

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, Sciences 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 de quelques formulations fongicides
apportées en végétation sur le contrôle des maladies du blé
tendre dans la région de Guelma (Nord-Est Algérien)**

Présenté par :

- Bouguerne Imane
- Rahali Ala Eddine
- Bediaf Zakaria

Devant le jury :

Président : Mr. KHALADI O. (MCB) Université 8 Mai 1945 Guelma
Examineur : Mme BENBELKACEM S. (MAA) Université 8 Mai 1945 Guelma
Encadreur : Mme ALLIOUI N. (MCB) Université 8 Mai 1945 Guelma
Invitée : Mme EL AYEB F. I.T.G.C. Guelma

Septembre 2020

Dédicaces

J'ai le plaisir de dédier ce travail

**A mes chers parents, que Dieu ait pitié d'eux
A ma mère qui m'a élevé, source d'amour et de discipline, le bonheur de ma vie ma mère
qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien
qui m'ont donné confiance, courage, et sécurité, ainsi qu'à son mari.**

**A mes oncles (chérif et aziez, zaghdoud) tous les mots ne sauraient exprimer, mon amour,
mon gratitude, pour leurs aides et leurs orientations dans ma vie.
Un grand merci à Madame Alloui Nora de m'avoir encadré, et je vous remercie pour votre
implication et vos nombreux conseils**

**A mes frères Mohamed, Ali, Bilel et mes sœur Souad, Samia et leurs enfants,
Je réitère mes remerciements pour leur soutien et encouragement contenu, ainsi que leur
constante affection à mon égard**

**Aux fils et filles de mes cousins qui sont comme mes frères et ma famille, ils ont fait
beaucoup de bien pour moi.**

**Mes dédicaces sont également adressées à tous mes amis avec lesquels j'ai partagé de beaux
moments et dont je garde d'excellents souvenirs.**

**Enfin je tiens à remercier tous les personnes qui mon aider d'une manière ou d'autre de
près ou de loin pour réaliser ce travail**

Imane

Dédicaces

À Hamdou lillah, 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 :

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

À mon père en reconnaissance de tout ce qu'il a fait pour moi tout au long de mon existence, pour son soutien moral, son encouragement continuels, et pour sa compréhension.

À mes frère et mes sœurs : Saïfislam, Karim, Rihem et Nine symbole d'ambiance et de gaieté qui je les souhaite une vie pleine de bonheur et une carrière pleine de gloire.

*À toute ma famille, à la famille : jawed paty et Ramzy
À tous mes amis: Amine, Oussama, Abdou Salam, Abdouhour, Ilyes,
Simo, bilal, zakî, chanez et imen.....*

À tous mes camarades de Master 2 phytopharmacie et protection végétale : Zaki, Amine K. H, Karim, Imen..... Aux gens que j'aime.

À la eddine

Remerciements

Nous remercions avant tout, **DIEU** le tout puissant de nous avoir guidé durant toutes ces années et nous a permis de réaliser ce mémoire en nous donnant la force, la patience et la volonté.

Nous tenons à remercier sincèrement et profondément notre encadreur **Dr. ALLIOUI N**, de bien vouloir accepter de diriger ce travail, pour ses précieux conseils, et pour avoir approfondi nos connaissances, par la mise à notre disposition de sa riche documentation, ainsi que pour ses bonnes orientations.

Nous exprimons également notre profond respect aux membres du jury : Mme **BENBELKACEM S.** et Mr. **KHALADI O.** pour avoir accepté de faire partie du jury et examiner ce modeste travail.

Nos sincères remerciements s'adressent aussi à Dr. **ZITOUNI A.** pour son aide dans le traitement statistique des résultats.

Nos remerciements les plus vifs, vont également à tout le personnel de l'I.T.G.C. de Guelma, pour leur accueil chaleureux au sein de la station, ainsi que pour leur aide dans l'installation et le suivi de notre expérimentation. Une reconnaissance particulière à Mme **NEEKAA S.**, directrice de l'I.T.G.C. de Guelma pour nous avoir facilité l'accès à la station, et à Mme **EI AYEB F.**, ingénieur à l'I.T.G.C. de Guelma, pour sa contribution à la réalisation de ce travail, notamment le suivi sur terrain, et aussi pour son aide, ses encouragements et sa gentillesse.

Enfin nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance et nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste de tableaux

Introduction 1

Chapitre 01 : La culture du blé, importance et contraintes de la production

1.1. Caractères botaniques et classification du blé 3

1.2. Cycle biologique du blé 3

1.3. Importance de la culture du blé 4

1.4. Contraintes de la production du blé en Algérie 6

1.4.1. Contraintes liées aux facteurs abiotiques 6

1.4.2. Contraintes liées aux facteurs biotiques 6

1.4.2.1. Les maladies cryptogamiques 6

1.4.2.2. Les maladies bactériennes 12

1.4.2.3. Les maladies virales 12

1.4.2.4. Les ravageurs 12

Chapitre 02 : Modalités de lutte contre les maladies cryptogamiques du blé

2.1. La lutte chimique 13

2.1.1. Utilisation mondiale des fongicides 13

2.1.2. Caractéristiques des fongicides 13

2.1.3. Présentation commerciale des fongicides 14

2.1.4. Qualités requises des fongicides 14

2.1.5. Comportement des fongicides au niveau de la plante 15

2.1.5.1. Les produits de contact ou de surface 15

2.1.5.2. Les produits pénétrants localisés (translaminaires) 16

2.1.5.3. Les produits systémiques 16

2.1.6. Modes d'action des fongicides 16

2.1.6.1. Les fongicides multisites 17

2.1.6.2. Les fongicides unisites 18

2.1.7. Phénomènes de résistance des champignons aux fongicides 20

2.1.8. Conditions d'application des fongicides 21

2.2. La lutte physique	22
2.3. La lutte culturale	22
2.4. La lutte biologique	22

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

3.1. Matériel végétal	23
3.2. Fongicides utilisés	24
3.2.1. Provenance et caractéristiques des fongicides utilisés	24
3.2.2. Caractéristiques des produits fongicides utilisés	24
3.3. Description du site d'essai	25
3.3.1. Localisation	25
3.3.2. Caractéristiques climatiques	26
3.3.3. Caractéristiques pédologiques	28
3.4. Installation et conduite de l'essai	29
3.5. Application des traitements fongicides	31
3.6. Paramètres étudiés	31
3.6.1. Notation des maladies	31
3.6.2. Croissance et développement de la culture	33
3.6.2.1. Stades de développement de la culture	33
3.6.2.2. Croissance de la plante	33
3.6.3. Paramètres agronomiques et rendement de la culture	34
3.6.3.1. Nombre de plants / m²	34
3.6.3.2. Nombre de talles par plant	34
3.6.3.3. Nombre d'épis / m²	34
3.6.3.4. Nombre de grains par épi	34
3.6.3.5. Poids de mille grains	34
3.6.3.6. Rendement / ha	34
3.7. Traitement statistique des résultats	35

Chapitre 04 : Résultats et discussion

4.1. Efficacité des produits testés contre les maladies enregistrées	36
4.1.1. Efficacité des produits testés contre la rouille brune	36
4.1.1.1. Sévérité de la maladie	36
4.1.1.2. Incidence de la maladie	38
4.1.2. Efficacité des produits testés contre l'oïdium	40
4.1.2.1. Sévérité de la maladie	40

4.1.2.2. Incidence de la maladie.....	42
4.2. Impact du traitement sur la croissance et le développement de la culture.....	44
4.2.1. Stades de développement de la culture.....	44
4.2. 2. Croissance de la culture	45
4.3. Impact du traitement sur les paramètres agronomiques et le rendement de la culture	46
4.3.1. Nombre de plants/m ²	46
4.3.2. Nombre de talles/ plant	48
4.3.3. Nombre d'épis/ m ²	50
4.3.4. Nombre de grains/ épi.....	51
4.3.5. Poids de 1000 grains	53
4.3.6. Rendement en grains	55
4.4. Analyse globale des résultats	59
Conclusion et perspectives	61
Résumés.....	63
Références bibliographiques	65

Liste des abréviations

I.T.G.C. : Institut Technique des Grandes Cultures

O.N.U. : Organisation des Nations Unies

TCAC : Taux de Croissance Annuel Composé

DMI : Inhibiteurs de Déméthylation (demethylation inhibitors)

ACSAD (Centre Arabe pour l'Etude des zones Arides et Non irriguées)

EC : Concentré Emulsionnable

EW : Emulsion de type aqueux

SC : Suspension Concentrée

ONM : Office National de la Météorologie

pH : Potentiel d'Hydrogène

MAP : Mono Ammonium Phosphate

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Différents stades de développement du blé	04
02	Les rouilles du blé. a : Rouille brune, b : Rouille noire, c : Rouille jaune	06
03	Symptômes de la tache auréolée (Tan Spot) sur blé	07
04	Symptômes de la septoriose des feuilles (STB) sur blé	07
05	Symptômes de la septoriose des feuilles et des épis (SNB) sur blé	08
06	Symptômes de l'oïdium sur blé	09
07	Symptômes de la fusariose de l'épi sur blé	09
08	Symptômes de l'helminthosporiose sur blé	10
09	Symptômes du charbon sur blé.	10
10	Symptômes de la carie commune sur épi de blé	11
11	Principaux sites d'action des fongicides	17
12	Situation géographique de l'I.T.G.C de Guelma.	26
13	Répartition mensuelle de la pluviométrie durant la campagne agricole 2019/2020	27
14	Dispositif expérimental de l'essai	30
15	Application des différents traitements fongicides	31
16	Echelle de notation des maladies foliaires	32
17	Sévérité de la rouille brune pour les différents traitements fongicides	37
18	Incidence de la rouille brune pour les différents traitements fongicides	39
19	Sévérité de l'oïdium pour les différents traitements fongicides	41
20	Incidence de l'oïdium pour les différents traitements fongicides	43
21	Hauteur des plantes pour les différents traitements fongicides	46
22	Nombre de plants/m ² pour les différentes parcelles (parcelle témoin et parcelles ultérieurement traitées)	47
23	Nombre de talles /plant pour les différents traitements fongicides	48
24	Nombre d'épis /m ² pour les différents traitements fongicides	49
25	Nombre de grains/épi pour les différents traitements fongicides	52
26	Poids de 1000 grains (PMG) pour les différents traitements fongicides	53
27	Rendement en grains pour les différents traitements fongicides	56
28	Attaque de plants par l'oïdium	57
29	Attaque de plants par la rouille brune	57

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Classification botanique du blé.	03
02	Production et consommation de blé (MT).	05
03	Perspectives de récolte du blé dans l'Afrique du Nord.	05
04	Caractéristiques de la variété Maouna.	23
05	Précipitations enregistrées (mm), durant la campagne 2019-2020, comparées à la moyenne de 20 ans dans la région de Guelma.	27
06	Moyennes mensuelles de température dans la région de Guelma.	28
07	Caractéristiques pédologiques du site d'essai.	28
08	Sévérité de la rouille brune après l'application des traitements fongicides	37
09	Analyse de la variance pour la sévérité de la rouille brune (après 30 j).	38
10	Analyse de la variance pour la sévérité de la rouille brune (après 45 j).	38
11	Incidence de la rouille brune (%).	39
12	Analyse de la variance pour l'incidence de la rouille brune	40
13	Sévérité de l'oïdium après l'application du traitement fongicide	42
14	Analyse de la variance pour la sévérité de l'oïdium (après 07 jours du traitement)	42
15	Analyse de la variance pour la sévérité de l'oïdium (après 15 jours du traitement)	42
16	Incidence de l'oïdium après l'application des traitements fongicides.	43
17	Analyse de la variance pour l'incidence de l'oïdium	44
18	Dates des différents stades phénologiques de la culture.	44
19	Hauteur des plantes pour les différents traitements fongicides (Cm).	45
20	Analyse de la variance pour la hauteur des plantes	46
21	Nombre de plants par mètre carré pour les différentes parcelles	46
22	Analyse de la variance pour le nombre de plants par mètre carré.	48
23	Nombre de talles/ plant pour les différents traitements	49
24	Analyse de la variance pour le nombre de talles/ plant.	50
25	Nombre d'épis par m ² pour les différents traitements fongicides.	51
26	Analyse de la variance pour le nombre d'épis par mètre carré.	52
27	Nombre de grains par épi pour les différents traitements fongicides.	52
28	Analyse de la variance pour le nombre de grains par épi.	53

29	Poids de mille (1000) grains pour les différents traitements fongicides (g).	55
30	Analyse de la variance pour le poids de 1000 grains.	55
31	Rendement par hectare pour les différents traitements fongicides	58
32	Analyse de la variance pour le rendement par hectare.	58

Introduction

Introduction

Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. En Algérie, la production du blé connaît des fluctuations d'une année à l'autre, et malgré les efforts fournis pour l'augmentation de la production nationale en cette matière, les rendements sont faibles et le pays fait recours aux importations pour subvenir aux besoins de la population.

Ces dernières années, la consommation nationale du blé, a légèrement augmenté en raison de l'urbanisation accrue, de la croissance démographique et de la capacité de mouture accrue. La consommation totale de blé est estimée à 10, 600 MMT pour la campagne 2019/2020 (**Hales, 2019**).

D'une part, les occurrences de stress osmotiques (Stress hydrique, salinité du sol, températures élevées.) ont de profondes répercussions sur la production mondiale de blé (**Abhinandan et al., 2018**).

D'autre part, le blé est sujet à de nombreuses contraintes biotiques, notamment les maladies cryptogamiques qui occasionnent des pertes substantielles aussi bien en rendement qu'en qualité des grains, en conditions environnementales favorables pour les pathogènes, et quand les variétés utilisées sont sensibles (**Zahri et al., 2014**).

Selon **Lepoivre (2003)**, les maladies cryptogamiques (causées par les champignons) représentent 80% des maladies qui affectent les céréales à paille, et interviennent de façon considérable dans la réduction quantitative des rendements céréaliers.

Parmi les maladies cryptogamiques des céréales, certaines constituent des problèmes majeurs : cas des maladies transmises par la semence, facteur primordial de la productivité (maladies charbonneuses) et des maladies foliaires (Rouilles, Septoriose, tache auréolée et oïdium) où les pertes occasionnées par ces maladies peuvent atteindre plus de 50% (**Rapilly, et al., 1971**).

Pour lutter contre ces maladies, plusieurs méthodes peuvent être utilisées (chimiques, biologiques, physiques, culturelles), la lutte chimique, par utilisation des fongicides étant la plus utilisée.

Ces produits peuvent être de contact ou systémiques, à action préventive ou curative, et leur efficacité contre les différentes maladies sont très dépendantes de la nature de la matière active et des conditions d'application des produits.

L'objectif visé par cette étude est de comparer l'efficacité de quatre formulations fongicides, dont 03 sont nouvellement introduites en Algérie, en phase d'essai pour l'homologation, et la 4^{ème} formulation, celle d'un produit homologué et commercialisé en Algérie depuis plusieurs années. Les différentes formulations sont recommandées pour le traitement foliaire contre les maladies cryptogamiques du blé.

Deux axes d'investigation sont pris en considération :

- L'efficacité des produits contre les maladies cryptogamiques observées.
- L'effet du traitement sur le développement et le rendement de la culture.

**Chapitre 01 : La culture du
blé, importance et contraintes
de la production**

1.1. Caractères botaniques et classification du blé

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae*. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum* Desf.), mais il existe de nombreuses autres espèces de *Triticum* qui se différencient par leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génome AA; blés tétraploïdes : génomes AA et BB ; blés hexaploïdes : génomes AA, BB et DD) et par leur nombre de chromosomes (14, 28 ou 42). Le blé tendre possède les trois génomes AA, BB et DD constitués chacun de sept paires de chromosomes homologues numérotés de 1 à 7 (A1...A7, B1...B7, D1...D7), soit au total 42 chromosomes ; le blé dur ne contient que les deux génomes AA et BB et 28 chromosomes (Feillet, 2000). La classification botanique du blé est indiquée dans le **tableau 01**.

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

Famille	Sous-famille	Tribu	Sous-tribu	Genre	Nom commun (espèce)
Gramineae	Festucoideae	Triticeae	Triticineae	<i>Triticum</i>	Blé tendre : <i>T. aestivum</i>
		Aveneae			Blé dur : <i>T. durum</i>

1.2. Cycle biologique du blé

Gigot (2009) rapporte que, le cycle de développement du blé est habituellement découpé en quatre grandes phases, elles-mêmes subdivisées en plusieurs stades :

- **La levée** : Intervenant juste après le semis, elle comprend trois étapes successives (germination, élongation du coléoptile et croissance de la première feuille) et se poursuit par le stade 2 - 3 feuilles.

- **Le tallage** : Lorsque la tige principale ou maître brin possède 3 à 4 feuilles, une nouvelle tige apparaît à l'aisselle de la feuille la plus âgée : il s'agit de la première talle primaire. Par la suite, d'autres talles primaires ou secondaires vont également se développer.

- **La montaison** : Avec l'arrêt de l'émission des talles, la tige principale et les talles les plus âgées commencent à s'allonger (stade épi 1 cm) ; les autres tiges, plus jeunes, vont régresser puis mourir. La méiose pollinique, puis le stade gonflement précèdent l'épiaison, qui correspond à la sortie de l'épi hors de la gaine de la dernière feuille ou feuille drapeau. La montaison s'achève avec la floraison ou anthèse, moment où a lieu la fécondation.

- **La maturation** : Elle correspond à la formation du grain et comprend 3 phases :

- **le stade grain laiteux** : marque la fin des multiplications et différenciations cellulaires au sein du grain, fixant par là même le poids potentiel, car le nombre maximal de cellules est atteint.

