. sp. Tritici Eriks., et la brûlure fusarienne de l'épi (FHB) causée principalement par *Fusarium graminearum*. Le contrôle des maladies causées par ces agents pathogènes est une priorité élevée pour minimiser les pertes de rendement et de qualité des grains.

Les relations entre les conditions météorologiques et les maladies fongiques du blé ont été largement étudiées (**Eversmeyer et Kramer, 2000**). Les facteurs importants favorisant l'infection et la progression de l'agent pathogène sont l'humidité relative, la température de l'air et les précipitations.


Avec les changements climatiques attendus dans le monde au cours des dernières décennies, les schémas des maladies fongiques seront affectés en conséquence (**Barford, 2013**).

Cette étude a été réalisée dans le but d'inventorier et d'étudier l'importance et l'évolution des maladies cryptogamiques de blé dur (*Triticum durum* Desf.), dans la région de Tiaret au cours de la campagne agricole 2020-2021.

Ce manuscrit regroupe deux parties. La première partie est consacrée à la revue bibliographique décrivant l'origine, systématique, biologie, exigences et production de blé (chapitre 1). Dans le chapitre 2, nous avons abordé les principales maladies de blé. La seconde partie de ce manuscrit est consacrée aux matériels et méthodes, résultats obtenus durant ce mémoire. Le mémoire s'achève par une conclusion générale et des perspectives.



Partie bibliographique

 *Chapitre – I –*

Plante Hôte : Blé dur

Historique de blé dur

La céréaliculture a permis l'essor des grandes civilisations. Elle constituée l'une des premières activités agricoles depuis plus de trois millions d'années. L'homme préhistorique nomadisme a progressivement laissé la place à la sédentarité qui permit la culture des céréales.

Le blé est l'une de ces céréales connue depuis l'antiquité. Sa culture remontée au mésolithique vers 7000 avant Jésus-Christ. Le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran. **(Fedman 2001)**

Le terme blé vient probablement du gaulois Blato (à l'origine du vieux français blaie, blee, blaier, blaver, d'où le verbe emblaver, qui signifie ensemer en blé) et désigne les grains qui broyés, fournissant de la farine, pour des bouillies (polenta), des crêpes ou du pain.

C'est en l'an 300 ans avant JC, que les premiers méthodes de panification ont été élaborés par les Egyptiens qui préparaient déjà les premières galettes à base de blé. L'homme sait alors produire sa propre nourriture, en même temps celui-ci acquiert son autosuffisance alimentaire et en ces temps-là, apparaissent les premiers échanges commerciaux. Par la suite, les techniques de panifications se sont améliorées grâce au Hébreux, Grecs et enfin Romains qui en répandent l'usage à travers l'Europe et devenue, l'un des constituant essentiel de l'alimentation humaine. **(Nadjah, I ;)**

I.1.L'origine du blé dur (*Triticum durum*)

I.1.1- Origine génétique

Les espèces de blé aujourd'hui cultivés appartiennent au genre *Triticum*, possédants différents niveaux de ploïdie, qui subissent des événements de polyploïdisation apparus au cours de leur évolution, avant domestication. On distingue du point de vue génétique des espèces diploïdes telles que l'engrain ou petit épeautre (*Triticum monococcum*; 14 chromosomes), des espèces tétraploïdes comme l'amidonnier (*T. turgidum*; 28 chromosomes) et des espèces hexaploïdes (*T. aestivum*; 42 chromosomes). (Figure I.1) **Marcussen et al. (2014)**. (Le génome de ces espèces est organisé en une série basique de 7 chromosomes ($X = 7$ chromosomes). Le *Triticum monococcum* L, est un des ancêtres des blés actuels. Les blés tétraploïdes se sont différenciés en plusieurs sous-espèces comme l'amidonnier domestiqué ou le blé dur (*T. turgidum* spp dicoccoïdes ou durum, respectivement). Il en est de même pour les blés hexaploïdes où l'on distingue deux sous espèces cultivées, le blé tendre (*T.*

aestivum spp *aestivum*) et le grand épeautre (*T. aestivum* spp *spelta*). Le génome des blés hexaploïdes est ainsi constitué de 3 génomes différents: A, B et D, chacun constitué de 7 paires de chromosomes, soit un total de 42 chromosomes (**Figure 1**). **Marcussen et al. (2014)**.

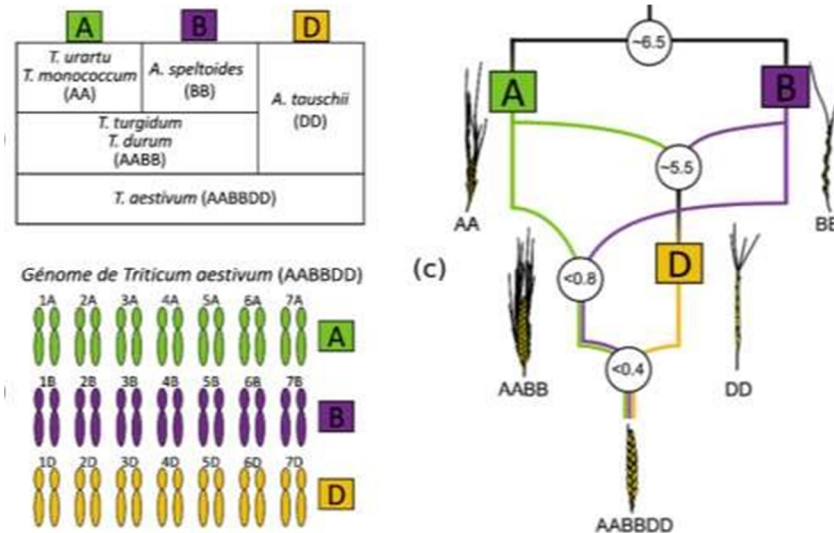


Figure 1. Schéma de l'origine des génomes portés par les différents blés d'après **Marcussen et al. (2014)**.

I.2- Origine géographique

La culture blé dur est parmi les premières activités apparaissent au VIII millénaire-J-C., en Mésopotamie et dans les vallées du Tigre et de l'Euphrate (aujourd'hui l'Irak), dans la région du Croissant fertile qui désigne les régions de Mésopotamie et du Levant au Proche-Orient, Moyen-Orient (**fedman 2001**).

Le blé dur s'est d'abord développé à l'époque antique dans le bassin méditerranéen, notamment en Egypte et en Grèce. On croit que le blé dur provient des territoires actuels de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran. Son ancêtre est l'égilopes grande céréale à un rang de grains, diploïde à 14 chromosomes, particulièrement rustique mais peu productive ; elle se rencontre encore au Moyen-Orient (**Fedman, 2001**).

I.3. Classification botanique

Le blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) est une plante annuelle, appartenant à l'embranchement des spermaphyte, sous embranchement des angiospermes, classe des

monocotylédones, ordre des comméliniflorales, sous ordre des poales de la famille des graminées (Feillet, 2000).

Le blé dur est un blé tétraploïde, composé de deux génomes AA et BB et constitué de 28 chromosomes. Originaires du Moyen-Orient, les différentes espèces de blé (*Triticum* et *Aegilops*) ont subi au cours des siècles des transformations qui les ont fait passer de l'état de plantes sauvages à celui d'espèces cultivées. (Belaid, 2000).

Le blé moderne est le résultat d'une construction génétique unique: il contient le génome complet de trois espèces différentes, les chromosomes de ces espèces ne se mélangeant pas lors de la méiose. Il est le résultat d'événements de polyploïdisation intervenus à la suite de croisements entre espèces: chaque génome fut entièrement conservé, ce qui explique l'augmentation de la ploïdie. (Soltner ; 2005)

Le premier événement est la fusion de deux espèces diploïdes présentant 7 paires de chromosomes, *Triticum urtatu* (génome AA) et une espèce d'*Aegilops* (génome BB); il a eu lieu il ya environ 500000 ans et a conduit à l'apparition d'un blé tétraploïde sauvage, *Triticum turgidum* (génome AABB, 14 paires de chromosomes) qui a été domestiqué pour donner d'abord l'amidonniér puis le blé dur.(bolot et al .2009)

Le second événement a eu lieu au cours de la domestication, il ya environ 9000 ans, entre un blé tétraploïde cultivé et un *aegilops* diploïde (*Aegilops tauschii*, génome DD). Il a donné le blé tendre, *Triticum aestivum*, qui est hexaploïde (génome AABBDD, 21 paires de chromosomes). Les blés hexaploïdes et tétraploïde sont faitl'objet de recherches considérables fondées sur des croisements inter-spécifiques et inter-génériques (Sharma et gill, 1983).

Le blé dur une plante herbacée. appartenant au groupe des céréales a paille . d'après la classification de **Bonjean et picard (1990)** il est une monocotylédone classée de la manier suivante :

Tableau 1. classification de blé dur d'après (**Feillet, (2000)..**

Règne	Plantae
Embranchement	Spermaphyte
Division	Magnoliophyta (Angiospermes)
Classe Super ordre	Liliopsida (Monocotylédons) commiliniflorales
Ordre	Poale
Famille	Poaceae (ex Graminées)
Genre	Triticum sp
Espèce	Triticum durum esf.

I.4.- Le cycle biologique

Boyeldieu (1999) rappelle que le cycle végétatif du blé s'accomplit en trois grandes phases.

La première période végétative (ou des feuilles) débute de la germination à la fin du tallage.

La période reproductrice (ou des tiges) s'étend du redressement à la fécondation. Elle apparaît au cours du tallage et regroupe la formation de l'ébauche de l'épi, l'initiation florale (montaison-gonflement) et la méiose-fécondation (**Soltner, 2005**).

La troisième période de formation et de maturation des grains est repérée de la fécondation à la maturation complète du grain. Différents échelles ont été établies pour identifier les stades végétatifs clés du cycle de développement de la culture du blé.

I.5.- Description morphologique

I.5.1.- L'appareil végétatif

L'appareil végétatif est constitué de talles émis depuis le plateau de tallage situé à la base de la plante .Ces talles se développent à partir du bourgeon principal (talle principale) et des bourgeons axillaires (talles secondaires). Chaque talle se compose de différents phytomères formés de tige, gaine, limbe foliaire, un bourgeon axillaire qui porte à son sommet un épi formé de deux rangées d'épillets situés de part et d'autre du rachis (**Boyeldieu, 1999**).

I.5.2- L'épillet

L'épillet regroupe trois à quatre fleurs à l'intérieur de deux glumes. Chaque fleur est dépourvue de pétales, entourée de deux glumelles. Elle contient trois étamines et un ovaire surmonté de deux styles plumeux. La fleur du blé est dite cléistogame, c'est-à-dire que, le plus souvent, le pollen est relâché avant que les étamines ne sortent de la fleur. Du fait du caractère cléistogame de la fleur, l'autofécondation est le mode de reproduction le plus fréquent (autogamie). Les glumes et les glumelles sont éliminées au moment du battage pour libérer le grain (**bogand ; 2011**)

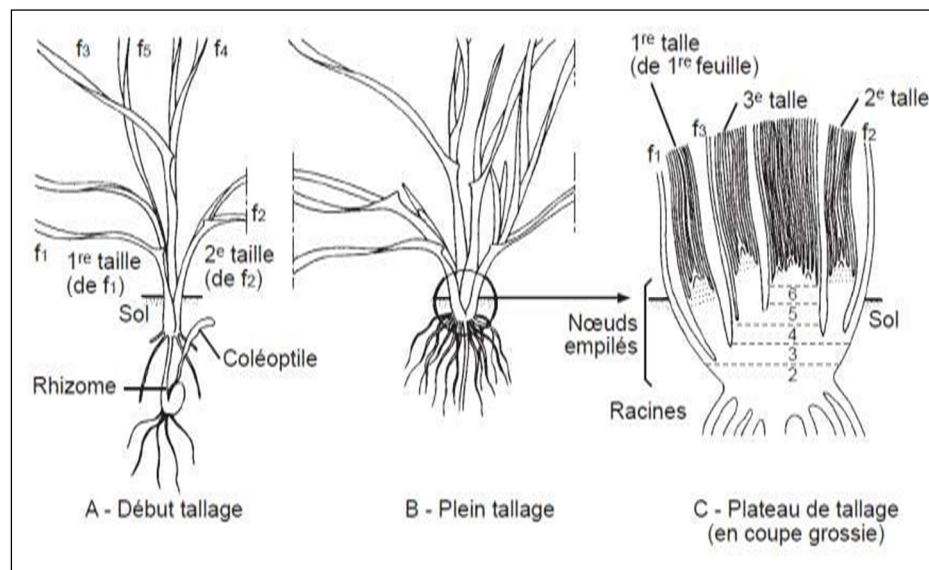


Figure2 : céréale au stade de tallage (**Boyeldieu, 1999**)

I.5.3- Le grain

Le grain, ou caryopse, est à la fois le fruit et la graine du fait que les enveloppes du fruit sont soudées à celle de la graine (Figure3). Ses réserves sont contenues dans l'albumen composé de 65% d'amidon, 15% de protéines, de 15% d'eau et de divers micro éléments comme le Fe, Zn, les acides gras et les vitamines (**Bogard, 2011**). La qualité de la pâte de la farine est liée à la structure et à la composition de l'amidon. L'embryon est constitué de l'axe embryonnaire qui donnera la tigelle, le mésocotyle et la radicule de la future plantule ainsi que du scutellum ou cotylédon qui constitue une zone d'échange entre l'embryon et l'albumen (**Evers and Millar, 2002**).

Les couches périphériques sont constituées de l'intérieur vers l'extérieur par la bande hyaline, la testa, les cellules tubulaires, les cellules croisées et le péricarpe externe. Les cellules tubulaires et cellules croisées forment le péricarpe interne. Pendant le

développement du grain, le péricarpe évite les pertes d'eau sans pour autant empêcher sa pénétration (Evers *et al.*, 1999).

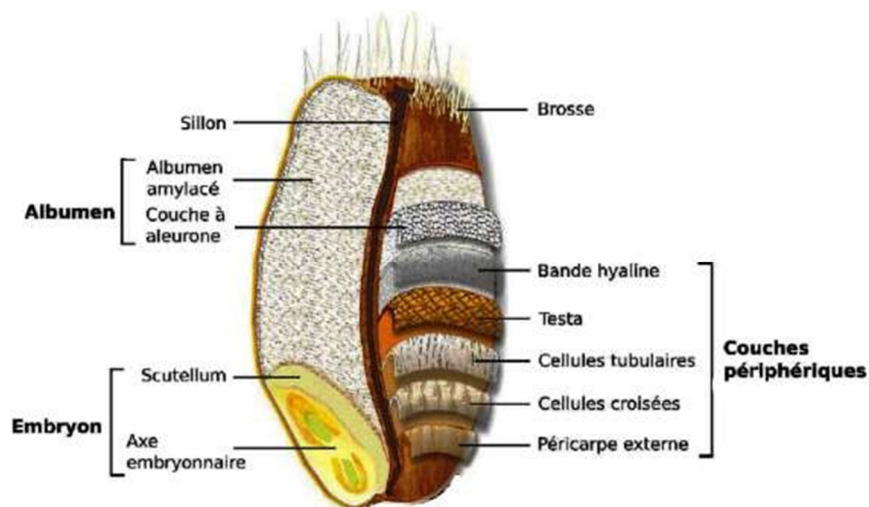


Figure 3. Anatomie du grain de blé dur. (Surget et Barron, 2005).

