

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 mai 1945 Guelma
Faculté des sciences de la nature et de la vie et science de la terre et de l'univers
Département : Ecologie et génie de l'environnement



Mémoire En Vue de l'Obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité/Option : Phytopharmacie et protection des végétaux

Thème :

**Evaluation biologique d'un fongicide (Biopesticide)
appliqué en traitement de semences et en traitement foliaire
sur le contrôle des maladies du blé**

**Présenté par : - ATHMANI Asma
- HADJAR Sana
- RIDANE Khaoula**

Membres de jury :

Président	: Mr. BAALI S.	(MAA)	Université 8 Mai 1945 Guelma
Examineur	: Mme CHAHAT N.	(MCB)	Université 8 Mai 1945 Guelma
Encadreur	: Mme ALLIOUI N.	(MCB)	Université 8 Mai 1945 Guelma
Invité	: Mme NEKAA-SERIDI S.		ITGC de Guelma

Septembre 2020

Dédicaces

Al Hamdoulillah, qui m'a donné la force de réaliser ce modeste travail synonyme de concrétisation de formation, de labeur et d'efforts, je dédie le fruit de ma patience, de ma persévérance :

*A ma raison de vivre et ma fleur de vie **ma mère « FOUZIA »** symbole d'amour d'affection de bienveillance, pour sa patience, ses sacrifices, sa conscience, ses conseils qui ont éclairé mon chemin.*

*A mon père **« BADREDDINE »** en reconnaissance de tout ce qu'il a fait pour moi tout au long de mon existence, pour son soutien moral, son encouragement continu, et pour sa compréhension.*

*A mon frère et mes sœurs : **MOHAMED, YOUÇEF, AIMEN et MOUNA** symbole d'ambiance et de gaieté qui je les souhaite une vie pleine de bonheur et une carrière pleine de gloire.
A toute ma famille, à la famille : **ATHMANI et BOUFERNANA.***

*À mon cher mari **Moussa** et tous familles **Boumzaout.***

*A tous mes amis: **Amira, Bouchra , Fahima, Khouloud, Nadjet, Samra...** et mon binômes **Sana et Khawla.***

*A tous mes camarades de **Master 2 phytopharmacies et protection des végétaux** en particulier : **Sana, Kaoula***

Aux gens que j'aime



ASMA

Dédicaces

Je tiens à exprimer mes vifs sentiments à dieu, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

A mes très chers parents **Leila** et **Kamel** dont aucun mot n'est assez fort et suffisant pour exprimer l'amour que je les avoue c'est à eux que je dois tout et que seront toujours pour moi un exemple de réussite et de courage.

Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

Que ce travail témoigne de mes respects : A mes frères **Ibrahim El Khalil, Mohamed, Abed elmoamen, Moataz, Adam**, ma sœur **Amel**. Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands soutiens qu'ils n'ont cessé de me porter.

à celui que j'aime tant qui m'ont soutenu tout au long de ce projet : mes familles et bien sur mes amis en particulier **Nesrine, Nada, Amina, Basma, Nourelhana**, et mon binômes **Asma** et **Khawla**

Et enfin a tous ceux qui m'aiment.
A ceux que j'aime.



Sana

Dédicaces

Je dédie ce travail au flambeau de ma vie de mon présent et mon avenir. A mes chère parents

Louiza et Abed elwaheb qui mes donne le courage et la patient pour réaliser ce travaille.

Merci beaucoup papa et maman je vous aime beaucoup.

Mes chères frères **khalil** et surtout **Chokri** qui étaient toujours a mes cotés jamais de simple

mots ne permettront de vous exprimer mes remerciements et mes chères sœurs **Radai,**

Sihem, Nadia, Hadjer, Sara et Chaima et mes belles roses **Hibat elrahmane, Maram et**

Rafif

A tout les familles **Ridane et Bransiia.**

A tout mes amis **Chaima, Samah, Alima et Boutayna.**

A mes camarades de ce travail **Asma et Sana.**

Aux inflorescences de mon parcoure universitaire, et mes collègues dont je fais partie.

A tous ceux qui m'ont aidée à réaliser ce travail de prêt ou de loin, je leur offre mes
meilleures salutations les plus sincères.



Khawla

Remerciements

Nous remercions vivement le bon DIEU, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Dans un premier temps, nous nous exprimons nos remerciements à notre encadreur Dr. *ALLIOUI Nora* pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous tenons à remercier vivement Dr. *BAALI Salim* et Dr. *CHAHAT Nora* pour avoir accepté de juger et d'évaluer ce modeste effort.

Nous remercions également Dr. *ZITOUNI Ali* pour son aide dans le traitement statistique des résultats, ainsi que toute l'équipe de formation de la licence Biologie et physiologie végétale, et celle du master Phytopharmacie et protection des végétaux, qu'ils trouvent dans ce document un témoignage de leurs efforts fournis dans notre formation.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent à Mme *NEKAA-SERIDI Souad*, directrice de l'I.T.G.C. de Guelma pour nous avoir facilité l'accès à la station, pour son accueil et ses encouragements ainsi que tout le personnel de cette institution, et plus particulièrement Mme *LAIB, Fouzia* (Ingénieur à l'I.T.G.C. de Guelma) pour ses orientations dans la réalisation de la partie expérimentale de ce travail, et aussi pour son aide, et ses encouragements.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, et sans oublier nos collègues de la promotion 2019/2020 phytopharmacie et protection des végétaux, pour leurs encouragements et soutien moral.

SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction	01
Chapitre 01 : Les maladies fongiques du blé	03
1.1. Généralités sur le blé.....	03
1.1.1. Caractéristiques des blés.....	03
1.1.2. Caractères morphologiques des blés.....	03
1.1.3. Caractères physiologiques du blé.....	04
1.1.4. Importance et situation de la culture du blé.....	06
1.1.5. Les contraintes de la production de blé en Algérie.....	07
1.2. Les principales maladies fongiques du blé.....	08
1.2.1. Les maladies foliaires et du pied.....	09
1.2.2. Les maladies transmises par le sol et la semence.....	11
Chapitre 02 : Modalités de lutte contre les champignons phytopathogènes	15
2.1. Intérêt de la lutte contre les maladies.....	15
2.2. Méthodes de lutte contre les maladies cryptogamiques.....	15
2.2.1. Lutte génétique.....	15
2.2.2. Lutte culturale.....	15
2.2.3. Lutte biologique.....	15
2.2.4. Lutte chimique.....	16
2.2.4.1. Définition et historique d'apparition des fongicides.....	16
2.2.4.2. Les caractéristiques des fongicides.....	17
2.2.4.3. Classification des fongicides.....	18
2.2.4.4. Phénomènes de résistances des champignons aux fongicides.....	23
2.2.4.5. Procédés de traitement des semences par les fongicides.....	24
2.2.4.6. Conditions d'application des fongicides.....	25

Chapitre 03 : Matériel et Méthodes	26
3.1. Objectif de l'étude.....	26
3.2. Caractéristiques du site d'essai.....	26
3.2.1. Localisation.....	26
3.2.2. Caractéristiques climatiques.....	27
3.2.3. Caractéristiques pédologiques.....	29
3.3. Matériel utilisé.....	29
3.3.1. Matériel végétal.....	29
3.3.2. Fongicides utilisés.....	30
3.4. Installation et conduite de l'essai.....	31
3.5. Traitements fongicides en végétation	33
3.6. Paramètres étudiés.....	33
3.6.1. Notation des maladies.....	33
3.6.2. Paramètres morphologiques.....	36
3.6.3. Paramètres agronomiques.....	36
3.6.3.1. Nombre de plants par mètre carré (m ²).....	36
3.6.3.2. Nombre de talles/ plant.....	36
3.6.3.3. Nombre d'épis par mètre carré (m ²).....	36
3.6.3.4. Nombre d'épillets par épi	37
3.6.3.5. Nombre de grains par épi.....	37
3.6.3.6. Poids de mille grains (PMG).....	37
3.6.3.7. Rendement par hectare (ha)	37
3.7. Analyse statistique des résultats.....	38
Chapitre 04 : Résultats et Discussion	39
4.1. Efficacité des produits testés contre les maladies enregistrées.....	39
4.1.1. Efficacité des produits testés contre la rouille brune.....	39
4.1.1.1. Incidence de la maladie	39
4.1.1.2. Sévérité de la maladie.....	42
4.1.2. Efficacité des produits contre l'oïdium.....	44
4.1.1.1. Incidence de la maladie.....	44
4.1.1.2. Sévérité de la maladie.....	46
4.2. Croissance et développement de la plante.....	48

4.2.1. Phénologie de la culture.....	48
4.2.2. Effet du traitement sur la croissance et le développement de la culture.....	49
4.2.3. Effet du traitement sur les paramètres agronomiques.....	51
4.2.3.1. Nombre de plants /m ²	51
4.2.3.2. Nombre de talles/ plant.....	53
4.2.3.3. Nombre d'épis /m ²	54
4.2.3.4. Nombre d'épillets/épi.....	56
4.2.3.5. Nombre de grains par épi.....	57
4.2.3.6. Poids de 1000 grains.....	59
4.2.3.7. Rendement par hectare.....	60
4.3. Analyse globale des résultats	62
Conclusion.....	65
Résumé	
Abstract	
الملخص	
Références bibliographiques	

Liste des abréviations

ACSAD	: Arab Center for the Studies of Arid zones and Dry Lands
C-14	: Carbone14
DL50	: Dose létale à laquelle 50 % des organismes meurent
EC	: Concentré émulsionnable
EO	: Emulsion de type huileux
EW	: Emulsion de type aqueux
FAO	: Food and Agriculture Organization
FRAC	: Fungicide Resistance Action Committee
ITGC	: Institut Technique des Grandes Cultures
ONM	: Office National de Météorologie
Q/ha	: Quintaux par hectare
SC	: Suspension Concentrée
SDHI	: Succinate deshydrogenase inhibitor
SG	: Granulés solubles dans l'eau
SP	: Poudre soluble dans l'eau
TSP	: Superphosphate triple
u/ha	: unité par hectare
µs	: Micro siemens
WG	: Granulés disperser dans l'eau
WP	: Poudre mouillable

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Classification botanique du blé tendre	03
02	Moyennes mensuelles des précipitations de la campagne 2019-2020 à Guelma	27
03	Moyennes mensuelles de température dans la région de Guelma (2019/2020)	28
04	Caractéristiques pédologiques du site d'essai	29
05	Caractéristiques de la variété Maouna	29
06	Caractéristiques du produit testé	30
07	Signes et indications de l'échelle de notation des maladies foliaires des céréales	35
08	Incidence de la rouille brune (%) après l'application des traitements fongicides	40
09	Analyse de la variance de l'incidence de la rouille brune après 49 jours du 1 ^{er} traitement	41
10	Analyse de la variance de l'incidence de la rouille brune après 63 jours du 1 ^{er} traitement	41
11	Analyse de la variance de l'incidence de la rouille brune après 7 jours du 2 ^{ème} traitement	42
12	Sévérité de la rouille brune (%) après l'application des traitements fongicides	43
13	Analyse de la variance de la sévérité de la rouille brune après 49 jours du 1 ^{er} traitement	43
14	Analyse de la variance de la sévérité de la rouille brune après 63 jours du 1 ^{er} traitement	44
15	Analyse de la variance de la sévérité de la rouille brune après 7 jours du 2 ^{ème} traitement	44
16	L'incidence de l'oïdium après l'application des traitements fongicides	45
17	Analyse de la variance de l'incidence de l'oïdium après 07 j. du traitement	46
18	Analyse de la variance de l'incidence de l'oïdium après 15 j. du traitement	46
19	Sévérité de l'oïdium après l'application des traitements fongicides	47
20	Analyse de la variance de la sévérité de l'oïdium après 7 jours du traitement	48
21	Analyse de la variance de la sévérité de l'oïdium après 15 jours du traitement	48
22	Dates repères des différents stades phénologiques de la culture	49
23	Analyse de la variance pour la hauteur des plantes	51
24	Hauteur des plantes pour les différents traitements fongicides (cm)	51
25	Analyse de la variance pour le nombre de plants par mètre carré	52

26	Nombre de plants /m ² pour les différents traitements fongicides	53
27	Nombre des talles/plant pour les différents traitements fongicides	54
28	Analyse de la variance pour le nombre de talles par plant	54
29	Analyse de la variance pour le nombre d'épis par mètre carré	55
30	Nombre d'épis/m ² pour les différents traitements fongicides	56
31	Analyse de la variance pour le nombre d'épillets par épi	57
32	Nombre d'épillets/épi pour les différents traitements fongicides	57
33	Analyse de la variance pour le nombre de grains par épi	58
34	Nombre des grains/épi pour les différents traitements fongicides	59
35	Analyse de la variance pour le poids de 1000 grains	60
36	Poids de 1000 grains pour les différents traitements fongicides	60
37	Analyse de la variance pour le rendement/ha	61
38	Rendement/ha pour les différents traitements fongicides	61

Listes des figures

N°	Titre	Page
01	Cycle évolutif du blé	4
02	Répartition de la production mondiale du blé entre 2016-2018	6
03	Évolution des importations et pays fournisseurs en blé dur et tendre en Algérie en 2018	7
04	Blé affecté par la rouille noire	9
05	Feuille de blé infectée par la rouille jaune	9
06	Feuille de blé attaquée par la rouille brune	10
07	Oïdium sur feuille de blé	10
08	Symptômes d'helminthosporiose sur feuille de blé	11
09	Localisation des maladies des semences	11
10	Symptômes de la fusariose sur le blé	12
11	Charbon nu du blé	12
12	Symptômes de la carie du blé sur épis	13
13	Symptômes de la tache septorienne des feuilles du blé	14
14	Coloration violacée des glumes causée par la septoriose des épis sur le blé	14
15	Taches de septoriose des épis sur feuilles de blé	14
16	Déplacement et distribution des fongicides au niveau de la plante	19
17	Principaux sites d'action des fongicides	21
18	Les mécanismes de résistance des champignons aux fongicides	23
19	Localisation de l'ITGC de Guelma, site de l'essai	26
20	Répartition mensuelle de la pluviométrie durant la campagne agricole 2019/2020	28
21	Schéma du dispositif expérimental de l'essai	32
22	Echelle de notation des maladies foliaires des céréales	34
23	Méthode de détermination du nombre de plants/m ²	36
24	Méthode de détermination du nombre d'épis/m ²	37
25	Maladies observées au niveau de la parcelle d'essai	39
26	Incidence de la rouille brune pour les différents traitements fongicides (Après le premier et le deuxième traitement)	40
27	Sévérité de la rouille brune pour les différents traitements fongicides	42

28	Incidence de l'oïdium pour les différents traitements fongicides (Après le premier traitement)	45
29	Sévérité de l'oïdium pour les différents traitements fongicides (Après le premier traitement)	47
30	Hauteur des plantes pour les différents traitements fongicides	50
31	Nombre de plants/m ² pour les différents traitements fongicides	52
32	Nombre de talles /plant pour les différents traitements fongicides	53
33	Nombre d'épis /m ² pour les différents traitements fongicides	55
34	Nombre d'épillets /épi pour les différents traitements fongicides	56
35	Nombre de grains/épi pour les différents traitements fongicides	58
36	Poids de 1000 grains pour les différents traitements fongicides	59
37	Rendement /ha pour les différents traitements fongicides	61

INTRODUCTION

Introduction

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, et plus particulièrement dans les pays maghrébins (**Djermoun, 2009**).

En Algérie, et sur le plan spatial, les céréales occupent une large partie de la sole agricole totale et s'étendent sur des superficies qui représentent jusqu'à 30 % des terres cultivables (**Chebbi et al., 2004**). Cependant, malgré les efforts consentis par l'état et les différents organismes du secteur de l'agriculture pour augmenter la production des céréales, les rendements demeurent faibles et restent loin de satisfaire les besoins de la population qui connaît une croissance démographique de plus en plus élevée. Ceci fait de l'Algérie l'un des plus importants pays importateurs de céréales avec une moyenne d'importation qui atteint 10 millions de tonnes, et le blé représente la moitié des importations (**Ammar, 2014**).

Les faibles rendements en blé, obtenus chaque année peuvent être attribués à différents facteurs abiotiques, notamment, le stress thermique, le stress hydrique, la carence ou l'excès des éléments du sol,..., ou à des facteurs biotiques notamment l'attaque par les ravageurs et les parasites.

Le blé peut être exposé à diverses maladies à différents stades de son développement, et les maladies cryptogamiques (rouilles, oïdium, septoriose, fusariose,...), causées par des champignons parasites constituent une véritable menace pour le rendement des cultures, notamment dans les régions humides et sub-humides du pays, et en cas de variétés sensibles, les rendements sont fortement affectés.

Pour lutter contre ces maladies, différentes méthodes peuvent être utilisées, mais la lutte chimique qui repose sur l'application de pesticides (fongicides) est la plus utilisée. Les produits fongicides appartiennent à différentes familles chimiques et agissent par différents modes sur le parasite à combattre ; mais l'efficacité de tel ou tel produit contre un parasite donné est dépendante de plusieurs facteurs, notamment, la nature du parasite, la nature chimique de la matière active et des modalités de son application, et des conditions climatiques qui conditionnent l'arrivée, et en dose suffisante de la molécule au niveau du parasite à combattre.

Cependant, d'une part, les effets non intentionnels des fongicides de synthèse, ne sont pas à démontrer ; plusieurs travaux ont prouvé que, l'application non raisonnée des pesticides, peut être à l'origine de maladies chroniques très graves (cancers, asthme,...), suite à l'accumulation des résidus de ces derniers dans les différents biotopes. D'autre part, l'efficacité des produits à

l'égard des parasites n'est pas stable et durable, et des souches résistantes aux différents fongicides, apparaissent chaque année et à travers le monde entier, et aucune molécule fongicide ne peut échapper à ce phénomène, si les forces de pression se réunissent et favorisent la sélection ou la mutation chez le parasite.

Face à ces contraintes, la recherche de molécules biologiques (biopesticides) reste la solution prometteuse pour remédier aux problèmes de toxicité par les pesticides et limiter le phénomène d'émergence des résistances chez les parasites des cultures.

Cette étude qui entre dans le cadre de la collaboration entre l'université 8 Mai 1945 de Guelma et l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Guelma, vise à comparer l'efficacité d'un fongicide biologique à base de *Bacillus subtilis*, et un fongicide de synthèse, à base de tébuconazole, à l'égard des maladies fongiques du blé, en vue de l'homologation du pesticide biologique.

Le présent document est organisé comme suit :

- L'introduction : expose la problématique et annonce l'objectif de l'étude
- Le chapitre 1 : comporte des généralités sur la production du blé et les principales maladies.
- Le chapitre 2 : décrit les moyens de lutte contre les maladies du blé.
- Le chapitre 3 : décrit le matériel utilisé et la conduite des expérimentations
- Le chapitre 4 : fait l'objet de la présentation des résultats obtenus et leur discussion.
- Le mémoire est achevé par une conclusion et des perspectives.

Chapitre 01 :
Les maladies fongiques
du blé

1.1. Généralités sur le blé

1.1.1. Caractéristiques des blés

Le blé est une monocotylédone appartenant au genre *Triticum*, famille des poaceae ou gramineae (Lesage, 2011), les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre, *Triticum aestivum* et le blé dur, *Triticum durum* Desf. (Feillet, 2000). La classification botanique du blé est mentionnée dans le tableau 01.

Tableau 01 : Classification botanique du blé tendre (Feillet, 2000)

❖ Famille	<i>Gramineae</i>
❖ Sous –famille	<i>Festucoideae</i>
❖ Tribu	<i>Triticeae</i>
❖ Sous – tribu	<i>Tritici</i>
❖ Genre	<i>Triticum</i>
❖ Espèce	<i>Triticum aestivum.</i>

1.1.2. Caractères morphologiques des blés

Comme toutes les autres céréales, la plante se caractérise par des critères morphologiques particuliers (Bonjean et Picard, 1990), elle comprend différentes parties :

❖ **Un appareil végétatif herbacé** : il comprend :

- Un système racinaire fasciculé (assez développé).
- Une tige creuse et des feuilles engainantes (Hamadache, 2001).

❖ **Le grain** : fruit sec indéhiscent (caryopse) constitué de trois grandes parties : le germe, l'albumen et les enveloppes (Lesage, 2011 ; Surget et Barron, 2005) :

➤ **Le germe** : qui représente 1,4% du grain, il comprend :

- Le cotylédon ou scutellum, séparé de l'amande par une assise diastasiq ue destinée à la digestion future de l'albumen au profit de la plantule.
- La plantule, avec sa tigelle courte, et sa radicule, recouverte d'un étui, la coléorhize.

Le germe est très riche en matières grasses, matières azotées, et vitamines A, E et B (Soltner, 2012).

➤ **L'albumen** : **Bednarek (2012)** rapporte que, l'albumen constitue le plus important compartiment du grain et représente environ 80% de son poids. Il correspond au tissu de réserve. L'albumen amylicé est essentiellement constitué des granules d'amidon enchâssés dans une matrice protéique composée en grande partie de prolamines (gliadines, gluténines de hauts et faibles poids moléculaires) mais aussi d'albumines et de globulines (**Debiton, 2010**).

➤ **Les enveloppes** : qui sont au nombre de six et forment 13-17 % de la graine : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa, cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (**Feillet, 2000**).