- **le stade grain pâteux** : correspond à la fin de la croissance des cellules de l'enveloppe et du remplissage des amyloplastes par des sucres essentiellement sous forme d'amidon.

- **la maturité physiologique** : est atteinte dès que la migration de matière sèche vers le grain a cessé, déterminant par là même la valeur maximale du poids sec. Une phase rapide de dessiccation se met alors en place, aboutissant à la « maturité récolte », lorsque le grain est devenu suffisamment sec et dur pour pouvoir être récolté.

Les différentes phases de développement du blé sont représentées dans la **figure 01**.

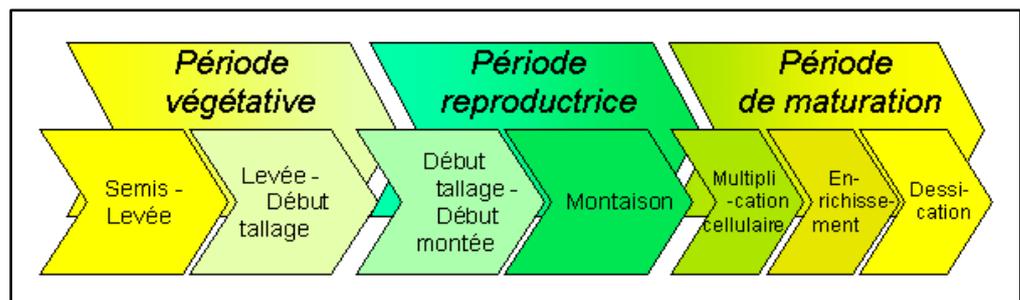


Figure 01: Différents stades de développement du blé [1].

1.3. Importance de la culture du blé

- **Dans le monde** : Le blé joue un rôle essentiel dans l'alimentation directe et également indirecte d'une très large fraction de l'humanité. C'est la céréale la plus cultivée et la plus commercialisée sur le marché mondial (**Charvet, 1977**).

Le **tableau 02** indique les taux de production et de consommation du blé (dur et tendre) dans les pays les plus producteurs au monde.

Tableau 02 : Production et consommation de blé (MT) : 2013-2014 (Le Stum *et al.*, 2017)

	Production	Consommation	Solde
UE	155484	113700	41784
Chine	126171	123330	2841
Inde	95850	93740	2110
Russie	59711	35780	23931
Etats-Unis	55129	34230	20899
Monde	720846	696422	24424

- **En Algérie :** En Algérie, la céréaliculture constitue la principale spéculation de l'agriculture par son importance dans l'alimentation de la population et l'importance des superficies qu'elle occupe (Zaidi *et al.*, 2018).

Bien que la céréaliculture couvre 3,5 millions d'hectares, soit 60% des superficies cultivées, le rendement demeure faible et irrégulier (Zaidi *et al.*, 2018). En 2018-2019, la production nationale en blé est d'environ 4 Millions de tonnes (Tab. 03), et le pays fait recours aux importations pour subvenir aux besoins de la population.

La France est le premier fournisseur de l'Algérie en blé tendre avec 55% de ses approvisionnements. L'Argentine est son deuxième fournisseur avec 20% de parts de marché, ainsi que des Etats-Unis, et parfois d'Allemagne et d'Estonie [2].

Tableau 03: Perspectives de récolte du blé dans l'Afrique du Nord (ONU, 2019)

Afrique du nord	Moyenne 5 ans	Blé 2018 (Estimation)	Blé 2019 (Prévision)
Afrique du Nord	19.2	21.3	19.8
Egypte	9.1	8.8	9.2
Maroc	6.1	7.3	4.9
Algérie	2.8	3.9	4.0
Tunisie	1.1	1.1	1.5

1.4. Contraintes de la production du blé en Algérie

1.4.1. Contraintes liées aux facteurs abiotiques

Les occurrences de stress osmotiques (Stress hydrique, salinité du sol, températures élevées,...) ont de profondes répercussions sur la production mondiale de blé. Les cas de sécheresse sont de plus en plus fréquents et de plus en plus persistants en raison du réchauffement climatique, ce qui augmente le potentiel de menace pour les rendements (Abhinandan *et al.*, 2018). Chez les céréales, la salinité représente une contrainte majeure pour la production, l'effet dépressif du sel se manifeste à partir d'un seuil critique de concentration caractéristique de l'espèce ou de la variété (Bouaouina *et al.*, 2000 ; Ouhaddach *et al.*, 2016).

1.4.2. Contraintes liées aux facteurs biotiques

1.4.2.1. Les maladies cryptogamiques

a- **Les rouilles** : le blé peut être attaqué par trois types de rouilles. Les symptômes spécifiques à chaque espèce de rouille sont les suivants (Ezzahiri, 2001) :

- **Rouille brune** causée par *Puccinia recondita* f.sp. *tritici* : pustules de petite taille, circulaires ou ovales, oranges ou brunâtres. Elles apparaissent de préférence sur la face supérieure des feuilles (**Fig. 02a**).

- **Rouille noire** causée par *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* : Pustules plus longues que celles de la rouille brune et de couleur rouge-brique à marron foncé. Elle se développe sur les feuilles, sur les tiges et sur les épis (**Fig. 02b**).

- **Rouille jaune** causée par : *Puccinia striiformis* : Pustules jaunâtres, alignées le long des nervures des feuilles, sous forme de stries. Les pustules se développent aussi sur la face inférieure des feuilles et sur les épis (**Fig. 02c**).



Figure 02: Les rouilles du blé. a : Rouille brune [3], b : Rouille noire [4] c : Rouille jaune [5]

b- La tache auréolée : La tache auréolée est une maladie cryptogamique causée par le champignon *Pyrenophora tritici-repentis*. Les symptômes apparaissent sur les feuilles sensibles sous forme de lésions ovales à losanges (**Fig. 03**). Plus tard, les lésions s'allongent et développent un bronzage, couleur avec un halo chlorotique et un petit site d'infection brun foncé. Sur le blé résistant et partiellement résistant, la taille des lésions est réduite et la chlorose et la nécrose peuvent être absentes (**Moreno et al., 2012**).



Figure 03: Symptômes de la tache auréolée (Tan Spot) sur blé [6]

c- Les septorioses : Le blé peut être attaqué par deux types de septorioses qui diffèrent par les symptômes et la biologie :

***Septoriose des feuilles** causée par le champignon *Zymoseptoria tritici* (forme parfaite *Mycosphaerella graminicola*) : Les premiers symptômes apparaissent sous forme de petites taches chlorotiques sur les feuilles (**Fig. 04**). Elles évoluent ensuite très vite en lésions brunes, longues, étroites et parfois délimitées par les nervures de la feuille. Ces taches contiennent les structures de fructification du pathogène, appelées pycnides, qui ressemblent à de petits points noirs ou bruns typiques de cette maladie (**Allioui, 2015 ; Bataille et al., 2018**).



Figure 04: Symptômes de la septoriose des feuilles (STB) sur blé [7]

***Septoriose des feuilles et des épis** causée par le champignon *Stagonospora nodorum* (forme parfaite *Phaeosphaeria nodorum*) : l'agent causal de la maladie, produit des symptômes sur toutes les parties aériennes de la plante (**Fig. 05**). Sur les feuilles, les premiers symptômes apparaissent sous forme de petites lésions brun foncé à chocolat, généralement sur la nervure médiane des feuilles plus âgées qui sont proches de la surface du sol. Ces lésions ont généralement un halo jaune (**Fig. 05a**) en raison des toxines diffusibles produites par l'agent pathogène. Les lésions se dilatent et deviennent ovales (en forme de lentille) ou elliptiques avec des centres brun foncé. Une lésion mature a un centre blanc grisâtre avec une périphérie brun foncé. Dans les épidémies sévères, les lésions peuvent fusionner pour couvrir toute la feuille, entraînant la mort du tissu foliaire. Sur les glumes, les lésions sont de couleur brune (**Fig. 05b**). Les glumes infectées conduisent à des grains ratatinés qui réduisent la qualité et la quantité des grains (**Fig. 05b**).

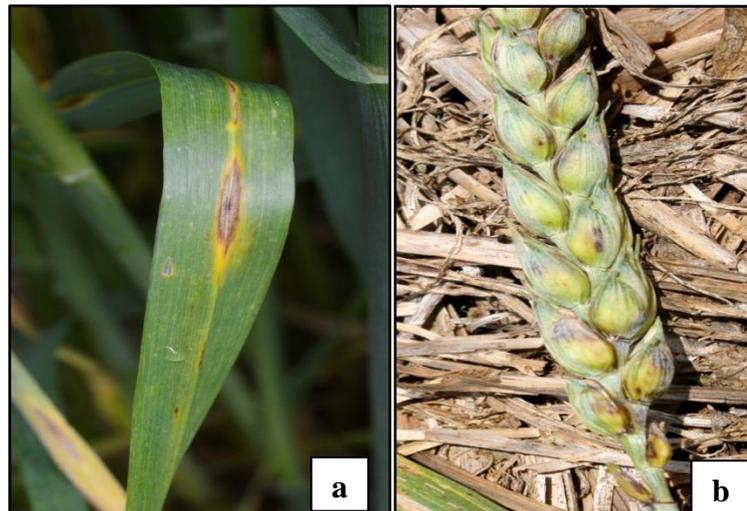


Figure 05: Symptômes de la septoriose des feuilles et des épis sur blé.

a : sur feuilles, **b** : sur épis (Mehra *et al.*, 2018)

d- L'oïdium : l'oïdium, causé par *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, est l'une des maladies foliaires du blé, les plus dévastatrices (Fu *et al.*, 2013). Les symptômes (**Fig. 06**) se manifestent sur feuilles et épis. Un feutrage blanc, cotonneux se forme sur toute la feuille (face supérieure) puis devient brun et gris. Après quelques temps, des ponctuations noires apparaissent (organes de conservation). La présence de la maladie peut conduire à l'échaudage des grains (Ecophyt, 2015).



Figure 06: Symptômes de l'oidium sur blé [8]

e – Les fusarioses : Chez le blé, les fusarioses peuvent être causées par différents agents pathogènes. La fusariose causée par le champignon ascomycète *Fusarium graminearum* est une maladie très destructrice du blé (**Zhang et al., 2012**).

Différents types de symptômes peuvent être observés : la fonte des semis, le dessèchement des jeunes plants et l'apparition d'épis blancs prématurés et improductifs (**Fig. 07**). En cas d'attaques sévères la pourriture se généralise à toute la partie basale du plant. On peut aussi observer des taches nécrotiques noires sur le collet, le rhizome ou même les racines (**Aouali et Douici-Khalfi, 2009**).



Figure 07 : Symptômes de la fusariose de l'épi sur blé [9]

f- L'helminthosporiose : causée par le champignon *Helminthosporium sativum*. Les lésions occasionnées par cette maladie sont de forme allongée ou ovale (**Fig. 08**), généralement d'un brun foncé. Le centre prend une couleur qui va du brun clair au brun bronze à mesure que les lésions mûrissent. Ces lésions sont entourées d'un anneau irrégulier de teinte plus sombre (**Prescott et al., 1987**).



Figure 08: Symptômes de l'helminthosporiose sur blé [10]

g- Les charbons : Deux types de charbons s'attaquent au blé :

* **Charbon de l'épi :** causé par le champignon *Ustilago tritici*. Les symptômes sont observables entre la floraison et la maturité. Les épis atteints sont noirs et apparaissent plus tôt que les épis sains. Les épillets des plantes malades sont transformés en amas de spores brun olive foncé à noirs (**Fig. 09a**) ; Les enveloppes de la graine ainsi que leur contenu sont remplacées par une masse de spores noires (**Aouali et Douici-Khalfi, 2009**).

* **Charbon foliaire :** causé par le champignon *Urocystis agropyri*. Les symptômes apparaissent, sous forme d'étroites stries de téleutospores noires (**Fig. 09b**), sous l'épiderme des feuilles et des gaines florales et parfois sur les tiges. Les plantes malades grandissent généralement peu, tallent à profusion et peuvent ne pas donner d'épis. En cas d'infection grave, les feuilles s'enroulent sur elles-mêmes et prennent un aspect analogue à celles de l'oignon. En vieillissant, l'épiderme des plantes se déchire et libère les téleutospores (**Prescott et al., 1987**).



Figure 09 : Symptômes du charbon sur blé.

a : sur épi [11], **b** : sur feuilles [12]

h- La carie commune : La carie commune est occasionnée par *Tellitia caries* ou *T. tritici* et *T. foetida* ou *T. laevis*. Ces deux champignons sont considérés comme des variants de la même espèce. En fait, ils sont caractérisés par des morphologies similaires, le même cycle biologique et les mêmes races physiologiques. Néanmoins, ils diffèrent légèrement par la forme et la texture des téléutospores. Les symptômes de l'infection deviennent visibles après la montaison. Les plants infectés, caractérisés par un fort tallage, semblent légèrement plus courts que les plants sains. Les épis contaminés, de couleur verte bleuâtre, murissent tôt dans la saison. Les glumes tendent à s'écarter pour faire apparaître des grains malades, de formes arrondies et de couleur grise brunâtre qui dégagent l'odeur caractéristique du poisson (**Fig. 10**). Les grains normaux sont remplacés par des masses sporifères (**Ben Mbarek et Boubaker, 2017**).



Figure 10: Symptômes de la carie commune sur épi de blé
(à gauche : épi sain, à droite : épi infecté) [13]

i- Le piétin échaudage : *Gaeumannomyces graminis*, agent causal du piétin échaudage est un champignon qui contamine les racines des plantes hôtes dès l'automne et envahit le système vasculaire. Il progresse ensuite à l'intérieur des vaisseaux conducteurs de sève en les obstruant, provoquant pour conséquence un défaut de l'alimentation et un échaudage généralisé des plantes par foyers en fin de saison (**Bonin et al., 2018**). Les symptômes typiques à l'épiaison sont : échaudage complet de toute la plante avec ses talles, couleur dominante blanche (paille sèche), nécroses noires des racines,... (**Anonyme, 2012**).

1.4.2.2. Les maladies bactériennes

Les bactéries phytopathogènes sont des procaryotes, unicellulaires, en forme de bâtonnet, pour la plupart gram-négatives, mobiles par flagelles et aérobies ou anaérobies facultatives. Elles sont introduites dans la plante par de fortes éclaboussures de pluie et des insectes, mais toujours par des blessures. Ils sont capables de produire des toxines et des enzymes qui dégradent les tissus végétaux (Yeshwant, 2014). Selon Prescott *et al.* (1987) les principales maladies bactériennes du blé sont :

- **Glume noire et strie bactérienne** : *Xanthomonas campestris* pv. *translucens* Syn. *X. translucens*, *X. translucens* f. *sp. undulosa*, *X. campestris* pv. *Undulosa*.
- **Bactériose des glumes et brûlure bactérienne de la feuille** : *Pseudomonas syringae* pv. *atofaciens* Syn. *Pseudomonas atrofaciens*.
- **Brûlure bactérienne de l'épi (pourriture jaune de l'épi)** : *Corynebacterium tritici*.

1.4.2.3. Les maladies virales

Deux maladies virales transmises par un micro-organisme du sol appelé *Polymyxa graminis* peuvent infecter le blé dur et le blé tendre : Le virus de la mosaïque des stries en fuseaux du blé (VSFB) qui infecte particulièrement le blé dur, et le virus de la mosaïque des céréales (VMC) qui peut aussi infecter le triticale. Les symptômes typiques des mosaïques sont des stries chlorotiques répartis irrégulièrement (en mosaïques) qui apparaissent sur les feuilles émergentes lorsque les plantes commencent à pousser. A partir de mi-tallage, on peut observer : des plantes chétives, la croissance et le tallage sont réduits, des plantes peuvent disparaître, les vieilles feuilles jaunissent puis dessèchent (Arvalis, 2017).

1.4.2.4. Les ravageurs

Certains ravageurs sont très polyphages et leur gestion se raisonne sur la rotation : limaces (attaques entre la levée et le stade 3 feuilles), taupins, dont les larves consomment les pieds de blé en particulier en sortie d'hiver au niveau du plateau de tallage. D'autres sont plus inféodés au blé, comme les pucerons (*Rhopalosiphum padi*), principalement problématiques lors des automnes doux, leur permettant de rester actifs sur les cultures pendant une longue durée, et de les infecter en transmettant par leur piqûre le virus de la jaunisse nanisante de l'orge (VJNO ou BYDV). Les cécidomyies (*Sitodiplosis mosellana*), dont l'insecte pond au niveau des grains, que la larve consomme induisant en cas d'attaque importante des dégâts significatifs (Le stum *et al.*, 2017).

**Chapitre 02 : Modalités de
lutte contre les maladies
cryptogamiques du blé**

2.1. La lutte chimique

La lutte chimique repose sur l'utilisation de fongicides, et elle a pour but d'éviter l'apparition de la maladie (traitement préventif) ou de stopper la prolifération de la maladie (traitement curatif). La lutte 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 (**Mahdjoub et Megherbi, 2018**).

L'idée de lutter avec les produits chimiques contre les maladies des céréales est fort ancienne. Le premier fongicide à efficacité prouvée a été la bouillie bordelaise, développée en 1882. C'est un mélange de chaux et de sulfate de cuivre, qui a été utilisé depuis longtemps (**Bernal, 2000**). En France, en 1930-1935, on utilisait l'acide sulfurique. Aux USA des pulvérisations foliaires de sulfanate de calcium, de sulfamides de phényl hydrazine et de sels de Nickel ont montré des résultats encourageants contre certaines rouilles (**Hennouni, 2012**).