I.6. La croissance et développement de la culture du blé

Le cycle de développement du blé dur comporte trois phases: La période végétative, la période reproductrice et la période de maturation. (Figure I.3)

I.6.1- Période végétative

Cette période comprend les phases suivantes

I.6.1.a-Phase Germination

C'est la phase première de la vie d'une plante qui assure la naissance d'une jeune plantule au dépend de la graine. Elle passe par la phase de l'imbibition de la graine, libération des enzymes et dégradation des réserves assimilables par la graine, ensuite la phase de croissance caractérisée par l'allongement de la radicule (Vertucci, 1989).

I.6.1b-Phase Semi-levée

C'est la phase de germination et de début de la croissance.

I.6.1.c-Phase Levée-Début du tallage

Elle est caractérisée par les apparitions successives à l'extrémité de la coléoptile et la première feuille fonctionnelle, puis de la deuxième, troisième feuille etc. imbriquées les unes dans les autres, partant toutes d'une zone proche de la surface du sol (plateau du

tallage) et reliées à la semence par le rhizome. Cette phase devient critique en cas d'attaque d'insectes ou de champignons telles que les fusarioses. (Vertucci, 1989).

I.6. 2- Période de reproduction Cette période comprend deux phases:

I.6.2.a Phase Tallage herbacé – Gonflement

Elle comprend: l'initiation florale, la différenciation de l'ébauche de l'épi, la différenciation des ébauches des glumes, la montaison ou élongation, la méiose ou réduction chromosomique et le gonflement (Vertucci, 1989).

I.6.2.b-Phase Epiaison – Floraison

Cette phase correspond à l'épiaison (apparition des épis à l'extérieur), puis à la fécondation (ouverture des sacs polliniques), à la germination du pollen et à la fécondation de l'ovule. Cependant, la floraison consiste en l'éclatement des anthères qui libèrent le pollen. » (Vertucci, 1989).

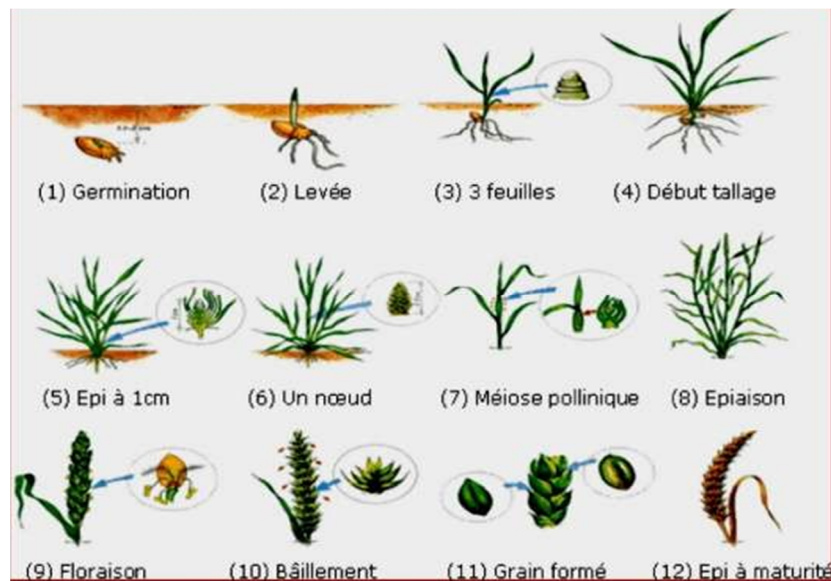


Figure 4: Cycle végétal du blé selon (Fritas, 2012).

Les filets qui les portent s'allongent, cette opération entraîne à travers les glumelles entrouvertes, les sacs polliniques desséchés, à l'extérieur flotte alors tout autour de l'épi comme de petites fleurs blanches c'est l'ensemble de ces petites fleurs qui fait dire que « l'épi est fleuri » (Vertucci, 1989).

I.6.3-Période de Maturation

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

I.6.3.a-Phase pâteuse

C'est une phase où la graine accumule très fortement l'amidon dans son albumen, tout excès d'évaporation à pour effet de ralentir les synthèses et la migration des réserves nécessaires à la formation du grain, ce qui se traduit par la formation de grains ridés de poids inférieur à la normale (phénomène d'échaudage).

I.6.3.b-Phase de dessiccation

Elle correspond à la perte progressive de l'humidité du grain (maturité au champ 20 à 15% d'humidité) (Vertucci, 1989).

I.7. Situation de la céréaliculture

I.7.1- Dans le monde

La production de blé serait quant à elle en légère hausse (0,8%), à 730,8 Mt. Le Conseil international des céréales livre, de plus, ses estimations pour la campagne 2016-2017: la production de blé reculerait pour la première fois en trois ans, à 706 Mt (Figure5). Bien que les conditions pour le blé d'hiver de 2016-2017 ne soient pas entièrement idéales dans certaines régions.

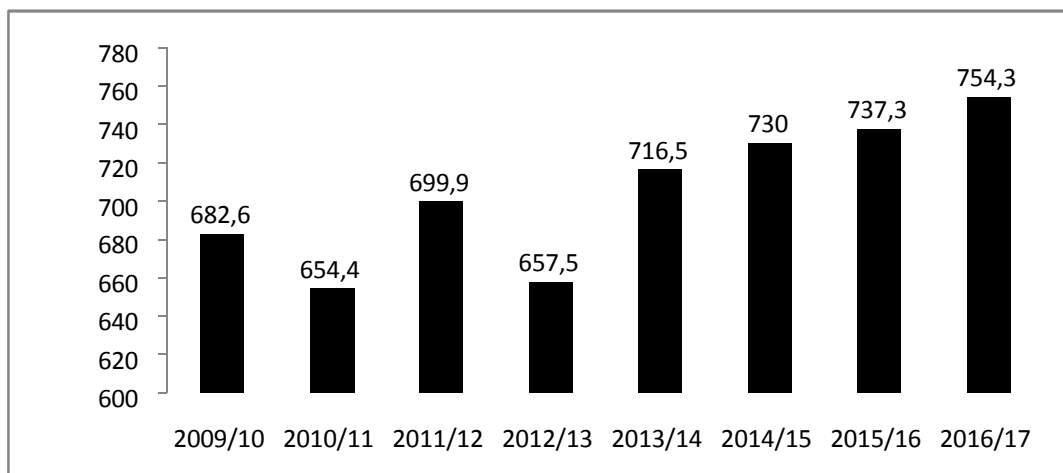


Figure 5 : Evolution de la production mondiale des blés (million tonnes)
(Conseil international des céréales, 2018)

Tableau 2 : Les dix grands premiers producteurs de blé dans le monde (million Tonnes/an) (FAO, 2012)

Rang	Pays	Production
1	Chine	115.18
2	Inde	80.80
3	Etats Unis d'Amérique	60.10
4	Russian fédération	41.51
5	France	40.79
6	Allemagne	24.11
7	Pakistan	23.31
8	Canada	23.16
9	Australie	22.13
10	Turkie	19.66

I.7.2- En Algérie

La céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les terres annuellement emblavées représentent 3,6 millions d'hectares, soit 50% des terres labourées (**Madr, 2013**). Les grandes cultures, notamment les céréales, les légumineuses alimentaires, les fourrages et les oléagineux sont des produits alimentaires de première nécessité dans l'agriculture algérienne elles constituent la consommation de base qui est estimée à environ 228 kg par habitant et par an pour les céréales (**Ait Abdallah-Djennadi et al., 2010**). La production totale des céréales est très variable d'une année à une autre sous l'effet des facteurs du climat, en particulier la sécheresse (figure.6). La production totale des céréales est loin de couvrir la demande qui est de plus en plus importante elle est d'ordre de 6.5 MT (**BADRANI, 2004**).

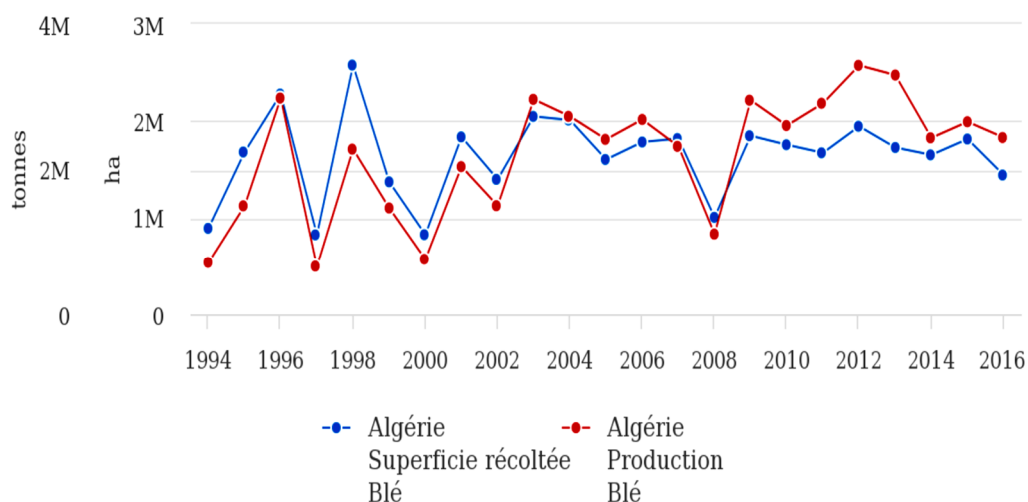


Figure 6 : Production et superficie récoltées de blé en Algérie, moyenne 1994-2016 (FAOSTAT, 2018)

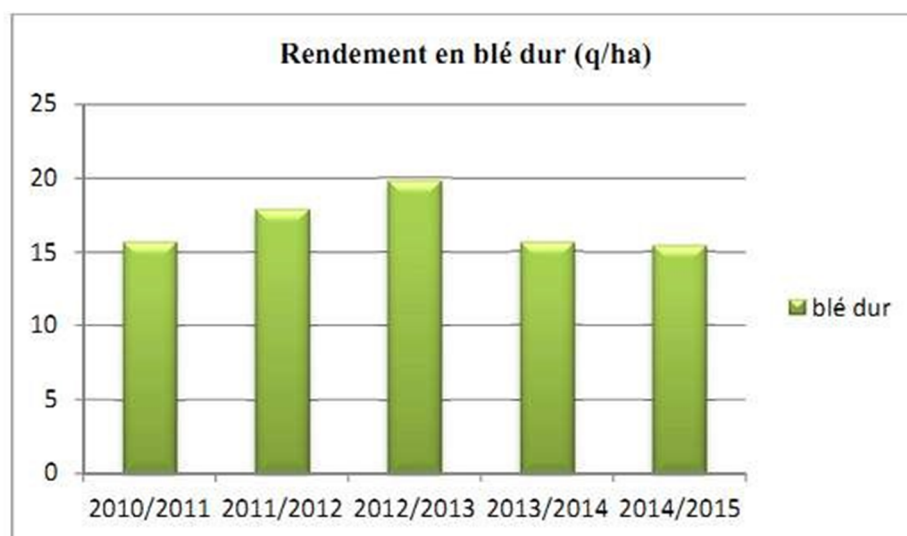


Figure 7 Rendement en blé dur (MADR, 2016).

I. 8-Les exigences de la culture du blé

I. 8.1- Exigences édaphique

Le blé exige un sol bien préparé, meulé et stable, qui assure aux racines fasciculées du blé une grande surface de contact, d'où une bonne nutrition. Une profondeur de 12 à 15cm pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25 cm pour les autres terres et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux bons rendements (Soltner, 1990). Le blé réussit mieux dans les terres neutres profondes et de textures équilibrée, ce sont des limons argileux profond. Les terres très argileuses, très calcaires ou trop sableuses (acides) sont déconseillées pour cette culture (Clément, 1971). Le pH optimal se situe dans une gamme comprise

entre 6 à 8. La culture de blé est modérément tolérante à l'alcalinité du sol dont la C.E ne doit pas dépasser 04 mmhos/cm (Clément, 1971).

I. 8.2- Exigences climatiques

Selon Clement et Prats (1970), les conditions climatiques jouent un rôle prépondérante sur les différents stades végétatifs du blé.

Température

La température conditionne à tout moment la physiologie de blé. Le zéro de germination du blé dur voisin de 0 °C, cependant l'optimum se situe entre 20 et 22 °C entre ces deux extrêmes. Les fortes températures provoquent une levée trop rapide et parfois un déséquilibre entre la partie aérienne et la partie souterraine (Baldy 1992a). Les températures entre 25 et 32 °C défavorisent l'allongement racinaire l'optimum se situe entre 5 et 12 °C. Mekhlouf et al., (2001) situent les exigences en température pour les stades suivants :

- Stade levée : La somme des températures =120°C.
- Stade tallage : La somme des températures =450°C.
- Stade plein tallage : La somme des températures =500°C.
- Stade épi 1cm : La somme des températures = 600°C.

L'eau

L'eau est un facteur limitant de la croissance du blé durant tout le cycle de développement. Selon Soltner (1990), l'eau a une grande importance dans la croissance de la plante. Un stress hydrique durant la période végétative se traduit par une modification qui touchent les caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques (Mefti et al., 2000). Ceci se répercute sur le rendement économique de la culture, qui peut baisser de plus de 80% (Chenaffi et al., 2006). En effet, le déficit hydrique au stage montaison entraîne une régression de talles qui se traduit par la chute du nombre d'épis produits par m². Le manque d'eau après la floraison, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et de la durée de remplissage (Bouthiba et al., 2010).

La lumière

Le blé est une plante de pleine lumière et la lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé. En effet, un bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement (Soltner, 1990).

I.9- Les contraintes à la production du blé

I.9.1-La sécheresse

Les plantes cultivées vivent en conditions lorsque le sol est proche de la capacité de rétention (Chennafi et al., 2006). La transpiration peut atteindre une à deux fois et parfois plus, le réserve d'eau présent dans un végétal développé (Katerdji, 1989). Cependant, dès que le niveau d'humidité du sol tend vers une valeur inférieure à la capacité au champ, le déficit hydrique s'installe et la plante est stressée (Turk, 1978).

I.9.2- Stress thermique

Soltner (1985) considèrent que les conditions optimales de la céréale recommandent une somme de température de 150°C pour la période du semis-levée, 500 °C la phase levée-fin tallage, par contre à elle seule, la phase épiaison-maturité physiologique exige 850°C. Cependant, ces exigences sont variables selon les génotypes, les campagnes agricoles et les caractéristiques environnementales (Araus et al., 2003).

I.9.3- L'effet de la salinité

La salinité s'exprime en conductivité électrique (CE) en millimhos ou micromhos. Le blé tolère des valeurs de CE de 4.5 millimhos (Durand, 1981). Le blé tendre semble plus tolérant au sel que le blé dur (Roudani, 1996). La réponse à la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par un effet dépressif sur la croissance et le développement (Munns, 1986).

I.9.4- L'effet des ennemis des cultures

En absence de mesure de lutte, les pertes potentielles dues aux maladies, aux ravageurs et aux plantes adventices sont estimées de 50 à 80% de la production potentielle (FAO, 1990). Les plantes adventices partagent le même espace que la culture, ils se servent des mêmes facteurs de lumières, éléments nutritifs et eau. Cette concurrence entraîne une croissance rabougrie de la culture. Les mauvaises herbes sont également nuisibles par l'hébergement d'animaux ravageurs et de maladies qui menacent la culture

(**Scheepens et al. 2007**). En Algérie, les pertes dues à la présence des mauvaises herbes dépassent 50% de la production finale (**Kadra, 1976**).

Les insectes ravageurs de blé :

Les ravageurs de céréales sont nombreux et appartiennent majoritairement à la classe des insectes.

Le(tableau 3) récapitulatif de quelques insectes ravageurs des blé au champ dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie) (**ACTA, 1990; BOULAL et al.,2007**).