1.1.3. Caractères physiologiques du blé

Selon **Hamadache (2001)**, **Soltner (2005)** et **ITGC (2015)**, le cycle évolutif du blé se divise en trois périodes : la période végétative, la période reproductrice et la période de maturation et dessiccation. Chaque période comporte des stades (**Fig. 01**) :

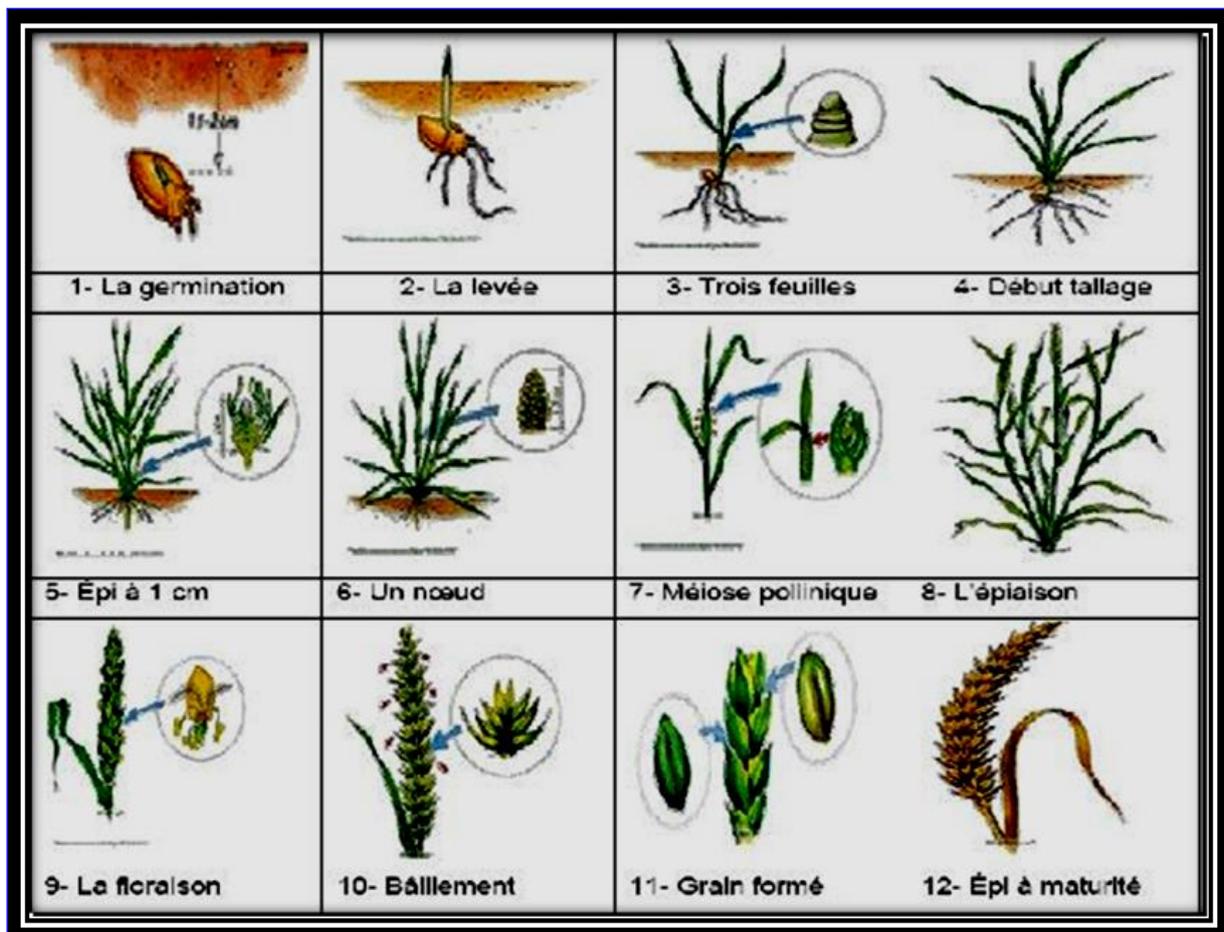


Figure 01 : Cycle évolutif du blé [1]

❖ **Germination-levée :** La germination de la graine se caractérise par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et la date de la levée est définie par l'apparition de la première feuille qui traverse le coléoptile, gaine rigide et protectrice enveloppant la première feuille. La levée se fait réellement dès la sortie des feuilles à la surface du sol (Soltner, 2005).

❖ **Tallage :** Une culture est au début du tallage quand la première talle émerge de la gaine de la première feuille et elle est en plein tallage quand les plantes ont deux à trois talles (primaires plus secondaires) (ITGC, 2015).

❖ **Epi à 1 cm:** ce stade marque la fin du tallage, les plantes se redressent. Le sommet de l'épi des tiges principales (ou maître-brins) est en moyenne distant de 1 cm du plateau de tallage (ITGC, 2015).

❖ **Montaison :** A ce stade la croissance et le développement de la céréale sont en phase exponentielle. Le jeune épi se trouve à 1 cm du plateau de tallage. Durant ce stade se différencient les ébauches de l'inflorescence (épillet, glumelles, étamines, ovaire) à partir de la zone médiane de l'épi (Hamadache, 2001).

❖ **Gonflement :** La gaine de la dernière feuille se trouve gonflée par l'épi encore dans la tige. A ce stade, le blé a initié une vingtaine d'épillets par épis (Hamadache, 2001).

❖ **Epiaison et fécondation :** Elle est marquée par la méiose pollinique, l'éclatement de la gaine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux et s'effectue la fécondation. La vitesse de croissance de la plante est maximale. Cette phase correspond à l'élaboration d'une grande quantité de la matière sèche, et elle dépend étroitement de la nutrition minérale et de la transpiration qui influencent le nombre final de grains par épi (Soltner, 2005).

❖ **Formation du grain:** cette période comprend trois stades (ITGC, 2015) :

- **Grain laiteux:** les enveloppes du grain sont formées, la taille potentielle du grain est déterminée.
- **Grain pâteux:** le poids de 1000 grains est acquis par suite du remplissage des enveloppes.

- **Grain mûr:** obtenu après la dessiccation du grain qui devient dur et se casse sous les dents.

1.1.4. Importance et situation de la culture du blé

- **Dans le monde**

Les céréales, notamment le blé est un produit de première nécessité à l'échelle mondiale. Son importance dépasse le rôle traditionnel considéré comme aliment, il a un rôle social, économique et politique dans la plupart des pays dans le monde. Le blé constitue un produit de large consommation au niveau mondial (Ammar, 2014).

La production mondiale de blé en 2017 s'élève à 743 millions de tonnes, soit 2,2 % de moins que la production record de 2016. Les dernières prévisions concernant le commerce mondial de blé en 2017/18 (juillet/juin) s'élèvent à 171 millions de tonnes, 1,7 pour cent (3,0 millions de tonnes) de moins que le niveau record estimé pour la campagne 2016/17 (FAO, 2017). La **figure 02** montre les pays producteurs du blé et les rendements enregistrés en 2017/2018 par rapport à ceux enregistrés en 2016/2017.

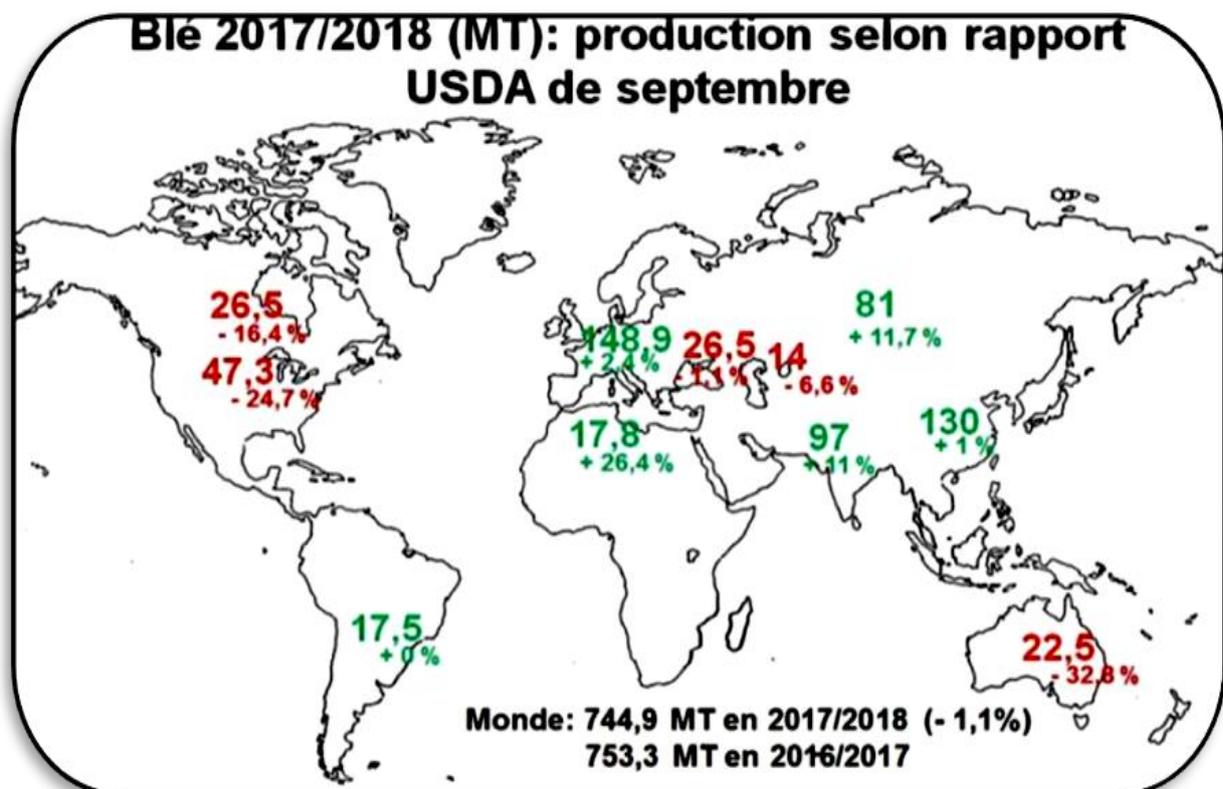


Figure 02: Répartition de la production mondiale du blé entre 2016-2018 [2]

- **En Algérie**

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Djermoun, 2009). Selon la FAO durant l'année 2014, l'Algérie est classée en quatrième position au niveau Africain et à la dix-septième position au niveau mondial avec une production du blé de 2.4 millions de tonnes, collectés et constitués en moyenne de blé dur (58,7%), et de blé tendre (33%) . Cependant, les rendements enregistrés sont faibles, et ne peuvent pas subvenir aux besoins de la population, ce qui fait de l'Algérie un grand importateur de blé ; et elle se trouve dépendante du marché international (Nadjem, 2012).

Le total des importations du blé dur, pour les onze premiers mois de l'année 2018 a atteint 1,48 millions de tonnes (soit 440,5 millions USD), avec une diminution de 7 % en quantité et une diminution de 4 % en valeur par rapport à la même période de l'année 2017. En blé tendre, le total des importations pour les onze premiers mois de l'année 2018 a atteint 6,5 millions de tonnes (soit 1481 millions UDS), soit une augmentation de 16 % en quantité et 29% en valeur par rapport à la même période de l'année 2017 (Allilouche, 2019). La figure 03 montre l'évolution des importations du blé en Algérie en 2018.

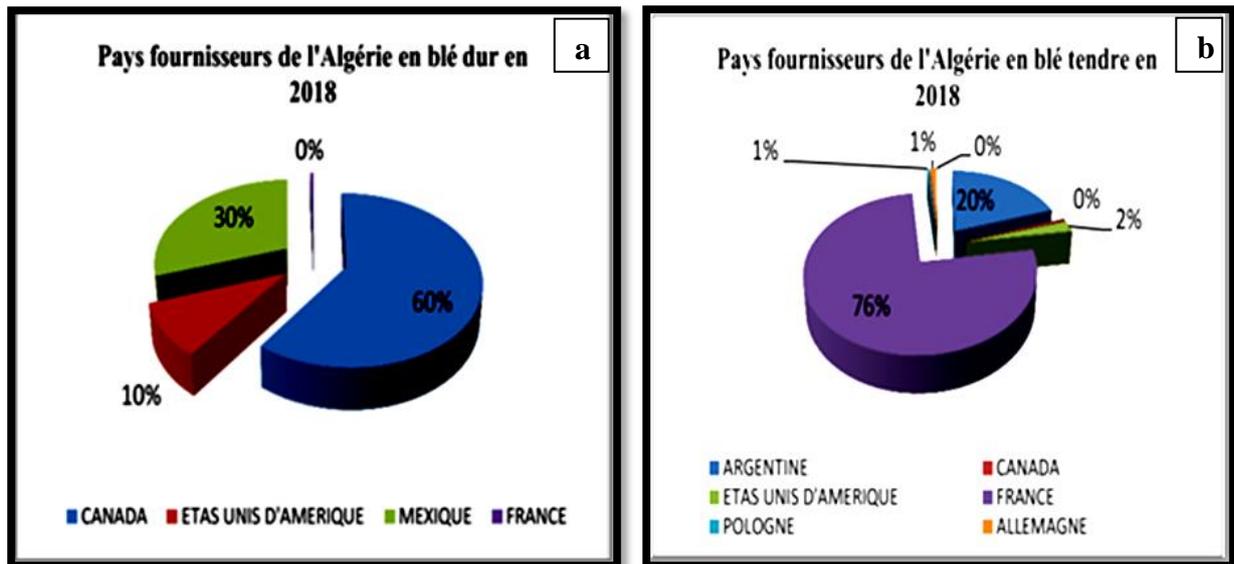


Figure 03 : Évolution des importations et pays fournisseurs en blé dur et tendre en Algérie en 2018. **a :** Pays fournisseurs en blé dur, **b :** Pays fournisseurs en blé tendre (Allilouche, 2019)

1.1.5. Les contraintes de la production de blé en Algérie

➤ **Contraintes climatiques :** Les variations interannuelles de la production de blé sont dues principalement aux conditions climatiques qui varient chaque année et qui jouent un

rôle dominant sur les fonctions de croissance et de développement (**Gate, 1995**). Les facteurs les plus importants sont, l'eau et la température :

▪ **L'eau** : L'eau et le sol sont considérés comme les facteurs les plus importants à préserver pour garantir une production continue dans un contexte d'une agriculture durable. (**Abdellaoui et al., 2011**). La céréaliculture pluviale occupe la partie Nord de l'Algérie relativement bien arrosée, une aire recevant annuellement une pluviométrie comprise entre 200 et 1500 mm. (**Smadhi et Zella, 2012**).

▪ **La température** : une température supérieure à 0°C est exigée pour la germination des céréales. Un abaissement de la température pendant l'hiver est nécessaire aux variétés non alternatives dites « d'hiver » et par la suite, la température conditionne la nitrification et l'activité végétative du blé au cours du tallage et de la montaison (**Soltner, 2005**).

➤ **Contraintes techniques** : le travail du sol sommaire, la faible utilisation de la semence de qualité, les faibles taux d'utilisation des engrais et la mauvaise application des techniques culturales, sont tous des contraintes techniques qui s'opposent à la bonne productivité du blé (**Rachedi, 2003**).

➤ **Contraintes socio-économiques** : représentées par, le faible revenu de la céréaliculture comparativement aux autres groupes de cultures, et l'utilisation de la céréaliculture comme support à l'élevage dans un système extensif (**Rachedi, 2003**).

➤ **Les attaques par les parasites et les ravageurs** : la perte annuelle moyenne de rendement associée aux maladies du blé est de l'ordre de 12 %. L'incidence des maladies fongiques diffère grandement selon les sites et les années (**Tremblay et al, 2016**). Les maladies affectent le rendement, mais aussi la qualité des grains (**Lacroix, 2008**). Les nématodes phytophages inféodés aux cultures céréalières sont considérés parmi les principales contraintes qui affectent la production de blé. Les pertes de rendements causées par ces parasites sont de l'ordre de 7 % pour le blé (**Ketfi, 2018**).

1.2. Les principales maladies fongiques du blé

Selon **Lestum (2017)**, le blé est susceptible d'être confronté à différentes maladies cryptogamiques qui peuvent pénaliser le rendement et/ou la qualité, en attaquant différents organes : les plantules lors de la germination (« fonte des semis » dus à des *Fusarium*), les bases

des tiges (piétin), les feuilles (septoriose, oïdium, rouilles, helminthosporiose), les épis (fusarioses)....

1.2.1. Les maladies foliaires et du pied

❖ **Les rouilles** : le blé peut être attaqué par trois types de rouilles :

• **Rouille noire** : *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*. Les pustules de couleur rouge-brune à marron foncé (**Fig. 04**) sont ovales ou allongées et entourées de lambeaux de tissus épidermiques (**Ezzahiri, 2010**), elles sont plus longues que celles de la rouille brune (**Aouali et Douici-khalfi, 2013**). La rouille noire est favorisée par des conditions humides et des températures élevées allant de 15 à 35°C (**Ezzahiri, 2001**).



Figure 04 : Blé affecté par la rouille noire [3]

• **Rouille jaune** : *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* : La rouille jaune apparaît en cours de montaison, généralement du premier nœud à la dernière feuille (**Masson, 2012**). Les pustules sont sous forme globuleuse et de couleur jaune ou orange, disposées en stries le long des nervures des feuilles d'où le nom de l'espèce (**Fig. 05**). Elles peuvent aussi se développer sur la face inférieure des feuilles et sur les épis et les grains (**Aouali et Douici-khalfi, 2013**).



Figure 05 : Feuille de blé infectée par la rouille jaune [4]

- **La rouille brune** : *Puccinia recondita* / *Puccinia triticina* : Elle s'exprime sous forme de pustules de petite taille circulaires ou ovales, oranges ou brunâtres (**Fig. 06**). Elles apparaissent de préférence sur la face supérieure des feuilles, et peuvent être visibles à partir du stade montaison (**Ezzahiri, 2010**).



Figure 06: Feuille de blé attequée par la rouille brune [5]

- ❖ **L'oïdium** : est une maladie qui peut causer des dommages considérables. Les cultivars de blé n'ont pas tous la même sensibilité vis-à-vis de cette maladie. Avec les variétés sensibles, les pertes de rendement peuvent être élevées et atteignent jusqu'à 30 % (**Mustafa, 2015**). L'oïdium du blé, causé par l'agent pathogène *Erysiphe graminis* f.sp. *tritici*, peut attaquer la plante sur toute la durée de la culture (**Masson, 2012**). Les premiers symptômes apparaissent sous forme d'un duvet blanchâtre ou gris pâle sur les limbes des feuilles basales, puis se développent sur les feuilles des étages supérieurs (**Fig. 07**). En cas d'attaque sévère les taches apparaissent aussi sur les gaines des feuilles et les glumes des épis (**Aouali et Douici-Khalfi, 2013**).



Figure 07: Oïdium sur feuille de blé [6]

- ❖ **L'Helminthosporiose** : La tache helminthosporienne est une grave maladie foliaire du blé, elle est causée par le champignon *Pyrenophora tritici-repentis* (Died) Drechs (**Lamari et al., 2005**). Sur feuilles, les premiers symptômes se manifestent par de minuscules points de chlorose qui évoluent vers des nécroses de couleur brun foncé, ordinairement bordées

d'un halo jaune caractéristique (**Fig. 08**). Plus tard, les taches se réunissent et déterminent sur les feuilles de larges plages jaunâtres, puis les feuilles meurent (**Duveiller et al., 1997**).



Figure 08: Symptômes d'helminthosporiose sur feuille de blé [7]

1.2.2. Les maladies transmises par le sol et la semence

Les maladies transmises par le complexe sol et semences sont les plus fréquentes chez le blé (**Nagy et Moldovan, 2006**). La **figure 09** montre la localisation des principales maladies du blé transmises par le sol et la semence sur un grain de blé.

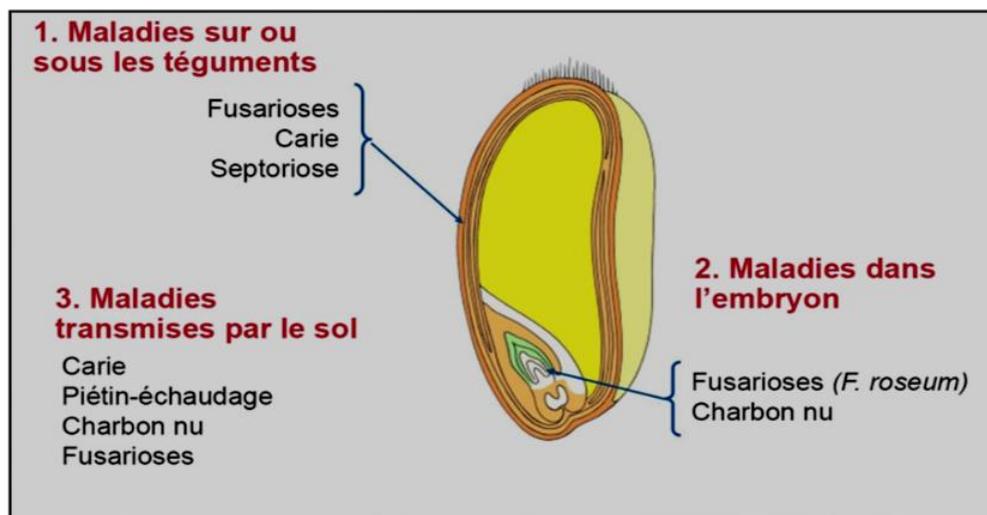


Figure 09 : Localisation des champignons transmis par le sol et la semence sur un grain de blé [8]

❖ **La fusariose de l'épi :** La fusariose de l'épi des céréales est causée par un champignon deutéromycète, *Fusarium graminearum* (**Roger, 1933**). Le blé demeure la céréale la plus sensible à cette maladie. Les épillets affectés avortent et prennent une teinte blanchâtre et un aspect desséché. Une coloration rosée à saumon apparaît à la marge ou à la base des épillets (**Fig. 10**). Les grains sont petits et ridés (**Lacroix, 2008**).