2.1.1. Utilisation mondiale des fongicides

Les prévisions, 2013-2020, indiquent que le marché mondial des fongicides atteindrait 16,2 milliards de dollars d'ici 2020, enregistrant un TCAC (Taux de croissance annuel composé) de 5,4% de 2014 à 2020. Des segments à forte croissance tels que le triazole et la strobilurine devraient contribuer considérablement à la croissance du marché mondial des fongicides dans le monde (**Ravichandra, 2018**). Au niveau régional, les ventes de fongicides en Europe / Moyen Est / Afrique (EMEA) et surtout en Europe (occidentale) dominent en raison de la pertinence dominante des céréales, suivies de près par l'Asie / Asie Pacifique avec une importante consommation de fongicides dans les légumes et la production de fruits (**Jeschke et al., 2019**).

2.1.2. Caractéristiques des fongicides

Les fongicides, l'une des classes des pesticides, sont des substances toxiques qui sont utilisés pour tuer ou empêcher la croissance des champignons. La plupart des fongicides à usage agricole sont appliqués sur les graines, les feuilles ou les fruits (**Bernal, 2000**). En fonction de la période d'application par rapport au stade de l'infection, les fongicides peuvent être classés en deux groupes (**Regnault-Roger, 2014**) :

❖ **Fongicides préventifs** : Ils agissent principalement en surface, au niveau de la cuticule, et empêchent que le champignon s'établisse sur le végétal et envahisse les tissus. La molécule active agit sur les premiers stades de développement du champignon comme la germination des spores.

❖ **Fongicides curatifs** : Les fongicides curatifs agissent sur un stade de développement plus avancé du champignon et empêchent celui-ci de coloniser le tissu végétal. Ils vont bloquer sa progression pendant les phases au cours desquelles le champignon pénètre dans le végétal et s'installe, ou développe son mycélium dans l'ensemble de l'organisme. Les fongicides curatifs sont en général des fongicides systémiques, qui diffusent dans l'ensemble du végétal.

2.1.3. Présentation commerciale des fongicides

Les fongicides sont généralement peu solubles dans l'eau. Les formulations commerciales contiennent des adjuvants qui permettent d'obtenir des suspensions homogènes. (Davet et Rouxel, 1997).

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

- **Les poudres mouillables** : qui représentent une très forte majorité. La suspension de particules entre 2 à 20 μm .

- **Les émulsions** : La matière active est en suspension dans un liquide.

- **Le poudrage** : Matière sèche ne nécessitant pas l'adjonction d'eau, la grosseur des particules se situe entre 10 et 40 μm . Dans les poudres mouillables, la matière active représente 25 à 50% du produit commercial. Dans les poudrages, elle ne représente que 7.8 à 8%, le reste est constitué de support, de collant, de stabilisateur ou de mouillant.

- **Les granulés** : Réservés aux insecticides mais quelques fois contiennent des fongicides, ils permettent d'épandre la substance au pied des plantes et représentent donc une économie de matière active/ha.

2.1.4. Qualités requises des fongicides

Selon Chaube et Pundhir (2005), un fongicide idéal devrait avoir les caractéristiques suivantes :

- **Caractéristiques relatives aux effets biologiques :** et concernent plus particulièrement, l'efficacité de la matière active sur la cible :

- (1) Des performances élevées et constantes au champ
 - (a) Fongitoxicité efficace
 - (b) Disponibilité du constituant actif
 - (c) Bonne couverture prolongée de la surface de l'hôte
- (2) Une phytotoxicité faible ou nulle
- (3) Aucun effet néfaste sur les autres composants de l'écosystème de la culture

- **Caractéristiques liées à la formulation :** qui doit être :

- (1) Stable et peut être stockée ou transportée sans aucun risque ou danger.
- (2) Facile à appliquer à un dosage précis
- (3) La formulation devrait augmenter l'efficacité de la matière active
- (4) Stable après dilution et lors de la pulvérisation.

- **Caractéristiques liées aux effets toxicologiques :** il faut que le produit soit :

- (1) Non dangereux pendant l'application
- (2) Sans aucune toxicité résiduelle pour les consommateurs.

- **Caractéristiques économiques :** Le rendement financier doit dépasser le coût de l'application.

2.1.5. Comportement des fongicides au niveau de la plante

Selon **Lamour (2013)**, les fongicides sont classés en trois catégories, en fonction de leur comportement dans la plante : de contact, translaminaires ou systémiques.

2.1.5.1. Les produits de contact ou de surface

Les fongicides préventifs sont surtout des fongicides de contact. Ils 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, ou encore la sporulation qui se produit à la surface de la plante. Par conséquent, les fongicides de contact protègent la plante de l'infection, au niveau du site d'application. Ils ne pénètrent pas la

plante et demandent des applications répétées pour renouveler la couche protectrice et en cas de pluie provoquant des pluviollessivats, des applications fréquentes. Pour être efficaces, les fongicides de contact doivent être répartis de manière uniforme à la surface de la plante (**Regnault-Roger, 2014**).

2.1.5.2. Les produits pénétrants localisés (translaminaires)

Selon **Beckerman (2018)**, les fongicides pénétrants se déplacent dans les tissus végétaux et pénètrent au-delà de la cuticule et dans le tissu foliaire traité lui-même. Les pénétrants localisés restent dans la zone de contact initial avec la plante et subissent très peu de mouvement à l'intérieur de la plante (un processus appelé translocation).

2.1.5.3. Les produits systémiques

Les fongicides systémiques sont véhiculés à l'intérieur de la plante, ils présentent soit une mobilité apoplastique (mouvement dans l'espace intercellulaire libre, les parois cellulaires et les éléments du xylème) ou la mobilité symplastique (mouvement à travers les plasmodesmes d'une cellule à l'autre) impliquant une absorption et une distribution via le phloème. Certains systémiques peuvent présenter à la fois un mouvement apoplastique et symplastique. Les fongicides systémiques peuvent avoir une activité protectrice, curative ou éradicatrice (**Richard et al., 2014**).

2.1.6. Modes d'action des fongicides

Il y a une multitude de modes d'action des fongicides (**Fig. 11**). Les fongicides peuvent altérer la membrane des cellules des champignons, désactiver des enzymes ou des protéines, interférer avec des processus de respiration ou de production d'énergie. Certains fongicides interfèrent avec des cycles métaboliques importants pour la survie du champignon comme la production de stérol. Il est important de noter que les fongicides affectent une ou plusieurs activités métaboliques du champignon. Les fongicides qui agissent sur un seul site métabolique sont généralement efficaces seulement sur certains champignons, mais il est plus facile pour le champignon de développer de la résistance. D'autre part, les fongicides qui agissent sur plusieurs sites métaboliques sont plus difficiles à contourner pour les champignons et le développement de résistance est rare (**Carisse, 2008**).

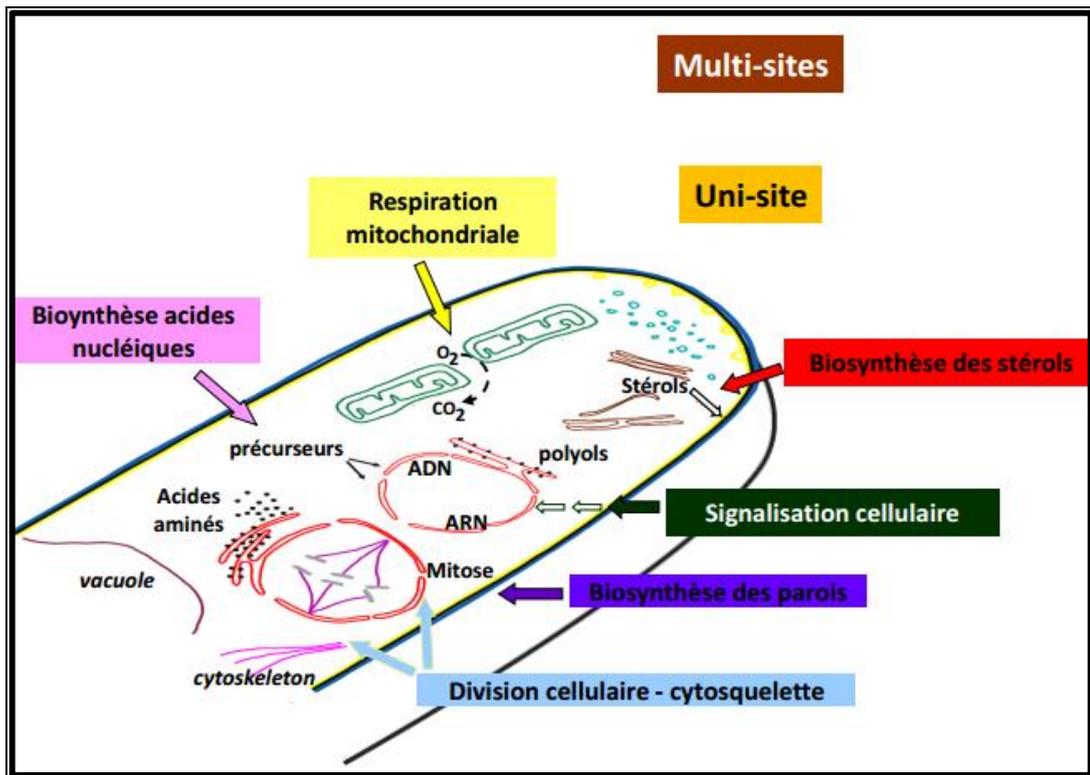


Figure 11 : Principaux sites d'action des fongicides (Debieu *et al.*, 2019)

2.1.6.1. Les fongicides multisites

Les produits multisites sont utilisés depuis plusieurs années en pulvérisation des parties aériennes des plantes ou en traitement des semences. Certains d'entre eux, comme les dithiocarbamates et les N-trichlorométhylmercaptans présentent un large champ d'action, incluant des Ascomycètes, des Basidiomycètes, ou des Oomycètes (Leroux, 2003).

Les fongicides multisites sont des produits à large spectre d'action. Ils agissent de manière non spécifique avec les constituants essentiels des cellules vivantes. Ils sont impliqués dans les mécanismes de base qui se rencontrent chez tous les êtres vivants, notamment les mécanismes enzymatiques de la production d'énergie du végétal (processus respiratoire). Ils bloquent par voie de conséquence la germination du champignon. Les fongicides de contact sont en général multisites. Ils présentent une faible persistance d'action et de ce fait les traitements doivent être renouvelés fréquemment, notamment en cas de pluie. Ils ont besoin des doses élevées, mais sont beaucoup moins sujets à l'apparition de résistance que les fongicides unisites. De ce fait, ils sont identifiés comme des outils d'importance pour l'élaboration de stratégies antirésistance (Regnault-Roger, 2014).

Selon **Debieu (2017)** les fongicides multi-sites peuvent être :

- **Des produits minéraux** : à base de cuivre ou de soufre (1-20 kg/ha).
- **Des produits organiques de synthèse** : qui regroupent :
 - Les Dithiocarbamates (manèbe, mancozèbe, ziram, thirame...)
 - Les Chlorométhylmercaptans (dichlofluanide, folpel...)
 - Les Guanidines (doguadine, guazatine)
 - Les Quinones (dithianon)
 - Les Hydroxyquinoléines (oxyquinoléate de cuivre)
 - Les Aromatiques (chlorothalonil)
 - et autres

2.1.6.2. Les fongicides unisites

Les fongicides à site unique peuvent être désignés comme étant « spécifiques au site » et ils perturbent un seul processus biochimique ou physiologique contrôlé par un seul gène dans un champignon sensible. Les fongicides à site unique sont plus susceptibles de rencontrer des problèmes de résistance. Le benzimidazole, le dicarboximide, les inhibiteurs de déméthylation (DMI), les phénylamides et les fongicides Qol (strobilurines) sont des fongicides spécifiques à un seul site (**Dernoeden, 2012**). En fonction du site d'action, il existe différents groupes de fongicides unisites :

➤ **Les inhibiteurs de la respiration** : par lesquels soit la formation d'acétyl coenzyme A (CoA) est inhibée, soit la phosphorylation de la chaîne respiratoire est interrompue, et simultanément la production de l'adénosine triphosphate (ATP) est inhibée. L'ion cuivrique Cu^{2+} du sulfate de cuivre, de l'oxyde de cuivre, du naphtéate de cuivre, du cuivre-8-hydroxyquinolate, etc, est un inhibiteur typique des processus respiratoires dans les cellules fongiques. Il a une affinité pour différents groupes chimiques dans les cellules des champignons, en particulier pour les groupes thiol, entraînant une dénaturation non spécifique des protéines et des enzymes. Des effets inhibiteurs similaires ont été notés pour les composés de l'arsenic, le 2-phénylphénol, le pentachlorophénol et autres composés phénoliques, les carboxamides, les composés du tributyltin ou les isothiazolones (**Carisse, 2010**).

➤ **Les inhibiteurs des membranes**

Les stérols sont présents dans les membranes cellulaires de toutes les plantes supérieures, les animaux et les champignons. Ils ont un rôle stabilisant dans la bicouche phospholipidique de la membrane cellulaire et servent à maintenir sa fluidité. L'ergostérol est le principal stérol de la membrane hyphale des champignons. L'interférence avec la biosynthèse des stérols entraîne la désorganisation des membranes cellulaires ou hyphales et la perte de leur capacité à réguler le mouvement des substances entrant et sortant des cellules ou des hyphes. Une perturbation de l'activité métabolique dans le cytoplasme peut se produire et des cellules ou des hyphes peuvent alors dégénérer. La voie de biosynthèse des stérols dans de nombreux champignons implique la conversion du précurseur de stérols, lanostérol par une série d'étapes enzymatiques en ergostérol. La majorité des fongicides qui agissent en inhibant la biosynthèse des stérols le font en empêchant la déméthylation du composé 24-méthylène dihydrolanostérol, et sont par conséquent souvent appelés inhibiteurs de la déméthylation (DMIs). La formation d'ergostérol est ainsi inhibée et les hyphes fongiques peuvent dégénérer (Carlile, 1995).

➤ **Les inhibiteurs de la synthèse des parois**

La chitine joue un rôle structurel et de renforcement majeur dans les parois cellulaires fongiques. La chitine est un ensemble de microfibrilles constituées de chaînes polysaccharidiques liées à l'hydrogène qui peuvent être réticulées de manière covalente à d'autres polysaccharides, principalement le glucane. Il a été démontré que les inhibiteurs de la chitine synthase et la chitinase ont une activité antifongique à l'égard des cellules en croissance (Dilip, 2003).

➤ **Les inhibiteurs de la division cellulaire**

Ces composés agissent par l'inhibition de la synthèse des microtubules. Les dérivés du benzimidazole (par exemple le carbendazime, le bénomyl) interfèrent avec la polymérisation des sous-unités des microtubules et inhibent de la sorte, la mitose, ceci conduit également à une diminution de la synthèse d'ADN (Carisse, 2010).

➤ **Produits agissant sur la synthèse des acides nucléiques**

La synthèse des acides nucléiques implique de nombreuses réactions biochimiques allant de la synthèse initiale des précurseurs de purine et de pyrimidine à la polymérisation finale des ribonucléosides et désoxyribonucléosides 5'-triphosphates en ARN

et ADN. Un grand nombre de composés sont connus pour être des inhibiteurs du métabolisme des acides nucléiques chez les champignons (**Dilip, 2003 ; Yang et al., 2011**).

2.1.7. Phénomènes de résistance des champignons aux fongicides

La résistance aux fongicides est une réduction stable de la sensibilité d'un champignon à un fongicide donné. Cette réduction de la sensibilité résulte, la plupart du temps, d'une sélection de souches résistantes présentes naturellement à l'intérieur de la population d'un champignon. Beaucoup plus rare (une fois sur 100 millions), la résistance peut être le résultat d'une mutation génétique chez une souche du champignon (**Bacon, 2002**). Selon **Latin (2017)** le développement de la résistance est un processus à deux étapes :

- **Une mutation**, qui se traduit par une modification de l'ADN du champignon pathogène, et lui permet d'infecter la plante en présence d'un fongicide donné.

- **La pression de sélection**, qui influence la vitesse à laquelle la population pathogène évolue vers un type d'individus qui sont majoritairement résistants au fongicide où à la famille de fongicides utilisés. Sans aucun doute, la manière la plus rapide de développer une population fongique résistante est d'appliquer exclusivement des fongicides de la même famille.

En fonction du risque de développement de la résistance par l'agent pathogène, les fongicides peuvent être classés, selon **Mizuho (2013)** en trois types :

- Fongicides à faible risque de résistance : les dithiocarbamates (multisites).
- Fongicides à risque moyen : où une mutation de plusieurs gènes est requise.
- Fongicides à risque élevé de résistance : les benzimidazoles et les strobilurines, où la résistance est contrôlée par un seul gène.

La résistance des champignons aux fongicides peut être de différents types (**Latin, 2017**) :

❖ **Résistance croisée** : Le mode d'action du fongicide est un paramètre important car quand un champignon pathogène développe une résistance à une matière active dans une famille de fongicides, il y a de fortes chances pour que celui-ci développe également une résistance aux autres matières actives de la même famille. La résistance à une famille de fongicide s'appelle « résistance croisée ».

❖ **Résistance multiple** : Lorsque des matières actives unisites provenant de deux ou plusieurs familles de fongicides sont utilisées pour contrôler une maladie, le risque de résistance aux plusieurs familles est très probable. La tendance naturelle d'une population fongique réside dans sa faculté d'adaptation face aux menaces existantes (dans notre cas : les fongicides). Lorsque des fongicides unisites de différentes familles sont utilisés contre certains champignons pathogènes, une résistance multiple à plusieurs familles de fongicides peut se développer.