- Les cécidomyies du blé :
- Les cécidomyies jaunes du blé
- Les cécidomyies orange du blé
- La cicadelle :
- Les pucerons :

Tableau 3 : Quelques insectes ravageurs de blé au champ dans le Maghreb ACTA, 1990; BOULAL *et al.*,2007).

Insecte	Symptômes et dégâts	Photos
<p>La cécidomyie des céréales ou mouche de Hesse (Mayetiola destructor) sur les blés,</p>	<p>Sur les jeune plantes : restent naines</p> <p>Sur les feuilles : coloration vert foncé puis jaunissent et se dessèchent au fur et au mesure. A des stades précoces (stade 1 feuille), les plantes peuvent être complètement détruites. En arrachant un pied attaqué par la cécidomyie, on constate un gonflement au niveau du collet, on découvert souvent la présence des pupes.</p>	
<p>Les pucerons du blé (Rhopalosiphum padi), (Schizaphis graminum), (Sitobion avenae) et le puceron russe</p>	<p>Sur les feuilles : Apparition des taches blanches. Les feuilles et les épis sont recouverts par une couche luisante ayant une sensation visqueuse et une présence des fourmis (due à la sécrétion du miellat par les pucerons).</p>	

<p>Les punaises du blé (<i>Aelia germari</i>), (<i>A. cognata</i>) et (<i>A. acuminata</i>).</p>	<p>Sur les feuilles : nécroses puis un jaunissement et un dessèchement, Sur les tiges : formation d'épis blancs avec des glumes ne portent pas de grains.</p>	 <p>Punaise sur épis du blé Œufs et nymphe</p>
<p>Criocères des céréales <i>Oulema lichenis</i> <i>O. menalopus</i></p>	<p>Les dégâts d'adultes se présentent sous forme de 1 à 3 cm, entre les nervures, avec perforation complète du limbe. Transmis des viroses.</p>	
<p>La mineuse des céréales <i>Agromyza sp</i></p>	<p>Sur feuille : formation des mines, puis le dessèchement des parties attaquées.</p>	
<p>La cèphe des chaumes (<i>Cephus sp.</i>)</p>	<p>La verse des tiges. Les larves pénalisent le nombre de grains par épi et le remplissage de grains.</p>	

1.9.5 La lutte raisonnée contre les ravageurs du blé :

De la levée au remplissage de l'épi, le blé est convoité par des ravageurs qui peuvent provoquer des dégâts importants et ainsi compromettre sérieusement le rendement de la récolte.

Les perforations qu'ils occasionnent sur les différents organes de la plante peuvent constituer des portes d'entrée pour les maladies. C'est pour cette raison qu'il est important de pratiquer un contrôle raisonné des populations.

De plus, pour optimiser l'efficacité du traitement, il est essentiel d'intervenir au bon moment.

Comment lutter efficacement contre les ravageurs du blé ?

Cela passe par :

- Une surveillance des parcelles aux stades clés des cycles des ravageurs
- Le respect des seuils d'intervention,
- L'utilisation de solutions insecticides adaptées.

Il s'agit en effet de surveiller l'arrivée des ravageurs dans les parcelles, de bien les identifier et de vérifier si le nombre d'individus présents justifie un traitement.

■ ■ *Chapitre – II –*

Maladies cryptogamique du blé dur

Introduction

Le blé est l'une des céréales de base les plus importantes au monde et la principale source de calories et de protéines d'origine végétale dans l'alimentation humaine (Curtis et al., 2002). En 2015/2016, 735 millions de tonnes de blé ont été produites dans le monde, pour une valeur d'environ 145 milliards de dollars américains. Une évaluation récente de la production de blé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture indique que l'offre actuelle de blé est suffisante pour la demande mondiale (FAO, 2015). Néanmoins, la production future doit augmenter car la population mondiale est estimée à plus de 9 milliards de personnes d'ici 2050. À ce titre, on prévoit que la production céréalière annuelle devrait augmenter de près d'un milliard de tonnes. En outre, l'augmentation de la consommation de produits à base de blé dans de nombreux pays d'Asie et les modifications des exigences de qualité des céréales pour répondre aux objectifs de " faim cachée " exigent une production végétale supplémentaire (Shewry et al., 2016).

La diminution de la disponibilité de terres agricoles appropriées, le changement climatique et une variété de stress abiotiques et biotiques imprévisibles constituent continuellement des menaces pour la production de blé aux niveaux local et mondial. Le déclin de la diversité génétique du blé, à la recherche de cultivars d'élite hautement performants, a contribué à une tempête parfaite d'émergence d'agents pathogènes au point où les maladies menacent les approvisionnements mondiaux en blé. Les champignons pathogènes représentent une contrainte importante à la production de blé.

Cette partie examine les principales maladies cryptogamiques affectant la production agricole, ainsi que ceux qui émergent comme des menaces. Plusieurs espèces causent des maladies chez les céréales. Les principales maladies qui attaquent le blé:

II.1- Les rouilles de blé (*Puccinia sp*)

Les maladies de la rouille des plantes sont généralement causées par des champignons pathogènes du phylum Basidiomycota, classe Urediniomycetes, ordre Uredinales, famille Pucciniaceae, genre *Puccinia* (Duplessis et al., 2012). Les champignons de la rouille attaquent principalement les feuilles et les tiges de genres spécifiques ou même certaines des variétés d'une espèce. Ces espèces pathogènes fongiques, qui sont morphologiquement identiques mais attaquent différents genres d'hôtes, sont connues sous le nom de formes spéciales (formae spéciales). Plusieurs formes

ou espèces spéciales de *Puccinia* provoquent la maladie de la rouille chez toutes les espèces de graminées (McIntosh et al., 1995). En outre, chaque forme spéciale a de nombreuses races (également appelées: races physiologiques, pathotypes ou types d'infection) qui ne parasitent que certaines variétés d'espèces hôtes, qui ne peuvent être tracées et identifiées que par des cultivars différentiels (McIntosh et al., 1995).

Les agents pathogènes de la rouille ont entravé la production mondiale de blé depuis la domestication de la culture et continuent de menacer l'approvisionnement mondial en blé. On estime que les pertes annuelles mondiales dues aux agents pathogènes de la rouille du blé varient entre 4,3 et 5,0 milliards de dollars (Roelfs et al., 1992).

Les champignons de la rouille sont des organismes biotrophes obligatoires qui dépendent complètement des ressources nutritionnelles obtenues à partir de hôtes vivantes pour la croissance et la reproduction (Duplessis et al., 2012). Les espèces de rouille varient dans leur capacité à infecter certains hôtes et cette biologie différentielle se reflète dans la classification des formes spéciales (Eriksson, 1894). Il existe trois maladies de la rouille du blé, à savoir la rouille des tiges, des rayures et des feuilles, toutes causées par des membres de la famille des basidiomycètes, du genre *Puccinia*, nommée *P. graminis* f. sp. *tritici* (Pgt), *P. striiformis* f. sp. *tritici* (Pst) et *P. triticina* (Pt), respectivement (McIntosh et al., 1995) Figure(II.1)

II.1.1- Rouille des feuilles du blé *Puccinia triticina* Eriks.

La maladie fongique, la rouille des feuilles causée par *Puccinia triticina* Eriks. (Pt), est largement répartie dans toutes les principales régions productrices de blé du monde (Kolmer, 2013). Il est considéré comme l'une des maladies les plus courantes du blé panifiable (*Triticum aestivum*), du blé dur (*Triticum turgidum* var. *Durum*) et du triticales (Huerta-Espino et al., 2011). L'infection entraîne des pertes de rendement céréalier de plus de 50% chez les cultivars sensibles (Terefe et al., 2011). De 2000 à 2004 aux États-Unis, les pertes estimées causées par le Pt ont dépassé les 350 millions de dollars américains (Huerta-Espino et al., 2011). En Australie, les pertes attribuées à cette maladie sont calculées à 12 millions de dollars australiens (Murray & Brennan, 2009).

L'agent causal (*P. triticina*) est un parasite biotrophique obligatoire, qui infecte principalement les feuilles de blé à différents stades de croissance, mais peut également infecter la gaine et les glumes des feuilles. L'agent pathogène est répandu dans les régions

où les températures sont douces et les conditions humides. Le parasite a la capacité de créer des urédospores infectieuses uniquement sur les tissus foliaires vivants. Il a des hôtes primaires (térial ou urédinal) et secondaires (pycnial ou écial) pour compléter son cycle de vie complet. Les hôtes primaires connus sont le blé panifiable, le blé dur, cultivé et le blé d'amidon sauvage, *Ae. speltooides*, *Ae. cylindrica* et triticale; et les hôtes secondaires ou alternatifs sont *Thalictrum speciosissimum* et *Isopyrum fumaroides* (Bolton et al., 2008). Les urédospores, une fois produites, peuvent être largement disséminées par le vent et contaminer les plantes hôtes trouvées à plusieurs kilomètres de là, ce qui entraînera finalement des épidémies de rouille dans les pays et même les continents (Bolton et al., 2008).

II.1.1.1. Répartition géographique de la rouille des feuilles

La rouille des feuilles du blé est plus fréquente dans presque toutes les régions du monde que la rouille des tiges ou les rouilles striées du blé (Bolton et al., 2008). La rouille des feuilles est une préoccupation majeure en Afrique du Nord, en Asie, en Europe, en Amérique du Nord et du Sud, en Australie et en Nouvelle-Zélande (Carver, 2009). En fonction de la direction de la propagation des urédospores par le vent au cours de chaque année de culture, les zones de culture du blé du monde étaient regroupées en 9 régions épidémiologiques: Mexique, Canada et États-Unis, Asie du Sud, Asie de l'Ouest, Europe de l'Est et Égypte; Afrique du sud; Afrique du Nord et Europe occidentale; l'Extrême-Orient; Asie du sud est; Amérique du Sud; et Australie – Nouvelle-Zélande (Huerta et al., 2011).

II.1.1.2. Importance économique

L'importance de la rouille des feuilles a été mise en évidence lorsqu'elle a attaqué plusieurs variétés de blé et détruit des millions d'hectares de fermes de blé. La rouille des feuilles a été considérée comme une maladie gravement dommageable dans les zones de culture du blé des États-Unis, de l'ex-URSS et de la Chine (Chester, 1946). Les cultivars de blé modernes continuent d'être touchés par cette maladie dans le monde entier. La maladie entraîne une perte de rendement céréalier principalement en réduisant le nombre et le poids des grains de blé (Huerta et al., 2011).

Aux États-Unis, les pertes de rendement du blé dues à la rouille des feuilles ont été estimées à 350 millions de dollars entre les campagnes agricoles 2000 et 2004; au

Mexique, 32 millions de dollars de 2000 à 2003, et à nouveau de 2008 à 2009, 40 millions de dollars. En Amérique du Sud (Argentine, Brésil, Chili, Paraguay et Uruguay) entre 1996 et 2003, la perte de rendement s'est élevée à 172 millions de dollars; la rouille des feuilles entraîne une perte de rendement annuelle moyenne d'environ 3 millions de tonnes en Chine, tandis qu'au Pakistan, pour la seule campagne de 1978, de graves épidémies de rouille des feuilles ont causé une perte de rendement de 10%, estimée à 86 millions de dollars (Huerta et al., 2011).

II.1.1.3. Cycle de vie de la rouille des feuilles du blé

Le pathogène responsable de la rouille des feuilles, *Puccinia triticina* est une espèce fongique macrocycloïque et hétéroïque qui a cinq phases de spores distinctes (Carver, 2009) impliquant des espèces hôtes différentes génétiquement éloignées. Dans des conditions environnementales appropriées (environ 10–25 °C et disponibilité d'eau libre à la surface des feuilles), le plant de blé produit des téliosporés bicellulaires brun foncé (Carver, 2009). Les téliosporés poussent pour donner des basidiosporés haploïdes sur le tissu des feuilles de blé. Ensuite, les basidiosporés sont déplacés par le vent et infectent l'hôte alternatif pour développer une pycnide haploïde dans les structures pycniales (Carver, 2009).

Par conséquent, les pycniosporés sont transportés par les insectes vers d'autres infections pycniales, entraînant une propagation sexuelle entre deux cellules génétiquement différentes (types d'accouplement opposés), ce qui entraîne la formation d'une plasmogamie (Kolmer, 2013). Enfin, les coupes fécales libèrent des éciosporés qui seront diffusés par le vent pour infecter le blé. La phase sexuelle de *P. triticina* facilite l'échange de matériel génétique entre les races physiologiques et éventuellement les populations, cependant, elle apporte une contribution minimale à la source d'inoculum direct de *P. triticina* aux espèces de blé (Carver, 2009) car les hôtes alternatifs n'existent pas dans la plupart des régions productrices de blé du monde.

II.1.2. Rouille de la tige du blé *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

Partout dans le monde, la rouille noire a été l'une des maladies les plus dévastatrices des cultures céréalières (CABI, 2012). La rouille de la tige est causée par le champignon *P. graminis* f. sp. *tritici*, qui est hétéroïque. Comme toutes les espèces fongiques de la rouille, elle est macrocycloïque avec cinq stades de spores qui ont des fonctions spécifiques et une

morphologie distincte (Carver, 2009). La rouille de la tige parasite principalement la surface de la feuille et de la tige et peut attaquer même les gaines foliaires, les épis, les glumes, les arêtes et les grains chez les cultivars sensibles (Roelfs et al., 1992). Il endommage généralement les parties aériennes de la plante de blé, et les plantes contaminées produisent souvent un plus petit nombre de talles et moins de grains par épi, et les grains deviennent de taille inférieure, généralement rétrécis, et de meunerie et de qualité alimentaire réduites (Roelfs et al., 1992). Selon Roelfs et al. (Carver, 2009), les spores de la rouille noire peuvent germer à partir de 2 °C comme température minimale, tandis que les températures optimales et maximales sont de 15 à 24 °C et 30 °C. La formation de spores commence à partir de 5 °C, cependant, la sporulation s'optimise à 30 °C et peut se produire jusqu'à 40 °C comme température maximale.

II.1.2.1. Répartition géographique de la rouille des tiges

Historiquement, la rouille des tiges était la principale menace pour toutes les régions du monde avant l'utilisation de cultivars résistants. Cependant, il s'agit actuellement d'une préoccupation majeure dans les hautes terres d'Afrique de l'Est, et n'a qu'une importance mineure en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. Il n'est important que localement en Afrique du Nord et du Sud, en Extrême-Orient et en Asie occidentale, en Australie, en Nouvelle-Zélande et en Amérique du Sud (Roelfs et al., 1992).

II.1.2.2. Importance économique

Dans la première moitié du 20ème siècle, la rouille des tiges a endommagé 20% de la production de blé américaine lors d'épidémies cycliques survenues entre 1920 et 1960. Dans les pays scandinaves, au cours de la campagne agricole de 1951, des pertes de rendement allant de 9% à 33% ont été enregistrées; en Europe orientale et centrale, une perte de 5 à 20% a été observée pendant la campagne agricole de 1932 (CABI, 2012). De graves épidémies de rouille ont été signalées dans le nord de la Chine et en Mongolie intérieure au cours des campagnes agricoles 1948, 1951, 1952 et 1956, où le blé de printemps est largement cultivé (CABI, 2012). Une étude récente (Pardey et al., 2013) a estimé que les pertes de rendement annuelles mondiales du blé dues à la rouille des tiges pourraient atteindre 6,2 millions de tonnes, ce qui équivaut à 1,12 milliard de dollars.

II.1.2.3. Cycle de vie de la rouille de la tige du blé

Le blé tendre et le blé dur, l'orge et le triticales sont considérés comme les principaux hôtes parmi les espèces cultivées de *P. graminis* f. sp. *tritici*. De nombreuses espèces des genres *Berberis* et *Mahonia* sont connues pour être vulnérables à la rouille noire; cependant, *Berberis vulgaris* (épine-vinette commune) est l'hôte écial le plus important (CABI, 2012).