Figure 10: Symptômes de la fusariose sur le blé [9]

Certaines espèces du genre *Fusarium* sont transmises par les semences et toutes les espèces de ce genre sont des champignons du sol capables de s'y conserver sous forme de mycélium et de périthèces dans les débris infectés et sous forme de *chlamydo-spores*. L'infection commence à partir du sol ou des chaumes infectés et concerne les racines et/ou le collet et peut, par la suite, remonter jusqu'aux tiges (Nasraoui, 2008).

❖ **Le charbon du blé :** Le charbon est une maladie qui se manifeste par une masse importante de spores noires charbonneuses ou brun foncé, l'Agent causal est *Ustilago tritici* (Aouali et Douici- Khalfi, 2013). Les symptômes du charbon sont visibles entre la floraison et la maturité. Au début, les épis infectés sont noircis, et apparaissent un peu plutôt que les épis sains. Les enveloppes de la graine, ainsi que leur contenu, sont détruits et remplacés par une masse noirâtre, constitué de spores du champignon (Fig. 11). Ces symptômes ne sont visibles que peu de temps car les spores sont disséminés par le vent. A la maturité des épis, seul le rachis subsiste. Une période de floraison longue avec des températures entre 16 et 22 °C et une hygrométrie importante sont des facteurs favorables à la contamination des graines (Ezzahiri, 2001).



Figure 11 : Charbon nu du blé [10]

❖ **La carie commune** : La carie est traditionnellement présente au niveau des zones à production extensive (**Ezzahiri, 2001**), elle infecte plus de 70 % de la récolte si les blés ne sont pas protégés ou sont cultivés dans des conditions climatiques favorables pour les maladies où les niveaux de l'inoculum sont élevés (**Wilcoxson et Saari, 1996**).

La carie du blé est provoquée par des champignons basidiomycètes de la famille des *Tilletiaceae* : *Tilletia tritici* (syn. *T. caries*) et /ou *T. laevis* (syn. *T. foetida*) (**Bruyere, 2011**). L'agent responsable de la carie se conserve sous forme de téléospores sur la semence et dans le sol (**Ezzahiri, 2001**). Les symptômes n'apparaissent qu'au moment du remplissage des grains. Seule le contenu de grain est transformé en une masse noirâtre (**Fig. 12**), alors que les glumes et les glumelles sont épargnées (**Ezzahiri, 2001**). Parmi les signes indiquant la présence d'épis cariés au niveau d'un champ au moment du remplissage du grain on cite la couleur vert foncé des glumes et des glumelles, l'écartement des épillets du rachi, les plants infectés sont souvent plus courts que les plants sains et de couleur plus foncée (**Aouali et Douici- Khalfi, 2013**).



Figure 12 : Symptômes de la carie du blé sur épis [11]

Lacroix (2008), signale que les spores du champignon se conservent dans le sol ou sur les semences. Elles donnent naissance à un mycélium qui pénètre la plantule dès la germination de la graine, puis progresse vers l'ébauche de l'épi. La contamination s'effectue au moment de la récolte à partir des spores contenues dans les grains infectés.

❖ **Les septorioses du blé** : Deux espèces de septorioses s'attaquent au blé, à savoir la tache septorienne des feuilles et la septoriose des feuilles et des épis (**Belaid, 1996 ; Jlibene, 2011**) :

- **La tache septorienne des feuilles** : causée par le champignon *Zymoseptoria tritici* (forme sexuée : *Mycosphaerella graminicola*), les symptômes débutent par de petites taches de couleur brune rougeâtre irrégulières sur les feuilles inférieures et en particulier sur celles en contact du sol (**Fig. 13**). Les taches sont d'abord délimitées par les

nervures pour ensuite s'étendre longitudinalement et prendre une couleur grise claire. Après l'apparition des nécroses sur les feuillages, on observe des punctuations noires alignées parallèlement qu'on appelle pycnides (Aouali et Douici-Khaifi, 2013).



Figure 13 : Symptômes de la tache septorienne des feuilles du blé [12]

- **La septoriose des feuilles et des épis :** Les symptômes se manifestent aussi bien sur le feuillage que sur les glumes, la gaine des feuilles et les nœuds (Figs. 14 et 15). Sur les feuilles, se forment des taches ovales ou lenticulaires brunes. Elles peuvent être entourées d'une chlorose ou jaunissement périphérique. Lorsque les taches de septoriose sont abondantes sur une feuille, elles se rejoignent pour former de grandes plages nécrotiques. Après quelque temps, des fructifications se forment sur les nécroses et sont visibles sous forme de petites boules soulevant légèrement l'épiderme. Ces boules ou pycnides de couleur brun clair sont beaucoup moins apparentes que celles de *S. tritici*. Plus tard, ces pycnides virent au gris-foncé, et à ce moment là, leur distinction de celles de *S. tritici* devient moins apparente et seul un examen microscopique les différencierait (Ezzahiri, 2001).



Figure 14 : Coloration violacée des glumes causée par la septoriose des épis sur le blé [13]



Figure 15 : Taches de septoriose des épis sur feuilles de blé [14]

Chapitre 02 :
Modalités de lutte contre
les champignons
phytopathogènes

2.1. Intérêt de la lutte contre les maladies

La lutte contre les maladies cryptogamiques du blé vise à minimiser et retarder le développement des maladies, afin d'éviter qu'elles n'atteignent pas les feuilles supérieures qui contribuent à plus de 50 % au remplissage du grain (**Lacroix, 2002**). L'objectif est d'obtenir une récolte abondante et de qualité. La lutte peut être systématique (traitement chaque année à titre préventif), comme elle peut être raisonnée et consiste au traitement lorsque cela s'avère indispensable (**Belahcene et al., 2008**).

2.2. Méthodes de lutte contre les maladies cryptogamiques

2.2.1. Lutte génétique

Cette méthode consiste à l'utilisation de variétés résistantes. La sélection pour la résistance génétique aux maladies fongiques du blé reste la méthode de lutte rapportée comme la plus efficace et la moins coûteuse (**Rapilly, 1991**). Cependant, la résistance n'est pas un caractère stable étant donné qu'elle peut être surmontée par de nouvelles races et souches des agents pathogènes concernés (**Ezzahiri, 2001**).

2.2.2. Lutte culturale

Cette méthode de lutte repose sur le contrôle et le traitement préventif de l'environnement de la plante à protéger afin de le rendre défavorable à ses ennemis. Elle vise plus particulièrement à limiter l'accroissement du taux de l'inoculum dans le sol, et elle consiste selon **Hamel (2015)** à :

- L'utilisation des semences saines.
- L'utilisation de la fumure azotée de façon rationnelle.
- L'élimination des résidus de culture contaminés par incinération ou enfouissement profond.
- La réalisation des rotations d'au moins deux ans en dehors des céréales, cela réduit la densité de l'inoculum.

2.2.3. Lutte biologique

La lutte biologique peut être définie comme étant l'introduction d'un ennemi naturel à un ravageur/pathogène donné pour réduire les dommages causés par ce dernier. Les ennemis naturels ainsi que les ravageurs/pathogènes sont de plusieurs natures: plantes, insectes, nématodes, champignons, bactéries, virus, etc. (**Bojanowski, 2011**).

Lahmar et Zerbita (2015), rapportent que, le principe de la lutte biologique se base sur l'utilisation d'agents pathogènes (virus, bactéries, champignons, ...), également appelés biopesticides. Elle a pour but de maintenir la population d'organismes bioagresseurs en dessous d'un seuil de nuisibilité. C'est une méthode de lutte au moyen d'organismes vivants antagonistes, appelés agents de lutte biologique, sans faire appel à des pesticides.

2.2.4. Lutte chimique

Plusieurs stratégies chimiques permettent de lutter contre l'invasion d'une plante par un champignon de façon directe ou indirecte. La lutte chimique contre les maladies des plantes a commencé en 1865 avec l'utilisation de la bouille bordelaise contre l'oïdium et le mildiou de la vigne. L'emploi d'insecticides (les acides benzoïques, le parathion) et d'herbicides (2.4.D ; acide dichloro-2,4 phénoxyacétique, le MCPA ; chlorométhyl-2phénoxyacétique) n'a eu lieu qu'à la fin de la seconde guerre mondiale (**Richard et al, 1985**).

La lutte chimique contre les champignons responsables des maladies fongiques des plantes, a pour but d'éviter l'apparition de la maladie (traitement préventif) ou de stopper la prolifération de la maladie (traitement curatif). Elle doit être raisonnée en tenant compte de la période de traitement, du produit utilisé, de la dose à appliquer, du spectre d'action de la matière active et de la période de couverture (**Bermond, 2002**).

2.2.4.1. Définition et historique d'apparition des fongicides

Le terme "fongicide" signifie "tuer" (caedo) le champignon (fungus) (**Lhoste, 1960**). Un fongicide est un produit phytosanitaire conçu spécifiquement pour tuer ou contenir la croissance des champignons parasites sur des végétaux ou des organismes vivants (**Corbaz, 1990**).

En 1913 le premier produit fongicide de la chimie organique de synthèse est développé: il s'agit du chlorophénoxychlorure de mercure. En 1931 les premiers dithiocarbamates sont découverts. L'introduction des fongicides systémiques vers la fin des années 1960 ouvre la porte à des fongicides d'une troisième catégorie, parmi ceux –ci se trouvent les benzimidazoles, qui se sont heurtés à des problèmes de résistance des pathogènes, ce qui indiquait que ces composés n'étaient pas une solution finale dans la lutte contre les maladies (**Meeus, 1993**).

2.2.4.2. Les caractéristiques des fongicides

❖ Qualités requises des fongicides

Selon **Corbaz (1990)**, pour qu'un fongicide soit reconnu valable, il doit être homologué par les stations de recherches agronomiques qui leur attribuent un numéro de vente. On exige d'un bon produit les caractéristiques suivantes :

- ✓ Une très haute activité contre un champignon parasite ou un groupe de parasites (les différents mildious, les oïdiums, etc.), la mesure de son activité est donnée par la DL50 (dose létale à laquelle 50 % des organismes meurent).
- ✓ Une phytotoxicité très faible ; c'est-à-dire que la plante traitée ne doit pas subir de dommage, ne serait-ce que sous forme de chlorose.
- ✓ Une faible toxicité pour les animaux à sang chaud, surtout l'homme.
- ✓ Une faible action sur l'environnement ; c'est-à-dire sans action secondaire néfaste pour la flore et la faune.
- ✓ L'étiquette doit mentionner la matière active, la dose d'emploi recommandée, le champ d'application, le numéro de contrôle et la classe de toxicité.

❖ Présentation commerciale

Les produits sont mis en vente sous quatre formes principales (**Corbaz, 1990**) :

• **Les émulsions «Concentré émulsionnable (EC)», Emulsion de type huileux (EO), Emulsion de type aqueux (EW)»** : la matière active est en suspension dans un liquide.

• **Les granulés «Granulés solubles dans l'eau (SG), Granulés à disperser dans l'eau (WG)»**: sont plutôt réservés aux insecticides, mais quelquefois contiennent des fongicides, ils permettent d'épandre la substance au pied des plantes et représentent donc une économie de matière active/ha.

• **Le poudrage «Poudre soluble dans l'eau (SP), poudre mouillable (WP)»**: contiennent en générale, excepté pour certaines spécialités, moins de 10 % de la matière active mélangée à des charges inertes constituant la masse de la présentation commerciale.

• **Les pâtes et crèmes**: la substance fongicide est mélangée avec des produits semi liquide se dissolvant très facilement dans l'eau et dont l'application est pratique pour effectuer les traitements cicatrisants ou de protection des blessures.

2.2.4.3. Classification des fongicides

Divers critères peuvent être choisis pour classer les fongicides. Certains classements mettent en avant les familles chimiques, d'autres les sites d'action métaboliques de ces composés, alors que d'autres vont privilégier la culture sur laquelle ils sont utilisés, etc. De ce fait, il existe de nombreuses classifications proposées pour ces substances actives (**Azzouz, 2012**).

- Classification en fonction de la mobilité du produit dans la plante

La mobilité de la substance antifongique au niveau de la plante varie selon qu'il s'agisse de fongicides systémiques ou non systémiques :

- **Les fongicides systémiques**

Hennouni (2012), rapporte que, les fongicides systémiques pénètrent dans la plante et agissent, après leur transport par la sève. Ces derniers sont classés en deux types :

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

- **Les fongicides systémiques typiques** : sont absorbés par les feuilles, les tiges ou les racines et sont ensuite répandus au niveau de toute la plante par le biais de ses tissus conducteurs (**Fig. 16**), ce qui permet la protection des parties non traitées et celles émergées après l'application du fongicide.

- **Les fongicides non systémiques**

- **Fongicides de contact** : forment une barrière protectrice sur la surface du végétal et empêchent la germination des spores ou le développement du mycélium du champignon responsable de la maladie (**Fig. 16**), ou encore la sporulation qui se produit à la surface de la plante. Les fongicides de contact protègent la plante de l'infection au niveau du site d'application, ils ne pénètrent pas la plante (**Regnault-Roger, 2014**).

- **Fongicides pénétrants** : diffusent peu et se déplacent de la face supérieure de la feuille vers la face inférieure (**Regnault-Roger, 2014**). Ces produits sont susceptibles d'inhiber un parasite présent dans les tissus végétaux, cette propriété est à l'origine de leur activité curative vis-à-vis des champignons parasites (**Fig. 16**). Ils sont pénétrants à l'intérieur de la plante sans transport ultérieur (**Couvreur, 2002**).

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

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

- **Redistribution à l'extérieur des plantes** : Elle se fait par l'intermédiaire de la pluie, de la rosée et également par voie gazeuse (ou voie vapeur).

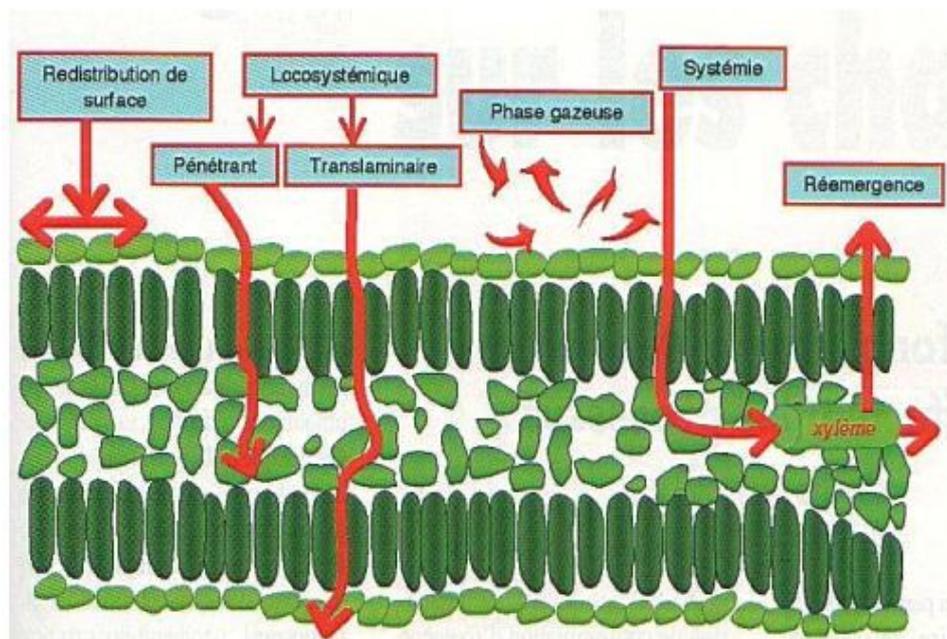


Figure 16 : Déplacement et distribution des fongicides au niveau de la plante (Couvreur, 2002)

- Classification en fonction de leur application par rapport à la pathogénèse

Selon **Corbaz (1990)**, les fongicides peuvent encore être classés en fonction du moment de leur application par rapport à l'infection. On distingue :

• **Les fongicides préventifs** : dits aussi protecteurs de contact ou résiduels, attaquent le pathogène en tant que poisons peu spécifiques, à large spectre d'action (**Corbaz**,

1990). Un produit préventif agit sur les spores avant leur pénétration dans la plante hôte (**Girad, 2010**).

• **Les fongicides curatifs ou chimiothérapeutiques** : traitement dont le but est d'obtenir la guérison d'une culture malade, c'est-à-dire la disparition de la maladie (**Corbaz, 1990**). Ces produits agissent pendant la période d'incubation (**Girad, 2010**).

- Classification en fonction du mode d'action

❖ **Le mode d'action biologique** : Selon leur mode d'action, les fongicides peuvent être subdivisés en deux groupes :

• **Les fongicides à site unique (Unisites)** : Agissent contre un point précis et bien déterminé. C'est le site primaire, à partir de là, une réaction en chaîne peu s'enclencher entraînant de nombreuses perturbations du métabolisme. Ces fongicides sont connus sous le nom d'agents spécifiques, cas par exemple des triazoles et des strobilurines (**Leroux, 2003**). Certains perturbent la respiration mitochondriale en inhibant la succinate déshydrogénase du cycle de Krebs ou la production d'ATP (agent découplants) : on les appelle les SDHI (*Succinate deshydrogenase inhibitor*). D'autres sont actifs sur les membranes en empêchant la formation de l'ergostérol ou en perturbant la biosynthèse des parois par inhibition de la chitine synthase (**Fig. 17**). D'autres encore sont antiméiotiques et perturbent la ségrégation des chromosomes durant la mitose (**Regnault-Roger, 2014**).

• **Les fongicides à sites multiples (les multisites)** : Les fongicides multisites sont parmi les plus anciens à avoir été utilisés ; ce sont les produits minéraux à base de cuivre ou de soufre élémentaire (**Regnault-Roger, 2014**). Ces fongicides sont utilisés soit en pulvérisation sur le feuillage des cultures, soit en traitement des semences. Ils inhibent plus particulièrement la germination des spores (**Fig. 17**). Du fait de leur faible rémanence, leur application doit être régulièrement renouvelée. Plusieurs familles chimiques appartiennent à cette catégorie (**Rocher, 2004**).

❖ **Le mode d'action biochimique** : **Mahdjoub et Magherbi (2018)**, rapportent, que, pour croître et se développer, un champignon a besoin de réaliser un certain nombre de fonctions, en particulier il doit produire de l'énergie (respiration), avoir des échanges avec l'extérieur (perméabilité cellulaire) et doit également produire certaines molécules indispensables à sa survie.

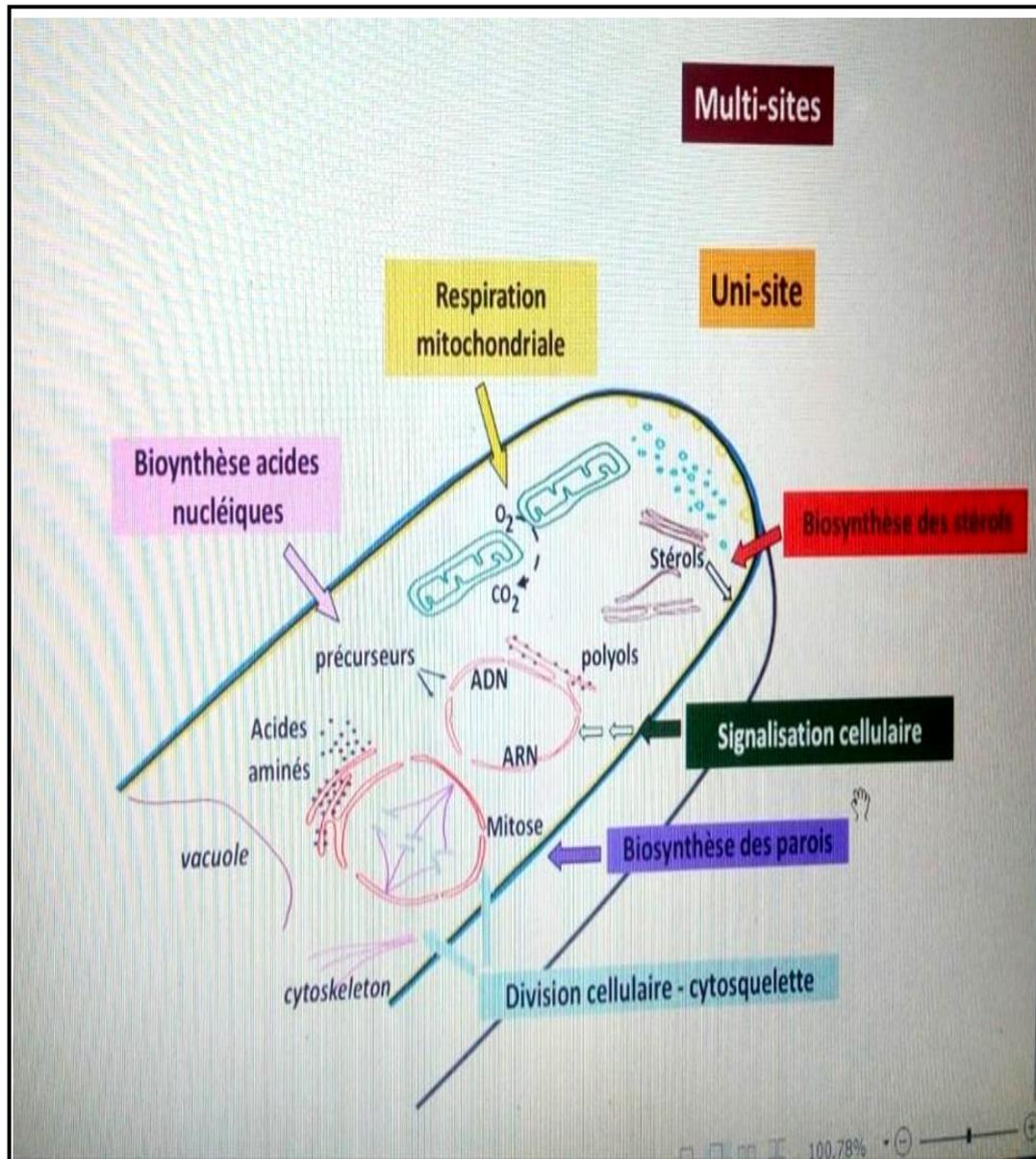


Figure 17 : Principaux sites d'action des fongicides (Debieu *et al.*, 2019)

Lhoste (1960) signale que, le mode d'action des fongicides sur les cryptogames est variable en fonction de la nature chimique des composés :

- **Effet sur les processus respiratoires** : Certains fongicides perturbent la respiration cellulaire par blocage des différentes étapes du catabolisme oxydatif, ainsi que la réduction de la production d'énergie (Amgoud, 2015).