2.1.8. Conditions d'application des fongicides

Pour réussir son traitement avant de partir traiter, il convient de s'assurer que les conditions d'application seront optimales : un bon positionnement du produit, uniquement sur la cible, une pulvérisation homogène et efficace, une pratique respectueuse du milieu, de la faune auxiliaire et des personnes. Plusieurs recommandations sont nécessaires (**Ecophyt, 2019**) :

- **Traiter par vent faible** : la réglementation impose que « les produits ne peuvent être pulvérisés ou poudrés que si l'intensité du vent ne dépasse pas 3 sur l'échelle de beaufort (19 km/h – agitation des feuilles et des rameaux ». Cette vitesse doit être appréciée sur le lieu de traitement.

- **Eviter les températures extrêmes** : Chaque produit a une température minimale et maximale d'efficacité (se référer aux limites indiquées sur l'étiquette). L'optimum se situe en général entre 15 et 22°C.

- **Traiter à temps humide, mais pas trop** : Pour éviter le ruissellement, principal facteur de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux, il ne doit pas pleuvoir dans les 2 à 3 heures qui suivent le traitement (au moins). Par contre, l'humidité de l'air doit être la plus élevée possible : le minimum se situe à 60% et l'optimum au-delà de 80% (une faible hygrométrie va entraîner l'évaporation des gouttelettes les plus fines vers l'atmosphère et aussi limiter fortement la pénétration foliaire des produits).

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

- **Bonne application de la bouillie** : Une bonne application consiste à :

- 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 (FREDON-Guyane, 2009).

2.2. La lutte physique

La lutte physique en protection des plantes regroupe toutes les techniques de lutte dont le mode d'action primaire ne fait intervenir aucun processus biologique ou biochimique (Vincent *et al.*, 2000).

Pour lutter contre les maladies cryptogamiques des plantes il faut empêcher la conservation des agents pathogènes dans l'environnement : les débris de plantes malades sont susceptibles de produire un inoculum capable d'attaquer les plantes cultivées saines placées dans un substrat sain. En vue de limiter ces sources potentielles de contamination, plusieurs méthodes préventives peuvent être utilisées, notamment la destruction par le feu des débris végétaux infectés ou leur enfouissement dans le sol (Seguin, 1995).

2.3. La lutte culturale

Cette méthode de lutte est basée sur la modification de la plante à protéger (variétés résistantes ou tolérantes) ou de son environnement pour le rendre défavorable à ses ennemis (Lachuer, 2018). Selon Ezzahiri (2001), la résistance variétale quand elle existe, reste la méthode de lutte la plus économique et la plus pratique contre les maladies foliaires du blé.

2.4. La lutte biologique

La lutte biologique est ainsi définie : l'utilisation d'organismes vivants pour contrôler ou combattre un ravageur. Les organismes vivants utilisés sont restreints à quelques groupes taxonomiques. On retrouve entre autres certains arthropodes (insectes et arachnides), nématodes, protozoaires, bactéries et champignons. Ces organismes, ennemis naturels des ravageurs visés, sont aussi nommés auxiliaires de lutte. Bien que certains auteurs considèrent l'utilisation des vertébrés comme les poissons ou les oiseaux comme agents de lutte biologique (Lambert, 2010). Les bactéries dans le sol du genre *Pseudomonas* sont bénéfiques à la santé des plantes et protègent efficacement contre certaines maladies des racines (Vincent *et al.*, 2000).

Chapitre 03 :

Matériel et méthodes

Nous tenons à rappeler que le but de cette étude est de comparer l'efficacité de quelques fongicides utilisés pour le traitement foliaire contre les maladies fongiques du blé, en vue d'homologation de certaines formulations en Algérie. Cette étude entre dans le cadre de la collaboration entre l'université 8 Mai 1945 Guelma et l'institut technique des grandes cultures (I.T.G.C. de Guelma).

3.1. Matériel végétal

La variété de blé utilisé dans cette étude est la variété Maouna, une variété de blé tendre, nouvellement homologuée au niveau de la ferme de démonstration et de production de semences (FDPS) de Guelma, originaire de l'ACSAD (Centre arabe pour l'étude des zones arides et non irriguées). La semence utilisée est une récolte de la campagne 2018/2019. Les caractéristiques de cette variété sont indiquées dans le **tableau 04**.

Tableau 04 : Caractéristiques de la variété Maouna (Données I.T.G.C.)

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 : 85 cm 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

3.2. Fongicides utilisés

Les produits faisant l'objet de cette étude appartiennent au groupe des fongicides systémiques et leurs formulations consistent en une combinaison de deux matières actives appartenant à deux familles chimiques différentes l'une de l'autre, 03 produits sont en phase d'essai (01- 03) et un produit de référence homologué et commercialisé (04) :

- **Fongicide 01** : Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L.
- **Fongicide 02** : Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L.
- **Fongicide 03** : Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobine 150 g/L
- **Fongicide 04** : Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L)

3.2.1. Provenance et caractéristiques des fongicides utilisés

Tous les produits utilisés dans cette étude ont été fournis par l'ITGC de Guelma.

3.2.2. Caractéristiques des produits fongicides utilisés

En fonction des données répertoriées dans les fiches techniques fournies par l'ITGC de Guelma, les caractéristiques des fongicides utilisés sont comme suit :

❖ Fongicide 01 :

- **Formulation** : Concentré émulsionnable (EC).
- **Matières actives** : Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L.
- **Application** : Foliaire
- **Familles chimiques et modes d'action** : l'Azoxystrobine est une strobilurine qui bloque la production de l'énergie, l'Epoxiconazole est une triazole (IDM) qui agit par inhibition de la biosynthèse des membranes fongiques (**Momené et Walker, 2008**).

❖ Fongicide 02 :

- **Formulation** : Emulsion de type aqueux (EW)
- **Matières actives** : Prochloraze 267 g/L + Tébuconazole 133 g/ L.
- **Application** : Foliaire

- **Familles chimiques et modes d'action** : Prochloraze est un imidazole qui a le même mode d'action que les triazoles (IDM), le tébuconazole est une triazole (IDM) qui agit par inhibition de la biosynthèse des membranes fongiques (IBS).

❖ **Fongicide 03 :**

- **Formulation** : Concentré émulsionnable (EC).
- **Matières actives** : Fluxapyroxad 75,0 g/L (SDHI) + Pyraclostrobine 150g/L
- **Application** : Foliaire
- **Familles chimiques et modes d'action** : Le fluxapyroxad appartient à la famille chimique des pyrazole-carboxamides, incluse dans le groupe C2 de la classification FRAC, celui des SDHI qui agissent sur la production d'énergie (BASF, 2019), alors que la Pyraclostrobine est une strobilurine qui agit sur la production de l'énergie en inhibant le transfert d'électrons au niveau de la chaîne respiratoire.

❖ **Fongicide 04 :**

- **Formulation** : Suspension concentrée (SC)
- **Matières actives** : Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L)
- **Application** : Foliaire
- **Familles chimiques et modes d'action** : l'Azoxystrobine est une strobilurine qui bloque la production de l'énergie, le Cyproconazole est une triazole (IDM) qui agit par inhibition de la biosynthèse des parois fongiques.

3.3. Description du site d'essai

3.3.1. Localisation

L'étude a été réalisée durant la campagne 2019-2020 au niveau de la station expérimentale de l'ITGC de Guelma (**Fig. 12**) qui se situe à l'Est de la ville, à une altitude de 252 m. Elle fait partie de l'Atlas tellien avec les coordonnées géographiques suivants : Latitude nord 36° 27' et longitude 7°26'.

La station s'étale sur une superficie de 36 ha, dont 32 ha réservés à la multiplication de semences et 4 ha pour les essais d'expérimentation.



Figure 12 : Situation géographique de l'I.T.G.C de Guelma. (Site de l'essai) [14]

3.3.2. Caractéristiques climatiques

Les données climatiques relevées de la station météorologique de Belkhir (O.N.M, Guelma) sur une période allant du mois de septembre 2019 au mois du juin 2020 illustrent le climat qui caractérise notre zone d'étude. Le tableau 05 indique les moyennes des précipitations enregistrées durant la période d'étude.

La quantité des pluies cumulée pendant la période de culture s'étalant entre le mois de septembre et le mois de juin est de 544,70 mm (Tab. 05).

La figure 13 montre la répartition mensuelle des précipitations dans la wilaya de Guelma pendant la période de culture.

Tableau 05 : Précipitations enregistrées (mm), durant la campagne 2019-2020, Comparées à la moyenne de 20 ans dans la région de Guelma (Données de la station météorologique de Belkhir).

Mois	Précipitations (mm)	Moyenne de 20 ans (mm)
Septembre	97	36,65
Octobre	102	42,14
Novembre	64	81,1
Décembre	68	79,31
Janvier	37	71,58
Février	02	70,23
Mars	76	61,53
Avril	74,8	62,54
Mai	12,20	50,26
Juin	11,70	11,81
Cumul	544,70	567,15

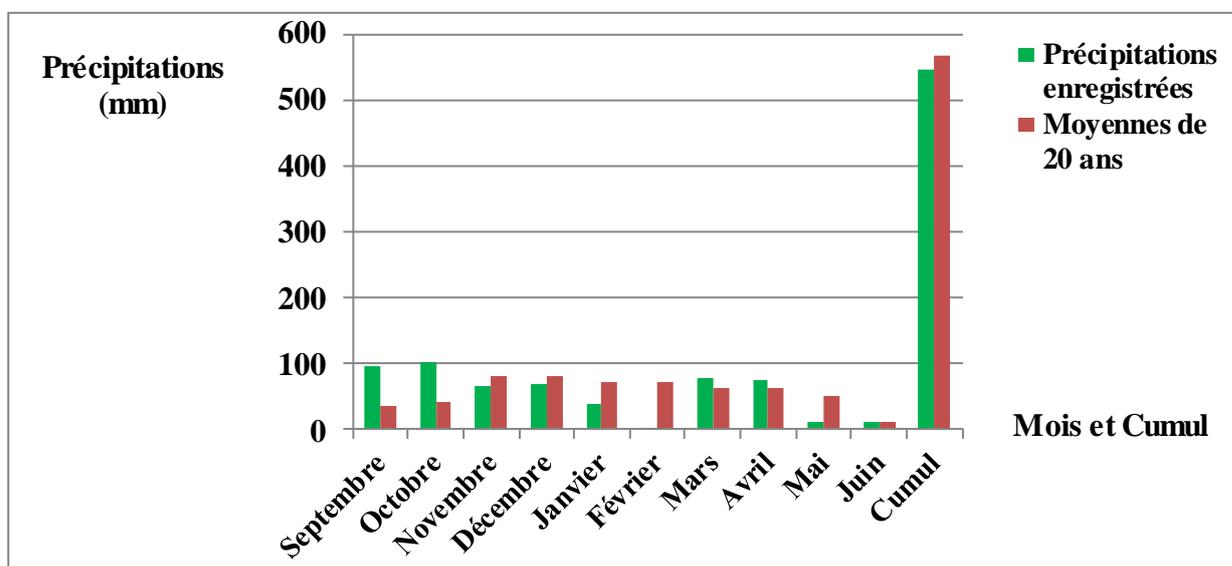


Figure 13 : Répartition mensuelle de la pluviométrie durant la campagne agricole 2019/2020 (Données de la station météorologique de Belkhir)

L'examen des valeurs enregistrées montre que le mois d'octobre a été le mois le plus pluvieux (102 mm), et le mois de Février a été le mois le plus sec (02 mm), suivi du mois de Juin (11.70 mm), puis le mois de Mai (12, 20 mm).

Le cumul enregistré de septembre à juin (544,70 mm) est légèrement inférieur à la moyenne de 20 ans enregistrée dans la région (567.15 mm).

Les moyennes mensuelles de températures enregistrées dans la région de Guelma pendant la campagne 2019-2020 sont indiquées dans le **tableau 06**. Le mois le plus chaud a été le mois de septembre (26.45 °C) et le mois le plus froid c'était le mois de janvier (9.20 °C).

Tableau 06 : Moyennes mensuelles de température dans la région de Guelma (2019/2020)
(Données de la station météorologique de Belkhir)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	juin
T° moyenne min. (°C)	23.3	16.7	8.4	8.6	3.0	4.6	7.6	3,4	9,4	11,5
T° moyenne max. (°C)	29.6	27.7	18.4	19.6	15.4	18.9	20.1	32,4	37	37,5
T° moyenne (°C)	26.45	22.2	13.4	14.1	9.2	11.6	13.9	17,9	23,2	24,5

3.3.3. Caractéristiques pédologiques

Les caractéristiques du sol de la station sont résumées dans le tableau 07.

Tableau 07 : Caractéristiques pédologiques du site d'essai
(Données de l'I.T.G.C.)

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

3.4. Installation et conduite de l'essai

Les travaux du sol et les différentes opérations effectuées durant cette étude sont comme suit :

- 1- Labour profond à la 1^{ère} semaine d'octobre 2019 à l'aide d'une charrue à socs, à une profondeur entre 15 et 20 cm.
- 2- Un passage du cultivateur avant le semis pour la préparation du lit de semences (Recroisage à la 1^{ère} semaine de novembre et décembre à l'aide de la herse).
- 3- Apport d'engrais de fond MAP (Monoamonium phosphate) avant semi le 25/11/2019 avec une dose de 177 kg/ha (92 Unités de phosphore),
- 4- Semis : le 02 /12/2019 à l'aide d'un semoir expérimental à la dose 140 kg/ha,
- 5- Engrais de couverture avec UREE 46% au moment du semis : 1/3 de 92 Unités d'azote (N) le 02/12/2019,
- 6- Traitement de semence manuel : le 02/12/2019 : Cette étape est indispensable pour lutter contre les maladies transmises par les semences et pour protéger les jeunes plants contre les parasites naturellement présents dans le sol.
- 7- Désherbage chimique par pulvérisateur à dos avec COSSACK KOD à la dose 1L/hectare le 10/02/2020,
- 8- 2^{ème} apport d'engrais azoté avec UREE 46% : 2/3 de 92 Unités d'azote (N) au stade fin tallage,
- 9- Application d'insecticide avec DECIS EC 25 à la dose de 0.5 litre /ha.

L'essai a été installé sur une superficie de 430 m² selon un dispositif en blocs aléatoires complet à quatre répétitions (**Fig. 14**), chaque répétition comporte 5 traitements (une parcelle témoin T0 non traitée, et 04 parcelles traitées avec les différents produits fongicides testés T1, T2, T3 et T4).

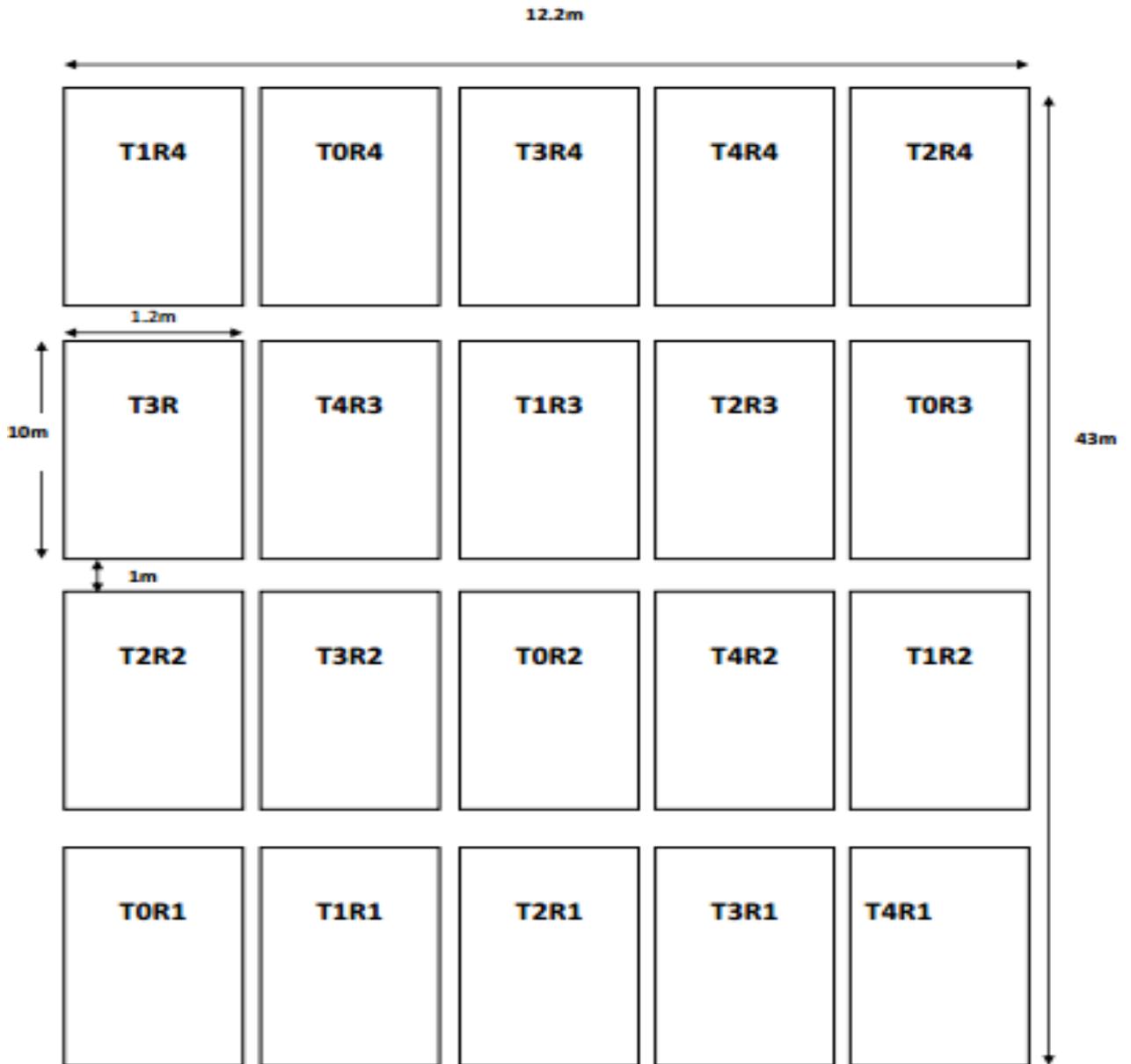


Figure 14 : Dispositif expérimental de l'essai

- T0 :** Témoin non traité,
- T1 :** Fongicide 01
- T2 :** Fongicide 02
- T3 :** Fongicide 03
- T4 :** Fongicide 04
- R1, R2, R3 et R4 :** Répétitions.