Dans la plante hôte en cours de maturation, les téliospores (cellules dicaryotes) fusionnent leurs noyaux et commencent à germer et à subir une division cellulaire méiotique qui donne naissance à des basidiospores haploïdes hyalines unicellulaires. Ensuite, les basidiospores transportées par le vent se poseront sur la surface supérieure des feuilles d'autres espèces de plantes hôtes et provoqueront une infection. Par conséquent, les pycniospores unicellulaires haploïdes et les hyphes réceptifs sont produits par les pycnides en forme de flacon qui fonctionnent comme deux gamètes opposés. La fusion des pycniospores et des hyphes réceptifs (fécondation) entraîne la formation d'hyphes dicaryotes, qui finissent par se développer en **écie** dans la face inférieure de la zone foliaire (Carver, 2009). Les **écies** produisent des éciospores qui seront prélevées par le vent pour infecter uniquement les hôtes téliaux (blé, orge et triticales) pour développer des urédinies qui finissent par développer des urédospores pendant plusieurs semaines après l'infection. Enfin, lorsque la culture atteint presque le stade de maturité, des téliospores sont produites (Carver, 2009).

II .1.3. Rouille rayée du blé

Puccinia striiformis f. sp. *tritici*, un agent causal de la rouille des rayures du blé, a le potentiel d'être aussi destructeur que la rouille des tiges du blé, bien que son exigence de basse température limite son attaque généralisée dans toutes les régions productrices de blé du monde (Bux et al., 2012). Néanmoins, des preuves antérieures ont confirmé que les épidémies de rouille rayée pourraient constituer une menace importante pour les principales régions productrices de blé du monde telles que la Chine, les États-Unis, l'Asie du Sud et l'Europe du Nord (Bux et al., 2012).

La maladie infecte la plante de blé à n'importe quel stades de croissance à partir d'un stade de feuille unique jusqu'à la maturité. Le parasite provoque des taches chlorotiques qui produisent des rayures jaunes d'urédine (Bux et al., 2012). Les urédinies de la rouille rayée sont plus petites que les urédinies des rouilles des tiges et des feuilles, et elles poussent principalement dans la surface supérieure de la feuille. Dans une certaine mesure,

en particulier chez les plantes sensibles, ils peuvent parasiter la face inférieure des feuilles, les gaines foliaires, les glumes, les arêtes et même les grains verts immatures (**Bux et al., 2012**). Les spores urédiniennes peuvent germer à la surface de la feuille avec un minimum de 3 heures de formation de rosée et 0 °C au minimum, 10 à 12 °C l'optimum et 20 °C au maximum (**Bux et al., 2012**).

La rouille rayée entraîne une perte de qualité et de rendement du grain en réduisant la taille, le nombre et le poids des grains par épi (**Bux et al., 2012**). Il réduit également la quantité de matière sèche de la plante en diminuant la hauteur de la plante, la croissance des racines, la taille et le nombre d'épis florifères (**Bux et al., 2012**). De plus, les graines obtenues à partir de plantes attaquées par la rouille des rayures présentent une vigueur réduite et une faible émergence (**Chen, 2005**). En Australie, l'agent pathogène de la rouille rayée a été repéré pour la première fois en Nouvelle-Galles du Sud en 1979 et s'est produit chaque saison, faisant des mutations ultérieures comme moyen d'adaptation aux températures chaudes qui prévalent dans le pays (**Wellings, 2007**). L'introduction récente d'un nouveau pathotype en Australie-Occidentale en 2003 et sa propagation successive à l'est de l'Australie ont modifié la population pathogène de la rouille des rayures pour qu'elle soit dominée par la nouvelle race, ce qui a nécessité l'utilisation de fongicides pour la contrôler dans les variétés de blé commerciales (**Wellings, 2007**).

II.1.3.1. Répartition géographique de la rouille rayée

Selon **Wellings (2011)**, les principales régions productrices de blé du monde dans lesquelles la rouille rayée cause actuellement des dégâts importants en: Asie de l'Est (Chine nord-ouest et sud-ouest), États-Unis (en particulier Pacifique Nord-Ouest), Asie du Sud (Inde, Pakistan et Népal), et l'Europe occidentale (Angleterre de l'Est), l'Océanie (Australie, Nouvelle-Zélande) et l'Afrique de l'Est (Éthiopie, Kenya).

II.1.3.2. Importance économique

Chen (2005) a rapporté des pertes de rendement de 100% dans une station expérimentale près de Mount Vernon, Washington sur des cultivars sensibles. En fonction de la vulnérabilité du cultivar, de la précocité de l'infection initiale et du degré de progression de la maladie, les pertes de rendement dues à la rouille rayée peut varier de 10% à 70%. Aux États-Unis, la rouille rayée a causé des dommages importants en quatre cycles de 1958 à 2005 dont le record le plus élevé a eu lieu en 2003 et a été estimé à 300 millions de dollars. En Afrique du Sud, il a causé une perte de 2,25 millions de dollars en 1998, soit deux ans après son introduction. En 2002, la Chine a subi une perte de 1,3

million de tonnes de blé en raison de la rouille des rayures. Les pays d'Asie centrale ont subi une perte de rendement de 20 à 40% entre les années 1990 et le début des années 2000 (Chen, 2005). L'Australie a également connu une épidémie de dommages causés par la rouille striée qui a causé une perte de 40 millions de dollars australiens au cours de la seule campagne agricole 2003 (Chen, 2005).

II.1 3.3. Cycle de vie de la rouille rayée du blé

Jusqu'en 2010, on croyait que *P. striiformis* f. sp. *tritici* n'a que des stades urédien et téliel dikaryotes car il n'y avait pas d'hôtes alternatifs connus (Chen, 2005). Cependant, Jin et al. (Jin et al., 2010) ont identifié *Berberis* spp. en tant qu'hôte alternatif de la rouille rayée, ils ont démontré que *B. chinensis*, *B. holstii*, *B. koreana* et *B. vulgaris* étaient capables de produire des pycnies et des écies après avoir été inoculées avec des télies germinatives de *P. striiformis* f. sp. *tritici*, la plante de blé infectée par les éciospores de *B. chinensis* produisait de l'uredinia, ce qui confirmait que *Berberis*spp. peut servir d'hôte alternatif pour la rouille rayée.

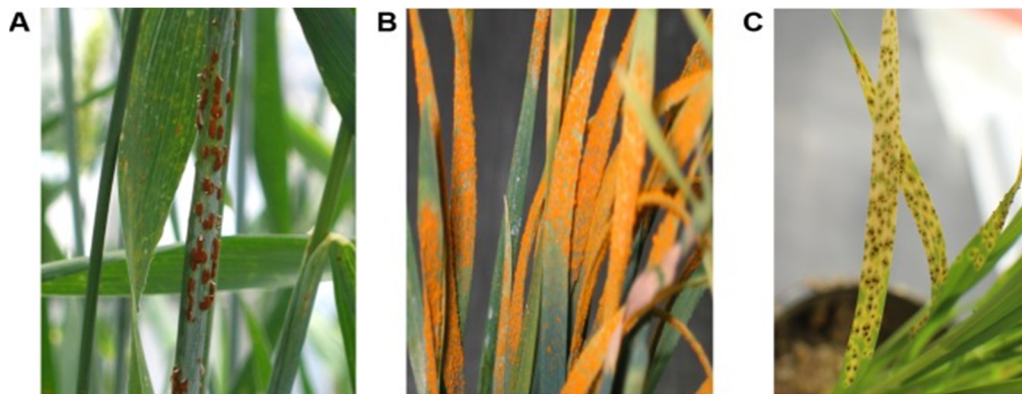


Figure 8 : Symptômes des maladies de la rouille du blé causées par *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (A), *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (B) et *Puccinia triticina* (C).

(Rohit Mago et al., 2011).

II .2- Les maladies des taches

Les champignons Ascomycete *Zymoseptoria tritici*, *Parastagonospora nodorum* et *Pyrenophora tritici-repentis* sont respectivement les agents responsables de la tache de *Septoria tritici* (STB), de la tache de *Septoria nodorum* (SNB) et de la tache bronzée (TS) (Figure9.)

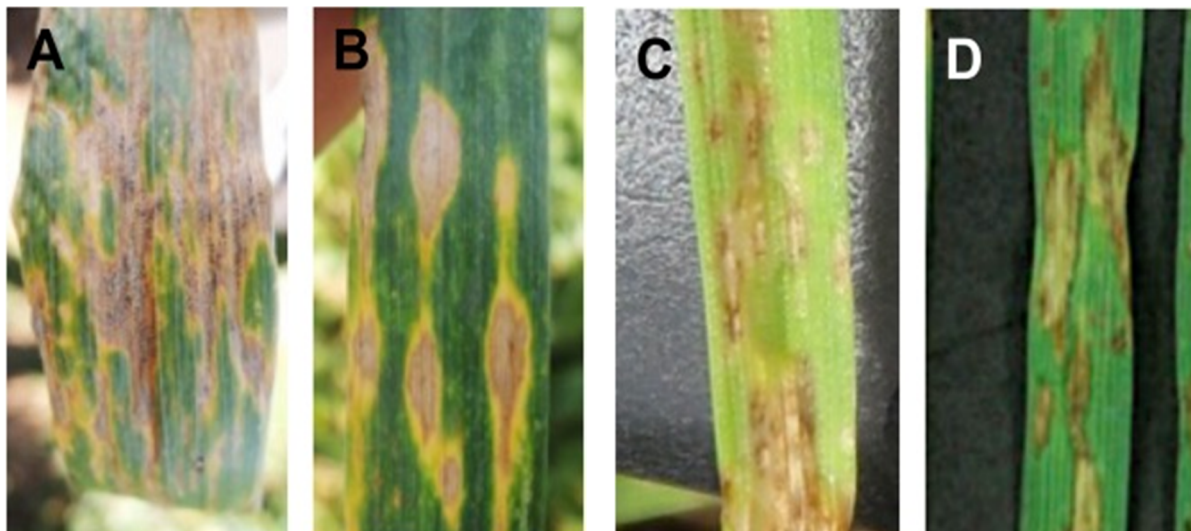


Figure 9.: Symptômes des maladies des taches foliaires. (A) Tache de *Septoria tritici*. (B) Tache bronzée. (C) Tache de *Septoria nodorum*. (D) Tache ponctuelle. (McDonald et al., 2019).

II .2.1- Tache de *Septoria tritici*

Zymoseptoria tritici (anciennement connue sous le nom de *Mycosphaerella graminicola* ou *Septoria tritici*) (Zt) est l'agent causal de la STB, la principale maladie foliaire du blé dans les régions de croissance tempérées. En Europe, le STB est actuellement considéré comme la principale menace pour la production de blé et on estime qu'il coûte aux producteurs de toute l'UE entre 280 et 1 200 millions d'euros par an, y compris les pertes directes et les coûts de contrôle (Fones & Gurr, 2015). Les pertes réelles associées au STB sont moins évidentes dans d'autres régions en croissance. En Australie, STB ne serait responsable que de 20 millions de dollars australiens de pertes par an (Murray et Brennan, 2009).

II 2.1.1-Le cycle d'infection des champignons hémibiotrophes *Zymoseptoria tritici*

Zymoseptoria tritici infecte la plante hôte presque exclusivement par les stomates foliaires, mais des données moins récentes suggèrent que *Z. tritici* est capable de pénétrer les feuilles de blé aux jonctions des cellules épidermiques (Cohen & Eyal 1993). *Z. tritici* diffère des autres champignons phytopathogènes en ce qu'il ne produit pas de structures actives spécialisées pendant l'infection et est confiné à l'espace apoplastique de la plante hôte (Yang et al., 2013). L'agent pathogène discuté est un hémibiotrope dont le cycle de vie se compose de deux phases distinctes: une phase biotrophique et une phase

nécrotrophique. Rien n'indique que des structures spécialisées absorbant les nutriments, telles que les haustorias, se forment au cours de la phase biotrophique (**Kettles & Kanyuka 2016**). **Rohel et coll. (2001)** ont constaté que *Z. tritici* absorbe des nutriments tels que les glucides solubles accumulés dans l'apoplaste. Une récente analyse de l'évolution du transcriptome et métabolome des cultivars de blé sensibles infectés par *Z. tritici* a révélé que les propres lipides et acides gras du pathogène sont la principale source d'énergie pendant la phase biotrophique. L'expression des gènes codant pour les protéines cutinase et lipase augmente dans la phase biotrophe, ce qui suggère que *Z. tritici* utilise également les ressources nutritionnelles de la plante hôte (**Palma-Guerrero et al., 2016**). La première phase de *Z. tritici* l'infection est souvent asymptomatique parce que le champignon est capable de supprimer ou d'éviter les mécanismes de défense de la plante. Ces processus jouent un rôle clé lors de l'infection. Les gènes *Z. tritici* codent pour trois protéines à motifs lysine (LysM): Mg1LysM, Mg3LysM et MgxLysM (**Kettles & Kanyuka 2016**). **Marshall et coll. (2011)** ont démontré que l'activité transcriptionnelle des deux premiers motifs augmente dans la phase asymptomatique de *Z. tritici*, et que les deux motifs sont capables de se lier à la chitine, éliciteur des réponses de défense chez les plantes. Le motif Mg3LysM joue un rôle clé dans les interactions entre le blé et le *Z. tritici* car c'est le seul LysM liant la chitine qui supprime la réponse immunitaire de l'hôte au premier stade de l'infection (**Marshall et coll., 2011**).

Dans les conditions de terrain, le stade biotrophique (asymptomatique) de *Z. tritici* dure de 6 à 36 jours. La durée de cette étape est déterminée par une combinaison de facteurs, y compris les espèces de blé, la souche pathogène et les conditions météorologiques. Dans des conditions de laboratoire, la phase biotrophe de ce pathogène dure généralement de 9 à 14 jours (**Steinberg 2015**). La phase biotrophique est suivie de la phase nécrotrophique (symptomatique). Des changements significatifs dans les transcriptomes de l'hôte (blé) et du pathogène ont lieu dans la phase nécrotrophique. Au cours de cette étape, la plupart des changements dans les cellules végétales sont apoptotiques plutôt que nécrotiques (**Kettles & Kanyuka 2016**). Les mécanismes d'action des protéines induisant une nécrose (NEP1, ZtNIP1) produits par *Z. tritici* restent encore mal compris, mais leur présence indique des interactions entre les facteurs nécrotiques et la réponse de défense du blé (**Kettles & Kanyuka 2016**) (Figure 9.).