- **Effet sur la synthèse des parois :** Il s'agit de l'inhibition de la synthèse des chitines, glucanes, etc....Selon **Semal (1989)** ce groupe renferme :

- **Les Organophosphorés :** qui empêchent le transfert des précurseurs de chitine au travers de la membrane en inhibant la synthèse de certains phospholipides membranaires.

- **Les Polyoxines :** Inhibent la synthèse de la chitine en agissant comme compétiteur de la chitine synthase. Elles sont inactives sur les oomycètes qui sont dépourvus de chitine.

- **Effet sur les membranes :** Les stérols sont des composants essentiels des membranes cellulaires dont ils régulent la fluidité. L'ergostérol est identifié chez des nombreux champignons, à l'exception de la plupart des oomycètes. Leur biosynthèse s'effectue dans le cytoplasme et les phases terminales (à partir du squalène) sont catalysées par des enzymes microsomaux (**Regnault-Roger, 2014**). Selon **Giraud (2018)**, l'inhibition de la biosynthèse des stérols implique :

- Une altération de la morphologie des cellules fongiques
- Une croissance anormale du champignon
- Des hyphes gonflés et un nombre anormal de branches
- Une accumulation d'acides gras libres et stérols intermédiaires

Ainsi, l'inhibition de l'enzyme **C-14 α -déméthylase** conduit à une déficience en ergostérol et à une accumulation de d'acides gras libres et de stérols, deux effets qui entraînent une altération de la membrane des cellules fongiques, impliquant la mort de la cellule.

- **Effet sur la division cellulaire :** Plusieurs fongicides peuvent perturber cette fonction essentielle par divers mécanismes : combinaison puis blocage de la tubuline des tubules et microtubules comme le font les fongicides de type phényl-carbamates et benzimidazoles (**Periquet et al., 2004**).

- **Effet sur la synthèse de la mélanine :** Les mélanines sont des pigments noirs polyphénoliques synthétisés par de nombreux organismes dont les champignons. Les inhibiteurs de la biosynthèse des mélanines modifient la pigmentation du champignon en agissant sur des

enzymes réductases ou des déshydratases, ce qui provoque l'accumulation de précurseurs des mélanines et modifie la pénétration transmembranaire fongique (Regnault-Roger, 2014).

2.2.4.4. Phénomènes de résistances des champignons aux fongicides

L'application des produits chimiques, même si elle est surveillée, entraîne une pression de sélection sur les organismes nuisibles et engendre des mécanismes de résistance. Le FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) : définit la résistance comme une réduction héréditaire acquise de la sensibilité d'un champignon à un agent antifongique (ou fongicide) spécifique (Nysten, 2018).

La résistance à un fongicides correspond à une modification génétique d'un pathogène qui devient moins sensible à une substance active donnée (Leroux, 1981). Plusieurs mécanismes déterminent la résistance d'un champignon à un toxique (Fig. 18).

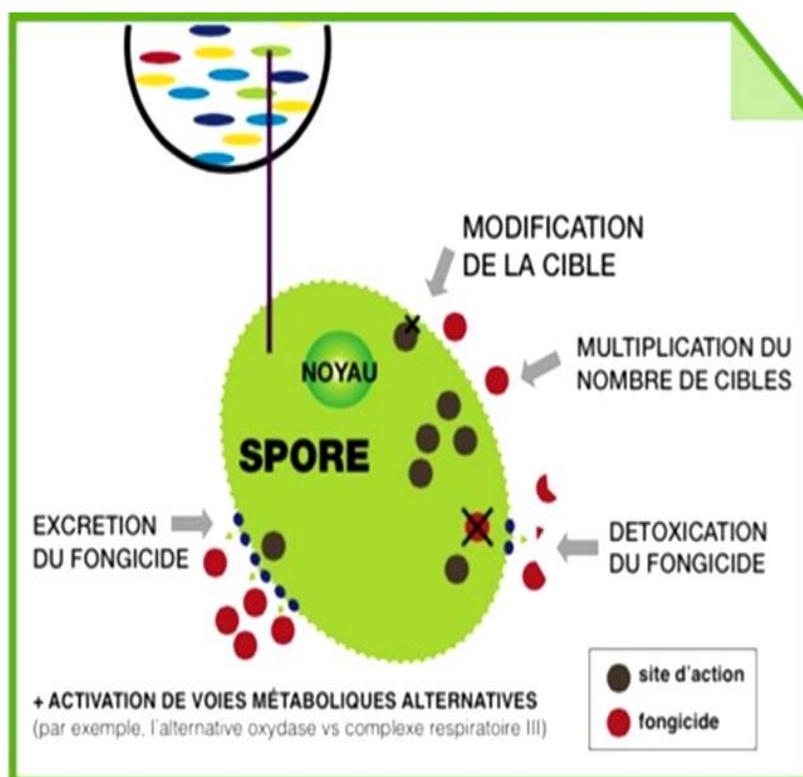


Figure 18 : Les mécanismes de résistance des champignons aux fongicides [15]

Selon **Leroux (1993)**, la résistance des champignons phytopathogènes aux toxiques est déterminée par des gènes chromosomiques : un seul gène (déterminisme monogénique) ou peut être conférée à la présence simultanée de plusieurs gènes (déterminisme polygénique). **Leroux (1981)**, signale qu'une modification génétique affectant un seul processus biochimique, essentiel à l'expression de l'effet toxique chez le parasite est susceptible de donner naissance à une souche résistante qui peut avoir :

- **Une résistance croisée positive** : si cette même souche du champignon résiste simultanément à deux fongicides, et les mêmes gènes sont impliqués dans ce phénomène.
- **Une résistance double** : si des gènes différents sont concernés.
- **Une résistance croisée négative** : si un même gène entraîne simultanément la résistance à un composé donné et la sensibilité à un autre.

Parmi les facteurs favorisant un développement rapide de la résistance, certains sont liés au parasite et aux conditions de son développement alors que d'autres dépendent du fongicide et des modalités de son utilisation ; ainsi, la résistance apparaît plus rapidement chez un parasite ayant plusieurs cycles annuels et susceptible de produire un grand nombre de spores facilement disséminables que chez celui n'ayant qu'un cycle par saison. Par ailleurs, des conditions climatiques ou culturales favorables aux maladies fongiques (fumures déséquilibrées, choix de variétés végétales très productives mais sensibles, rotation simplifiée), favorisent le développement de la résistance (**Houmy, 2001**).

2.2.4.5. Procédés de traitement des semences par les fongicides

Abessolo-Meye et al. (2013), signalent que, selon la procédure d'application du traitement, on distingue :

- **Les traitements de surface**, c'est la méthode la plus fréquente, par application d'une ou plusieurs matières actives.

- **Le pelliculage**, qui consiste à fixer sur les semences une substance inerte (polymère) en une ou plusieurs couches formant, lors du séchage une pellicule microporeuse autour du grain.

- **Les enrobages**, c'est l'application des matériaux solides (argile, farine, cellulose...) sous forme de capsule, pouvant provoquer des modifications de la forme et du poids de la semence.

2.2.4.6. Conditions d'application des fongicides

Polaris (2004), rapporte que le traitement phytosanitaire doit être effectué en prenant en considération plusieurs facteurs :

- **Selon la météo** : Les conditions météorologiques doivent être favorables :
 - Température : le traitement doit être appliqué pendant les heures les moins chaudes de la journée, tôt le matin ou enfin d'après-midi.
 - Pas de vent.
 - Pas de pluie

- **Selon la dose de produits** : Lors des préparations ou des recharges de bouillies, il faut respecter les doses calculées en mesurant avec éprouvette ou un verre doseur.

- **Selon la bonne application de la bouillie** : il faut,
 - Veiller au bon fonctionnement du matériel de traitement à intervalles réguliers : matériel adapté, en bon état et bien réglé.
 - Respecter les conditions d'épandage trouvées lors de l'étalonnage : vitesse d'avancement et largeur.
 - Utiliser la bouillie dans un délai de 24 heures. Au-delà, elle est inefficace.

- **Ne pas traiter à proximité de points d'eau.**

Chapitre 03 :

Matériel et Méthodes

3.1. Objectif de l'étude

Rappelons que, cette étude entre dans le cadre de la collaboration entre l'université 8 mai 1945 de Guelma et l'institut technique des grandes cultures (I.T.G.C. de Guelma). Le but est d'évaluer un fongicide nouvellement introduit en comparaison avec un fongicide homologué et commercialisé en Algérie, utilisé pour le traitement de semence contre les différentes maladies fongiques du blé.

3.2. Caractéristiques du site d'essai

3.2.1. Localisation

L'étude a été réalisée durant la campagne **2019-2020** au niveau de la parcelle d'expérimentation de l'institut technique des grandes cultures (I.T.G.C.) de Guelma (**Fig. 19**), qui se situe au Sud-Ouest de la ville, à une altitude de 292 m. Les coordonnées géographiques correspondant à la wilaya de Guelma sont comme suit :

- Latitude 36° 27' Nord
- Longitude 7°27'Est

La station s'étale sur une superficie de 34 ha, dont 30 ha réservée à la multiplication de semences et 4 ha pour les essais d'expérimentation.



Figure 19: Localisation de l'ITGC de Guelma, site de l'essai [16]

3.2.2. Caractéristiques climatiques

La wilaya de Guelma se caractérise par un climat de type méditerranéen continental, elle se situe dans l'étage bioclimatique subhumide, caractérisé par deux longues saisons, un été sec et chaud et un hiver froid et pluvieux. Les données climatiques relevées de la station météorologique de Belkheir-Guelma (O.N.M.) sur la période allant du mois de Septembre 2019 au mois de Juin 2020 illustrent le climat qui a caractérisé notre zone d'étude :

- Pluviométrie

La quantité des pluies cumulée pendant la période de culture s'étalant entre le mois de Septembre et le mois de Juin est de 482.8 mm. Les moyennes mensuelles de la campagne 2019-2020 enregistrées dans la wilaya de Guelma sont indiquées dans le **tableau 02**.

Tableau 02: Moyennes mensuelles des précipitations de la campagne 2019-2020 à Guelma (Données de l'ITGC)

Mois	Précipitation (mm) 2019/2020	Moyenne de 20 ans (mm)
• Septembre	97	36.65
• Octobre	102	42.14
• Novembre	64	81.10
• Décembre	08	79.31
• Janvier	37	71.58
• Février	02	70.23
• Mars	76	61.53
• Avril	74.80	62.54
• Mai	12.20	50.26
• Juin	11.70	11.81
• Cumul	482.8	567.15

La **figure 20** illustre la répartition mensuelle des précipitations dans la wilaya de Guelma pendant la période de culture.

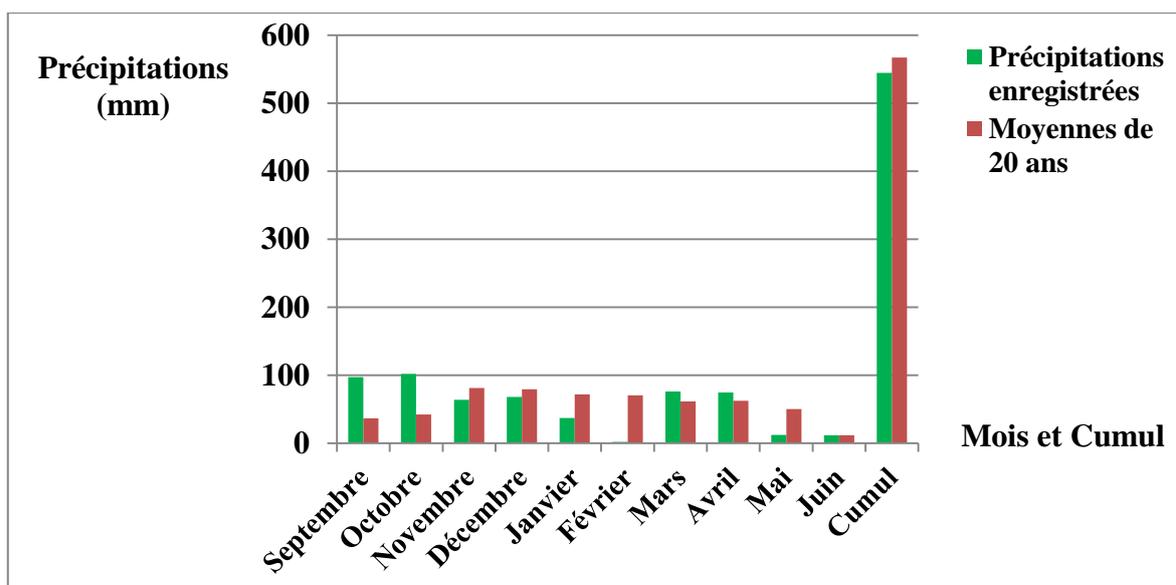


Figure 20 : Répartition mensuelle de la pluviométrie durant la campagne agricole 2019/2020 (Données de l'ITGC)

L'examen des valeurs enregistrées montre que le mois d'octobre était le mois le plus pluvieux (102 mm), et le mois de Février était le mois le plus sec (02 mm), suivi du mois de décembre (08 mm). Le cumul enregistré de septembre à juin (482.8 mm) est légèrement inférieur à la moyenne de 20 ans enregistrée dans la région (567.15 mm).

- Température

Les moyennes mensuelles des températures enregistrées dans la région de Guelma pendant la campagne 2019-2020 sont indiquées dans le **tableau 03**, le mois le plus chaud était le mois de septembre et le plus froid c'était le mois de décembre.

Tableau 03 : Moyennes mensuelles de température dans la région de Guelma (2019/2020) (Données de l'ITGC)

Mois / Paramètres	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
T° moyenne Min. (°C)	13.7	10.5	2.9	2.6	0.1	1.2	2.0	3.4	9.4	11.5
T° moyenne Max. (°C)	36.5	34.7	25.1	24.6	20.9	27	27.1	32.4	37	37.5
T° moyenne (°C)	25.1	22.6	14	7.85	10.5	11.7	14.55	17.9	23.2	24.5

3.2.3. Caractéristiques pédologiques

Les caractéristiques du sol de la station sont résumées dans le **tableau 04**.

Tableau 04 : Caractéristiques pédologiques du site d'essai (Adjabi et Sekrani, 2019)

Texture du sol	Argilo-limoneuse.
Taux de la matière organique	2.20%
Teneur en carbonates	3.78%
pH	7.1
Conductivité électrique	37.8 μ s/cm.
Taux des sels solubles	18.5 mg/L.

3.3. Matériel utilisé

3.3.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est représenté par une seule variété de blé tendre (**MAOUNA**) fourni par l'I.T.G.C. de Guelma, ses caractéristiques sont indiquées dans le tableau 05.

Tableau 05 : Caractéristiques de la variété Maouna (ITGC)

Variété	Maouna
Origine	ACSAD
Lieu de sélection	ITGC de Guelma
Caractéristiques morphologiques	Compacité de l'épi : moyenne Couleur de l'épi : blanc Hauteur de la plante à la maturité : 85cm Glaucescence du limbe : moyenne
Caractéristiques technologiques	Date de semi : novembre Dose de semi : 140-150 kg Fertilisation (unité/hectare) Azoté : 90-120 Phosphatée : 80-100
Caractéristiques Culturelles	Alternativité : hiver Cycle végétatif : précoce Tallage : dressé Résistance : Au froid : résistante A la verse : résistante A la sécheresse : résistante Egrenage : faible Résistance aux maladies : Oïdium : résistante Septoriose : résistante
Zone d'adaptation	Sub-littorale
Caractéristiques Qualitatives	Poids de mille grains (PMG) : 44g
La productivité :	Rendement moyen : 56 quintaux / hectare

3.3.2 Fongicides utilisés

✚ Fongicide homologué : Tébuconazole (60g/L).

Le fongicide homologué (Tébuconazole) est un produit systémique utilisé pour le contrôle des maladies fongiques des semences des céréales.

- Il est utilisable sur céréales à paille (blés, orges, avoine).
- Il est persistant en particulier sur septorioses, charbon, carie.
- Il présente une très bonne sélectivité vis-à-vis des céréales.

Selon **Rivale (2020)**, les caractéristiques de ce fongicide sont comme suit :

- **Formulation** : suspension concentrée (SC).
- **Famille chimique** : Triazole
- **Matière active** : Tébuconazole (60g/L), inhibe la biosynthèse des ergostérols.
- **Mode d'action** : systémique, pénètre à travers les téguments puis il est véhiculé dans la graine et la jeune tige.
- **Mode d'emploi et dose d'utilisation** : appliqué sur la semence avant le semi à la dose de 50 mL/quintal dilué dans 550 mL d'eau.
- **Compatibilité** : compatible avec les insecticides destinés aux traitements de semences.

✚ Fongicide testé

Le fongicide testé et comparé au fongicide homologué (Tébuconazole 60g/L) est un produit biologique à base de *Bacillus subtilis*, utilisé pour le contrôle des maladies fongiques des semences et/ou foliaires des céréales.

Les caractéristiques du produit sont mentionnées dans le **tableau 06**.

Tableau 06 : Caractéristiques du produit testé (Données de l'I.T.G.C.)

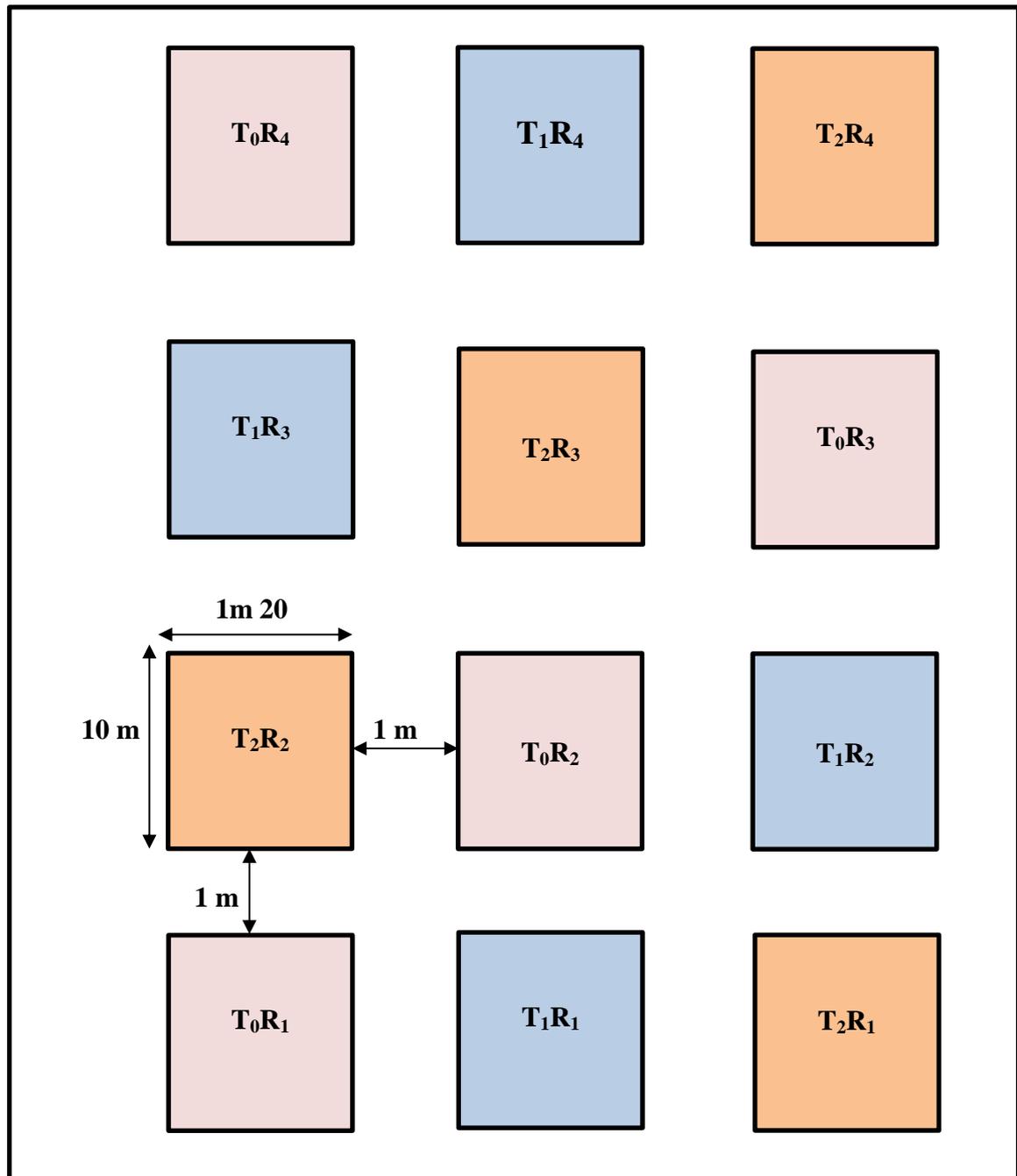
Formulation	Poudre mouillable (WP).
Matière active et concentration	Une <i>Bacillus subtilis</i> , souche IPM-275.
Application	Traitement de semence et/ou foliaire

3.4. Installation et conduite de l'essai

L'essai a été installé selon le dispositif expérimental adopté pour cette expérimentation, le bloc aléatoire complet (BAC) avec 03 traitements en quatre répétitions, chaque répétition comprend trois micro-parcelles de 12 m² (1.2 m x 10 m), une micro-parcelle témoin et deux micro-parcelles comportant les différents produits fongicides (fongicide homologué et fongicide testé). Chaque micro-parcelle comprend 4 lignes de 10 m, avec 20 cm d'interligne et la distance entre les micro-parcelles étant de 1 m (**Fig. 21**).