3.5. Application des traitements fongicides

Les traitements fongicides des différentes micro-parcelles ont été appliqués dès l'apparition des premiers symptômes des maladies foliaires, selon la dose recommandée, qui est de 1 L/ha pour tous les produits. Le traitement a été effectué à l'aide d'un pulvérisateur à dos (**Fig. 15**), au stade montaison de la culture.



Figure 15 : Application des différents traitements fongicides
(Photo personnelle, 2020)

3.6. Paramètres étudiés

3.6.1. Notation des maladies

Des prospections sur terrain ont été entreprises pour le recensement des différentes maladies rencontrées au niveau de la parcelle d'essai, et ce, durant tous les stades de développement de la culture. Deux paramètres ont été estimés pour les différentes maladies observées :

- La sévérité des maladies

Selon **Kamel (1994)**, l'intensité d'attaque de la maladie sur la plante détermine la gravité de l'infection. Parmi ces maladies figurent le mildiou, les septorioses, la Rhynchosporiose, les Helminthosporioses, les oïdiums et la tache auréolée des feuilles lesquelles affectent le blé et l'orge, dans ces cas on utilise l'échelle graduée de zéro à neuf (**Fig. 16**), conçue par **Saari et Prescott**. Cette échelle se présente comme suit :



Figure 16 : Echelle de notation des maladies foliaires

(Kamel, 1994).

[0] : Il n'existe aucune infection visible.

[0E] : 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 éparses 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 éparses 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 les feuilles du milieu et éparses sur celles 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.

Selon **Kamel (1994)**, pour les rouilles, des céréales, la notation de la sévérité diffère, elle doit prendre en considération deux paramètres : le pourcentage de la surface foliaire couverte par les pustules, et le type de réaction de la plante. Elle est décrite par un chiffre (de 0 à 100) qui indique le pourcentage de la surface couverte par les pustules, et une lettre qui indique le type de réaction de la plante en fonction de la nature des symptômes qui entourent les pustules (Exp. 50R, 50MR, 50S, 50MS, signifient que, le taux de couverture est de 50 % et le type de réaction est : résistant (R), Modérément résistant (MR), sensible (S) ou Modérément sensible (MS). Dans cette étude seul le taux de couverture est pris en considération pendant les notations.

- 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 d'un même traitement.

Incidence d'attaque (%) = (Nombre de plantes malades / Nombre total de plantes) X 100

3.6.2. Croissance et développement de la culture

3.6.2.1. Stades de développement de la culture

Afin de déterminer avec précision les stades phénologiques de la culture dans les différentes parcelles, des visites régulières ont été effectués pendant toute la campagne agricole, du semis à la maturité.

3.6.2.2. Croissance de la plante

La hauteur des plantes, a été le seul paramètre pris en considération pour vérifier l'impact des maladies enregistrées sur la croissance de la culture (à travers le témoin) et l'impact du traitement fongicide par les différents produits, sur la croissance de la plante. La

hauteur des plantes a été mesurée à l'aide d'une règle graduée, dans les différentes unités expérimentales (10 échantillons/unité) au stade formation des grains.

3.6.3. Paramètres agronomiques et rendement de la culture

3.6.3.1. Nombre de plants / m²

Le nombre de plants / m² a été déterminé au stade levée à l'aide d'un « mètre-carré » et ce pour chaque micro-parcelle élémentaire. L'objectif visé par la détermination de ce paramètre (avant l'application des traitements fongicides) est de vérifier l'homogénéité de la levée dans les différentes unités expérimentales, du fait que ce paramètre est l'une des composantes principales du rendement des céréales.

3.6.3.2. Nombre de talles par plant

Le nombre de talles/plant a été déterminé au stade tallage de la culture, pour les différentes unités expérimentales. Le nombre de talles/m² est un paramètre qui peut être fortement influencé par les maladies cryptogamiques qui apparaissent au début des stades végétatifs de la culture (oïdium, septoriose, ...).

3.6.3.3. Nombre d'épis /m²

Au stade épiaison, le nombre d'épis /m² a été estimé pour les différents traitements fongicides.

3.6.3.4. Nombre de grains par épi

Après la récolte nous avons procédé au comptage des grains par épi de dix échantillons par unité expérimentale ; en vue de déterminer le degré de fertilité des épillets.

3.6.3.5. Poids de mille grains

Après la détermination du nombre de grains par épi pour les différents traitements, les graines sont regroupées en échantillons de mille grains et pesés.

3.6.3.6. Rendement / ha

Après la récolte, le rendement / ha a été déterminé pour les différents traitements.

3.7. Traitement 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 l'importance des variations enregistrées entre le témoin non traité et les différents traitements fongicides, et ce 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*.

4.1.1. Efficacité des produits testés contre la rouille brune

4.1.1.1. Sévérité 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 deux notations ont été faites : après 30 jours et après 45 jours du traitement.

Les résultats obtenus ont montré que la sévérité de la rouille brune du blé (exprimée par le taux de couverture de la surface foliaire par les pustules urédiales) enregistrée dans les blocs traités par les différents fongicides était faible par rapport au bloc témoin non traité (**Tab. 08** et **Fig. 17**), et ce pour les deux périodes de notation (30 jours et 45 jours).

Après 30 jours du traitement, la sévérité de la rouille brune dans les blocs traités, était plus ou moins faible par rapport à la sévérité enregistrée après 45 jours. Ceci explique bien l'arrêt de l'activité des produits à l'intérieur des plantes, après une rémanence qui est généralement de 15 à 30 jours pour la plupart des produits.

Après 30 jours de l'application des traitements, la sévérité la plus faible a été enregistrée dans les parcelles traitées par le fongicide T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L) ; des différences hautement significatives ont été notées entre le produit T4 et le témoin non traité, et des différences significatives ont été notées entre les produits T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L) et T2 (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L) avec le témoin non traité (**Tab. 08**), alors que pour le T3 les différences étaient non significatives avec le témoin.

Après 45 jours, le degré de sévérité le plus faible a été noté chez les plantes traitées par le fongicide T2 (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L) suivi du traitement T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L) pour lesquels nous avons enregistré respectivement une moyenne de l'ordre de 12,5 et 13,75 contre 32,5 pour le témoin. Des

différences très hautement significatives ont été notées entre le témoin non traité et les produits T2, T3 et T4, et des différences non significatives entre le témoin et le produit T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/L).

Tableau 08 : Sévérité de la rouille brune après l’application des traitements fongicides

Traitements	Sévérité de la maladie après 30 jours du traitement (% de couverture des feuilles)					Sévérité de la maladie après 45 jours du traitement (% de couverture des feuilles)				
	T0	T1	T2	T3	T4	T0	T1	T2	T3	T4
<i>Moyenne ± σ</i>	21,25	6,25	5,25	7,75	3	32,5	28,75	12,5	15	13,75
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	14,361	2,5	3,685	4,5	2,309	12,583	2,5	2,886	5,773	4,787
		*	*	NS	**		NS	***	***	***

NS : Différences non significatives ($\alpha = 0,05$)

* : Différences significatives ($\alpha = 0,05$)

** : Différences significatives ($\alpha = 0,01$)

*** : Différences significatives ($\alpha = 0,001$)

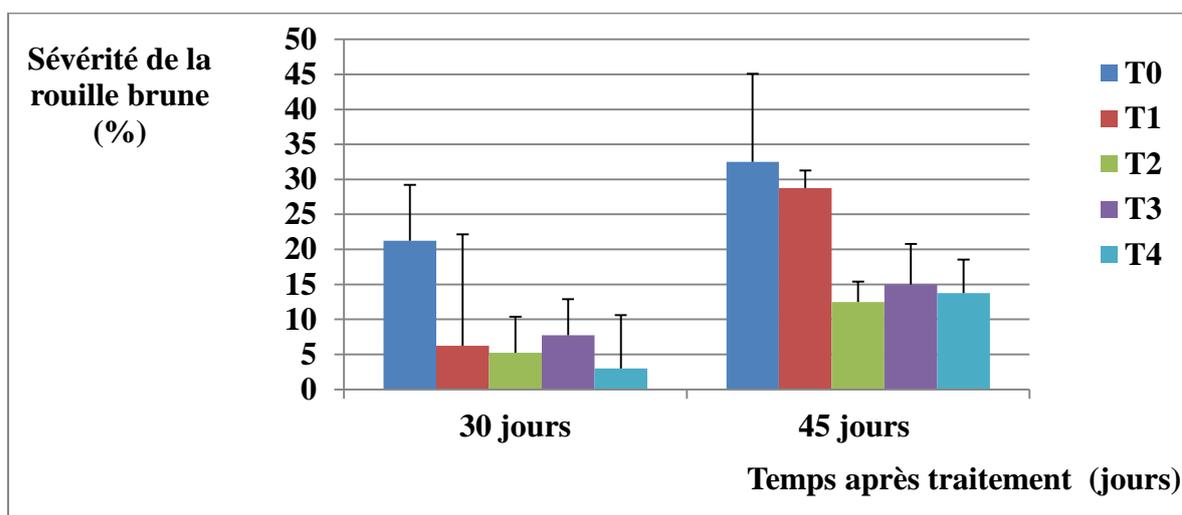


Figure 17 : Sévérité de la rouille brune pour les différents traitements fongicides

L'analyse de la variance conduite par les résultats obtenus pour la sévérité de la rouille brune du blé a affiché des différences significatives entre les produits fongicides pour la période de notation de 30 j. et des différences hautement significatives entre les produits fongicides pour la période de notation de 45 j. (Tabs. 09 et 10).

Tableau 09 : Analyse de la variance pour la sévérité de la rouille brune (après 30 j).

Sources de variation	DL	SC	CM	F	p
Fongicides	4	835,2	208,80	4,15	0,019 *
Erreur	15	755,0	50,33		
Total	19	1590,2			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

* : différences significatives : $p < 0.05$.

Tableau 10 : Analyse de la variance pour la sévérité de la rouille brune (après 45 j).

Sources de variation	DL	SC	CM	F	p
Fongicides	4	1407,5	351,88	7,68	0,001 **
Erreur	15	687,5	45,83		
Total	19	2095,0			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

** : Différences significatives : $p < 0.01$

4.1.1.2. Incidence de la maladie

Nous tenons à signaler que l'incidence de la rouille brune a été notée après 30 jours du traitement fongicide. Le degré d'attaque des parcelles par cette maladie était remarquable au niveau des blocs témoins en comparaison avec les blocs traités.

L'incidence la plus faible a été enregistrée dans les blocs traités par le produit T2 (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/L), suivi du produit T3 (Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobine 150 g/L) et T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L) ; par contre le produit T1 a enregistré une incidence importante très proche de celle du témoin non traité (Fig. 18, Tab. 11).

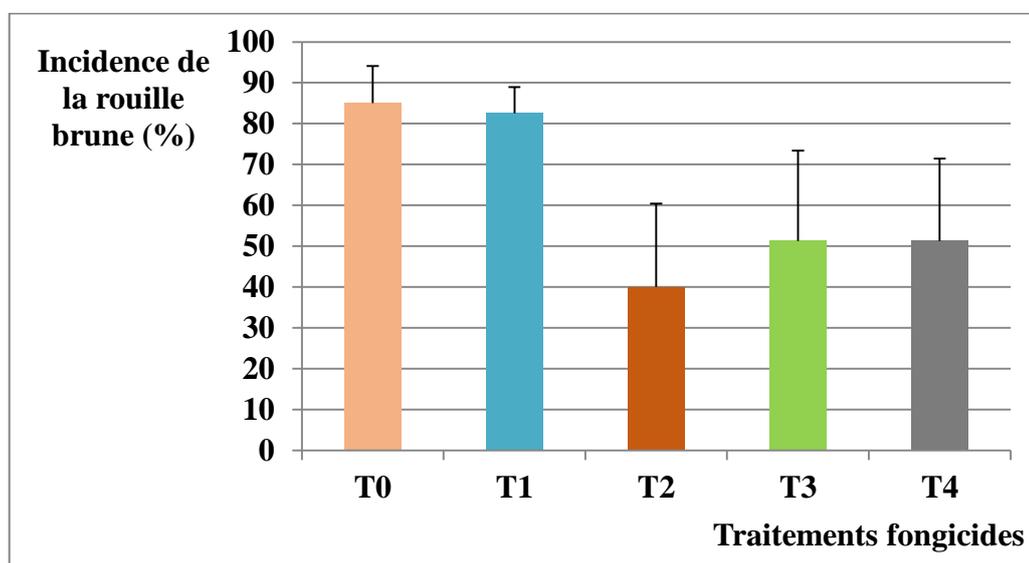


Figure 18 : Incidence de la rouille brune pour les différents traitements fongicides

Tableau 11 : Incidence de la rouille brune (%).

Traitements	L'incidence de la maladie (%)				
	T0	T1	T2	T3	T4
Moyenne ± σ	85 ± 9,128	82,5 ± 6,454	40 ± 20,412	51,25 ± 22,126	51,25 ± 20,155
		NS	**	*	*

NS : Différences non significatives ($\alpha = 0,05$)

* : Différences significatives ($\alpha = 0,05$)

** : Différences significatives ($\alpha = 0,01$)

L'analyse de la variance a montré des différences hautement significatives entre les traitements fongicides (**Tab. 12**). Le test de Dunnett a affiché des différences hautement significatives entre le témoin et le traitement fongicide (T2), des différences significatives entre le témoin et les fongicides T3 et T4, et des différences non significatives entre le produit fongicide T1 et le témoin. (**Tab. 11**).

Tableau 12 : Analyse de la variance pour l'incidence de la rouille brune

Sources de variation	DL	SC	CM	F	p
Fongicides	4	0,6658	0,16644	5,79	0,005 **
Erreur	15	0,4313	0,02875		
Total	19	1,0970			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

** : différences significatives : $p < 0.01$.

4.1.2. Efficacité des produits testés contre l'oïdium

4.1.2.1. Sévérité de la maladie

Les notations de l'oïdium ont été effectuées après 7 jours et après 15 jours du traitement des différentes parcelles.

La sévérité de l'oïdium du blé déterminée par l'échelle de Saari et Prescott, citée par **Kamel (1994)**, enregistrée dans les parcelles traitées par les différents fongicides (**Fig. 19**) était faible par rapport au témoin non traité et ce pour les deux périodes de notation (07 j et 15 j).

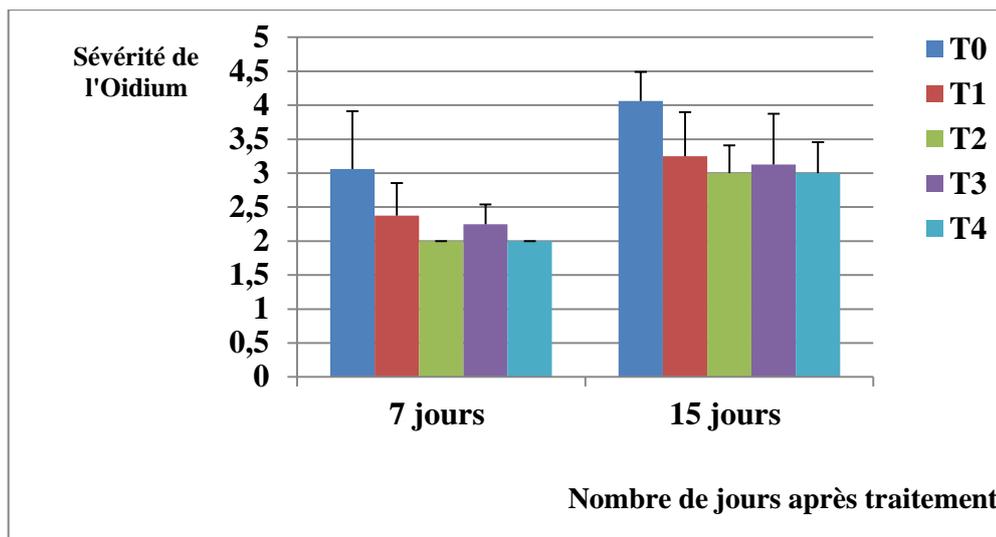


Figure 19 : Sévérité de l'oïdium pour les différents traitements fongicides

Après 07 jours du traitement la sévérité la plus faible de l'oïdium a été notée chez les plantes traitées par le fongicide **T2** (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L) et le fongicide **T4** (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L) avec une moyenne de 2, contre une moyenne de 3,062 chez le témoin (**Tab. 13**).

Après 15 jours, le classement des produits a été conservé, les produits **T2** et **T4** ont donné les meilleurs résultats, alors que les produits **T1** (Azoxystrobine 75 g/L + Epxiconazole 75 g/ L) et **T3** (Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobine 150 g/L), ont montré une efficacité faible contre l'oïdium.

Des différences significatives ont été notées entre le témoin et les produits **T2** et **T4**, et des différences non significatives ont été notées entre le témoin et les traitements **T1** et **T3** après 07 jours du traitement (**Tab. 13**).

L'analyse de la variance a montré des différences significatives entre les produits fongicides, après 07 jours du traitement (**Tab. 14**), et des différences non significatives après 15 jours du traitement (**Tab. 15**).