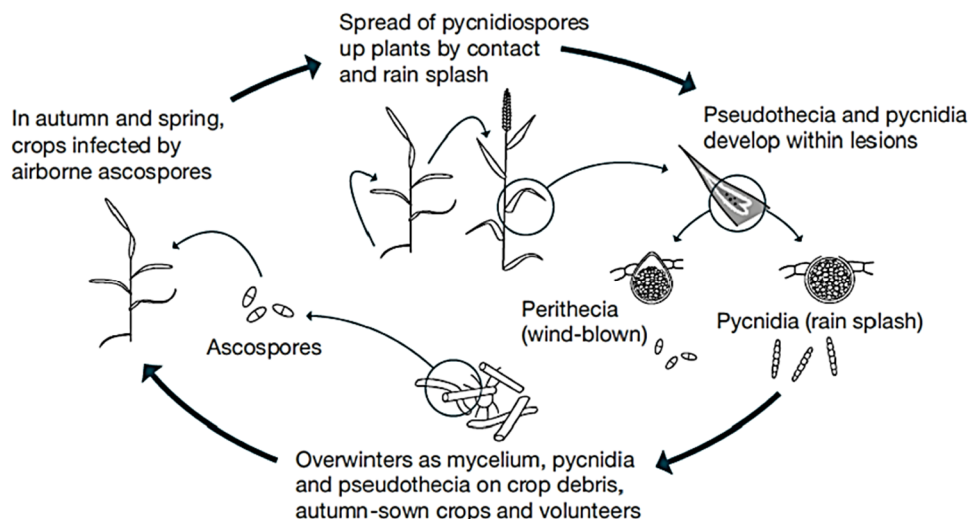


Figure 10 : Cycle de vie *Zymoseptoria tritici* (<https://ahdb.org.uk/septoriatritici>)

II .2.2-Tache de *Septoria nodorum*

Parastagonospora nodorum (Pn) est l'agent causal de la SNB. La maladie est répandue dans toute l'Australie et coûte à l'industrie environ 100 millions de dollars australiens par an (Murray et Brennan, 2009). En dehors de l'Australie, l'importance de SNB est moins concluante avec des preuves documentées de pertes directes difficiles à trouver. De manière anecdotique, des rapports ont fait état de la prévalence de la maladie dans certaines régions de la France et des pays scandinaves. Au Royaume-Uni, SNB a été entièrement remplacé par STB dans les années 1980 (Bearechell et al., 2005).

II .2.2.1-Cycle de vie de *Septoria nodorum*

L'espèce fongique *Parastagonospora nodorum* provoque la tache de *Septoria nodorum* dans toutes les régions de culture du blé. Les hyphes issus de spores en germination pénètrent dans les tissus du blé à la fois par la cuticule et, de manière opportuniste, par les stomates. Des études antérieures menées par Zinkernagel et al. (1998) ont mis en évidence une croissance sous-cutanée de *P. nodorum*. La première étape de la pénétration tissulaire du blé est associée à un gonflement et sur les branches latérales, qui ressemble partiellement à l'appressoria fongique de *Z. tritici*. Les pycnides sont produites après environ 7 jours, en fonction de l'humidité. Ces structures sont produites tout au long de la lésion (Solomon et al., 2006). Le site principal de l'infection des feuilles par *P. nodorum* jaunit et lorsque la chlorose des feuilles est terminée, le champignon se propage à travers les tissus et la sporulation asexuée commence. Une nouvelle propagation de l'infection entraîne une tache de la glume (Solomon et al., 2006). Les ascospores

sexuelles sont dispersées par le vent et les pycnidiospores asexuées sont dispersées par les éclaboussures de pluie.

Selon **Pöggeler et Wöstemeyer (2011)**, dans le processus d'infection de blé par *P. nodorum*, des effecteurs de pathogénicité et des enzymes dégradant la paroi cellulaire sont libérés dans l'espace extracellulaire pour induire la nécrose et la désorganisation des cellules voisines et pour produire des métabolites simples qui sont ensuite transportés vers les cellules fongiques par des transporteurs de protéines. L'un des plus importants gènes effecteurs est ToxA qui code pour une protéine induit une nécrose tissulaire.

II .2.3-Tache de bronzage

La tache bronzée (TS) est causée par le pathogène fongique ascomycète *Pyrenophora tritici-repentis* (Ptr) et entraîne une diminution du poids des grains et du nombre de grains par tête (**Shabeer et Bockus, 1988**). Le TS se trouve dans la plupart des régions du monde de la culture du blé, notamment en Europe, en Amérique du Nord et en Australie. En Asie, ce pathogène est un composant du complexe *Helminthosporium* de la brûlure des feuilles (**Duveiller et al., 2007**). L'augmentation du TS en tant que maladie importante dans les zones touchées a été attribuée à l'utilisation de pratiques de labour minimum ou nul (**Bockus & Claasen, 1992**). Cependant, l'impact mondial de la maladie est difficile à évaluer en raison du manque de données disponibles. Par exemple, il existe des preuves anecdotiques que le TS est répandu au Royaume-Uni, mais il n'y a pas de données publiquement disponibles à l'appui. Les enquêtes sur les maladies menées en Australie en 2009 ont conclu que le TS était la principale cause de perte de rendement, coûtant à l'industrie locale du blé plus de 200 millions de dollars australiens en pertes par an (**Murray et Brennan, 2009**).

II .3- Fusariose de l'épi

La maladie fusarienne de l'épi (FHB) entraîne une sénescence prématurée de l'épi du blé et est principalement causée par le champignon Ascomycete *Fusarium graminearum*. En combinaison avec d'autres espèces de *Fusarium* infectant les céréales, de nombreux complexes d'espèces uniques au niveau régional existent pour provoquer de graves épidémies de FHB. À l'échelle mondiale, la FHB est la maladie florale la plus grave et la plus dangereuse du blé. Aux États-Unis, en Chine, dans l'UE, au Royaume-Uni, en Afrique, au Brésil et ailleurs, de graves épidémies de FHB surviennent au moins tous les quatre ou cinq ans. Aux États-Unis, les pertes de rendement dues à la FHB ont été estimées à 3 milliards de dollars américains entre le début des années 1990 et 2008 (**Schumann &**

D'Arcy, 2009). Les cultures de blé sont particulièrement sujettes à la FHB si la pluie prévaut juste avant et pendant l'anthèse des cultures. Les principales conséquences de la maladie FHB sont triples: le rendement et la qualité des céréales sont réduits, ce qui compromet la récolte globale et la commercialisation ultérieure; de plus, l'accumulation de diverses mycotoxines dans le grain présente un risque majeur pour la sécurité alimentaire et la santé des humains, des animaux et des écosystèmes naturels.

II .3.1- Cycle de vie

Des champignons du genre *Fusarium*, y compris *F. graminearum* Schwabe (téléomorphe: *Gibberella zeae*), *F. culmorum* (WG Sm.) Sacc. (pas d' téléomorphe décrit), *F. avenaceum* (Fr.) Sacc. (téléomorphe: *G. avenaceae*) et *F. poae* (Peck) Wollenw. (pas de téléomorphe connu), causent la brûlure de l'épi par *Fusarium* (FHB) dans le blé. Les champignons *Fusarium* ont des cycles d'infection similaires (**Meng et al., 2009**). Six à 12 jours après l'inoculation en pleine floraison, les macroconidies germent sur toutes les plantes hôtes (Figure 10)

La germination des spores est influencée par la température, la distribution des spores et le potentiel hydrique des tissus végétaux. La relation entre la température et la décharge d'ascospores par *F. graminearum* a été étudiée par plusieurs auteurs. **Tschanz et coll. (1976)** ont rapporté que la température optimale pour la germination des spores varie de 11 à 26 °C avec un pic à 16,6 °C, et selon **Schmale et Bergstrom (2004)**, la température optimale est de 10 à 30 °C avec un pic à 25 °C. Les données les plus récentes collectées par **Manstretta et Rossi (2016)** indiquent que la décharge d'ascospores est élevée entre 15 et 25 °C et atteint un pic à 21 °C. Ces différences peuvent être attribuées à l'influence de facteurs externes. **David et coll. (2016)** ont démontré que le plus grand nombre d'ascospores de *F. graminearum* est libéré dans des conditions plus humides; cependant, ils parcourent la plus grande distance dans des conditions plus chaudes et plus humides. Les résultats devraient contribuer aux décisions de gestion des champs prises par les agriculteurs.



Figure n° 11 :symptômes de fusarium sur blé tendre

(photo personnel compagnie agricole 2019/2020)

Les espèces pathogènes de *Fusarium* peuvent infecter les plantes en colonisant: les surfaces adaxiales des glumes; les lemmes; la paléa; et blessures dans la balle (**Saccon et al., 2016**). Les tissus de l'hôte ne sont pas directement pénétrés par les hyphes qui ont besoin de 24 à 36 h pour se développer et coloniser la surface des plantes. Les agents pathogènes se propagent verticalement de haut en bas et atteignent les rachis et les nœuds. Les hyphes pénètrent dans les faisceaux vasculaires. Les agents pathogènes produisent des enzymes cellulase, xylanase et pectinase qui dégradent les parois cellulaires végétales et induisent d'autres changements dans les cellules infectées, y compris la déformation et la dégradation du cytoplasme et des organites cellulaires (**Xu and Nicholson 2009**). Ces enzymes sont produites principalement au premier stade de l'infection (**Kang and Buchenauer 2000**). La virulence de *F. graminearum* est déterminée par l'expression de cinq gènes principaux: *Tri5* qui code pour la biosynthèse du désoxynivalénol, *Mgv1* et *Gpmk1* qui codent pour les protéines kinases, *Cps1* qui code pour la production de l'enzyme *Cps1* et *Fgli1* qui code pour la production de facteurs de virulence lipase. Les mutants sans les gènes de pathogénicité ci-dessus étaient significativement moins efficaces pour coloniser le blé (**Stephens et al., 2008**). Dans les premiers stades de la FHB, les épis de blé prennent une teinte brun clair, la pression de turgescence à l'intérieur des épis diminue et les épis deviennent blancs.

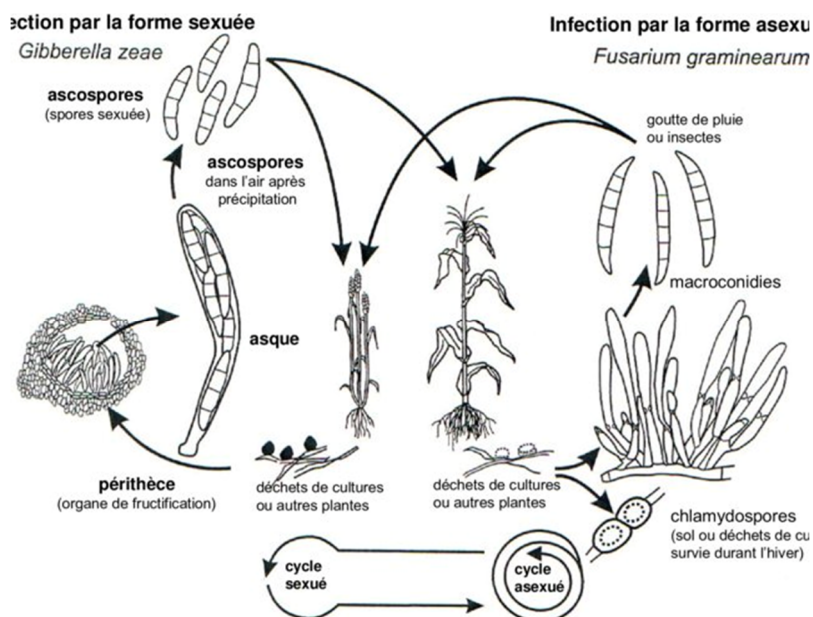


Figure n° 12 : Cycle de vie de *F. graminearum*. (Antoine Bily, 2003)

II .4- Tache et brûlure des feuilles par *Helminthosporium*

Bipolaris sorokiniana (Sacc.) Cordonnier (syn. *Helminthosporium sativum* Pammel, King & Bakke), provoque des maladies sur certain nombre de céréales, y compris le blé (Li et al., 2020). Le téléomorphe de ce champignon est *Cochliobolus sativus* (Ito & Kuribayashi), qui est l'état sexuel (parfait). *C. sativus* n'a pas été signalé dans la nature, sauf en Zambie (Raemaekers, 1991). Cependant, la reproduction sexuée de *C. sativus* a été rarement signalée (Sultana et al., 2018). D'autre part, la plupart de la reproduction de *B. sorokiniana* se produit par la production de conidies asexuées (Gupta et al., 2018a).

B. sorokiniana attaque différentes céréales, y compris le blé, et provoque la pourriture commune des racines, la tache ponctuelles et les maladies du point noir (Figure . 12) La pourriture des racines est l'une des maladies les plus répandues du blé et elle se produit dans toutes les régions où le blé est cultivé. Les pertes de blé dues à la pourriture commune des racines et à la brûlure des semis varient. Le Canada a perdu env. 5,7% du blé entre 1969 et 1971 en raison de la pourriture commune des racines, ce qui équivaut à 42 millions de dollars (Ledingham et al., 1973). Smiley et coll. (2005) ont estimé une perte de 35% du rendement du blé due à la pourriture du collet dans le nord-ouest du Pacifique. La tache ponctuelles se trouve partout où le blé est cultivé, et elle peut entraîner des pertes importantes (15-25%) dans les zones chaudes (Gupta et al., 2018a). Infection des semences par *B. Sorokiniana* peut entraîner la maladie du point noir, qui peut entraîner la pourriture des racines et la brûlure des semis (Li et al., 2019b).

La lutte contre *B. sorokiniana* dans les semences de blé pourrait être obtenue grâce à l'utilisation de cultivars résistants, de fongicides, ou d'agents de lutte biologique. Les cultivars peuvent réagir différemment à l'infection des semences en raison de plusieurs facteurs tels que la non-compatibilité à l'infection, l'invasion pathogène limitée des parties de la semence en raison d'inhibiteurs ou la perméabilité réduite des testa (Singh et al., 2019).



Figure n° 13: tache d'elmenthosperum (https://wiki.bugwood.org/Bipolaris_sorokiniana)

II .5- L'oïdium de blé *Blumeria graminis*

Maladie de l'oïdium causée par le champignon biotrophique obligatoire *Blumeria graminis* DC. EO Speer f. sp. tritici Em. Le marchal (syn. *Erysiphe graminis* DC) est une contrainte importante pour la production de blé en tant que l'une des cultures vivrières les plus importantes au monde (Shi et al., 1998). L'oïdium est une maladie endémique répandue dans de nombreuses régions du monde et reconnue comme un problème de maladie dévastateur (Bennett, 1984). Le champignon réduit l'apport de photosynthèse sur les feuilles, diminue l'indice d'assimilation des feuilles et affecte négativement les composantes du rendement du grain (Samobor et al., 2005). L'infection pendant le tallage, l'allongement de la tige et les phases d'amorçage a une grande influence sur le rendement, en particulier lorsqu'elle survient tôt (Bowen et al., 1991), ce qui entraîne une réduction du poids des grains et finalement un rendement inférieur. Les pertes de rendement en grains associées à l'infection par l'oïdium du blé pourraient atteindre 40% et sont plus graves lorsque l'infection survient avant ou au moment de la floraison et que la feuille étendard est infectée (Alam et al., 2013). En Égypte, des pertes de rendement causées par l'oïdium sur le blé, jusqu'à 22,52%, ont été enregistrées sur des cultivars sensibles à des niveaux de gravité élevés de la maladie (Ashmawy et al., 2014).

Les conditions d'infection comprennent la phénologie et la sensibilité de l'hôte et les facteurs environnementaux conducteurs de la maladie (**Jarvis et al., 2002**). Les infections peuvent survenir entre 5 °C et 30 °C, mais un temps humide avec des températures comprises entre 15 °C et 20 °C est le plus propice à une propagation rapide des champignons, qui peut compléter un cycle répétitif en 7 à 10 jours entraînant le développement de nouvelles races d'oïdium virulentes (**Esmail et Draz, 2017**).

Pour mettre en œuvre avec succès la lutte contre la maladie, il est nécessaire d'interrompre le cycle de la maladie afin que le temps nécessaire pour terminer un cycle soit prolongé. Le traitement des semences peut ne pas être efficace pour la lutte toutes saisons, tandis que les fongicides foliaires ne pourraient pas être économiquement réalisables (**Lipps et Madden, 1989**). Ainsi, la méthode de contrôle la plus efficace contre ce pathogène a été axée sur l'utilisation de gènes de résistance spécifiques à la race, mais généralement de courte durée (**Miedaner et al., 1993**).