Les opérations effectuées sont comme suit :

- 1- Labour profond à la fin du mois d'août 2019 à l'aide d'une charrue à trisocs.
- 2- Un passage du cultivateur avant le semis pour la préparation du lit de semences (Recroisement à la fin du mois d'octobre à l'aide de la herse).
- 3- En date du 02/12/2019 nous avons procédé à l'application des produits sur la semence. Le produit homologué est appliqué à la dose de 50 mL/q, et le produit testé est appliqué à la dose de 300 g/q.
- 4- L'apport de l'engrais de fond (MAP) a été effectué le 03/12/2019 à la dose de 177 kg/ha.
- 5- Le semis a eu lieu le 03 décembre 2019 selon la dose estimée (148 kg/ha).
- 6- Un 1^{er} apport d'engrais de couverture avec Urée 46% au semis.
- 7- Un désherbage chimique a été réalisé le 02/02/2020 avec l'herbicide Cossack^{OD}.
- 8- Un 2^{ème} apport d'engrais de couverture avec l'Urée 46 % le 09/02/2020 (au stade tallage).



T0 : Témoin (sans traitement fongicide).

T1 : Fongicide testé.

T2 : Fongicide homologué.

R1, R2, R3, R4 : Répétitions

Figure 21 : Schéma du dispositif expérimental de l'essai

3.5. Traitements fongicides en végétation

Durant le développement végétatif de la culture, une application du fongicide testé a été faite à la fin du stade montaison en date du 02/03/2020, à la dose de 3 kg /ha dissous dans 8 L d'eau, après l'apparition des premiers symptômes des maladies sur les plantes, puis au stade Grain laiteux, en date du 06/05/2020, à la même dose, à l'aide d'un pulvérisateur à dos.

3.6. Paramètres étudiés

3.6.1. Notation des maladies

La notation des maladies a été faite après 7 jours et 14 jours de la première application du produit testé (stade montaison), puis après 7 jours de la deuxième application du produit (stade grain laiteux), par observation des symptômes, l'identification de la maladie par utilisation de guides, et estimation de l'attaque à l'œil nu. Deux paramètres ont été déterminés pour chaque maladie enregistrée :

❖ La sévérité des maladies

Elle est représentée par la quantité de tissus végétaux infectés par rapport à la totalité de la plante. Selon **Kamel (1994)**, l'intensité d'attaque de la maladie sur la plante détermine la gravité de l'infection.

Le même auteur, signale que la détermination des maladies foliaires des céréales, notamment, le mildiou, les septorioses, la rhynchosporiose, les Helminthosporioses, les oidiums et la tache auréolée, se fait selon l'échelle graduée de zéro à neuf (**Fig. 22**), conçue par **Saari et Prescott**. Les signes et les indications de cette échelle sont indiqués dans le **tableau 07**.



Figure 22 : Echelle de notation des maladies foliaires des céréales
(Kamel, 1994)

❖ **L'incidence des maladies**

Elle est représentée par le pourcentage d'attaque ou d'infection. L'incidence d'une maladie dans une parcelle est déterminée par la mise d'un cadran d'un mètre carré au hasard dans chaque micro-parcelle de l'essai, le nombre des plantes infectées est recensé et l'incidence sera calculée par rapport au nombre total, puis une moyenne est calculée en utilisant les résultats obtenus pour toutes les micro-parcelles.

$$\text{Incidence d'attaque (\%)} = \frac{\text{Nombre de plantes malades}}{\text{Nombre total des plantes observées}} * 100$$

Tableau 07 : Signes et indications de l'échelle de notation des maladies foliaires des céréales
(adapté de **Kamel,1994**)

Notation (Signe)	Signification et état de l'infection
[0]	Zéro : Il n'existe aucune infection visible.
[0E]	Zéro(échappement) : On n'observe aucune infection ; or ceci n'est probablement pas dû à la résistance de la plante ; mais au fait que celle-ci échappe à la maladie.
[1]	Résistante : Taches peu nombreuses et dispersées sur les feuilles basales seulement.
[2]	Résistante :Taches éparées sur les feuilles de second rang, mais celle de premier rang sont gravement atteintes.
[3]	Résistante :Peu de taches sur le tiers basal de la plante, et les feuilles de la base sont moyennement atteintes.
[4]	Moyennement-résistante :Lésions éparées atteignant presque la moitié de la plante : l'infection des feuilles basales est moyenne, mais celle des feuilles supérieures reste légère et ne produit que des taches éloignées les unes des autres.
[5]	Moyennement-sensible : Lésions intenses sur les feuilles de la base et moyennes à faibles sur celles qui vont jusqu'à la limite de la moitié inférieure de la plante, sans la dépasser.
[6]	Moyennement-sensible : Lésions intenses sur la tiers basal de la plante, moyenne sur lesfeuilles du milieu et éparées sur celle de la partie supérieure.
[7]	Sensible : Lésions intenses sur le tiers basal de la plante et sur les feuilles du milieu, mais très légères sur la feuille drapeau.
[8]	Sensible : Lésions intenses sur les feuilles de la base et du milieu, et moyennes à intenses sur le tiers supérieur de la plante, la feuille drapeau étant atteinte aussi.
[9]	Très sensible : Toutes les feuilles sont gravement atteintes, même les épis peuvent être infectés.
[N]	Ce signe représente une impossibilité de lecture à cause du dessèchement des feuilles déjà atteintes d'une autre maladie.

3.6.2. Paramètres morphologiques

- La hauteur des plantes

La hauteur des plantes a été mesurée à l'aide d'un mètre-ruban, dans les différentes unités expérimentales (4 échantillons /micro-parcelle), au stade Grain laiteux.

3.6.3. Paramètres agronomiques

3.6.3.1. Nombre de plants par mètre carré (m²)

Le nombre de plants /m² a été déterminé au stade levée à l'aide d'un «mètre-carré» (**Fig. 23**) et ce pour chaque micro-parcelle élémentaire.



Figure 23 : Méthode de détermination du nombre de plants /m²
(Photo personnelle, 2020)

3.6.3.2. Nombre de talles/ plant

Le nombre de talles / plant a été déterminé au stade plein tallage, à raison de trois échantillon pour chaque micro-parcelle, puis une moyenne est calculée pour chaque répétition de chaque traitement.

3.6.3.3. Nombre d'épis par mètre carée (m²)

Le nombre d'épis /m² a été déterminé au stade épiaison à l'aide d'un « mètre-carré » (**Fig. 24**) et ce pour chaque micro-parcelle élémentaire.



Figure 24 : Méthode de détermination du nombre d'épis /m²
(Photo personnelle, 2020)

3.6.3.4. Nombre d'épillets par épi

Le nombre d'épillets par épi a été déterminé au stade florison pour chaque micro-parcelle, à raison de quatre épis pris au hasard pour chaque parcelle élémentaire, puis une moyenne est calculée pour chaque répétition.

3.6.3.5. Nombre de grains par épi

Le nombre de grains par épi a été déterminé au stade grain pâteux, à raison de quatre épis pris au hasard pour chaque parcelle élémentaire, puis une moyenne est calculée pour chaque répétition.

3.6.3.6. Poids de mille grains (PMG)

Après la récolte, des échantillons de mille grains sont pesés à l'aide d'une balance de laboratoire, puis une moyenne est calculée pour chaque répétition de chaque traitement.

3.6.3.7. Rendement par hectare (ha)

Le rendement moyen par hectare a été déterminé après la récolte pour chaque traitement.

3.7. Analyse statistique des résultats

Le calcul des moyennes et écart-types pour les différents paramètres étudiés a été effectué en utilisant EXCEL STAT (version 2010).

Une analyse de la variance a été conduite pour les résultats obtenus, en utilisant le logiciel MINITAB, version 2018, à fin de déduire l'importance des variations entre les traitements, et le test de Dunnett a été utilisé pour déduire les variations entre le témoin et les différents traitements fongicides testés, en utilisant le même logiciel.

Chapitre 04 :

Résultats et discussion

4.1. Efficacité des produits testés contre les maladies enregistrées

Nous tenons à signaler que deux maladies cryptogamiques, seulement ont été enregistrées dans la parcelle d'essai : l'oïdium, causé par le champignon ascomycète *Blumeria graminis* f.sp. *tritici*, et la rouille brune du blé causée par le champignon basidiomycète *Puccinia recondita* f.sp. *tritici* (Fig. 25).

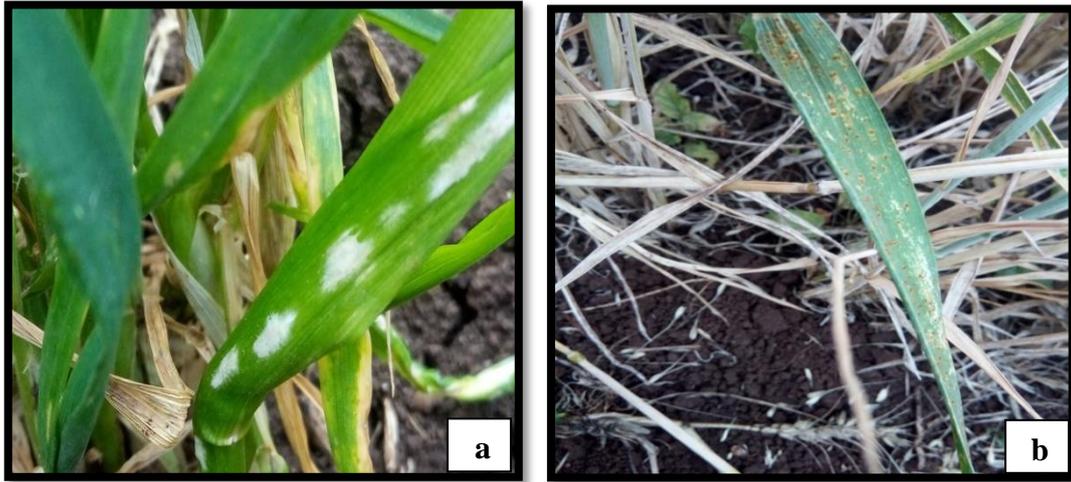


Figure 25 : Maladies observées au niveau de la parcelle d'essai
(a) : Oïdium, (b) : la rouille brune (Photos personnelles)

4.1.1. Efficacité des produits testés contre la rouille brune

4.1.1.1. Incidence de la maladie

La situation sanitaire du pays et du monde entier, imposée par la pandémie du COVID 19, a entravé le bon déroulement de nos interventions au niveau de la parcelle d'expérimentation, et les notations de la rouille brune ont été faites très tardivement après l'application des traitements fongicides, et trois notations ont été faites : après 49 jours et 63 jours, après le premier traitement (1), et après 07 jours du deuxième traitement (2).

Les résultats obtenus (Fig. 26) ont montré que l'incidence de la rouille brune a diminué dans toutes les unités expérimentales traitées comparativement au témoin et ce durant toutes les périodes de notation.

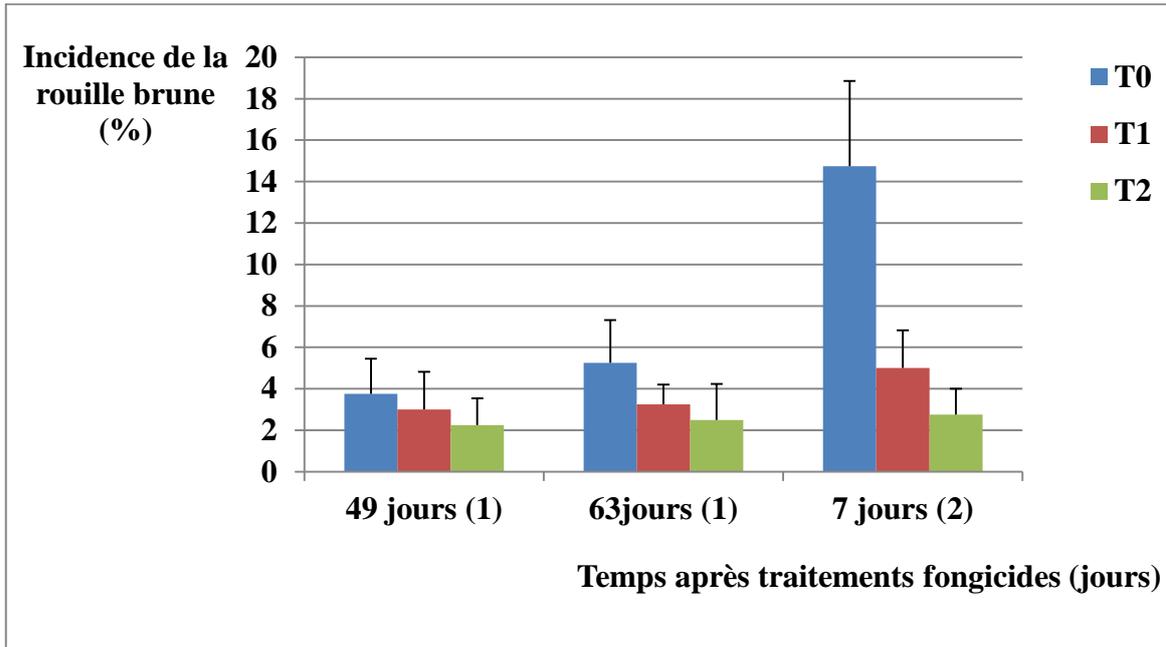


Figure 26 : Incidence de la rouille brune pour les différents traitements fongicides (Après le premier et le deuxième traitement)

Après 7 jours du deuxième traitement, nous remarquons que la différence dans l'incidence de la rouille brune, entre les blocs traités et le témoin est très franche, et des différences très hautement significatives ont été notées entre les traitements et le témoin (**Tab. 07**). Le traitement T2 (Produit homologué : Tébuconazole 60 g/L) a donné le meilleur résultat, avec une moyenne de 2.75 % contre une moyenne de 14.75 % chez le témoin (**Tab. 08**).

Tableau 08 : Incidence de la rouille brune (%) après l'application des traitements fongicides

	Après 49 jours du 1 ^{er} traitement			Après 63 jours du 1 ^{er} traitement			Après 7 jours du 2 ^{ème} traitement		
	T 0	T 1	T 2	T 0	T 1	T 2	T 0	T 1	T 2
Moyenne ± σ	3.75 ± 1.707	3 ± 1.825	2.5 ± 1.290	5.25 ± 2.061	3.25 ± 0.957	2.5 ± 1.732	14.75 ± 4.112	5 ± 1.82	2.75 ± 1.258
		NS	NS		NS	NS		***	***

NS : Différences non significatives (pour $\alpha = 0.05$)

*** : Différences très hautement significatives (pour $\alpha = 0.001$)

Moreau (2008), signale que les strobilurines sont très efficaces sur la rouille brune, de même que certaines triazoles (Epoconazole, Tébuconazole et Cyproconazole), et le mélange de ces deux familles permet des solutions très efficaces.

L'analyse de la variance conduite par les résultats obtenus a affiché des différences non significatives entre les traitements pour les notations de 49 j. et 63 j. après le 1^{er} traitement (**Tab. 09 et 10**), et des différences très hautement significatives entre les traitements pour la notation de 07 j. après le deuxième traitement (**Tab. 11**).

Tableau 09 : Analyse de la variance de l'incidence de la rouille brune
après 49 jours du 1^{er} traitement

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	3.167	1.583	0.60	0.569	NS
Erreur	9	23.750	2.639			
Total	11	26.917				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

NS : Différences non significatives ($p > 0.05$).

Tableau 10 : Analyse de la variance de l'incidence de la rouille brune
après 63 jours du 1^{er} traitement

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	16.17	8.083	2.97	0.102	NS
Erreur	9	24.50	2.722			
Total	11	40.67				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

NS : Différences non significatives ($p > 0.05$).

Tableau 11 : Analyse de la variance de l'incidence de la rouille brune après 7 jours du 2^{ème} traitement

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	325.50	162.750	22.36	0.000	***
Erreur	9	65.50	7.278			
Total	11	391.00				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

***: Différences très hautement significatives ($p < 0.001$).

4.1.1.2. Sévérité de la maladie

La **figure 27** montre que la sévérité de la rouille brune a enregistré une diminution remarquable dans les blocs traités comparativement au témoin non traité, le traitement T2 (produit homologué) a montré une très bonne efficacité contre la maladie, notamment après 7 jours du deuxième traitement.

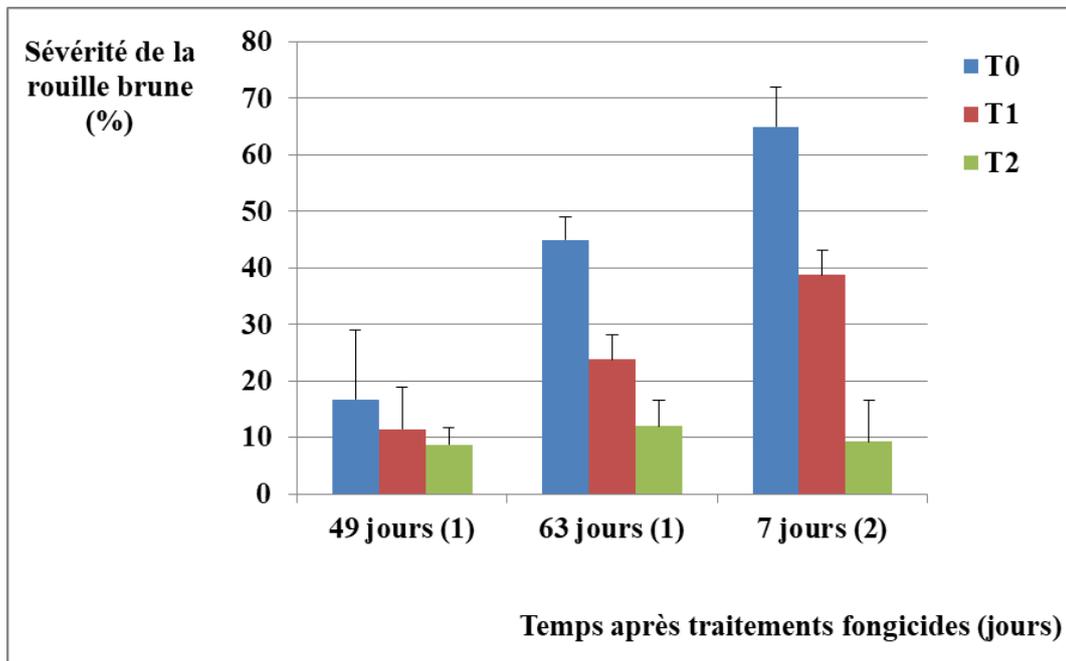


Figure 27 : Sévérité de la rouille brune pour les différents traitements fongicides

Des différences très hautement significatives ont été notées entre le témoin et le traitement T2 (Tébuconazole 60g/L), pour toutes les périodes de notation, et entre le témoin et le traitement T1, du produit testé (*Bacillus subtilis*), pour les notations après 63j. du premier traitement et 7 j. après le deuxième traitement (**Tab. 12**).

Tableau 12: Sévérité de la rouille brune (%) après l'application des traitements fongicides

	Après 49 jours du 1 ^{er} traitement			Après 63 jours du 1 ^{er} traitement			Après 7 jours du 2 ^{ème} traitement		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2
Moyenne ± σ	16.75 ± 3,947	11.5 ± 4,434 NS	8.75 ± 4,573 ***	45 ± 7.071	23.75 ± 4.434 ***	12 ± 7.257 ***	65 ± 12,247	38.75 ± 25,289 ***	9.25 ± 2,986 ***

NS : Différences non significatives (pour $\alpha = 0.05$).

******* : Différences très hautement significatives (pour $\alpha = 0.001$).

L'analyse de la variance a affiché des différences non significatives entre les traitements pour la notation de 49 j. (**Tab. 13**), et des différences très hautement significatives entre les traitements pour les périodes de notation de 63 j. après le premier traitement (**Tab. 14**) et de 7 j. après le deuxième traitement (**Tab. 15**).

Tableau 13 : Analyse de la variance de la sévérité de la rouille brune après 49 jours du 1^{er} traitement.

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	132.2	66.08	3.53	0.074	NS
Erreur	9	168.5	18.72			
Total	11	300.7				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

NS : Différences non significatives ($p > 0.05$).

Tableau 14 : Analyse de la variance de la sévérité de la rouille brune après 63 jours du 1^{er} traitement

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	2948.7	1474.33	36.16	0.000	***
Erreur	9	367.0	40.78			
Total	11	3315.7				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

*** : Différences très hautement significatives ($p < 0.001$).

Tableau 15 : Analyse de la variance de la sévérité de la rouille brune après 7 jours du 2^{ème} traitement

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	6693.2	3346.58	46.66	0.000	***
Erreur	9	645.5	71.72			
Total	11	7338.7				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

*** : Différences très hautement significatives ($p < 0.001$).

4.1.2. Efficacité des produits contre l'oïdium

4.1.2.1. Incidence de la maladie

Les résultats obtenus (**Fig. 28**) ont montré que l'incidence de l'oïdium a été élevée au niveau de la parcelle non traité comparativement aux deux parcelles traitées durant toutes les périodes de notation. Pour l'oïdium qui s'est déclenché au début du stade végétatif nous avons pu faire des notations après 7 jours et après 15 jours du premier traitement, puis la maladie a disparu avec élévation des températures en mois de Mai et Juin.