Tableau 13 : Sévérité de l'oïdium après l'application du traitement fongicide

Traitements	Sévérité de la maladie après 07 jours du traitement					Sévérité de la maladie après 15 jours du traitement				
	T0	T1	T2	T3	T4	T0	T1	T2	T3	T4
<i>Moyenne ± σ</i>	3,062	2,375	2	2,25	2	4,062	3,25	3	3,125	3
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,850	0,478	0	0,288	0	0,426	0,645	0,408	0,75	0,456
		NS	*	NS	*		NS	NS	NS	NS

NS : Différences non significatives ($\alpha = 0,05$)

* : Différences significatives ($\alpha = 0,05$)

Tableau 14 : Analyse de la variance pour la sévérité de l'oïdium (après 07 jours du traitement)

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P
Fongicides	4	3,050	0,7625	3,68	0,028 *
Erreur	15	3,109	0,2073		
Total	19	6,159			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

* : différences significatives : $p < 0.05$.

Tableau 15 : Analyse de la variance pour la sévérité de l'oïdium (après 15 jours du traitement)

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P
Fongicides	4	3,175	0,7938	2,58	0,080 NS
Erreur	15	4,609	0,3073		
Total	19	7,784			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

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

4.1.2.2. Incidence de la maladie

Les produits fongicides utilisés ont diminué de l'incidence de l'oïdium dans les blocs traités (**Fig. 20** et **Tab. 16**), le meilleur résultat a été enregistré pour les traitements T2 et T4. Des différences très hautement significatives ont été notées entre tous les produits fongicides et le témoin non traité (**Tab. 16**).

L'analyse de la variance a affiché des différences très hautement significatives entre les traitements fongicides pour l'incidence de l'oïdium (**Tab. 17**).

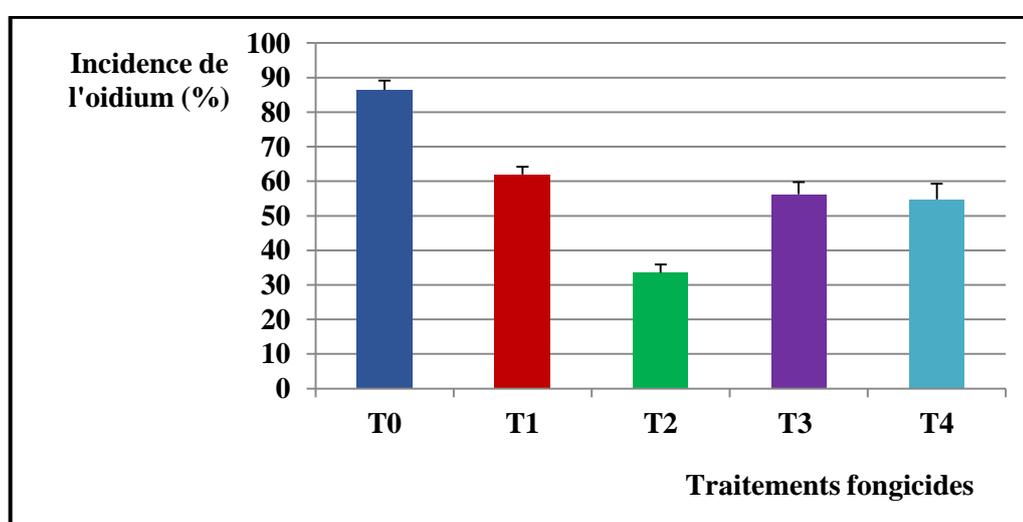


Figure 20 : Incidence de l'oïdium pour les différents traitements fongicides

Tableau 16 : Incidence de l'oïdium après l'application des traitements fongicides.

Traitements	Incidence de la maladie (%)				
	T0	T1	T2	T3	T4
<i>Moyenne ± σ</i>	86,5 ± 2,645	62 ± 2,160 ***	33,5 ± 2,380 ***	56,25 ± 3,5 ***	54,75 ± 4,573 ***

*** : Différences significatives ($\alpha = 0,001$)

Tableau 17 : Analyse de la variance pour l'incidence de l'oïdium

Sources de variation	DL	SC	CM	F	P
Fongicides	4	0,57613	0,144033	142,61	0,000 ***
Erreur	15	0,01515	0,001010		
Total	19	0,59128			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

*** : Différences significatives : $p < 0.001$.

4.2. Impact du traitement sur la croissance et le développement de la culture

4.2.1. Stades de développement de la culture

Le tableau 18 résume les dates de chaque stade phénologique.

Tableau 18 : Dates des différents stades phénologiques de la culture

Dates	Stades phénologiques
02/12/2019	Semis
11/12/2019	Levée
15/01/2020	Tallage
09/02/2020	Montaison
23/03/2020	Gonflement
31/03/2020	Epiaison
09/04/2020	Floraison
22/04/2020	Formation des grains
28/05/2020	Maturité

L'analyse globale des données du tableau ci-dessus, a permis de constater que la croissance de la culture s'est déroulée de façon normale, sans contraintes majeures (stress hydrique, attaque de ravageurs, ...), et une certaine précocité dans les différents stades

phénologiques de la culture est notée pour cette campagne. La quantité importante des précipitations enregistrées en mois de décembre (68 mm), juste après le semis a favorisé la levée rapide de la culture ; et malgré que les mois de janvier et février étaient secs, les mois de mars et avril, qui étaient pluvieux (76 mm et 74.8 mm respectivement) ont assuré une bonne alimentation hydrique de la culture et ont favorisé une maturité précoce (28 mai).

4.2. 2. Croissance de la culture

- Hauteur des plantes

Les résultats relatifs à ce paramètre (**Tab. 19** et **Fig. 21**), montrent que la hauteur des plantes traitées par les différents fongicides a enregistré une légère augmentation comparativement au témoin.

La hauteur la plus élevée est observée au niveau des parcelles traitées par T3 (Fluxapyroxad 75,0 g/L (SDHI) + Pyraclostrobine 150g/L) pour lesquels nous avons noté une moyenne de 120 Cm contre une moyenne de 116.25 Cm chez le témoin, suivi du produit T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L), avec une moyenne de 119.5 Cm, puis T2 (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L) et T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L).

L'analyse de la variance et le test de Dunnett conduits avec les résultats obtenus ont affiché des différences non significatives pour la hauteur des plantes, entre les différents traitements fongicides (**Tab. 20**), et entre le témoin et les différents traitements fongicides (**Tab. 19**).

Tableau 19 : Hauteur des plantes pour les différents traitements fongicides (Cm).

Traitements	T0	T1	T2	T3	T4
<i>Moyenne ± σ</i>	116.25 ± 1.5	119.5 ± 1	117.75 ± 5.188	120 ± 0.0	117.5 ± 5.0
		NS	NS	NS	NS

NS : Différences non significatives ($\alpha = 0,05$)

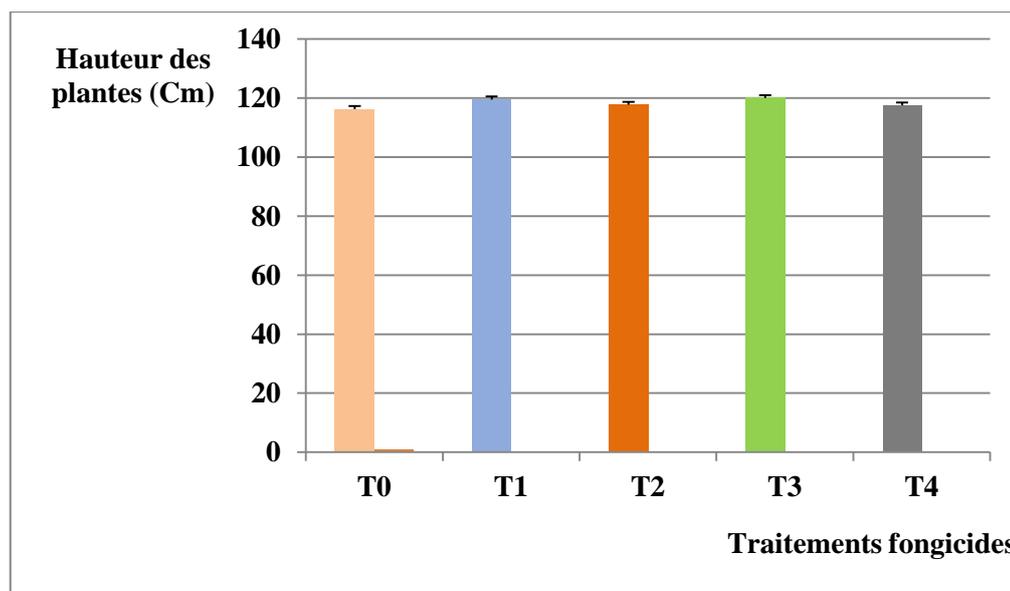


Figure 21 : Hauteur des plantes pour les différents traitements fongicides

Tableau 20 : Analyse de la variance pour la hauteur des plantes

Sources de variation	DL	SC	CM	F	p
Fongicides	4	37,70	9,425	0,85	0,513 NS
Erreur	15	165,50	11,033		
Total	19	203,20			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS : différences non significatives : $p > 0.05$.

4.3. Impact du traitement sur les paramètres agronomiques et le rendement de la culture

4.3.1. Nombre de plants/ m²

Les résultats obtenus (Fig. 22) ont montré que la levée a été plus ou moins homogène dans toutes les unités expérimentales, et les différences étaient non significatives entre le

témoin et les parcelles ultérieurement traitées par les fongicides (**Tab. 21**). L'analyse de la variance pour ce paramètre a également affiché des différences non significatives entre les parcelles (**Tab. 22**). Ce qui permet de confirmer que toute variation dans le rendement des différentes unités expérimentales ne peut être attribuée à une manque à la levée dans ces dernières.

Tableau 21 : Nombre de plants par mètre carré pour les différentes parcelles

Traitements	T0	T1	T2	T3	T4
<i>Moyenne</i> ± σ	269,25 ± 6,238	273,25 ± 7,5 NS	272 ± 7,023 NS	271,25 ± 6,849 NS	271,75 ± 7,088 NS

NS : Différences non significatives ($\alpha = 0,05$)

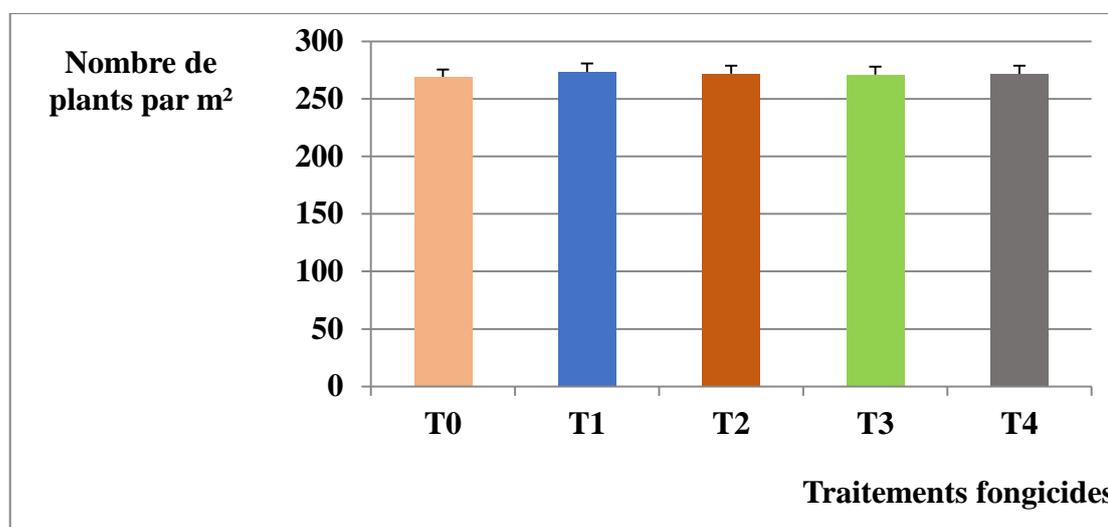


Figure 22 : Nombre de plants/m² pour les différentes parcelles
(Parcelle témoin et parcelles ultérieurement traitées)

Tableau 22 : Analyse de la variance pour le nombre de plants par mètre carré.

Sources de variation	DL	SC	CM	F	p
fongicides	4	34,00	8,500	0,18	0,947 NS.
Erreur	15	725,00	48,333		
Total	19	759,00			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS : différences non significatives : $p > 0.05$.

4.3.2. Nombre de talles/ plant

Les résultats présentés dans la figure 23 montrent que la parcelle non traitée a la valeur la plus basse (3,5) alors que les parcelles traitées, ayant enregistrées les valeurs élevées sont dans l'ordre suivant : T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L), suivie par T3 (Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobine 150 g/L), T2 (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L) puis T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L) avec les moyennes de 4,5 , 4,25, 4 et 3,75 respectivement (**Tab. 23**).

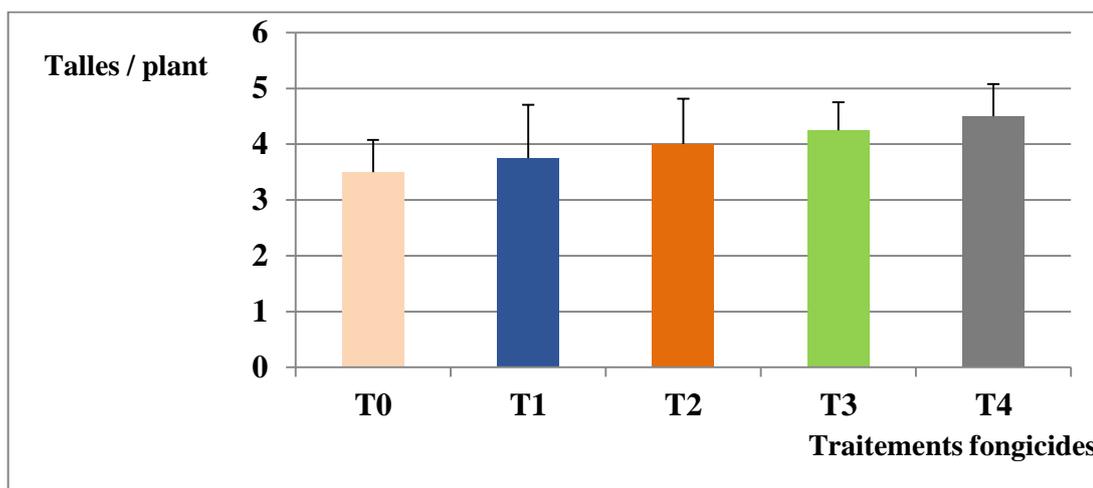


Figure 23 : Nombre de talles /plant pour les différents traitements fongicides

Tableau 23 : Nombre de talles/ plant pour les différents traitements

Traitements	T0	T1	T2	T3	T4
<i>Moyenne</i> ± σ	3,5 ± 0,577	3,75 ± 0,957	4 ± 0,816	4,25 ± 0,5	4,5 ± 0,577
		NS	NS	NS	NS

NS : Différences non significatives ($\alpha = 0,05$)

Glab et al. (2015), signalent que, le nombre de talles est une caractéristique d'une espèce et d'une variété de plantes particulières et est généralement déterminé par différents facteurs environnementaux, tels que les paramètres du sol, le climat, les agents pathogènes et les ravageurs. Dans cette étude, le nombre de talles/plant n'a pas enregistré des différences significatives entre les unités expérimentales, car les maladies observées (oïdium et rouille brune) se sont déclenchées après le stade tallage, et de ce fait, les traitements fongicides ont été appliqués après ce stade (au stade montaison).

L'analyse de la variance a montré des différences non significatives entre les différents traitements (**Tab. 24**). Le test de Dunnett a affiché des différences non significatives entre la parcelle témoin et les différentes parcelles ultérieurement traitées par les produits fongicides (**Tab. 23**).

Tableau 24 : Analyse de la variance pour le nombre de talles/ plant.

Sources de variation	DL	SC	CM	F	p
Fongicides	4	2,500	0,6250	1,25	0,332 NS
Erreur	15	7,500	0,5000		
Total	19	10,000			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS : différences non significatives : $p > 0.05$.

4.3.3. Nombre d'épis/ m²

Le nombre d'épis/m² est une composante essentielle dans la formation du rendement final puisqu'il détermine le nombre de grain/m².

La figure 24 montre qu'une légère augmentation du nombre d'épis par mètre carré a été notée chez les plantes traitées par les différents fongicides comparativement au témoin non traité.