II .5.1- Biologie et écologie

B. graminis comble le fossé entre les cultures hôtes principalement sous forme de tapis mycélien sur les feuilles des graminées et les céréales semées en automne. Les ascmates (chasmothécies) produits à la fin du printemps ou en été dans ce tapis mycélien sont assez résistants aux températures extrêmes et au dessèchement, et sont donc une source importante d'inoculum pour la saison suivante. Par temps humide, les cleistothécies libèrent des ascospores qui peuvent déclencher des infections sur les cultures semées en automne à l'automne et peut-être aussi au printemps. À mesure que les températures augmentent au printemps, le mycélium dormant commence à se développer et les conidies sont produites rapidement. Les conidies germent généralement sur une plage de températures d'environ 3 à 31 °C, bien que 15 °C soit probablement optimal pour la germination, avec une humidité relative d'environ 95%. La germination des conidies est inhibée par l'eau libre. Dans des conditions favorables, des conidies fraîches peuvent être trouvées dans environ 7 jours et sont dispersées dans la culture et plus loin dans le vent (Figure. II.7). Il est donc essentiel que les épidémies d'oïdium aient tendance à se produire dans des conditions d'alternance de temps humide et sec, avec un peu de vent pour assurer la dispersion des conidies. (**Manners, 1993**).

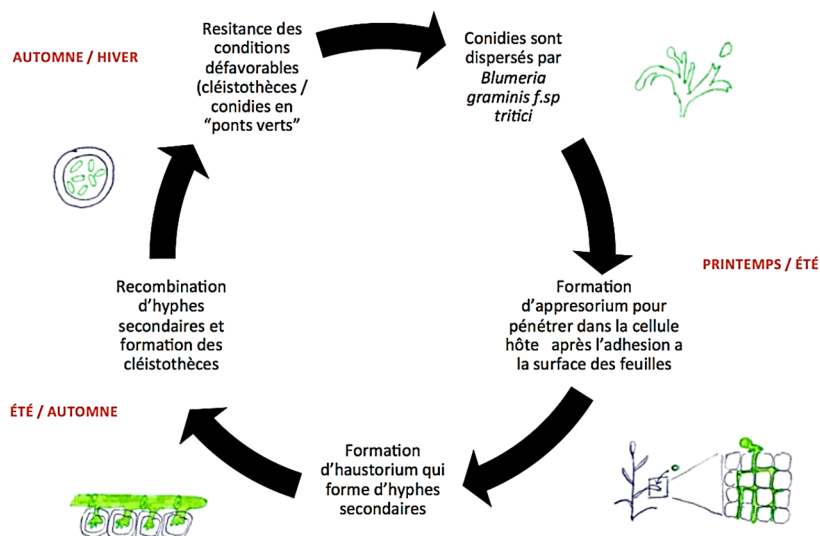


Figure n° 14 :Reproduction de l'oïdium du blé (Liu et al., 2012)

II .5.2- Symptômes de l'oïdium du blé

Triticum sp. (blé) est le seul hôte de *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* . Les signes sur le feuillage du blé sont le mycélium blanc et poudreux et les conidies. Au fur et à mesure que la maladie progresse, les plaques deviennent grises et de petites cleistothécies noires ou brunes se forment dans la masse mycélienne. Les symptômes progressent des feuilles inférieures aux feuilles supérieures. Les symptômes de l'oïdium sont des zones chlorotiques entourant les zones infectées. La surface foliaire inférieure correspondant au tapis mycélien présentera également une chlorose. Les feuilles inférieures sont généralement les plus infectées en raison de l'humidité plus élevée qui les entoure.



Figure n° 15: Symptômes de l'oïdium du blé

(https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies_du_ble/oidium_du_ble.html)



Partie expérimentale

 *Chapitre – 1–*

Matériels et Méthode

Le travail s'est déroulé sous forme d'observation au champ de céréales (Blé dur). Nous avons suivi un stage au niveau de 4 sites, ceci nous a permis d'identifier sur le champs les différentes maladies cryptogamiques de blé dur a des stades différentes de son développement durant la saison agricole 2020/2021.

1.Description du site

1.1.Coordonnées géographiques de la station

Site 1 : Le site de la ferme pilote Cherif Eddine se trouve à Sougueur à une distance de 16 Km de la wilaya de Tiaret. La superficie agricole de parcelle expérimentale est 1073 hectares ,dont 60 hectares destiné pour la culture de blé dur . le sol est caractérisé par une texture calcaire et limono-calcaire (figure16)



Figure n° 16:Localisation géographique de la ferme sougeur

Site 2 : La zone d'étude se situe à une distance de 35km au Nord-est du chef du lieu de la Wilaya de Tiaret dans la commune de Sebaine. Elle est limitée au sud par Nahr-Ouassel, à l'est par la piste reliant la Makabra sidi « Rais» à Nahr-Ouassel, à l'ouest par la route communale reliant Taslent à Sebaine, et au nord par la route nationale n°14 reliant Tiaret-Tissemsilt elle est caractérisé par le sol argilo limoneuse. (Figure n° 17).

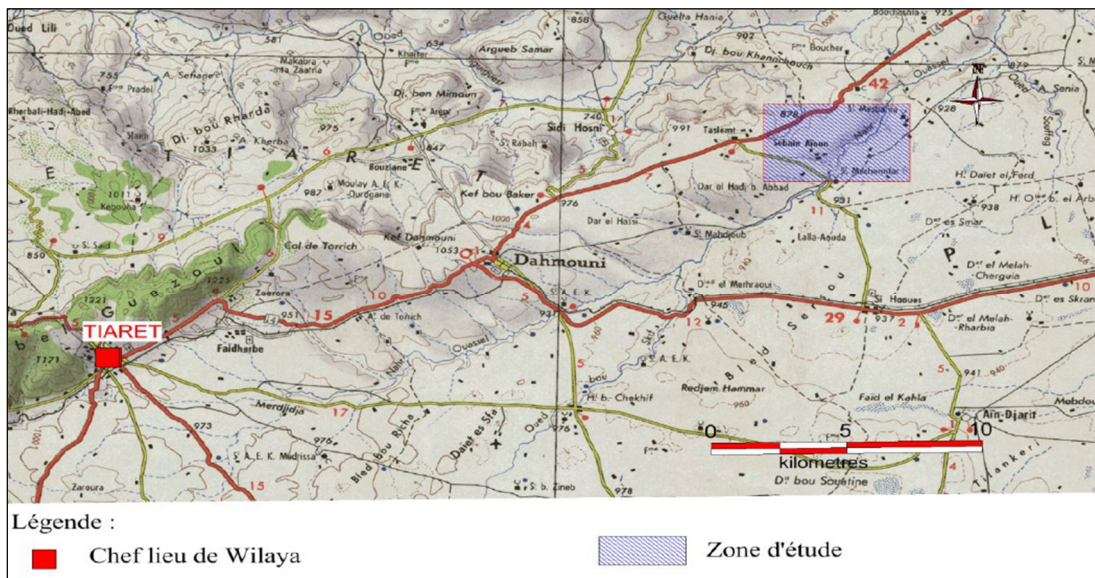


Figure n°17 : Localisation géographique de la ferme Source Sebaine (Trari, 2015)

Site 3 : La ferme privée est située à **Ain dheb** commun de Tiaret 36 km .elle occupe par une parcelle irrigué avec un état végétatif bon et superficie de 900 hectares d'un type de sol Argilo –limoneuse.



Figure n° 18 : Localisation géographique de la ferme Ain dheb

Site 4 : La ferme pilote Boukhateche Bouziane est située à proximité de Rahouia commune de Tiaret à 45 km au nord , caractérisé d'une surface agricole utile Argilo – limoneuse .argileux .



Figure n° 19 : Localisation géographique de la ferme de Boukhateche Bouziane Rahouia

2.-Les paramètres pédoclimatiques

2.1.Sol

Site1 : sougeur : texture fine argilo- limoneuse , qui assurera aux racines fasciculées du blé une grande surface de contact donc une bonne nutrition .

Site 2 : sebaïne :Une structure stable résistante à la dégradation par les pluies d’hiver d’un type argilo limoneuse .

Site 3 :Ain dheb :Argilo –limoneuse

Site 4 : Rahoui Argilo –limoneuse .argileux

2..2. Climat

La saison agricole 2020-2021 est caractérisée par une pluviométrie très importante par rapport aux années précédentes(tableau1.1). C’est pour cette raison qu’on a choisi dans un premier temps d’analyser ces paramètres. Ces derniers sont considérés comme des facteurs déterminants pour le développement des maladies. Il s’agit donc des précipitations, de la température et de l’humidité. Le but est d’identifier les principaux maladies cryptogamiques de blé dur dans ces régions arides..

Tableau n°4 : la pluviométrie de Sabaine et Rahouia

Campagne agricole	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	JT	Aout	Total
2019-2020	41,8	5	73	55	10	40,5	66,8	9,5	15,6	13	2,4	5	337,6

Pluviométrie de la commune Sebeine.

Campagne agricole	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	JT	Aout	Total
2019-2020	46,2	8,2	61,2	45,2	29,4	2	70,4	76	4,1	0,4	7,1	0,6	350,8

Tableau n° 5:Données climatiques de la campagne 2020/2021.

	Cumul Mm	Nbr/jrs pluie	Nbr/jrs rosée	Mini	Maxi	Moy	Gelées	Neige	Grêle	Brd	vent	siroco
	25,8	2	1	14,8	28,7	21,75	0	0	0	0	3	0
Oct	9,7	4	5	7,47	23,41	15,44	0	0	0	0	8	0
Nov	34,4	10	1	3,7	20,03	11,87	2	0	1	2	8	0
Dec	142,8	14	12	0,12	12,63	6,38	8	3	0	8	11	0
Jan	68,9	11	3	-0,16	12,94	6,39	10	3	0	2	10	0
Fev	14,1	5	1	1,68	18,32	10,00	8	0	0	0	8	0
Mars	32,7	9	2	1,71	17,53	9,62	7	0	0	2	4	0
Avr	13,8	6	0	4,2	23,03	13,62	0	0	0	1	6	0
Mai	10,6	7	0	10,65	27,67	19,16	0	0	0	0	7	0
Juin												
Juil												
Aout												
Total	352,8	68	25	4,91	20,47	12,69	35	6	1	15	65	0

Matériel végétal

L'essai à été mené au cours de la campagne agricole 2020/2021 sur la parcelle du DSA concerne les variétés(ofanto,simeto,bousselam,vitron) de blé dur au niveau de la daïra: Sougeur, Ain Dheb , Sebaine, Rahouia .



Figure n° 20:champs de blé dur cas de Sougeur (campagne agricole2020/2021)



Figure n° 21 : Champs de blé dur cas de Sebaine (campagne agricole2020/2021)



Figure n°22 :Champs de blé dur cas de la ferme Ain dheb (campagne agricole2020/2021)



Figure n° 23 :Champs de blé dur cas de la ferme pilote de Rahouia (campagne agricole2020/2021)

Les caractéristiques des variétés sur les quelles on été identifie certaines maladies sont présentés dans le tableau ci-dessous : (Tableau 6) Les caractéristiques des variétés

Variété	Cycle végétatif	Aptitude au tallage	Comportement Physiologique			Comportement vis-à-vis des maladies				
			froid	Versée	Sécheresse	Rouilles	Septoriose	Fusariose	Oïdium	Tâche aureolée
Vitron	Semi précoce	Moyen	+++	+++	--	+	--	++	++	+++
Simeto	semi précoce	Fort	++	+++	--			++		
Ofanto	Semi précoce	Fort	++	+++	--					
Bousselem	tardif	Moyen à fort	+++	++	++		--			

+++ Résistante ; ++ Tolérante ; + Moyennement résistante ; - Sensible ; -- Moyennement sensible.

4. Itinéraire technique (Selon la DSA de Tiaret)

4.1. Préparation du sol :

L'essai a été installé sur des différentes parcelles .le travail du sol a été réalisé par deux labours :

- Labour de printemps
- Labour d'automne
- La préparation du sol a comporté un labour profond à la charrue à soc réalisé au mois de septembre 2020 suivi de 2 Recroisage au mois de novembre et un hersage.

4.2.Semis :

Le semis a été effectué à partir de mi-octobre jusqu'à mi- janvier selon la pluviométrie et la zone par un semoir expérimental à une profondeur de 4 cm. La dose de semis est de 1.5g/ha à sougeur , sebaine 1.6g/ha ,Ain dheb 1.5g/ha et Rahouia de 1.6 à 1.8g/ha selon la variété ,la date et le régime (sec, irrigué). Un roulage a été effectué juste après semis pour assurer une bonne adhérence graines-sol.

Le semis est effectué à l'aide d'un semoir expérimental

Semis en ligne

Semis à la volé

4.3.Fertilisation :

- Engrais de fond : (la date le mois de Novembre)TSP /Weatfert MAP/mest réalisé au stade début tallage pour le blé dur.
- Engrais de couverture : urée (date le mois de mars)

4.4.Dés herbage :

Type de dés herbage :Des herbage chimique (anti-monocotylédone ;anti-dicotylédone)

Dés herbage mécanique

Tableau n°7 : Les caractéristiques des sites (DSA,2020)

<p>Parcelle d'Ain Deheb</p> <p>Espèce : blé dur</p> <p>La parcelle est en irrigué</p> <p>Etat végétatif : bon</p> <p>Densité : d'épis 175 m²</p> <p>Mauvaises herbes : Inexistantes</p> <p>Stresse hydrique :NON</p> <p>Rendement attendu : 08 ha / Quintaux</p> <p>Type exploitation : Privé</p> <p>Variété semée : Vitron, Semetto , Ofanto et Bousselem</p> <p>Origine de la semences :CCLS</p> <p>Parcelle propre homogène</p> <p>Compacité de l'épi : compact</p> <p>Alternativité : Hiver</p>	<p>Parcelle de Sougueur</p> <p>Espèce : blé dur</p> <p>La parcelle non irrigué</p> <p>Etat végétatif : Moyen</p> <p>Densité : d'épis 158.5 m²</p> <p>Mauvaises herbes : Moyenne</p> <p>Stress hydrique: Oui</p> <p>Rendement attendu : 06 ha / Quintaux</p> <p>Type exploitation : étatique</p> <p>Variété semée : Semetto , Ofanto,Bousselem</p> <p>Origine de la semences :CCLS</p> <p>Parcelle hétérogène</p> <p>Compacité de l'épi : compact</p> <p>Alternativité : Hiver</p>
<p>Parcelle de Sebaine</p> <p>Espèce : blé dur</p> <p>La parcelle est en irrigué</p> <p>Etat végétatif : bon</p> <p>Densité : nombre d'épis 185 m²</p> <p>Mauvaises herbes : Moyenne</p> <p>Stresse hydrique : Non</p> <p>Rendement attendu : 07 ha / Quintaux</p> <p>Type exploitation : étatique</p> <p>Variété semée : Vitron, Semetto , Ofanto, Bousselem</p> <p>Origine de la semences :CCLS</p> <p>Parcelle propre homogène</p> <p>Compacité de l'épi : compact</p> <p>Alternativité : Hiver</p>	<p>Parcelle de Rahouia</p> <p>Espèce : blé dur</p> <p>La parcelle non irrigué</p> <p>Etat végétatif : Moyen</p> <p>Densité : Nombre d'épis 295 m²</p> <p>Mauvaises herbes : Moyenne</p> <p>Stress hydrique :Oui</p> <p>Rendement attendu : 06 Quintaux / ha</p> <p>Type exploitation : étatique</p> <p>Variété semée : Vitron, Bousselem</p> <p>Origine de la semences :CCLS x</p> <p>Parcelle hétérogène</p> <p>Compacité de l'épi : compact</p> <p>Alternativité : Hiver</p>

5- Observation et identification réalisées

Suite à des observation approfondies , les échantillons ont été prélevés pour l'examen mycologique .L'identification de l'ensemble des maladies étudiées est effectuée par l'observation macroscopique .certains champignons comme L'oïdium et les Rouilles s'identifient facilement, du fait qu'ils forment des pustules caractéristiques.