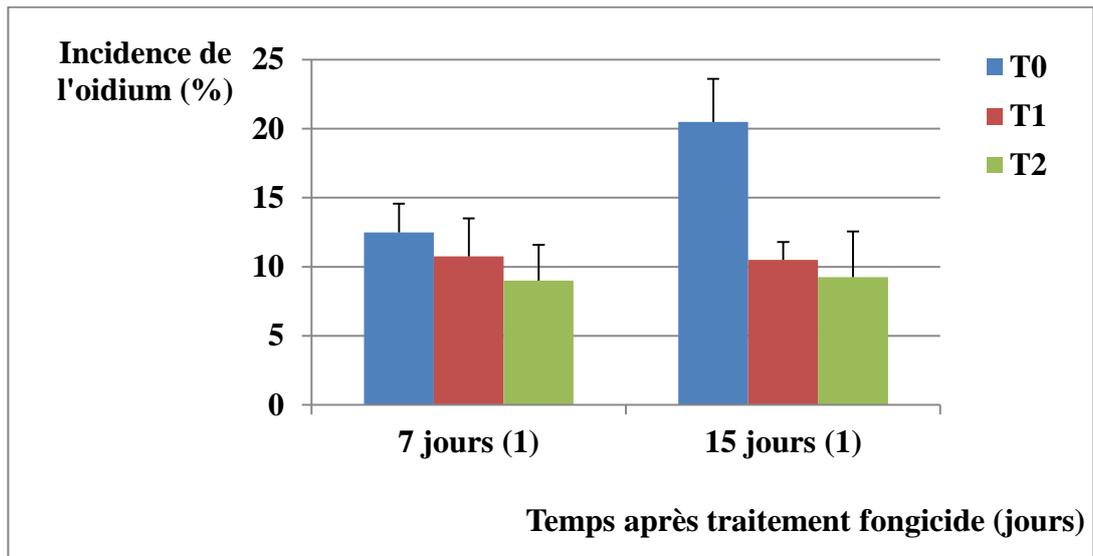


Figure 28 : Incidence de l'oidium pour les différents traitements fongicides (Après le premier traitement)

Des différences très hautement significatives ont été notées entre le témoin et les deux traitements fongicides à la notation de 15 jours après le traitement (**Tab. 16**).

Tableau 16 : L'incidence de l'oidium après l'application des traitements fongicides

	Après 07 jours du 1 ^{er} traitement			Après 15 jours du 1 ^{er} traitement		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2
Moyenne ± σ	12.5 ± 2.081	10.75 ± 2.753 NS	9 ± 2.581 NS	20.5 ± 3.109	10.5 ± 1.290 ***	9.25 ± 3.304 ***

NS : Différences non significatives (pour $\alpha = 0.05$).

*** : Différences très hautement significatives (pour $\alpha = 0.001$).

L'analyse de la variance a montré des différences non significatives entre les traitements pour la notation de 7 jours (**Tab. 17**) et des différences très hautement significatives pour la notation de 15 jours après l'application du traitement (**Tab. 18**).

Tableau 17 : Analyse de la variance de l'incidence de l'oïdium après 07 j. du traitement

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	24.50	12.250	1.98	0.194	NS
Erreur	9	55.75	6.194			
Total	11	80.25				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

NS : Différences non significatives ($p > 0.05$).

Tableau 18 : Analyse de la variance de l'incidence de l'oïdium après 15 j. du traitement

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	304.17	152.083	20.51	0.000	***
Erreur	9	66.75	7.417			
Total	11	370.92				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

*** : Différences très hautement significatives ($p < 0.001$).

4.1.2.2. Sévérité de la maladie

La sévérité de l'oïdium du blé déterminée selon l'échelle de **Saari** et **Prescot**, enregistrée dans les parcelles traitées par les différents fongicides était faible par rapport au témoin non traité et ce pour les deux périodes de notation après le traitement fongicide effectué (**Fig. 29**).

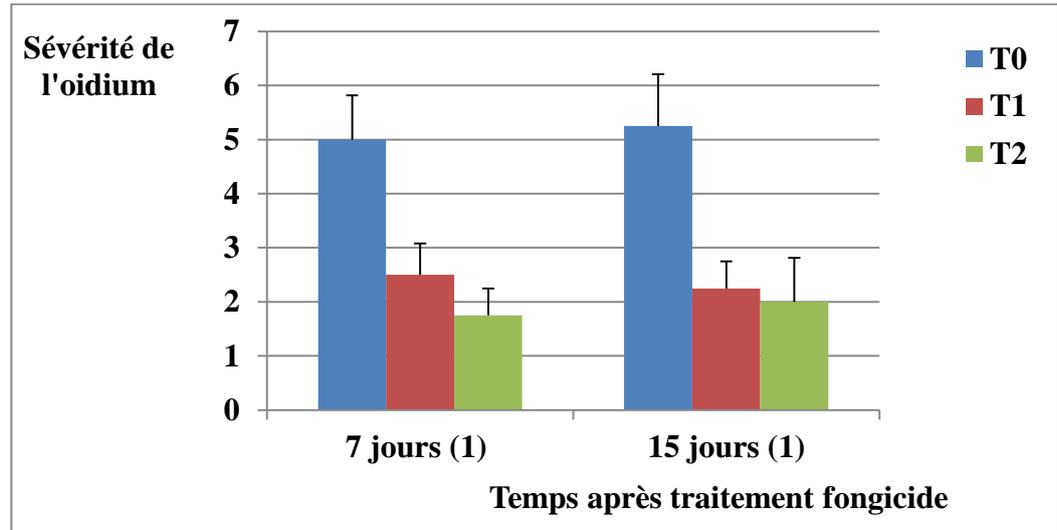


Figure 29 : Sévérité de l'oïdium pour les différents traitements fongicides (Après le premier traitement)

Après 07 jours du traitement la sévérité la plus faible de l'oïdium du blé a été notée chez les plantes traitées par le produit homologué (Tébuconazole 60 g/L), pour lequel nous avons noté une moyenne de 1,75, alors que pour le produit testé à base de *Bacillus subtilis* nous avons noté une moyenne de 2,5 contre une moyenne de 5 chez le témoin.

De même, la sévérité la plus faible de l'oïdium après 15 jours du traitement a été enregistrée dans les parcelles traitées par le produit à base de Tébuconazole et celui à base de *Bacillus subtilis* pour lesquelles nous avons enregistré respectivement des moyennes de l'ordre de 2 et 2,25 contre une moyenne 5,25 pour le témoin. Des différences très hautement significatives ont été notées entre le témoin et les deux traitements fongicides pour les deux périodes de notation (Tab. 19).

Tableau 19 : Sévérité de l'oïdium après l'application des traitements fongicides

	Après 07 jours du 1 ^{er} traitement			Après 15 jours du 1 ^{er} traitement		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2
Moyenne ± σ	5	2.5	1.75	5.25	2.25	2
	±	±	±	±	±	±
	0.816	0.577	0.5	0.957	0.5	0.816
		***	***		***	***

*** : Différences très hautement significatives (pour $\alpha = 0.001$).

L'analyse de la variance (**Tab. 20 et 21**) a montré des différences très hautement significatives entre les traitements pour la sévérité de l'oïdium, et ce pour les deux périodes de notation.

Tableau 20 : Analyse de la variance de la sévérité de l'oïdium après 7 jours du traitement

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	23.167	11.5833	27.80	0.000	***
s Erreur	9	3.750	0.4167			
Total	11	26.917				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

*** : Différences très hautement significatives ($p < 0.001$).

Tableau 21 : Analyse de la variance de la sévérité de l'oïdium après 15 jours du traitement.

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	26.167	13.0833	21.41	0.000	***
s Erreur	9	5.500	0.6111			
Total	11	31.667				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

*** : Différences très hautement significatives ($p < 0.001$).

4.2. Croissance et développement de la plante

4.2.1. Phénologie de la culture

Les dates des différents stades phénologiques de la culture (**Tab. 22**) n'ont pas connu de variations au niveau des différentes parcelles de l'essai, aucun recul, ni avancement n'a été remarqué pour l'un ou l'autre des différents traitements.

Tableau 22: Dates repères des différents stades phénologiques de la culture

Dates	Stades phénologiques
03/12/2019	Semis
17/12/2019	Levée
25/01/2020	Tallage
09/02/2020	Montaison
12/03/2020	Gonflement
18/03/2020	Epiaison
09/04 /2020	Floraison
06 /05 /2020	Stade laiteux
14 /05 /2020	Stade pâteux
22 /05 /2020	Maturité

Une certaine précocité a été notée pour la maturité de la culture (22 mai), et ceci est attribué aux caractéristiques de la variété utilisée (Maouna), qui se caractérise par un cycle de développement court.

4.2.2. Effet du traitement sur la croissance et le développement de la culture

- Hauteur des plantes

La hauteur des plantes est un indicateur d'un bon développement. La **figure 30**, montre que les valeurs les plus élevées ont été notées chez les plantes traitées par les différents fongicides, la hauteur la plus élevée a été enregistrée dans les parcelles traitées par le produit homologué, qui affiche une hauteur aux alentours de 104 cm, par rapport au témoin qui a enregistré une hauteur qui ne dépasse pas les 91 cm, et au produit testé à base de *Bacillus subtilis* pour lequel une moyenne de 94 cm a été notée.

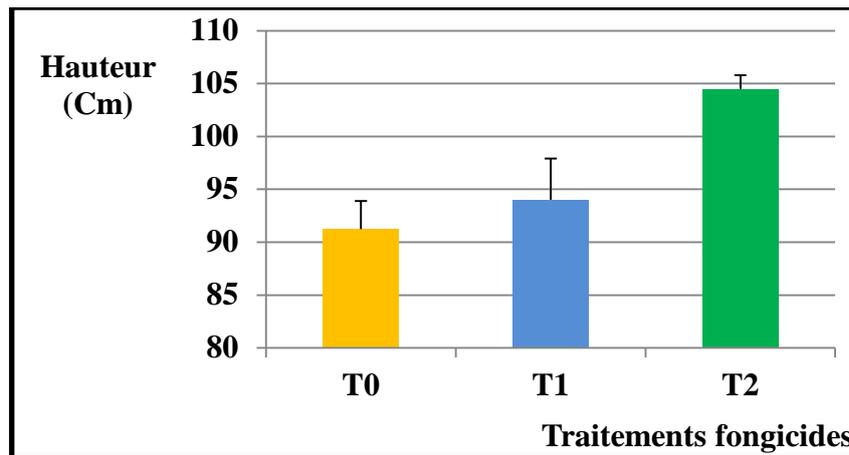


Figure 30 : Hauteur des plantes pour les différents traitements fongicides

Zillinsky (1983), révèle que les maladies cryptogamiques altèrent considérablement le développement des plantes infectées, et la hauteur de la plante peut être très affectée par certaines infections fongiques. De même, plusieurs travaux ont montré que l'infection par les parasites obligatoires, notamment les rouilles, provoque la plasmolyse des cellules infectées et altère la translocation de l'eau et des éléments nutritifs dans la plante, notamment la translocation des substances organiques vers les racines, ce qui entraîne une diminution de la capacité d'absorption des racines mal nourries chez les plantes infectées, et altère la croissance des plantes (**Lee -Stadelmann et al. (1982) cité in Zidi, 2010**).

Des résultats similaires ont été trouvés par **Boukensous (2014)**, qui a testé 05 produits fongicides et a trouvé les meilleurs résultats concernant la hauteur des plantes dans des parcelles traitées par des fongicides à base de tébuconazole.

L'analyse de la variance a affiché des différences très hautement significatives entre les traitements (**Tab. 23**) et le test de Dunnett (**Tab. 24**) a montré des différences non significatives entre le témoin et le traitement par *Bacillus subtilis* (T₁), et des différences très hautement significatives entre le témoin et le traitement à base de Tébuconazole (T₂).

Tableau 23 : Analyse de la variance pour la hauteur des plantes

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	391.17	195.583	24.53	0.000	***
Erreur	9	71.75	7.972			
Total	11	462.92				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

*** : Différences très hautement significatives ($p < 0.001$).

Tableau 24 : Hauteur des plantes pour les différents traitements fongicides (cm)

Traitements	T ₀ (Témoin)	T ₁ (<i>Bacillus subtilis</i>)	T ₂ (Tébuconazole)
Moyenne ± σ	91,25 ± 2,629	94 ± 3,915	104,5 ± 1,290
		NS	***

NS : Différences non significatives (pour $\alpha = 0.05$).

*** : Différences très hautement significatives (pour $\alpha = 0.001$).

4.2.3. Effet du traitement sur les paramètres agronomiques

4.2.3.1. Nombre de plants /m²

L'objectif pour la détermination du nombre de plants par mètre carré est pour avoir une idée sur l'homogénéité de la levée dans les différentes micro-parcelles. Les résultats obtenus (**Fig. 31**), montrent que le nombre de plants par mètre carré est nettement supérieur dans les parcelles traitées par *Bacillus subtilis* et Tébuconazole (T₁, T₂), par rapport au témoin. Les moyennes enregistrées sont respectivement, dans les blocs traités, 214 (T1) et 248 (T2), contre une moyenne de 200 plants par m² dans le bloc témoin (T0).

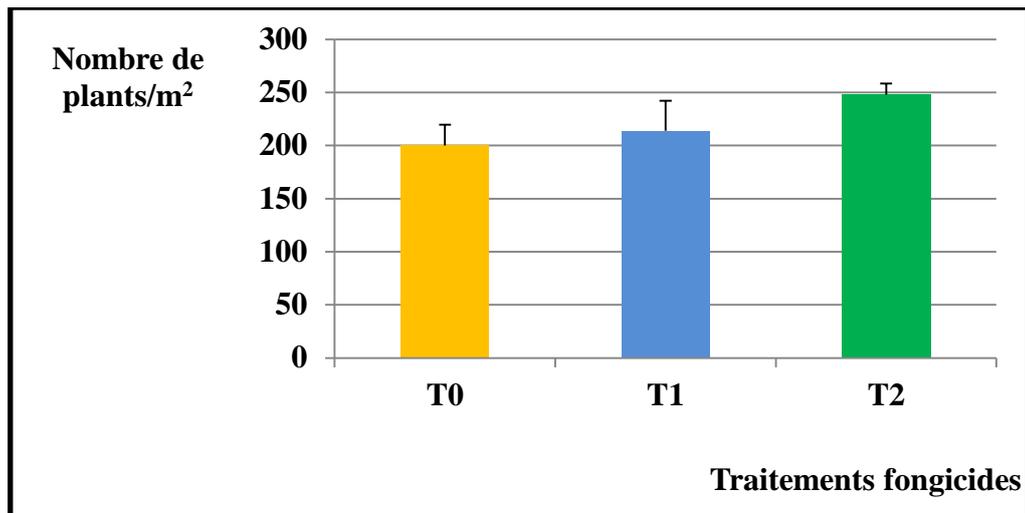


Figure 31 : Nombre de plants/m² pour les différents traitements fongicides

L'analyse de la variance (**Tab. 25**), a montré des différences significatives entre les traitements fongicides, et le test de Dunnett (**Tab. 26**) a affiché des différences très hautement significatives entre le témoin et le traitement à base de tébuconazole (T2), et des différences non significatives entre le témoin et le traitement à base de *Bacillus subtilis* (T1).

Tableau 25 : Analyse de la variance pour le nombre de plants par mètre carré

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	4875	2437.3	5,69	0.025	*
Erreur	9	3852	428,0			
Total	11	8727				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

*: Différences significatives ($p < 0.05$).

Tableau 26 : Nombre de plants /m² pour les différents traitements fongicides

Traitements	T ₀ (Témoin)	T ₁ (<i>Bacillus subtilis</i>)	T ₂ (Tébuconazole)
<i>Moyenne</i> ± σ	200 ± 19,646	214 ± 28,095	248 ± 10,424
		NS	***

NS : Différences non significatives (pour $\alpha = 0.05$)

*** : Différences très hautement significatives (pour $\alpha = 0.001$)

4.2.3.2. Nombre de talles/ plant

Le tallage est un caractère variétal, qui en conditions favorables, pourrait renseigner sur le potentiel des variétés.

Les résultats relatifs à ce paramètre (**Fig. 32**), montrent également que les blocs traités ont enregistré un nombre de talles /plant supérieur à celui du bloc non traité. La moyenne la plus élevée a été notée dans les parcelles traitées par le produit à base de **Tébuconazole**. Des différences très hautement significatives ont été notées entre le témoin et le traitement T2, mais les différences étaient non significatives entre le témoin et le traitement T1 (**Tab. 27**).

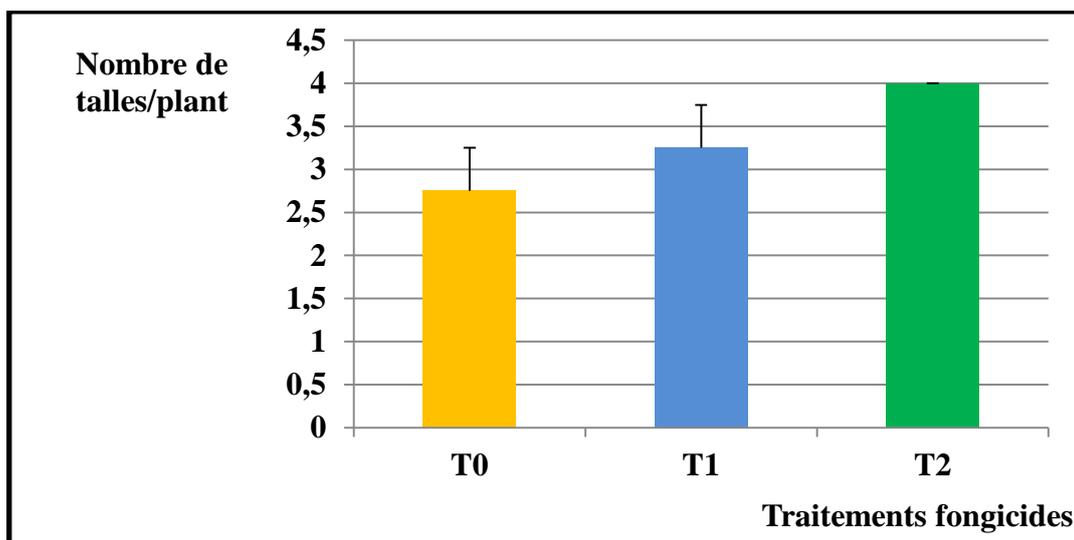


Figure 32 : Nombre de talles /plant pour les différents traitements fongicides

Tableau 27 : Nombre des talles/plant pour les différents traitements fongicides

Traitements	T ₀ (Témoin)	T ₁ (<i>Bacillus subtilis</i>)	T ₂ (Tébuconazole)
Moyenne ± σ	2,75 ± 0.5	3,25 ± 0.5 NS	4 ± 0 ***

NS : Différences non significatives (pour α = 0.05).

*** : Différences très hautement significatives (pour α = 0.001).

L'analyse statistique des résultats a montré des différences hautement significatives entre les différents traitements (**Tab. 28**).

Tableau 28 : Analyse de la variance pour le nombre de talles par plant

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	3.167	1.5833	9,50	0.006	**
Erreur	9	1,500	0.1667			
Total	11	4,667				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

** : Différences significatives (p < 0.01).

4.2.3.3. Nombre d'épis /m²

Les résultants présentés dans la **figure 33** montrent que la parcelle non traitée enregistre toujours la valeur la plus basse, alors que les parcelles traitées ont enregistré un nombre élevé d'épis/m². Ceci peut être attribué à l'augmentation du nombre de talles/plant au niveau des parcelles traitées dans lesquelles le développement des plantes était très satisfaisant, en comparaison avec les plantes du témoin non traitées.

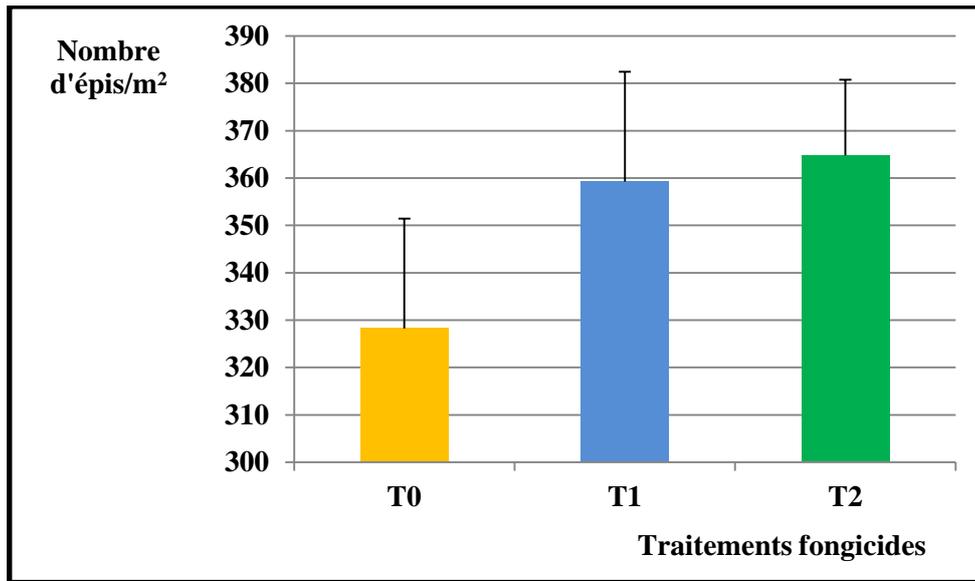


Figure 33 : Nombre d'épis /m² pour les différents traitements fongicides

Des différences non significatives ont été notées entre les traitements (**Tab. 29**), le test de Dunnett a montré des différences non significatives entre le témoin et les deux produits testés (**Tab. 30**).