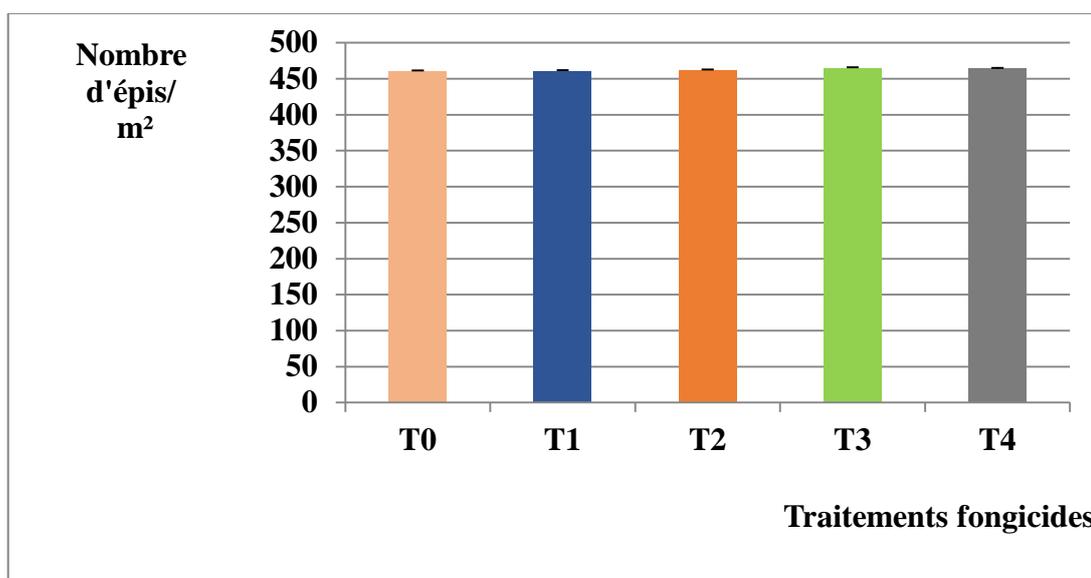


Figure 24 : Nombre d'épis /m² pour les différents traitements fongicides

Les traitement T3 (Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobine 150 g/L) et T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L)) ont enregistré les meilleurs résultats avec une moyenne d'environ 464 épis par mètre carré, contre une moyenne de 460,5 épis par mètre carré chez le témoin, cependant, le traitement de Dunnett a affiché des différences non significatives entre le témoin et tous les traitements fongicides appliqués (**Tab. 25**).

L'analyse de la variance a montré des différences non significatives entre les traitements fongicides (**Tab. 26**).

Tableau 25 : Nombre d'épis par m² pour les différents traitements fongicides.

Traitements	T0	T1	T2	T3	T4
<i>Moyenne ± σ</i>	460,5 ± 6,191	460,75 ± 13,598 NS	461,75 ± 7,973 NS	464,75 ± 4,349 NS	464 ± 5,033 NS

NS : Différences non significatives ($\alpha = 0,05$)

Tableau 26 : Analyse de la variance pour le nombre d'épis par mètre carré.

Sources de variation	DL	SC	CM	F	p
Fongicides	4	59,30	14,83	0,22	0,921 NS.
Erreur	15	993,25	66,22		
Total	19	1052,55			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS : différences non significatives : $p > 0.05$.

4.3.4. Nombre de grains/ épi

La figure 25 montre que le nombre de grains par épi a enregistré une augmentation dans les microparcelles traitées comparativement aux témoins. Le produit T2 (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L.) a enregistré le meilleur résultat avec une moyenne de 93,5 grains par épi contre une moyenne de 76 grains par épi chez le témoin, suivi du traitement fongicide T3 (Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobine 150 g/L), puis le traitement T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L), et enfin le T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L) pour lesquels nous avons enregistré les moyennes de 90,75, 88 et 81,25 grains par épi respectivement (**Tab. 27**).

L'analyse de la variance a montré des différences significatives entre les traitements fongicides (**Tab. 28**). Le test de Dunnett (**Tab. 27**) a affiché des différences significatives entre le témoin et le traitement fongicide T2, et des différences non significatives entre le témoin et les autres traitements fongicides (T1, T3 et T4), au seuil de signification $\alpha = 0,05$.

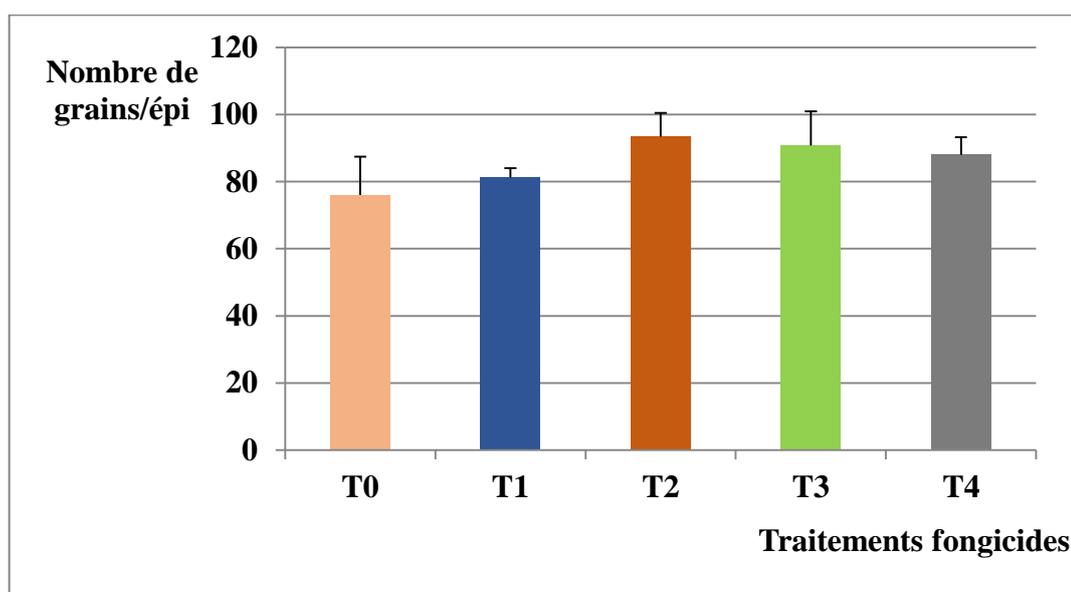


Figure 25 : Nombre de grains/épi pour les différents traitements fongicides

Tableau 27 : Nombre de grains par épi pour les différents traitements fongicides.

Traitements	T0	T1	T2	T3	T4
Moyenne $\pm \sigma$	76 \pm 11,430	81,25 \pm 2,753	93,5 \pm 7	90,75 \pm 10,210	88 \pm 5,228
		NS	*	NS	NS

NS : Différences non significatives ($\alpha = 0,05$)

* : Différences significatives ($\alpha = 0,05$)

Tableau 28 : Analyse de la variance pour le nombre de grains par épi.

Sources de variation	DL	SC	CM	F	p
Fongicides	4	821,3	205,32	3,22	0,043 *
Erreur	15	956,5	63,77		
Total	19	1777,8			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

* : Différences significatives : $p < 0.05$.

4.3.5. Poids de 1000 grains

Les résultats obtenus (**Fig. 26**) montrent 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.

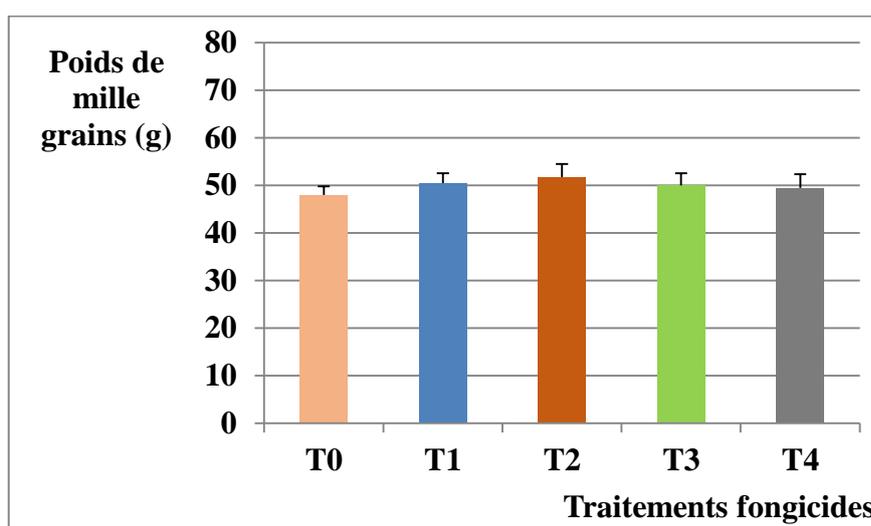


Figure 26 : Poids de 1000 grains (PMG) pour les différents traitements fongicides

Les microparcelles traitées par le fongicide T2 (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L) ont enregistré le meilleur résultat avec une moyenne de poids de 1000 grains de 51,75 g, suivies par les parcelles traitées avec les fongicides T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L), T3 (Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobine 150 g/L) puis T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L) pour lesquels nous avons noté respectivement les moyennes : 50,5 g, 50 g et 49,5 g, contre une moyenne de 48 g chez le témoin (**Tab. 29**).

Rapilly et al. (1972), signale que chez les céréales infectées par les rouilles, le poids de 1000 grains peut être abaissé de 40%.

Dans une étude réalisée sur la rouille brune du blé, **Allioui (1997)** a montré que l'infection des plantes par ce parasite altère fortement les processus physiologiques et biochimiques de la plante, ce qui se répercute négativement sur la croissance et le rendement de la culture. L'auteur a pu identifier l'impact de ces altérations à travers l'estimation du poids de 1000 grains et du rendement chez les plantes saines et les plantes infectées et les résultats obtenus ont montré que des différences très hautement significatives ont été enregistrées entre les plantes témoins saines et les plantes infectées par la rouille brune, ce qui a conduit à une perte considérable dans le rendement de la culture dans les blocs infestés par le pathogène.

Le même auteur rapporte que plusieurs travaux ont prouvé que l'attaque du blé par la rouille brune peut être à l'origine de réductions notables dans les composantes du rendement, et conduit à des pertes considérables.

Messadia (2005) rapporte que la perte dans le rendement et le poids de 1000 grains, chez les céréales infectées par les maladies cryptogamiques, peut être attribuée à l'altération de l'activité photosynthétique et du processus de translocation, qui ont un rôle essentiel dans la formation et le remplissage du grain, par les agents pathogènes, chez les plantes infectées.

Cependant, l'analyse de la variance a affiché des différences non significatives entre les traitements fongicides (**Tab. 30**), et le test de Dunnett a montré également des différences non significatives entre le témoin et les différents traitements fongicides (**Tab. 29**).

Les variations non significatives dans le poids de 1000 grains entre le témoin et les différents traitements fongicides appliqués peuvent être attribuées à la résistance de la variété utilisée (Maouna) à l'oïdium, et à l'apparition tardive de la rouille brune dans la parcelle de l'essai.

Tableau 29 : Poids de mille (1000) grains pour les différents traitements fongicides (g).

Traitements	T0	T1	T2	T3	T4
<i>Moyenne</i> ± σ	48 ± 1,825	50,5 ± 2,081 NS	51,75 ± 2,753 NS	50 ± 2,581 NS	49,5 ± 2,886 NS

NS : Différences non significatives ($\alpha = 0,05$)

Tableau 30 : Analyse de la variance pour le poids de 1000 grains.

Sources de variation	DL	SC	CM	F	p
Fongicide	4	30,20	7,550	1,25	0,333 NS.
Erreur	15	90,75	6,050		
Total	19	120,95			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS : différences non significatives : $p > 0.05$.

4.3.6. Rendement en grains

Malgré que les variations étaient faibles et non significatives entre les traitements fongicides pour la majorité des composantes du rendement, les légères améliorations notées dans les différentes composantes du rendement sous l'effet des traitements fongicides appliqués, se sont répercutées positivement sur le rendement de la culture du blé dans les parcelles traitées, d'où nous avons noté une augmentation du rendement par hectare dans toutes les parcelles traitées comparativement au témoin (**Fig. 27**).

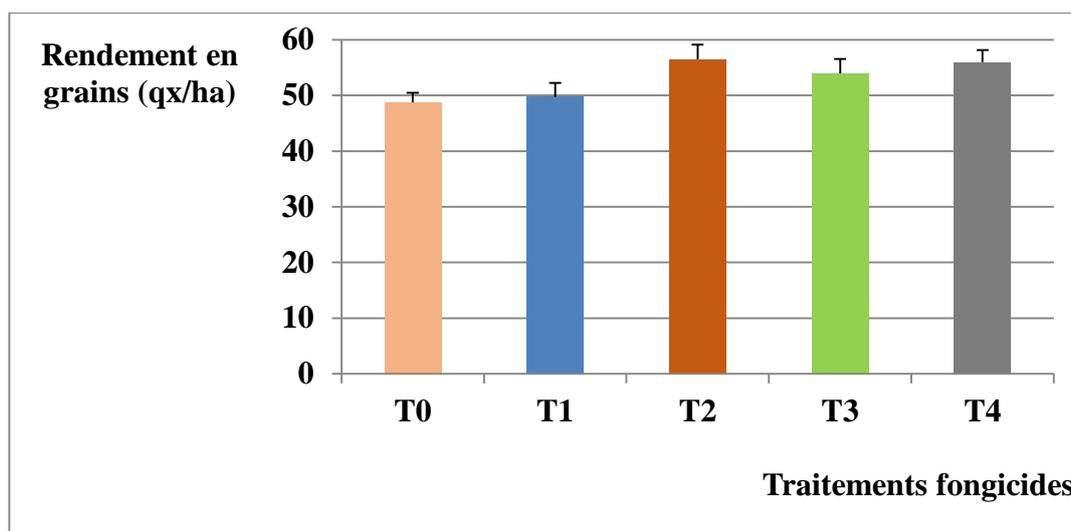


Figure 27 : Rendement en grains pour les différents traitements fongicides

Le meilleur rendement a été enregistré pour le traitement T2 (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/L) avec une moyenne de 56,5 Qx /ha, suivi du traitement T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L)), puis le traitement T3 (Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobine 150 g/L), et enfin le traitement T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/L) pour lesquels nous avons noté les moyennes de 56 Qx / ha, 54 Qx / ha et 49,75 Qx / ha respectivement, contre une moyenne de 48,75 Qx / ha chez le témoin (Tab. 30).

EL Jarroudi (2005) rapporte que le rendement final des cultures du blé atteint par l'oïdium pourrait être affecté de plus de 17 % sur les cultivars susceptibles si les conditions météorologiques sont favorables.

L'attaque par l'oïdium (**Fig. 28**), ainsi que le dessèchement des feuilles suite à l'attaque par la rouille brune, à des stades critiques du développement de la plante (**Fig. 29**) peut engendrer une réduction des processus physiologiques de la plante, notamment la photosynthèse et la translocation des éléments minéraux et organiques, et entraîner une réduction dans le rendement de la culture.

Al Maarroof et Nori (2019) et Junk et al. (2016) révèlent que l'attaque du blé par les rouilles occasionne des pertes quantitatives et qualitatives du rendement et les pertes engendrées par ces parasites peuvent atteindre 70 % en absence d'un contrôle adéquat et sur des cultivars sensibles.



Figure 28 : Attaque de plants par l'oïdium
(Photo personnelle)



Figure 29 : Attaque de plants par la rouille brune
(Photo personnelle)

Ceci laisse supposer que, même si la variété Maouna utilisée dans cette étude est résistante à l'oïdium, le degré d'altérations provoqué par les maladies observées (oïdium et rouille brune), et qui était non perceptible au niveau de la majorité des paramètres estimés, était remarquable dans les plantes témoins, et l'effet du traitement est bien illustré pour le rendement, et reflète bien le degré de protection apporté par les différents produits fongicides, à la culture.

L'analyse de la variance a montré des différences hautement significatives entre les traitements (**Tab. 32**), et le test de Dunnett a affiché des différences non significatives entre le témoin et le traitement T1, et des différences très hautement significatives entre le témoin et les traitements T2, T3 et T4 (**Tab. 31**).

Tableau 31 : Rendement par hectare pour les différents traitements fongicides

Traitements	T0	T1	T2	T3	T4
<i>Moyenne</i> ± σ	48,75 ± 1,707	49,75 ± 2,5 NS	56,5 ± 2,645 ***	54 ± 2,581 ***	56 ± 2,160 ***

NS : Différences non significatives ($\alpha = 0,05$)

*** : Différences significatives ($\alpha = 0,001$)

Tableau 32 : Analyse de la variance pour le rendement par hectare.

Sources de variation	DL	SC	CM	F	p
Fongicides	4	203,50	50,875	9,25	0,001 **
Erreur	15	82,50	5,500		
Total	19	286,00			

DL : Degrés de liberté

SC : Somme des carrés des écarts

CM : Carré moyen

F : Valeur observée de F de Fisher

P : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives

** : Différences hautement significatives : $P < 0.01$

4.4. Analyse globale des résultats

L'analyse globale des résultats obtenus dans cette étude, concernant l'efficacité des produits testés à l'égard des maladies observées, nous permet de déduire que les fongicides testés ont montré un effet satisfaisant contre la rouille brune (*Puccinia recondita*) et l'oïdium (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*).

- **Pour l'efficacité contre la rouille brune** : aussi bien pour la sévérité que pour l'incidence, les produits T2 (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L), T3 (Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobine 150 g/L) et T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L), ont montré une efficacité importante par rapport au produit T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L).

L'examen détaillé de la composition des différentes formulations permet de démontrer que les produits combinant **deux azoles à doses élevées** (cas du produit T2), ou combinant une **strobilurine (Azoxystrobine ou Pyraclostrobine) à concentration élevée** (150-200 g/L, cas des produits T3 et T4), et une azole sont adéquats pour le contrôle de la rouille brune du blé. Le produit T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L), contenant une strobilurine, à concentration faible (75 g/L) a donné un degré de protection faible contre la rouille brune, par rapport aux autres produits.

- **Pour l'efficacité contre l'oïdium** : Après 7 jours du traitement, des différences significatives ont été notées pour la sévérité entre le témoin et les produits, T2 (combinant deux azoles à concentrations élevées) et T4 (combinant une strobilurine à concentration élevée et une azole), cependant après 15 jours du traitement, les différences étaient non significatives entre le témoin et tous les produits ; ceci laisse supposer que, soit la rémanence des produits testés est courte, soit encore, il est probable que les conditions climatiques étaient à la faveur du parasite et ont contribué au développement épidémique de la maladie, sur une variété déclarée comme résistante à cette maladie. Ce qui confirme bien que la résistance d'une variété peut écrouler, si les facteurs exogènes deviennent favorables au développement de la maladie ; et que, les doses utilisées n'ont pas assuré une élimination des sources de l'inoculum dans la parcelle de l'essai.