Résultats et discussion

Résultat

1-Analyse agro-météorologique

Les maladies fongiques des céréales à grains, y compris principalement le blé, le maïs, le riz et l'orge, entraînent une réduction substantielle dans le monde entier du rendement et de la qualité des grains, ce qui affecte négativement la récolte, le stockage et la commercialisation ultérieure des produits. Une autre menace est représentée par les mycotoxines, produites par certains agents pathogènes répandus (par exemple, *Fusarium* spp.). La plupart des espèces produisent des inoculum, poussent mieux et sont les plus pathogènes pour les épis de céréales à des températures chaudes et dans des conditions humides. Cependant, les conditions optimales pour la fusariose ont tendance à être chaudes et sèches. La brûlure des semis et la pourriture du pied causées par d'autres espèces sont favorisées par un temps chaud et sec.

2. Condition climatique

La période entre le mois de septembre et le mois de mai était moyennement pluvieuse les moyennes des températures sont relativement bien pour la saison de printemps comme le montre la courbe ombrothermique de la période. (Figure24)

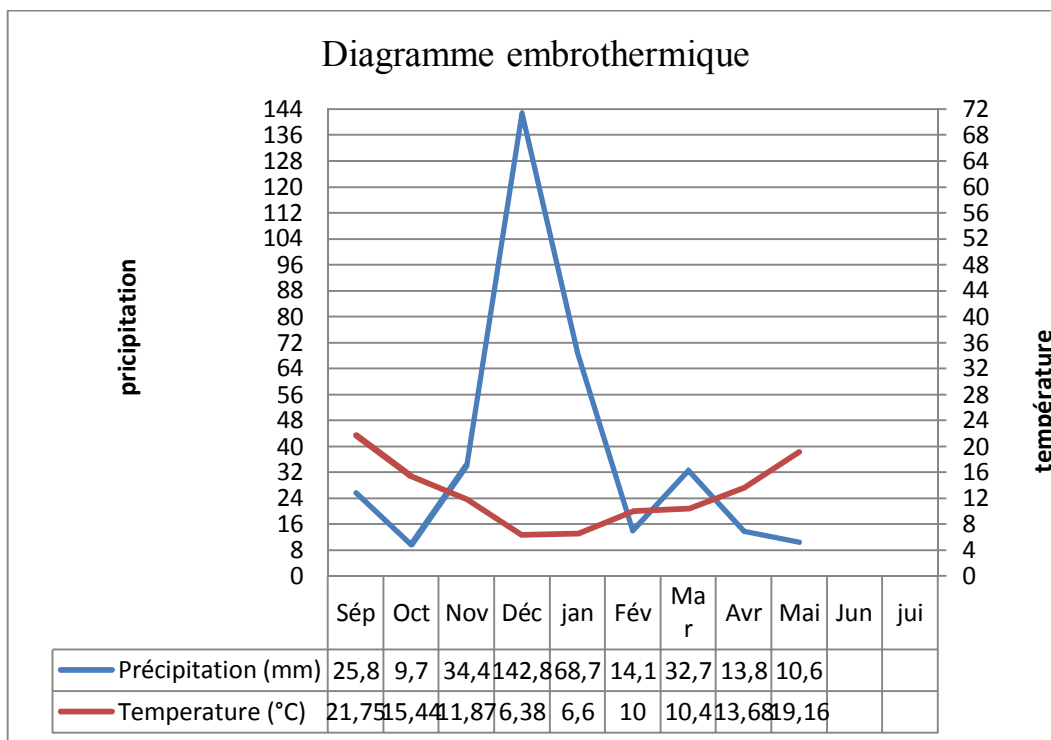


Figure n° 24 : Diagramme ombrothermique de la campagne agricole 2020-2021.

La campagne 2020/2021 s'est caractérisé au début par un climat sec et chaud avec un faible cumul pluviométrique de 35.5mm issue des pluies orageuses durant les deux mois de septembre et octobre 2020, accompagné par des température saisonnières ; ces conditions –là n'ont pas révèlé au sol l'humidité nécessaires pour le bon déroulement des travaux du sol.

Le changement climatique parvenu en dernière décade du mois de novembre et tout le mois de décembre 2020 s'est traduit par des précipitation importante avec un cumul de 175.2mm accompagné d'une baisse sensible des températures (10 jours de gelés , 03 jours neiges et un jour de grêle) induisant un retard de ressuyage du sol entravant ainsi les mises en places des cultures au moment opportuns .

Les éclaircis oscillant le temps pluvieux à partir de mi- décembre ont permis la mise en place d'une grande partie des programme non réalisé.

Les fortes précipitations reçus durant cette période ont révèlé au sol une importante humidité favorisant ainsi la levée des cultures mises en place néanmoins un ralentissement dans le développement végétatif.

Quelque parcelles visité était indemnes de champignons car l'agriculteur pratique des rotation (pomme de terre).

3. Évaluation visuelle de la gravité de la maladie

Le développement temporel du plant de blé est indiqué par les dates auxquelles chaque stade de croissance a été atteint. Il y avait une gamme de maladies entre les sites et les variétés au cours de développement (Tableau.8)

Le changement des températures durant cette période a créé des conditions favorables pour l'apparition, la propagation et le développement des maladies cryptogamiques. Les maladies cryptogamiques ont été diagnostiquées et identifiées sur la base de leurs symptômes typiques. Les principales maladies observées sont : helminthosporiose, septoriose, fusariose et rouilles jaunes.

Tableau n° 8: l'état phytosanitaire des parcelles au moment des observations

Sites	Date d'observation	Symptômes	Variété de blé dur
Sougeur	04 /04/2021	-Septoriose	Vitron-Bousselem
		-Fusariose	Ofanto-Simeto-Vitron-Bousselem
Ain dheb	04 /04/2021	-Septoriose	Vitron-Bousselem
Sebaine	15/05/2021	Helminthosporiose	Ofanto-Simeto-Vitron-Bousselem
		-Septoriose	Vitron-Bousselem
Rahouia	20/05/2021	Helminthosporiose	Ofanto-Simeto-Vitron-Bousselem
		-Septoriose	Vitron-Bousselem
		Rouille jaune	Ofanto-Simeto

3.1- Symptômes de la tache septorienne

La majorité des systèmes de prédiction des maladies proposés pour la gestion des *Z. tritici* supposent que le principal risque d'infection des feuilles supérieures (le plus critique pour le remplissage des grains) provient de l'inoculum qui s'est développé sur les feuilles pendant l'hiver et le printemps avant l'extension de la tige.

Des symptômes de la maladie plus élevée ont été observés sur les deux variétés de blé dur (Vitron et Bousselem) de la première semaine d'avril à mi-mai. La période de départ a été déterminée par les premières apparitions de la tache septorienne sur les quatre sites. Sur la base des résultats d'ombrothermique de la campagne agricole 2020/2021, les conditions climatiques ont été caractérisées par une précipitation importante (mars 32mm, avril 16mm et mai 8mm) mais avec des températures favorables au développement de ce parasite (17°C, 24°C et 32°C respectivement pour les mois mars avril et mai).

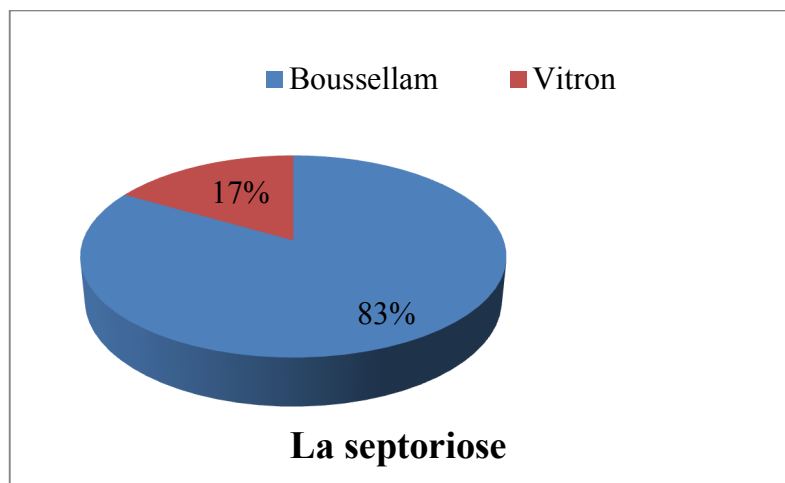


Figure n° 25: La sévérité de la tache septorienne



Figure n°26: Tache septorienne (personnel 2021)

3.2- Incidence de *Fusarium sp*

Au cours de la phase végétative, parmi toutes les phytoparasites identifiées, la *Fusarium* était l'espèce dominante. De plus, la gravité de la maladie était pour les quatre variétés ; Ofanto, -Simeto, Vitron et Bousselem.

La température, le stade de croissance et leur interaction ont montré des effets directs sur le développement de l'agent pathogène. Un symptôme a été observé à 24 et 32°C, pour le site de Sougueur. La fusariose était présente avec une prédominance bien marquée sur la variété Ofanto (50%). Les pluies abondantes qui ont caractérisé le mois de Mars et avril, combinées avec une élévation progressive des températures durant le mois d'avril (supérieur à 25°C) ont été favorables au déclenchement cette maladie durant ce mois.

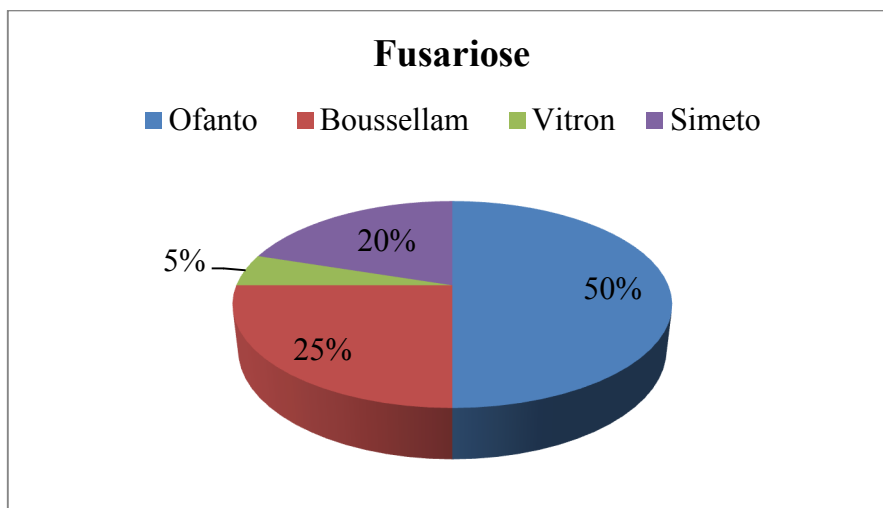


Figure n° 27: La sévérité de la Fusariose

3.3- Rouille

La rouille est l'une des maladies majeures et est d'une importance économique dans le monde entier. L'humidité et la température seraient les paramètres météorologiques les plus importants influençant le développement des épidémies de rouille. Néanmoins, la résistance génétique des cultivars de blé est un facteur extrêmement important pour déterminer l'impact de la maladie.

Selon notre résultat, la rouille jaune n'a pas été observée sur toutes les variétés. Les variétés touchées par cette maladie sont Ofanto et Simeto. Sur les quatre variétés du blé, les symptômes des rouilles noires et brune n'ont pas été identifiés. Au niveau des champs de blé dur, la situation a été caractérisée par la prédominance de la rouille jaune.



Figure n° 28 : Symptômes de la rouille jaune (personnel 2021)

3.4- Helminthosporiose

L'helminthosporiose était présent dans les régions de Sebaine et Rahouia avec une prédominance bien marquée sur les quatre variétés prospectées. Nous avons noté également que l'helminthosporiose est la maladie la plus prédominante durant cette campagne sur le blé dur. Elle est apparue au stade du tallage sur certaines variétés. Les variétés les plus touchées sont Ofanto (60%), Boussellam (25%). Les variétés modérément et faiblement touchées sont Vitron (10%) et Simeto (5%).

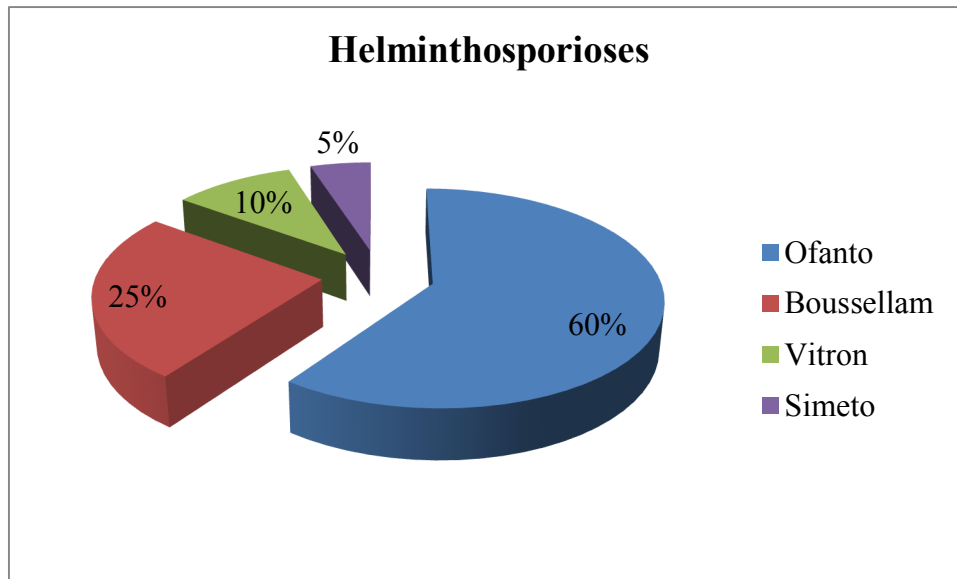


Figure n°29: La sévérité de l'helminthosporiose



Figure n° 30 : Symptômes l'helminthosporiose (personnel 2021)

Discussion

Les conditions climatiques des régions arides affecteront la production de blé à la fois dans les principaux processus de croissance et de développement des plantes et dans l'occurrence et la gravité des maladies des plantes.

Des études couvrant un large éventail de régions et de cultures dans le monde montrent que les impacts négatifs des conditions climatiques sur les rendements des cultures ont été plus fréquents que les impacts positifs (Moore et Lobell, 2015). En Europe, les précipitations devraient augmenter en hiver mais diminuer en été, ce qui entraînera des fréquences de sécheresse plus élevées. Ces conditions affecteront le développement de maladies des plantes selon la région et la culture considérée (Mikkelsen et al., 2015).

Au cours des observations sur le terrain menées au cours des saisons de culture 2020-2021, les résultats obtenus montrent la présence des maladies fongiques avec une sévérité hétérogène. L'identification a permis de recenser 4 maladies fongiques, à savoir (la rouille jaune, la septoriose, la fusariose et l' helminthosporiose).

Les proportions de jours favorables à l'infection du pathogène au printemps pourraient être potentiellement néfastes pour le développement de blé.

Dans ces régions, les conditions météorologiques pour l'infection et le développement des parasites phytopathogènes étaient généralement réunies (Température et précipitations).

Les épidémies de maladies végétales d'origine fongique résultent de l'interaction entre les agents pathogènes, la présence d'hôtes sensibles et des conditions météorologiques favorables.