Tableau 29 : Analyse de la variance pour le nombre d'épis par mètre carré

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	3098	1549.0	3,49	0.076	NS
Erreur	9	4000	444.5			
Total	11	7098				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

NS : Différences non significatives ($p > 0.05$).

Tableau 30 : Nombre d'épis/m² pour les différents traitements fongicides

Traitements	T ₀ (Témoin)	T ₁ (<i>Bacillus subtilis</i>)	T ₂ (Tébuconazole)
Moyenne ± σ	328,25 ± 23,214	359,25 ± 23,214	364,75 ± 15,986
		NS	NS

NS : Différences non significatives (pour α = 0.05)

4.2.3.4. Nombre d'épillets/épi

La **figure 34** montre qu'une augmentation du nombre d'épillets par épi est notée chez les plantes traitées par les différents fongicides comparativement au témoin non traité, ce qui laisse supposer que le taux élevé d'infestation des plantes par les maladies au niveau des blocs non traités a engendré une altération de la croissance et du développement de ces dernières.

Adjabi et Sekrani (2019) rapportent que la diminution du nombre d'épillets par épi peut être attribuée à une altération dans le processus de croissance de la plante suite à l'infection par les champignons.

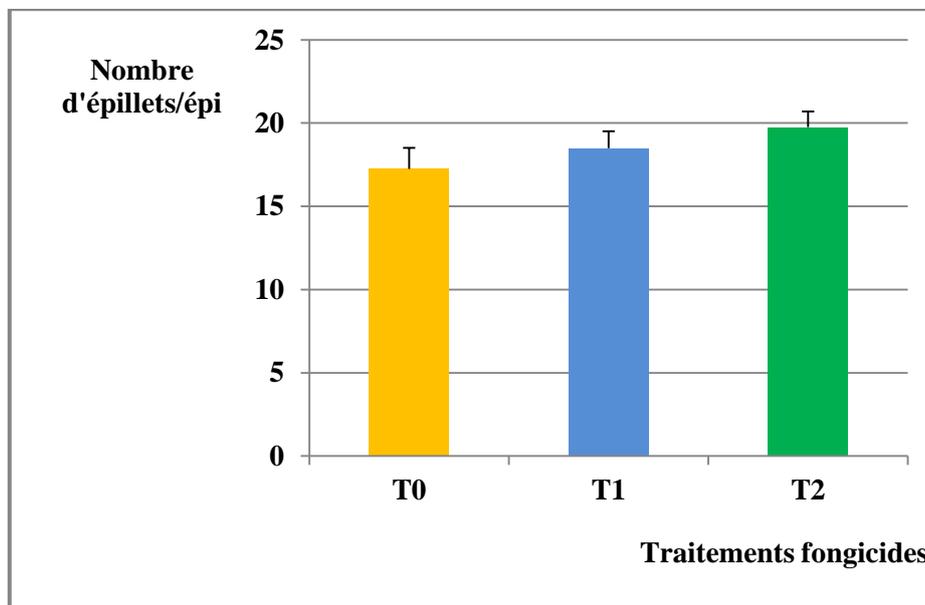


Figure 34 : Nombre d'épillets /épi pour les différents traitements fongicides

L'analyse de la variance a fait ressortir des différences significatives entre les traitements (Tab. 31), et le test de Dunnett a affiché des différences très hautement significatives entre le témoin et le traitement T2, et des différences non significatives entre le témoin et le traitement T1 à base de *Bacillus subtilis* (Tab. 32).

Tableau 31 : Analyse de la variance pour le nombre d'épillets par épi

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	12.50	6.250	5.36	0.029	*
Erreur	9	10.50	1.167			
Total	11	23.00				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

*: Différences significatives ($p < 0.05$).

Tableau 32 : Nombre d'épillets/épi pour les différents traitements fongicides

Traitements	T ₀ (Témoin)	T ₁ (<i>Bacillus subtilis</i>)	T ₂ (Tébuconazole)
Moyenne ± σ	17,25 ± 1,258	18,5 ± 1 NS	19,75 ± 0,957 ***

NS : Différences non significatives (pour $\alpha = 0.05$).

*** : Différences très hautement significatives (pour $\alpha = 0.001$).

4.2.3.5. Nombre de grains par épi

Les résultats obtenus pour ce paramètre, montrent que les parcelles traitées par le produit de synthèse à base de tébuconazole et le biopesticide à base de *Bacillus subtilis* ont enregistrés un nombre de grains par épi élevé par rapport aux parcelles témoins non traitées (Fig. 35).

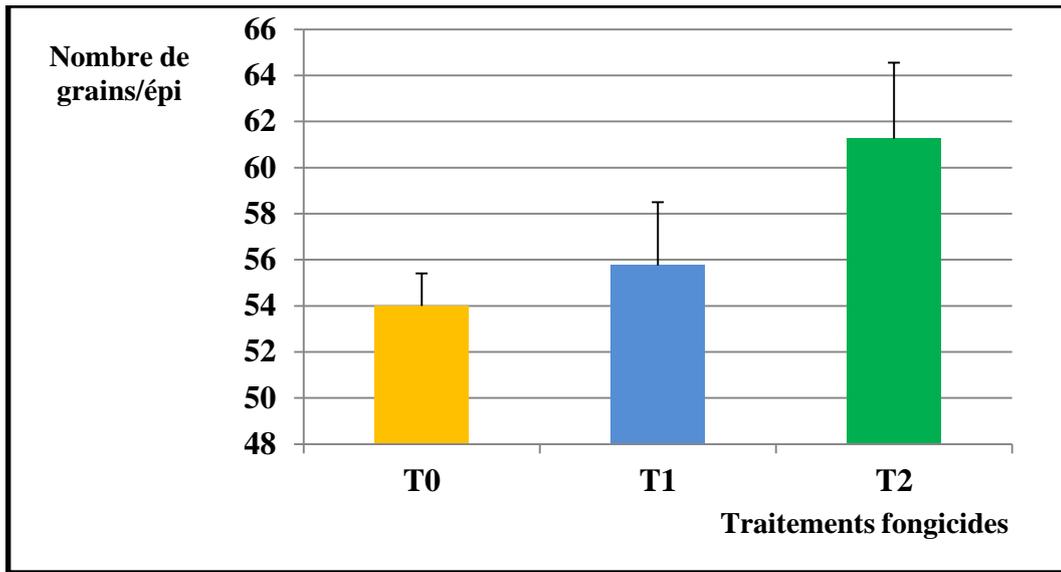


Figure 35 : Nombre de grains/épi pour les différents traitements fongicides

Les meilleurs résultats ont été enregistrés par la traitement T2 à base de tébuconazole, et pour lequel la différence était remarquable par rapport au témoin (une moyenne de 61.25 grains/épi contre 54 grains/épi chez le témoin).

Des différences hautement significatives ont été notées entre les traitements fongicides testés (**Tab. 33**), et très hautement significatives entre le témoin et le produit de synthèse à base de Tébuconazole (**Tab. 34**).

Tableau 33 : Analyse de la variance pour le nombre de grains par épi

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	114,50	57,250	8,38	0.009	**
Erreur	9	61,50	6,833			
Total	11	176,00				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

** : Différences significatives ($p < 0.01$).

Tableau 34 : Nombre des grains/épi pour les différents traitements fongicides

Traitements	T ₀ (Témoin)	T ₁ (<i>Bacillus subtilis</i>)	T ₂ (Tébuconazole)
Moyenne ± σ	54 ± 1,414	55,75 ± 2,753 NS	61,25 ± 3,304 ***

NS : Différences non significatives (pour $\alpha = 0.05$).

*** : Différences très hautement significatives (pour $\alpha = 0.001$).

Dans une étude portant sur la comparaison de différents traitements fongicides, et l'impact du traitement sur le contrôle des maladies du blé, et sur le développement de la culture, **Stiti (2013)** a obtenu des résultats similaires, et les meilleurs résultats concernant le nombre de grains/épi ont été enregistrés pour une association de matières actives, parmi lesquelles figure le tébuconazole.

4.2.3.6. Poids de 1000 grains

La **Figure 36** montre que l'infection du blé par les maladies cryptogamiques affecte le poids de 1000 grains d'où les parcelles traitées par les différents fongicides ont enregistré une augmentation dans le poids de 1000 grains comparativement au témoin.

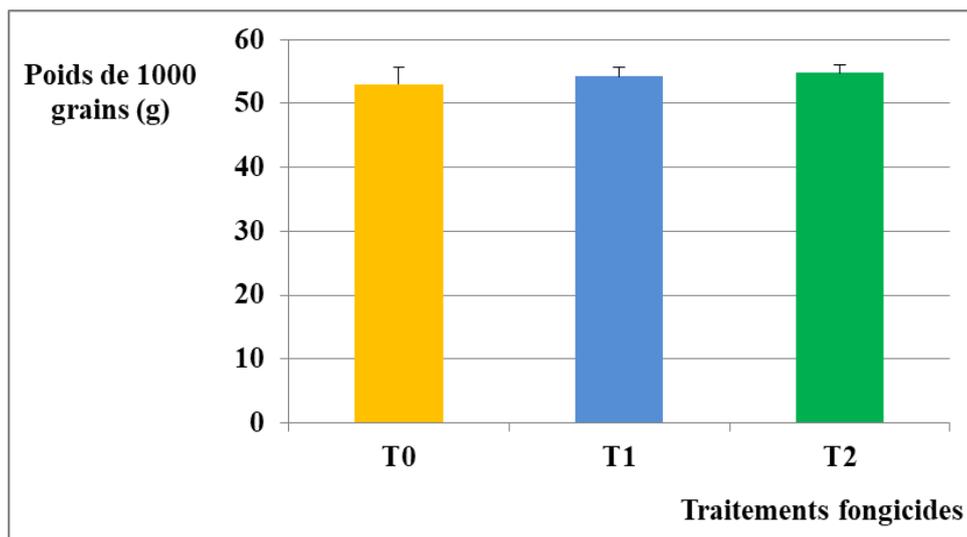


Figure 36: Poids de 1000 grains pour les différents traitements fongicides

Les micro-parcelles traitées par le fongicide à base de **Tébuconazole** ont enregistré les meilleurs résultats avec une moyenne de poids de 1000 grains de **54,75 g**, suivi par la parcelle traitée avec le fongicide à base de *Bacillus subtilis* pour lequel nous avons noté une moyenne de **54,25 g**, contre une moyenne de **53 g** chez le témoin (**Tab. 36**). Cependant, l'analyse statistique des résultats (**Tabs. 35 et 36**) a révélé des différences non significatives entre les traitements utilisés.

Tableau 35 : Analyse de la variance pour le poids de 1000 grains

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	6,500	3,250	0,93	0,430	NS
Erreur	9	31,500	3,500			
Total	11	38,000				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

NS: Différences non significatives ($p > 0.05$).

Tableau 36 : Poids de 1000 grains pour les différents traitements fongicides

Traitements	T ₀ (Témoin)	T ₁ (<i>Bacillus subtilis</i>)	T ₂ (Tébuconazole)
Moyenne ± σ	53 ± 2,581	54,25 ± 1,5 NS	54,75 ± 1,258 NS

NS : Différences non significatives (pour $\alpha = 0.05$).

4.2.3.7. Rendement par hectare

Les résultats obtenus pour ce paramètre, représentés dans la **figure 36** montrent qu'une légère augmentation du rendement en grains est notée dans les blocs traités par les fongicides en comparaison avec le témoin. Le traitement à base de Tébuconazole occupe toujours la première position, avec un rendement moyen de 47.50 quintaux/ha, contre un rendement moyen de 44.75 quintaux/ha chez le témoin. Cependant des différences non significatives ont été notées entre les traitements (**Tab. 37**) et entre le témoin et les traitements fongicides apportés (**Tab. 38**).

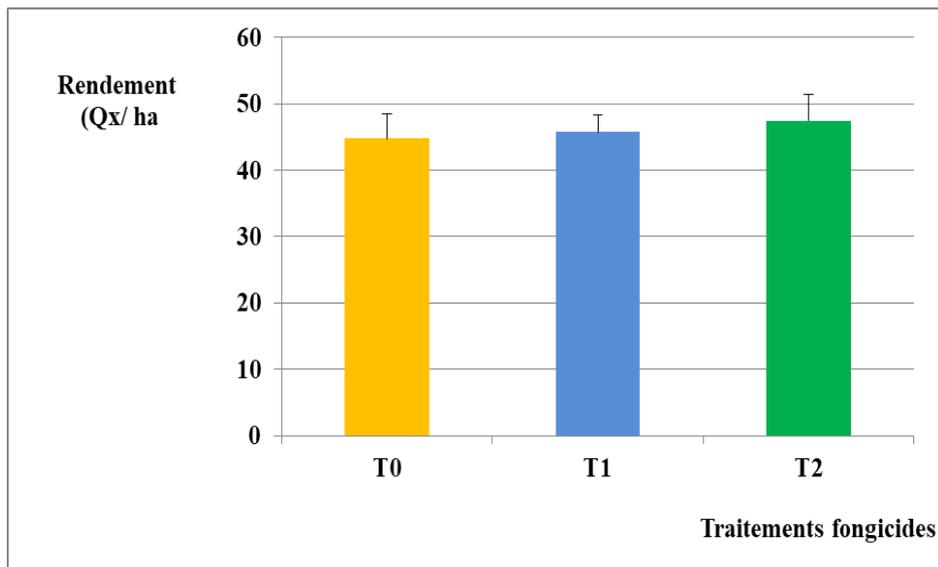


Figure 37: Rendement /ha pour les différents traitements fongicides

Tableau 37 : Analyse de la variance pour le rendement/ha

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P	Signification
Traitements	2	15,50	7,750	0,64	0,548	NS
Erreur	9	108,50	12,056			
Total	11	124,00				

DL : Degrés de liberté.

SC : Somme des carrés des écarts.

CM : Carrés moyen.

F : Valeur observé de F de Fisher.

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

NS: Différences non significatives ($p > 0.05$).

Tableau 38 : Rendement/ha pour les différents traitements fongicides

Traitements	T ₀ (Témoin)	T ₁ (<i>Bacillus subtilis</i>)	T ₂ (Tébuconazole)
Moyenne $\pm \sigma$	44.75 \pm 3,774	45,75 \pm 2.629 NS	47,50 \pm 3,872 NS

NS : Différences non significatives (pour $\alpha = 0.05$).

Zidi (2010) rapporte que, plusieurs auteurs révèlent que les attaques des céréales par les maladies foliaires, notamment les rouilles et l'oïdium entraînent des diminutions dans les composantes du rendement : le nombre d'épis /plant, le nombre de grains/épis et le poids de 1000 grains.

4.3. Analyse globale des résultats

Les maladies fongiques ou maladies cryptogamiques constituent une véritable menace pour la culture du blé dans certaines zones de culture intensives, notamment la région du Nord-Est du pays, caractérisée par un climat adéquat pour le développement de ce type de maladies.

Les modalités de lutte utilisées, pour combattre ces maladies sont surtout de type cultural et chimique, cependant les efforts fournis, dans cet axe ne permettent pas d'atteindre les objectifs tracés et d'aboutir aux résultats escomptés ; beaucoup de facteurs interagissent et s'opposent à l'application d'une bonne stratégie permettant, de protéger la culture, améliorer en quantité et en qualité sa productivité, et diminuer ainsi le taux des factures des importations de cette denrée alimentaire primordiale pour la population Algérienne. Parmi ces facteurs figurent :

- Les facteurs climatiques qui règnent dans la région du Nord-Est du pays (humidité et températures élevées), favorisent la prolifération et la conservation des propagules et des spores fongiques dans l'environnement, ce qui entraîne une augmentation du réservoir de l'inoculum dans le sol ou dans l'environnement, et accentue les risques d'infection.
- L'absence de variétés résistantes (à résistance stable et durable), dans la gamme des variétés, cultivées dans les différentes régions de cultures du blé, fait que la lutte culturale n'est pas toujours efficace, et augmente la probabilité de déclenchement des épidémies de certaines maladies (rouilles, oïdium, septorioses,...), si les conditions environnementales sont à la faveur du pathogène et du développement des facteurs de virulence chez ce dernier.
- De même, la lutte chimique ne constitue pas une solution durable et adéquate pour la lutte contre les maladies fongiques du blé, l'efficacité d'une formulation quelconque à l'égard d'un parasite donnée est très dépendante de la nature de sa matière active et des modalités de son application, et à ceci s'ajoutent les phénomènes de résistance des champignons aux toxiques, où les données répertoriées de la bibliographie

révèlent qu'à nos jours, aucune famille chimique des fongicides n'échappe à ce phénomène, et chaque année des dizaines de molécules sont confrontées à ce problème.

- L'utilisation non raisonnée des fongicides chimiques de synthèse a engendré comme conséquences, des effets non intentionnelles très dangereux et non admissibles chez le consommateur ou dans l'environnement (cancers, maladies respiratoires, ...).

Tous ces facteurs et plus particulièrement ceux liés à la santé du consommateur et de l'environnement, nous obligent à orienter nos recherches vers des produits naturels qui regroupent : l'efficacité, l'innocuité et la biodégradation dans l'environnement.

Actuellement beaucoup de laboratoires et centres de recherches, visent la recherche de molécules biologiques actives sur les agents pathogènes (pour l'homme, les animaux ou les cultures). Les bactéries du genre *Bacillus* sp. ont été utilisées comme agents de lutte biologique dans beaucoup de domaines (médecine, agriculture, ...), et les résultats obtenus sont très satisfaisants.

Notre travail entre dans ce contexte, et vise la recherche de molécules biologiques à effet antimicrobien, pouvant être intégrées dans les programmes de protection des cultures, afin de minimiser l'utilisation des produits de synthèse.

Les résultats obtenus lors de la comparaison d'un fongicide de synthèse (Tébuconazole 60 g/L) et un produit biologique à base de *Bacillus subtilis* ont montré que le produit biologique a enregistré une efficacité moindre par rapport au produit de synthèse, à l'égard des maladies observées (Rouille brune et oïdium), et de même, pour tous les paramètres relatifs au développement et au rendement de la culture, les meilleurs résultats ont été enregistrés par le produit de synthèse.

Cependant, des différences très hautement significatives ont été notées entre le témoin et le produit biologique après 7 j. pour la rouille brune et après 7 j. et 15 j. pour l'oïdium, ce qui permet de conclure que le produit biologique a enregistré une très bonne efficacité contre les deux maladies observées (efficacité moindre par rapport au fongicide de synthèse, mais qui reste très satisfaisante).

Les différences non significatives notées entre le témoin et les deux produits testés dans la majorité des paramètres relatifs au rendement de la culture (nombre d'épis/m², poids de 1000 grains et rendement en grains), laisse supposer que malgré les taux élevés des sévérités enregistrées des maladies observées dans les parcelles témoins, la variété utilisée (Maouna) déclarée comme résistante à l'oïdium, dispose probablement des mécanismes de défense lui permettant de limiter les altérations pouvant se produire dans ses fonctions biologiques suite à l'infection par des pathogènes, ce qui s'est répercuté positivement sur le développement et le rendement de la culture même en présence d'un taux élevé de l'infection.

Conclusion

Conclusion

Dans cette étude qui a porté sur une seule variété de blé tendre (Maouna), nous avons recensés deux maladies cryptogamiques, à savoir la rouille brune causée par le champignon basidiomycète *Puccinia recondita*, et l'oïdium, causé par le champignon ascomycète *Erysiphe graminis* f.sp. *tritici* (*Blumeria graminis*).

L'analyse des résultats obtenus pour la comparaison de l'efficacité d'un produit de synthèse (Tébuconazole 60g/L) et d'un produit biologique à base de *Bacillus subtilis*, contre les maladies observées, et l'impact du traitement sur le développement et le rendement de la culture, a permis de faire les constatations suivantes :

- Malgré que la variété Maouna est déclarée comme étant résistante à l'oïdium, la sévérité et l'incidence enregistrées pour cette maladie sont élevées chez le témoin (sévérité 5/9, et incidence de 20 %). Ce qui permet de suggérer que les conditions environnementales de la campagne 2019/2020 ont favorisé le développement de cette maladie au début du stade végétatif de la culture.
- Les produits testés ont montré une efficacité importante contre la rouille brune et l'oïdium du blé, notamment le produit de synthèse (Tébuconazole 60g/L).
- Les traitements fongicides ont conduit à une amélioration plus ou moins modérée du développement et du rendement de la culture, mais l'analyse statistique a révélé des différences non significatives entre le témoin et les deux traitement pour la plupart des paramètres estimés.

Les résultats de cette étude, réalisée dans les conditions critiques de la pandémie imposée par le COVID 19, ne peuvent être considérés que, comme étant des données préliminaires, car beaucoup de facteurs ont entravé le bon déroulement de nos interventions.

Au terme de cette étude il convient de signaler que les agents de lutte biologiques, du fait de leurs avantages (produits naturels, non toxiques, biodégradables, ...) restent une solution prometteuse pour le contrôle des cultures, et nous pouvons déduire que, le produit biologique qui a donné des résultats satisfaisants dans le contrôle de la rouille brune et l'oïdium, mérite une attention

particulière, même si le produit de synthèse a donné les meilleurs résultats. Des études complémentaires doivent être envisagées sur ce produit, pour rechercher :

- Les facteurs pédoclimatiques qui peuvent affecter son activité (en cas de traitement de semences ou de traitement foliaire),
- La dose optimale conforme à combattre nos souches locales des pathogènes.
- Les modalités d'application des formulations à base d'agents biologiques afin d'optimiser au maximum leurs activité biologique et antimicrobienne à l'égard des agents phytopathogènes.
- Des études plus approfondies sont souhaitables pour tester ce produit biologique sur une gamme plus large d'agents pathogènes, en utilisant des variétés de blé sensibles aux maladies.
- Le développement de la lutte biologique en agriculture est une nécessité qui s'impose, afin de limiter l'utilisation des pesticides.