De nombreuses études (Lovell et al., 2004) ont mis en évidence les effets de température et HR sur l' infection et la progression de la septoriose (causée par *Zygomycota tritici* (Desm.) dans le blé. L'humidité peut affecter le taux de développement épidémique des maladies des plantes car les micro-organismes ne se développent généralement (germination des spores et infection) que lorsqu'il y a suffisamment d'humidité ($HR \geq 60\%$) (Suffert et al., 2011). Les précipitations sont une exigence clé pour le développement de la septoriose car elles permettent le gonflement des pycnides et facilitent la dispersion des spores par éclaboussures vers les feuilles supérieures du plant de blé (Gladders et al., 2001).

Un symptôme de la fusariose était présent avec une prédominance bien marquée sur la variété Ofanto et a été observé à 24 et 32°C, pour le site de Sougueur. Bien que le climat plus chaud et plus sec soit prévu pour favoriser la production de spores et s'échapper vers l'atmosphère libre, entraînant la libération de plus de spores d'un champ infecté de la même manière, les mêmes facteurs inhibent considérablement la germination des spores. La disponibilité d'eau liquide sur les feuilles devient le facteur limitant pour le champignon infectant les cultures dans de grandes parties du monde, à l'exception notable des régions montagneuses. Dans la présente étude, l'utilisation d'engrais minéraux était significativement liée à une propagation des Fusarioses. Les résultats sont conformes à ceux d'une série d'études antérieures sur l'effet des engrais azotés sur *Fusarium*, en particulier sur *F. graminearum* (Heier et al. 2005). Les précipitations pendant la floraison des céréales augmentent l'infestation par *Fusarium* dans le grain mûr (Köpke et al. 2007). L'infestation par *F. graminearum* est généralement favorisée par temps chaud (Miller 1994). En conséquence, Medina et Magan (2010) ont trouvé une température optimale pour la croissance de *Fusarium* à 25°C.

Selon notre résultat, la rouille jaune n'a pas été observée sur toutes les variétés. Les variétés touchées par cette maladie sont Ofanto et Simeto. Le champignon peut muter en de nouvelles souches qui peuvent potentiellement attaquer même des variétés auparavant résistantes (Bergmark, 2018). Les maladies de la rouille peuvent se développer rapidement dans des conditions météorologiques optimales. L'humidité relative, la température de l'air et les précipitations sont des facteurs critiques propices à l'infection et à la progression du blé d'hiver LR (Junk et al., 2016). Les étés chauds et les conditions météorologiques sèches sont les moins propices à *Puccinia striiformis* f. sp. tritici ; au-dessus de 25 °C, le champignon ne produit pas de spores et au-dessus de 29 °C, l'agent pathogène meurt (Evans et al., 2008). Les températures minimales, optimales et maximales pour provoquer l'infection sont respectivement de 0, 11 et 23°C (Hogg et al., 1969). Les températures minimales, optimales et maximales pour la germination des spores sont respectivement de 2, 15-24 et 30 °C (Hogget al., 1969). Les conditions climatiques des régions arides ont permis de montrer que les variables météorologiques sont associées à la révélation de la présence d'un agent pathogène.

L'helminthosporiose était présente dans les régions de Sebaine et Rahouia avec une prédominance bien marquée sur les quatre variétés prospectées

L'helminthosporium limitant le rendement a été négligé dans ces régions arides. La maladie causée par cet agent pathogène est une menace grave de la culture du blé, qui entraîne une baisse des rendements à l'échelle mondiale (**Zhu et al., 2010**). Des pertes de rendement dues au HLB ont été signalées et une réduction allant jusqu'à 20% a été observée dans (**Sharma et Duveiller ,2004**).

À une région donné, un changement dans l'environnement et d'autres conditions climatiques telles qu'une altération des précipitations peut entraîner divers changements des maladies du blé, notamment: (1) la phénologie saisonnière (par exemple, la synchronisation des étapes du cycle de vie des agents pathogènes avec leurs plantes hôtes et leurs compétiteurs naturels ou synergistes), (2) la dynamique de la population (p. ex. hivernage et survie, changements dans le nombre de générations d'agents pathogènes polycycliques) et (3) la répartition géographique (p. ex. expansion ou recul de l'aire de répartition et risque accru d'invasion d'agents pathogènes) (**Siebold et von Tiedemann 2012a**).

Enfin, dans ces régions arides, il est difficile de distinguer si une température élevée a directement affecté le développement de l'agent pathogène et la maladie associée ou si l'effet a été principalement indirectement par la plante hôte. Il s'agit d'un exemple dramatique, mais il peut également y avoir des cas où l'interaction entre les effets directs et indirects sur les agents pathogènes et les maladies respectives est plus subtile. Il en est de même pour les interactions entre la température, l'humidité et tout autre facteur abiotique tel que le vent et la lumière qui peuvent avoir la capacité d'influencer directement ou indirectement les agents pathogènes.

La présence de l'helminthosporium dans ces régions arides peut être liée à son adaptation aux conditions plus chaudes et plus sèches. Certains agents pathogènes fongiques se développent clairement dans des conditions plus chaudes et plus sèches, comme les espèces *Ustilago* (**Boland et al. 2004**).

Conclusion Générale

Dans cette étude nous avons identifié un certains nombre des maladies fongiques rencontrées chez les cultures de blé durant la campagne agricole 2020-2021 dans la région aride de Tiaret. Le nombre des maladies est variable selon les variétés, la tolérance et résistance aux maladies et les condition édaphoclimatiques.

La prospection sur terrain nous a permis de repéré la présence ces agents pathogènes; la tache septorienne, *Fusarium* sp, rouille jaune et la tache helminthosporienne. Cette situation nous a conduit à mettre en évidence l'importance de la rotation des cultures dans l'itinéraire technique pour une bonne conduite d'une céréale afin d'éliminer les la conservation de l'inoculum.

A partir de cette étude nous avons pu déduire que le développement des maladies fongiques du blé a une relation avec les conditions climatiques notamment la température et l'humidité. Vu que cette année est sec le développement des maladies cryptogamiques été plus ou moins moyen durant cette compagne.

En général, les futurs changements de température mondiale pourraient être beaucoup plus importants que les changements de précipitations, même en considérant les scénarios de précipitations les plus extrêmes. Par conséquent, il est suggéré que les recherches futures se concentrent sur la réponse des cultures à la température, par exemple en concevant des essais de réchauffement pour les principales cultures dans des conditions de terrain représentatives. Ces futures expérimentations devraient inclure des parcelles témoins traitées et non traitées aux pesticides, afin de différencier l'impact des facteurs abiotiques et biotiques sur le rendement.

Références bibliographiques

- [01] Anonyme, 2008. Maladies et insectes des céréales en Algérie. Syngenta. Guide de champ
- [02] Antoine Bily 2003 . Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. Sciences des aliments,
- [03] Abassenne F., Bouzerzour H. et Hachemi L., 1998. Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi – aride d’altitude. Annales Agronomiques. INA,
- [04] Bonjean A., 2001. Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé dur (*Triticum aestivum* L.). Do
- [05] Bergmark, L. 2018. Comprendre les maladies. Engrais Mid-West . Disponible à: <https://www.midwestfertilizerinc.com/News/Understanding-Wheat-Diseases>.
- [06] Boland, GJ, Melzer, MS, Hopkin, A., Higgins, V. et Nassuth, A. (2004). Changements climatiques et maladies des plantes en Ontario. Revue canadienne de phytopathologie, 26 , 335-350.
- [07] Bonjean A., 2001. Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*triticum aestivum* L.). Eds. le perchec S., Guy P. et Fraval A. Agriculture et biodiversité des plantes. Dossier de l’environnement de l’INRA, n°21,
- [08] Bonjean A. et Picard E., 1990. Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Ed. Nathan, ssier de l’environnement de l’INRA,
- [09] Belaid, (2000): Aspect de la céréaculture algérienne. Collection le cours d’agronomie office des publications universitaires. 207
- [10] Belaid D., (1986): Aspect de la céréaculture algérienne. Collection le cours d’agronomie office des publications universitaires. 207
- [11] Barford E (2013) Les ravageurs des cultures progressent avec le réchauffement climatique. Nature. doi: 10.1038/nature.2013.13644
- [12] Belaid D., 1986. Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed .OPU, Alger, 207
- [13] Belaid D., 1996. Aspects de la céréaliculture algérienne. INES. D’Agronomie, Batna.
- [14] Boyeldieu J., 1999. Blé dur. Techniques agricoles. Editions Techniques Agricoles. Fascicule
- [15] Baldy C.H., 1992. Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée

- [16] Crystel H., 2014. Le marché du blé dur. Service Agronomie-Economie-Environnement. Comité technique de blé dur, Ouest Océan, Février, Vouillé 79. ARVALIS.
- [17] Occidentale. Dans: tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne.
- [18] Diversité génétique et amélioration variétale, Montpellier. Les colloques de l'INRA.
- [19] Clement ;1971Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2^{ème} Ed. 351.
- [20] Eversmeyer MG, Kramer CL (2000) Épidémiologie de la rouille des feuilles et de la tige du blé dans les grandes plaines centrales des États-Unis. Annu Rev Phytopathol 38:491-513. doi: 10.1146/annurev.phyto.38.1.491.
- [21] Eyal Z., Scharen AL., Perscott JM. and Van Ginel M., 1987. The septoria diseases of wheat: Concepts and methods of diseases management. CIMMYT, Mexico. 52p.
- [22] Evans, K., Israelsen, C., Barnhill, J. et Pace, M.2008. Rouille rayée du blé (*Puccinia striiformis* f. Sp. tritici). Fiche d'information. Utah, UT : Université d'État de l'Utah. [01] Disponible à:<http://utahpests.usu.edu/IPM/htm/field-crops/insects-and-diseases/wheat-stripe-rust>[Date de consultation: 26 e Novembre 2018].
- [23] Feuillet,2000:Le grain de blé composition et utilisation .Ed: INRA. Paris.
- [24] Feldman M., 2001. Origin of Cultivated Wheat. Dans Bonjean A.P. et W.J. Angus (éd.) The World
- [25] Wheat Book: a history of wheat breeding. Intercept Limited, Andover, Angleterre:
- [26] Feuillet P., 2000. Le grain de blé, composition et utilisation. Ed INRA. Paris: 88-199.
- [27] Feldman M., 1976. Taxonomic Classification and Names of Wild, Primitive, Cultivated, and Modern Cultivated Wheats. Dans: Simmonds, N.W. (éd)., Evolution of Crop Plants. Longman, Londres: 120-128
- [28] Felix T., 1996. Etude de la diversité allélique des protéines de réserves (Gluténines et Gliadines) en relation avec des tests de technologie appréciant la valeur d'utilisation de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) .INRA. Clement.Ferrand. France
- [29] Feuillet C., Langridge P. et Waugh R., 2008. Cereal breeding takes a walk on the wild side.
- [30] Trends Genet, FAO., 2015. Perspective alimentaires. Analyse des marchés mondiales. <http://www.fao.org/010/ah864f/ah864f00.htm>.
- Gladders P., ND Paveley , IA Barrie , NV Hardwick , MJ Hims , S. Langton , MC
- [31] Taylor.2001. Facteurs agronomiques et météorologiques affectant la gravité de la tache foliaire causée par *Mycosphaerella graminicola* dans les cultures commerciales de blé en Angleterre. Anne. Appl. Biol. , 138, p. 301 – 311.

- [32] Heier T, Jain SK, Kogel KH, Pons-Kuhnemann J. 2005. Influence des stratégies de fertilisation azotée et de fongicides sur la gravité de la brûlure de l'épi causée par *Fusarium* et la teneur en mycotoxines du blé d'hiver. *J Phytopathol.* 153 (9) : 551–557.]
- [33] Hogg, WH, Hounam, CE , Mallik, AK et Zadoks, JC.1969. Facteurs météorologiques affectant l'épidémiologie des rouilles du blé. *Organisation météorologique mondiale* , Genève, Suisse, 99 , 143 .
- [34] Junk, J., Kouadio, L., Delfosse, P. et El Jarroudi, M. 2016. Effets du changement climatique régional sur la rouille brune du blé d'hiver . *Changement climatique* , 135 (3–4), 439 – 451 .<https://doi.org/10.1007/s10584-015-1587-8>.
- [35] Köpke U, Thiel B, Elmholt S. 2007. Stratégies pour réduire la contamination par les mycotoxines et les alcaloïdes fongiques dans les systèmes de production de céréales biologiques et conventionnels. Dans : Cooper J, Niggli U, Leifert C, éditeurs. *Manuel de sécurité et de qualité des aliments biologiques*. Boca Raton (FL) : Presse CRC. p. 353–391.
- [36] Lovell DJ T., Hunter , SJ Powers , SR Parker , F. Van den Bosch.2004. Effet de la température sur la période de latence de la tache septorienne sur le blé d'hiver dans des conditions extérieures. *Pathol végétal.* , 53, p. 170 – 181.
- [37] Medina A, Magan N. 2010. Comparaisons de l'activité de l'eau et des impacts de la température sur la croissance des souches de *Fusarium lang-sethiae* d'Europe du Nord sur des milieux à base d'avoine. *Int J Microbiol Alimentaire.* 142 :365-369.
- [38] Mikkelsen BL, Jørgensen RB, Lyngkjær MF (2015) Interaction complexe des futurs niveaux climatiques de CO₂ , d'ozone et de température sur la sensibilité aux maladies fongiques de l'orge. *Plante Pathol* 64:319-327. doi: 10.1111/ppa.12272
- [39] Miller JD. 1994. Epidémiologie des maladies de l'épi des céréales à *Fusarium*. Dans : Miller JD, Trenholm HL, éditeurs. *Mycotoxines dans les céréales. Composés autres que l'aflatoxine*. Saint-Paul (MN) : Eagan. p. 19-36.
- [40] Moore FC, Lobell DB (2015) L'empreinte des tendances climatiques sur les rendements des cultures européennes. *Proc Natl Acad Sci USA* 112 : 2670–2675. doi: 10.1073/pnas.1409606112.
- [41] Sharma, RC; Duveiller, E. Effet de la brûlure des feuilles par *helminthosporium* sur la performance du blé semé en temps opportun et tard dans des niveaux optimaux et stressés de fertilité et d'humidité du sol. *Grandes cultures Rés.* 2004 , 89 , 205-218.
- [42] Siebold, M., & von Tiedemann, A. (2012a). Effets potentiels du réchauffement climatique sur les agents pathogènes du colza dans le nord de l'Allemagne. *Écologie fongique*, 5 , 62-72.

- [43] Suffert F, I. Sache , C. Lannou.2011. Premiers stades des épidémies de septoriose tritici chez le blé d'hiver : accumulation, suralimentation et libération de l'inoculum primaire. Pathol végétal. , 60, p. 166 - 177
- [44] Zhu, X.; Chang, N.; Zhou, C. Avancement de la recherche sur la tache helminthosporienne du blé. Agric. Sci. Technol. Équiper. 2010 , 08 , 15-18.
- [45] Soltner P., 2005. Les bases de la production végétales: La plante et son amélioration. 4èmeEd. Collection et Techniques Agricoles..
- [46] Surget et Barron,(2005).Histologie de grain de blé industrie des céréales
- [47] Soltner., 1990. Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.
- [48] Munns ., 1986. Whole plant response to salinity. Australian Journal of Plant Physiology, 13
- [49] Wheat Book: a history of wheat breeding. Intercept Limited, Andover, Angleterre:
(<https://ahdb.org.uk/septoriatritici>)
(https://wiki.bugwood.org/Bipolaris_sorokiniana) .