Résumés

Résumé

Cette étude a porté sur deux fongicides, recommandés pour le traitement des maladies du blé, un fongicide de synthèse homologué et commercialisé (Tébuconazole 60 g/L) et un produit biologique (*Bacillus subtilis*) en phase d'essai en vue de son homologation. L'objectif visé est de comparer l'efficacité des produits contre les maladies enregistrées, et l'effet du traitement sur le développement et le rendement de la culture, à travers plusieurs paramètres estimés. Les résultats obtenus ont montré que les deux produits testés ont enregistré une efficacité importante à l'égard de la rouille brune (*Puccinia recondita*) et l'oïdium (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*), et le produit de synthèse (Tébuconazole 60 g/L) a enregistré les meilleurs résultats pour l'ensemble des paramètres de croissance et rendement estimés.

Mots clés : Fongicides, Blé, Rouille brune, Oïdium, Rendement.

Abstract

This study included two fungicides, used for the control of wheat diseases, a registered and marketed fungicide (Tébuconazole 60 g / L) and a biological product (*Bacillus subtilis*) in the experimental phase for approval. The aim is to compare the efficacy of the products against the recorded diseases, and the effect of treatment on the development and yield of the crop, through several parameters. The results obtained showed that the tested products recorded significant efficacy against brown rust (*Puccinia recondita*) and powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*), and the registered product (Tébuconazole 60 g / L) recorded the best results for all growth and yield parameters.

Keywords: Fungicides, Wheat, Brown rust, Powdery mildew, Yield

المخلص

تضمنت هذه الدراسة مبيدين للفطريات، موجهين لمكافحة امراض القمح، مبيد فطري كيميائي مسجل ومسوق (60 Tébuconazole غ / لتر) ومركب بيولوجي (*Bacillus subtilis*) في المرحلة التجريبية بهدف اعتماده و التصريح له بالتسويق، و اعتمدت على مقارنة فعالية هذه المبيدات ضد الأمراض المسجلة، وتحديد تأثير العلاج على تطور و مردود المحصول، من خلال تقدير عدة معايير. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المبيدين المختبرين سجلا فعالية جيدة ضد الصدأ البني (*Puccinia recondita*) والبياض الدقيقي (*Blumeria graminis f.sp. tritici*)، وقد سجل المركب الكيميائي (60 Tébuconazole غ / لتر) أفضل النتائج في جميع المقاييس المرتبطة بالنمو والمردود.

الكلمات المفتاحية : مبيدات، قمح، الصدأ البني ، البياض الدقيقي، المردود.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdellaoui Z., Teskrat H., Belhadj A., Zaghouane O., 2011.** Étude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide, *Séminaires Méditerranéens*. N° 96 : 71-87.
- Abessolo-Meye C., Morosini J., Supply A., Batoqui A., 2013.** Quelles perspectives pour les techniques de traitement des semences? Séminaire : Traitements des semences : quels enjeux pour la filière semencière française. INRA : 30p.
- Adjabi M.R. et Sekrani A., 2019.** Evaluation biologique de trois molécules de fongicides (Otello Top SC, Cigal Plus 500SC et Flentyam 50SC) en traitement foliaire sur le contrôle des maladies des blés. Mémoire de Master en phytopharmacie et protection des végétaux. Université 08 Mai 1945 Guelma : 55-59.
- Allilouche A., 2019.** Bilan du commerce extérieur algérien des céréales 2018. Ed ONFAA : 06.
- Amgoud H., 2015.** Influence de deux fongicides sur la germination, la croissance et la teneur en proline de quelques variétés de blé. Mémoire de Magister. Option: Ecologie végétale appliquée et gestion de l'environnement. Université: Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou : 16.
- Ammar M., 2014.** Organisation de la chaîne logistique dans la filière céréales en Algérie. Etat des lieux et perspectives. CIHEAM : 15.
- Aouali S. et Douici-Khalfi A., 2013.** Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : Symptômes, développement et moyens de lutte. ITGC : 8-26.
- **Arvalis., 2012 :** Diagnostic des accidents du blé tendre. Institut du végétal : 10.
- Azzouz Z., 2012.** Etude des effets toxiques d'un fongicide (Amistar Xtra) et d'un herbicide (Glyphosate) sur la biologie et le comportement de *Paramecium tetraurelia*. Thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de docteur en Biologie Animale (Toxicologie cellulaire). Université Badji Mokhtar Annaba : 13.
- Bednarek J., 2012.** Analyse fonctionnelle de TaGW2, une E3 ligase de type RING, dans le développement du grain de blé tendre (*Triticum aestivum*). INRA :10.
- Belahcene N., Bouasla S., Debabsa R. et Djouamaa M., 2008.** Comportement morphologique, physiologique et biochimique de trois variétés de blé dur (*Triticum durum .desf*) sous traitement par un fongicide (TILT 250EC). Mémoire de D.E.S. Université de Souk Ahras : 13.
- Belaid D., 1996.** Aspects de la céréaliculture Algérienne. *Offices de publications Universitaires* : 203p.
- Bermond A., 2002.** Larousse agricole. Ed. Mathilde Majorel. Edition Larousse : 767p.
- Bojanowski A., 2011.** Molécules antifongiques et activité Antagoniste de deux souches de *Pseudomonas* envers *Helminthosporium solani*, agent responsable de la tache argentée de la pomme de terre. Thèse pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.SC.). L'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en biologie végétale : 70.
- Bonjean A. et Picard E., 1990.** Les céréales à paille : origine, histoire, économie, sélection. Softword – Groupe ITM, Paris : 208p.

- **Boukensous W., 2014.** Etude de l'efficacité de quelques fongicides sur le contrôle des maladies foliaires du blé et l'impact du traitement sur le développement et le rendement de la culture. Mémoire de master en phytopathologie et phytopharmacie. Université 08 Mai 1945 Guelma: 57.
- **Bruyere J., 2011.** Recherche de solutions alternatives de protection des semences de blé contre la carie commune du blé (*Tilletia sp.*). AFPP– quatrième conférence internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures Lille N°8 (9) : 10.
- Chebbi H.E. et Lachaal L., 2004.** L'agriculture et la sécurité alimentaire: une étude comparative des pays du Maghreb. Revue *méditerranéenne d'économie agriculture et environnement* 3 (3). Eds. IAM, Bari : 4-11.
- Corbaz R., 1990.** Principes de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes. PPUR presses polytechniques : 286p.
- Couvreur F., 2002.** Fongicides des céréales et protéagineux. Ed. ITCF avec la participation de l'ANDA .France : 216p.
- Debieu D., Anne-Sophie W., Marie-France C.C., et Anses Casper L., 2019.** Principaux modes d'action fongicides. INRA : 1-82.
- Debiton C., 2010.** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum L.*) Favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse de doctorat Présentée à l'Université Blaise Pascal pour l'obtention du grade de docteur d'université, Clermont Ferrand France : 132p.
- Djermoun A., 2009.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nature et Technologie* N° 01 : 45 -53.
- Duveiller E., DubinH J., Reeves J. et McNab A., 1997.** Helminthosporium Blight of wheat : Spot blotch and Tan spot. CIMMYT. Mexico: 389p.
- Ezzahiri B., 2001.** Les maladies du blé. Identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. *Transfert de Technologie en Agriculture* N°77 : 4.
- Ezzahiri B., 2010.** Maladies fongiques foliaires du blé. *Agriculture du Maghreb* N°41 : 66-74.
- FAO., 2014.** Afrique classement des pays producteurs de matières premières : 2.
- FAO., 2017.** Perspectives de l'alimentation : Les marchés en bref : 3.
- Feillet P., 2000.** Le grain de blé : Composition et utilisation. INRA : 45-281.
- Gate P., 1995.** Ecophysiologie du blé Tec doc. Lavoisier. Paris. 429p.
- Girad G., 2010.** Bases scientifiques et technologiques de la viticulture. 2^{ème} Ed. Paris : 288.
- Giraud R., 2018.** Guide des fongicides gazons 2018 : Caractéristiques et mode d'action des fongicides homologués sur les graminées à gazon en 2018 : 1-26.
- Hamadache A., 2001.** Stades et variétés de blé. Édition I.T.G.C. : 22p.
- Hamel A., 2015.** Etude de l'antagonisme de *Trichoderma sp.* Vis-à-vis le *Fusarium sp* agent de la fusariose du blé en Algérie. Université : M'hamed bougera de Boumerdes. Mémoire : de master. Option : Moyen de lutte et biorégulateur : 30.

- Hennouni N., 2012.** Evaluation du métabolisme respiratoire et enzymatique des racines de blé dur (*Triticum durum* Desf) issue de plantes infectées par les maladies cryptogamiques et des plantes traitées avec un fongicide (ARTEA EC 330). Thèse de Doctorat en biologie végétale. Option : toxicologie cellulaire. Université Badji Mokhtar Annaba : 21.
- Houmy k., 2001.** Matériel et protocole phytosanitaire des céréales : Choix utilisation et sécurité. *Bulletin de transfert et technologie en Agriculture* 78 : 4.
- I.T.G.C., 2015.** Méthode d'évaluation du rendement en grain des céréales au stade laiteux-pâteux. Edition: I.T.G.C. : 4-5.
- Jlibene M., 2011.** Options génétiques d'adaptation du blé tendre au changement climatique. Variétés à résistance multiple : sécheresse, cécidomyie, septoriose, rouilles brune et jaune, INRA, Maroc : 62.
- Kamel A.H., 1994.** Principaux ravageurs du blé et de l'orge : Guide d'identification. Edition ICARDA- Syrie : 90.
- Ketfi H., 2018.** Bio écologie des insectes nuisibles (Classe ; Insecta) du blé (*Triticum* Desf 1889) dans la région de Constantine, Algérie. Mémoire de Master en biologie et Contrôle des populations d'insectes. Université des Frères Mentouri Constantine : 10.
- Lacroix M., 2002.** Maladies des céréales et de la luzerne : diagnostic, dépistage et prévention : Ed. INRA. : 45.
- Lacroix M., 2008.** Guide d'identification des maladies des céréales. *Le bulletin des Agriculteurs.* : 47-49.
- Lahmar A. et Zerbita O., 2015.** Identification des différentes maladies cryptogamiques rencontrées chez les céréales durant la campagne agricole 2014/2015 dans la région de Constantine. Mémoire: de master. Option: Biologie et génomique végétale. Université des Frères Mentouri Constantine : 26.
- Lamari L., Strelkov SE., Yahyauoi A., Amedov M., Saidov M., Djunosova M., et Koichibayev M., 2005.** Virulence of *Pyrenophora tritici-repentis* in the countries of the Silk Road, *Canadian journal of plant pathology* 27 (3): 383-388.
- Leroux P., 1981.** la défense des végétaux. Edition: INRA. N° 207: 83.
- Leroux P., 1993.** Fongicides et doses réduites, faut il y résister pour vaincre les résistances. Perspectives agricoles. Edition : INRA. N°190 : 130.
- Leroux P., 2003.** Modes d'action des produits phytosanitaires sur les organismes pathogènes des plantes. C.R Biologies N°326 : 9-21.
- Lesage V., 2011.** Contribution à la validation fonctionnelle du gène majeur contrôlant la dureté/tendreté de l'albumen du grain de blé par l'étude de lignées quasi-iso géniques. Thèse de doctorat présenté à l'université Blaise Pascal pour l'obtention du grade de docteur d'université : 17-18.
- Lestum H., 2017.** Le blé. Edition France Agricole : 154.
- Lhoste J., 1960.** Les fongicides. ORSTOM: 1-2.

- Mahdjoub Z. et Magherbi A., 2018.** Effet de différentes formulations de produits phytosanitaires de traitement de semence de blé, et lutte biologique vis-à-vis du *Fusarium* in vitro. Mémoire de master en Mycologie et Biotechnologie Fongique. Université des Frères Mentouri Constantine 1 : 21.
- Masson E., 2012.** Diagnostic des accidents du blé tendre. ARVALIS - Institut des végétaux : 36-40.
- Meeus P., 1993.** Optimisation de l'utilisation des fongicides inhibiteurs de la biosynthèse des stéroïdes dans la lutte contre les maladies foliaires de l'orge en Belgique. Dissertation de doctorat : 32-61.
- Moreau J.M., 2008.** Livre blanc « Céréale » F.U.S.A. et CRA-W Gembloux : lutte contre les maladies. Département de phytopharmacie. France. N° 06 : 45.
- Mustafa G., 2015.** Protection du blé contre l'oïdium par des champignons mycorhiziens à arbuscules : mécanismes et optimisation. Phytopathologie et phytopharmacie. Université du Littoral Côte d'Opale. Français : 09.
- Nadjem k. 2012.** Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride thèse de magister en production végétale et conservation. Université Ferhat Abbas Stif : 131.
- Nagy E. et Moldovan V., 2006.** The effect of fungicides treatments on the wheat common Bunt in transylvania (Romania). CzechJ. Genet. Plant Breed. 42: 56-61.
- Nasraoui B., 2008.** Principales Maladies Fongiques des Céréales et des Légumineuses en Tunisie. Centre de Publication Universitaire : 40.
- Nysten A., 2018.** Étude de l'évolution des résistances aux fongicides carboxamides dans les populations belges de *Zymoseptoria tritici*. Mémoire de master bio-ingénieur en agronomie. Université Catholique de Louvain : 23.
- Periquet A., Boisset M., Casse F., Catteau M., Lecerrf J.M., leguille C., Laville J. et Barnat S. 2004.** Pesticides, Risques sécurité alimentaire. France : 20.
- Polaris., 2004.** Guide de l'utilisation des produits phytosanitaires : les étapes essentielles d'une bonne application, avant, pendant et après. Groupe régional d'études des pollutions par les produits phytosanitaires. Ministère de l'écologie et développement durable. République Française. N° 26 : 4.
- Rachedi MF., 2003.** Les céréales en Algérie Problématique et option de réforme, céréaliculture I.T.G.C. N° 38 : 6.
- Rapilly F., 1991.** L'épidémiologie en pathologie végétale des mycoses aériennes. Éd. INRA. Paris : 53.
- Regnault-Roger C., 2014.** Produits de protection des plantes : Innovation et sécurité pour une agriculture durable. Ed. Mélani Kucharczyk. Paris : 67.
- Richard C., Dary J.L., et Laffont J.M., 1985.** Produits phytosanitaire : Recherche, développement, homologation (édition de la nouvelle librairie). Paris : 5-8.
- Rivale., 2020.** Fiche technique. Fongicide Acil Tébuconazole 60g/L : 2p.

- Rocher F., 2004.** Lutte chimique contre les champignons pathogènes des plantes : évaluation de la systémie phloémienne de nouvelles molécules à effet fongicide et d'activateurs de réactions de défense. Thèse de Doctorat en Chimie Organique, Minérale, Industrielle. Université de Poitiers : 9-10.
- Roger D., 1933.** Les plantes agricoles et leurs maladies. Canada: Berger: 300- 450.
- Semal J., 1989.** Traité de pathologie végétal. *Les presse agronomique de Gembloux, A.S.B.L.* N°16:63.
- Smadhi D. et Zella L., 2012.** Variabilité de la pluviométrie et son impact sur la production céréalière au nord de l'Algérie. Période (1970-2009). *Sciences et Technologie C-N°35* : 55-63.
- Soltner D., 2012.** Les grandes productions végétales. 21^{ème} Ed. Collection sciences et Techniques Agricoles : 471.
- Soltner P., 2005.** Les bases de la production végétales: La plante et son amélioration. 4^{ème} Ed. Collection et Techniques Agricoles : 248.
- Stiti H., 2013.** Evaluation de plusieurs combinaisons de traitements antifongiques sur une culture de blé dur « *Triticum durum Desf.* » dans la région de Guelma. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master en phytopathologie et phytopharmacie. Université 08 Mai 1945 Guelma : 32.
- Surget A. et Barron C., 2005.** Histologie du grain de blé. *Industrie des céréales*, N°145 : 4-7.
- Tremblay G., Maisonhaute C.G., Rioux CS., Faucher C.Y. et MAPAQ., 2016.** Utilisation des fongicides foliaires en grand cultures. *Québécoise en agriculture* : 57p.
- Wilcoxon R.D. et Saari E. 1996.** Bunt and Smut diseases of wheat concepts and methods of diseases management. CIMMYT : 66p
- ZIDI H., 2010.** Effet comparatif de trois fongicides (Tilt, Artea et Amistar Xtra) appliqués en végétation sur les principales maladies foliaires du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et sur son rendement en grain et ses composantes. Mémoire de magistère on biologie végétale Option : Biotechnologie végétale. Université de Tébessa. Département des Sciences Naturelle : 41.
- Zillinsky F. J., 1983.** Maladies communes des céréales à paille : guide d'identification. Edition CIMMYT. Mexico : 139p.

Site web

[1] : https://www.google.com/search?q=Cycle+v%C3%A9g%C3%A9atif+du+bl%C3%A9&sxsrf=ALeKk00WGVtm90SEEQgVKTrDab3Lf_RpgA:1588524186395&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwihkPekZjpAhXQA2MBHTgZDkIQ_AUoAXoECA8QAw&biw=1366&bih=657#imgrc=ypPyOVhISSko5M&imgdii=7TDoHKe8k98wTM (Consulté le 10/05/2020).

[2] : <https://www.google.com/search?sxsrf=ALeKk02diJ493hgYjIsXft0bJdsuGYb9JQ:1588980268761&source=univ&tbm=isch&q=figure+des+pays+producteurs+du+bl%C3%A9+mondial+entre+2017&sa=X&ved=2ahUKEwjvzXjtKXpAhUh5uAKHet3BG0QsAR6BAgJEAE&biw=1366&bih=608#imgrc=QSblalntsVN8M> (Consulté le 12/05/2020).

[3] : https://www.google.com/search?q=image+de:+Bl%C3%A9+affect%C3%A9+par+la+rouille+noire&sxsrf=ALeKk02beWvW96X5KgoT1Bc85q7rpjzfCA:1592335603732&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=vTJpd1q4FoiZdM%253A%252C6jKTxzgTP0V_oM%252C_&vet=1&usg=AI4kT6BqdXSFKEAVm5UNowrSSqaLn2xw&sa=X&ved=2ahUKEwju4pewIfqAhVgTRUIHYfZA3AQ9QEwAnoECAEQCQ&biw=1366&bih=657#imgrc=uNg2kLdSj0a3XM (Consulté le 15/05/2020).

[4] : https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies_du_ble/rouille_jaune_du_ble.html
(Consulté le 25/02/2020).

[5] : https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies_du_ble/rouille_brune_du_ble.html
(Consulté le 25/02/2020).

[6] : https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies_du_ble/oidium_du_ble.html (Consulté le 28/02/2020).

[7] : https://www.bayer-agri.fr/cultures/helminthosporiose-du-ble-rapide-pouvoir-de-contamination_1273/ (Consulté le 28/02/2020).

[8] : https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/protection_semences_ble. (Consulté le 07/03/2020).

[9] : <https://www.quick-agro.fr/cereales/maladies/25-fusariose-des-epis.html>. (Consulté le 05/03/2020)

[10] : <https://www.koppert.fr/defis/maitrise-des-maladies/charbon-nu-du-ble/> (Consulté le 05/03/2020).

[11] : https://www.bayer-agri.fr/cultures/la-carie-du-ble-une-maladie-de-la-semence-en-recrudescence_3966/ (Consulté le 05/03/2020).

[12] : https://www.google.com/search?q=la+septoriose+des+feuilles+du+bl%C3%A9&sxsrf=ALeKk03QDua7FgVVbxOXa3XTx3wHW8ieYg:1588551487343&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiA4vC495jpAhXSDGMBHejLBjoQ_AUoAXoECA4QAw&biw=1366&bih=608#imgrc=CBBNUBeApfX2NM (Consulté le 18/05/2020).

[13] : http://www.fiches.arvalisinfos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=1&type_acc=4&id_acc=46(Consulté le 07/03/2020).

[14] : https://www.google.com/search?q=la+septoriose+des+feuilles+du+bl%C3%A9&sxsrf=ALeKk03QDua7FgVVbxOXa3XTx3wHW8ieYg:1588551487343&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiA4vC495jpAhXSDGMBHejLBjoQ_AUoAXoECA4QAw&biw=1366&bih=608#imgrc=_qiJOx5GXq82eM (Consulté le 17/05/2020).

[15] : https://www.google.com/search?q=Sch%C3%A9ma+repr%C3%A9sentant+les+m%C3%A9canismes+de+r%C3%A9sistance+des+champignons+aux+fongicides&sxsrf=ALeKk01qKh6j4Xq1cS2Ny4NFConeqFIP_A:1592503290851&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=Ecce_nj5PWZLpM%253A%252CVhsnSrbo0CcWnM%252C_&vet=1&usg=AI4_kT3CWM1vGCSD7BIXMIFjoZdRMpKHw&sa=X&ved=2ahUKEwjNotGHYvqAhWpShUIHaWCAVcQ9QEwAHoECAoQBQ&biw=1366&bih=657#imgrc=Ecce_nj5PWZLpM (Consulté le 20/05/2020).

[16] : Le site de la parcelle d'essai Google Maps.

<https://www.google.com/maps/dir/Institut+Technique+Des+Grandes+Cultures,+N80,+Guelma/44.132351,4.0908575/@39.5905241,1.0879236,6z/data=!3m1!4b1!4m8!4m7!1m5!1m1!1s0x12f060ad9fa12cfd:0xa52dc849bc092765!2m2!1d7.4477059!2d36.4605752!1m0?hl=fr-FR>. (Consulté le 13/03/2020)