- **Pour ce qui est de l'impact du traitement sur le développement de la culture :**
L'analyse des résultats obtenus a permis de constater que tous les paramètres estimés ont été faiblement affectés par les deux maladies observées, et des différences non significatives ont été notées entre le témoin et les blocs traités par les différents fongicides, et ce pour l'ensemble des paramètres. Ceci laisse supposer que, pour la hauteur des plantes, et le nombre de talles/plant, ces paramètres n'ont pas été affectés par les deux maladies, notamment la rouille brune qui s'est déclenchée à la fin du développement végétatif de la culture, et il est fort probable que la variété Maouna, déclarée comme résistante à l'oïdium, dispose des mécanismes de défense permettant la régularisation des processus biologiques à l'intérieur de ses cellules et tissus, et limitant ainsi les altérations pouvant être induites par l'infection.

- **Pour ce qui est de l'impact du traitement sur le rendement de la culture :** des différences significatives ont été notées entre les traitements, et entre le témoin et le produit T2 (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L) pour le nombre de grains/épi. L'amélioration remarquable de ce paramètre, notamment pour le traitement T2, s'est répercutée très positivement sur le rendement, pour lequel des différences très hautement significatives ont été notées entre le témoin et l'ensemble des produits testés, à l'exception du produit T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L), contenant des doses plus ou moins faibles de matières actives par rapport aux autres produits testés.

Pour les produits T2, T3 et T4, des essais complémentaires, réalisés dans des conditions d'expérimentations adéquates et regroupant le maximum de variables (maladies, doses, période de traitement...), peuvent fournir des données de base, qui serviront comme **Outil d'Aide à la Décision (OAD)** pour la mise sur marché de ces formulations.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Cette étude qui a porté sur 04 produits fongicides ayant différentes formulations et comportant des matières actives appartenant à différentes familles chimiques et à modes d'action variés, a permis de tester l'effet du traitement sur la croissance et le rendement de la culture, et l'efficacité de ces produits sur deux maladies foliaires du blé (rouille brune, et oïdium), à travers le suivi des différents stades de croissance de la culture et à travers les différents paramètres estimés. Rappelons que, les formulations testées étaient comme suit :

- T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L),
- T2 (Prochloraze 267 g/L + Tébuconazole 133 g/ L),
- T3 (Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobine 150 g/L) et
- T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole 80 g/L).

L'analyse des résultats obtenus concernant l'efficacité des produits contre les deux maladies observées, a fait ressortir les points suivants :

- Les différents produits fongicides testés ont montré une efficacité importante contre les maladies observées, notamment sur l'incidence, aussi bien pour la rouille brune que pour l'oïdium, pour lequel des différences très hautement significatives ont été notées entre les différents fongicides testés et le témoin non traité.
- Les produits T2 et T4 ont enregistré de bons résultats, par rapport aux produits T3 et T1,

Les résultats relatifs à l'impact du traitement sur le développement et le rendement de la culture, ont permis de constater que :

- Les différents paramètres estimés après l'application des traitements fongicides, ont montré une amélioration par rapport au témoin non traité.
- Le produit T2 (Prochloraze 267 g/L + Tébuconazole 133 g/ L), a donné les meilleurs résultats pour la majorité des paramètres estimés.
- Le rendement de la culture a enregistré une augmentation remarquable dans les parcelles traitées comparativement au témoin, notamment celles traitées par les produits T2 et T4, pour lesquels nous avons noté une amélioration du rendement qui dépasse 15 % par rapport au témoin.

Au terme de cette étude et à la lumière des résultats obtenus, nous pouvons conclure que les produits T2 (Prochloraze 267 g/L + Tébuconazole 133 g/ L) et T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole 80 g/L), peuvent être considérés comme étant des formulations à efficacité satisfaisante contre l'oïdium et la rouille brune du blé.

Cependant, ces résultats ne peuvent être considérés que, comme des données préliminaires sur les propriétés biologiques des formulations testées, à cause des contraintes imprévues et imposées par la situation sanitaire et la pandémie du COVID 19, qui a fait que certaines interventions n'ont pas été réalisées au temps adéquat, notamment l'application des traitements fongicides et la notation des différents paramètres estimés.

D'autres études doivent être envisagées sur ces mêmes produits, et en utilisant une variété de blé sensible à une gamme plus large, de maladies cryptogamiques, pour vérifier leur efficacité et les intégrer après homologation dans la liste des produits recommandés pour la protection du blé.

La majorité des formulations testées comportent des matières actives appartenant au groupe des azoles, ou des strobilurines, et le phénomène d'apparition des résistances des souches fongiques à ces groupes de fongicides est devenu, à nos jours, un problème sérieux qui exige une attention particulière. Pour cela l'alternance de ces produits avec d'autres produits de familles chimiques différentes et à modes d'action différents sont recommandés pour limiter l'émergence des résistances.

D'autres travaux seraient souhaitables sur les différents produits fongicides commercialisés en Algérie, pour choisir les doses efficaces contre les souches d'agents pathogènes présentes dans notre pays, et bien adaptées à l'agrosystème Algérien.

Résumés

Résumé

Ce travail a visé pour objectif, d'étudier l'efficacité de quatre fongicides systémiques, contre les maladies cryptogamiques du blé, et déduire l'impact du traitement sur le développement et le rendement de la culture. L'étude a porté sur une variété de blé tendre (Maouna), les formulations testées appartiennent à différentes familles chimiques, et parmi lesquelles, trois, sont nouvellement introduits en Algérie, et en phase d'essai, en vue de leur homologation : T1 (Azoxystrobine 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L), T2 (Prochloraze 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L), T3 (Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobine 150 g/L), et T4 (Azoxystrobine (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L). Les résultats obtenus montrent que les différents produits fongicides utilisés ont enregistré une efficacité plus ou moins importante contre la rouille brune du blé et l'oïdium. Les traitements T2 et T4 ont enregistré des résultats satisfaisants par rapport aux autres traitements et ce pour la majorité des paramètres estimés.

Mots clés : Blé, Champignon, Fongicide, Efficacité, Rendement.

Abstract

The objective of this work was to study the efficacy of four systemic fungicides against fungal diseases in wheat, and to deduce the impact of the treatment on the development and yield of the crop. The study is focused on one variety of bread wheat (Maouna), the formulations tested belong to different chemical families, and three of them are newly introduced in Algeria, and are in experimental phase, with a view to their approval: T1 (Azoxystrobin 75 g / L + Epoxiconazole 75 g / L), T2 (Prochloraz 267 g / L + Tebuconazole 133 g / L), T3 (Fluxapyroxad 75.0 g / L + Pyraclostrobin 150 g / L), and T4 (Azoxystrobin (200 g / L) + Cyproconazole (80 g / L). The results obtained show that the various fungicidal products used have been shown to be effective against brown rust of wheat and powdery mildew. T2 and T4 treatments recorded satisfactory results compared to other treatments, for most of the estimated parameters.

Key words: Wheat, Fungus, Fungicide, Efficacy, Yield.

الملخص

الغرض من هذا العمل هو دراسة فعالية أربعة مبيدات فطرية جهازية ضد الأمراض الفطرية للقمح، وتأثير المعالجة على نمو وإنتاجية المحصول. تمت الدراسة على صنف واحد من القمح اللين (ماونة) اما المبيدات المستعملة فتتنمي الى عائلات كيميائية مختلفة ومن بينها ثلاثة تركيبات تم ادخالها حديثا، وفي طور التجربة بغرض منحها رخصة التسويق :

1م (Azoxystrobin 75 g/L + Epoxiconazole 75 g/ L) 2م (Prochloraz 267 g/L + Tebuconazole 133 g/ L) ، 3م (Fluxapyroxad 75,0 g/L + Pyraclostrobin 150 g/L) ، 4م (Azoxystrobin (200 g/L) + Cyproconazole (80 g/L).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المبيدات الفطريات المستخدمة سجلت فعالية جيدة إلى حد ما ضد أمراض الصدأ البني والبياض الدقيقي وقد سجل المبيدين 2م و4م أفضل النتائج بالنسبة لأغلبية المقاييس المقدره.

الكلمات المفتاحية : قمح، فطريات، مبيد، فعالية، مردود.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abhinandan K., Skori L., Stanic M., Hickerson N. and Jamshed M. (2018).** Abiotic Stress Signaling in Wheat-An Inclusive Overview of Hormonal Interactions During Abiotic Stress Responses in Wheat. *Frontiers in Plant Science* Vol. 9 :1-25.
2. **Allioui N. (1997).** Etude de quelques altérations physiologiques et biochimiques causées par la rouille brune du blé (*Puccinia recondita* f.sp. *tritici*) chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Magister, spécialité Biologie végétale, option Ecotoxicologie végétale. Département de Biologie, Faculté des sciences, Université Badji Mokhtar, Annaba : 140p.
3. **Allioui N. (2015).** Diversité génétique et structure de la population algérienne de *Zymoseptoria tritici* / *Mycosphaerella graminicola*, agent causal de la septoriose du blé. Thèse de Doctorat ès sciences, spécialité Biologie végétale, option Phytopathologie. Département de Biologie, Faculté des sciences, Université Badji Mokhtar, Annaba : 252p.
4. **Al-Maarroof E.M. et Nori A.M. (2019).** Effect of Yellow Rust Disease on Quantitative and Qualitative Traits of Some Wheat Genotypes Under Rain-fed Conditions. *Journal of Applied Biological Sciences*. 13 (2) : 75-83.
5. Anonyme (2012). Fiche accident agronomie. Diagnostic au champ reconnaître le piétin échaudage (*Gaeumannomyces graminis tritici*). *Perspectives agricoles* N° 389 : 67.
6. **Aouali S. et Douici-khalfi A. (2009).** Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte. ITGC, EL Harrach, Alger : 23.
7. **ARVALIS (2017).** Les mosaïques de blé dur : 1-4.
8. **Bacon R. (2002).** Gestion de la résistance aux fongicides. Laboratoire de phytopathologie, agriculture et agroalimentaire. Canada : 2.
9. **BASF (2019).** Fluxapyroxad (Xemium®) + difénoconazole, Dagonis® Fongicide des cultures légumières® : 10p.
10. **Bataille C., Duvivier M., Heens B., Mahieu O., Meza R. et Monfort B. (2018).** Livre Blanc « Céréales » : Lutte intégrée contre les Maladies. Ed. Gembloux Agro-Bio Tech : 3.
11. **Beckerman J. (2018).** Fungicide mobility for nursery, greenhouse, and landscape professionals. *Purdue university* : 3.
12. **Ben Mbarek K. et Boubaker M. (2017).** Manuel des grandes cultures – Les céréales. *Editions Universitaires Européennes* : 256 P.

13. **Bernal J.L. (2000).** Fungicides Gas Chromatography. *Encyclopedia of Separation Science* : 2908–2915.
14. **Bonin L., Couleaud G., Crosson P., Gaucher D., Gautellier Vizios L., Masson E., Maufra J.Y., Maumene C., Taupin P., Valade R., Vericel G. et Verjux N. (2018).** Céréales à paille : intervention de printemps. ARVALIS- Institut du végétal : 29.
15. **Bouaouina S., Zid E. et Hajji M. (2000).** Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.). Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens N°40 : 239-243.
16. **Carisse O. (2008).** Comment bien utiliser ses fongicides-systémiques, translaminaires et Cie-dans l'oignon. *Agricultures et agroalimentaire*. Canada : 2.
17. **Carisse O. (2010).** Fungicides. Editeur BoD – *books on demand*: 550 p.
18. **Carlile W.R. (1995).** Control of crop diseases. Edition Cambridge university: 145 p.
19. **Charvet J.P. (1977).** Le blé dans le monde : Evolution récente de la consommation, de la commercialisation et de la production. *Annales de géographie* 86 N° 478 : 686-723.
20. **Chaube H.S. et Pundhir V.S. (2005).** Crop diseases and their management: Editeur: PHI learning Pvt. Ltd :724 p.
21. **Corbaz R. (1990).** Principes de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes : Presses polytechniques et universitaires Romandes : 286 p.
22. **Davet P. et Rouxel F. (1997).** Détection et isolement des champignons du sol. Editions Quae : 203 p.
23. **Debieu D. (2017).** Mode d'action et classification des fongicides agricoles. UMR Bioger-INRA-APT-Thiverval Grignon : 4.
24. **Debieu D., Welker A.S., Corio-Costet M F., Barres B. (2019).** Fongicides agricoles : mode d'action, mécanismes de résistance et exemples par filière : 3.
25. **Dernoeden P.H. (2012).** Creeping bent grass management. Second edition, *CRC Press*: 378 p.
26. **Dilip K.A. (2003).** Fungal biotechnology in agricultural food and environmental applications. *CRC Press* : 524 p.
27. **Ecophyt (2015).** Symptômes, dégâts seuils de nuisibilité et des bioagresseurs : 07.
28. **Ecophyt (2019).** Guide phytosanitaire : sécurité, fonctionnalité, aménagement, réglementation, protection de l'utilisateur, respect de l'environnement. *Agricultures et territoires*. *Chambre d'agriculture France* N°15 : 31.
29. **EL Jarroudi M. (2005).** Evaluation des paramètres épidémiologiques des principales maladies cryptogamiques affectant les feuilles du blé d'hiver au Grand-Duché de France :

- Calibration et validation d'un modèle de prévision. Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Environnement. Université de Liège : 249p.
- 30. Ezzahiri B. (2001).** Les maladies du blé : identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA) N°77 : 3.
- 31. Feillet P. (2000).** Le grain de blé : composition et utilisation. Editions QUAE. INRA. Paris : 308p.
- 32. Fredon-Guyane. (2009).** Guide d'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 de développement durable. République française. *Direction de l'agriculture et de la forêt de la Guyane* : 6.
- 33. Fu B., Chen Y., Li N., Ma H., Kong Z., Zhang L., Jia H. and Ma Z. (2013).** Pmx: a recessive powdery mildew resistance gene at the pm4 locus identified in wheat landrace xiaohongpi. *Theoretical and applied genetics* 126 (4) : 913–921.
- 34. Gigot C. (2009).** Progression de la septoriose du blé au sein d'associations culturales sous l'action de la pluie. Mémoire de stage Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome. Option Protection des Plantes et Environnement. École de rattachement : *Montpellier Sup Agro* : 41 p.
- 35. Głąb T., Sadowska U. and Żabiński A. (2015).** Application of image analysis for grass tillering determination. *Environmental Monitoring and Assessment* 187(11) : 674.
- 36. Hales N. (2019).** Algeria, Grain and feed annual. Global agricultural information Network (24/03/2019). USDA, Gain Report Number: AG 1904 : 15p.
- 37. Hennouni N. (2012).** Evaluation du métabolisme respiratoire et enzymatique des racines de blé dur (*Triticum durum* Desf) issues de plantes infectées par les maladies cryptogamiques et de plantes traitées avec un fongicide (Artea EC 330). Thèse de doctorat en biologie. Option toxicologie cellulaire. Université Badji Mokhtar : 106 p.
- 38. Jeschke P., Witschel M., Krämer W. and Schirmer U. (2019).** Modern Crop Protection Compounds. Édition 3, John Wiley & Sons: 1784 p.
- 39. Junk J., Kouadio L P., Delfosse P .and El Jarroudi M. (2016).** Effects of regional climate change on brown rust disease in winter wheat. *Climatic Change* 135 :439–451.
- 40. Kamel A.H. (1994).** Principaux ravageurs du blé et de l'orge : Guide d'identification. Edition ICARDA- Syrie : 90.
- 41. Lachuer E. (2018).** La défense des cultures. Edition réimprimée, Educagri :185 p.

42. **Lambert N. (2010).** Lutte biologique aux ravageurs : applicabilité au Québec. Essai présenté au centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement, Université de Sherbrooke Canada : 03.
43. **Lamour K. (2013).** *Phytophthora* : A global perspective. Édition illustrée, CABI : 244 p.
44. **Latin R. (2017).** Understanding fungicide resistance: Green section record. Vol. 55(13): 8p.
45. **Le Stum H., Bonjean A., Bouquery J.M., Mathieu J., Ruch O., Soppelsa C., Grecourt B. et Valluis B. (2017).** Le blé. Edition France Agricole : 352p.
46. **Lepoivre P. (2003).** Phytopathologie : bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. Edition : Les presses agronomiques de Gembloux : 291-292.
47. **Leroux P. (2003).** Modes d'action des produits phytosanitaires sur les organismes pathogènes des plantes. *Comptes rendus biologies* 326(1) : 9–21.
48. **Mahdjoub Z. et Megherbi 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 microbiologie. Option mycologie et biotechnologie fongique. Université des frères Mentouri, Constantine :19p.
49. **Mehra L.K., Adhikari U., Ojiambo P.S. and Cowger C. (2018).** Septoria nodorum blotch of wheat. *Peer J preprints* 6:e27039v2 <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27039v2>
50. **Messadia S. (2005).** Etudes comparative de l'effet d'application de fongicides sur le contrôle des maladies cryptogamiques, et l'amélioration de la production de blé. Université de Tébessa. Mémoire d'ingénieur. Option : Biologie végétale : 50 p.
51. **Mizuho N. (2013).** Fungicides: Showcases of integrated plant disease management from around the world, BoD-Books on demand: 342 p.
52. **Momené C .et Walker A.S. (2008).** Le mode d'action des Triazoles. Perspectives Agricoles N° 345 : 60-61.
53. **Moreno M. V., Stenglein S. A. and Perelló A. E. (2012).** *Pyrenophora tritici-repentis*, Causal Agent of Tan Spot: A Review of Intraspecific Genetic Diversity: 297- 330.
54. **ONU, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2019).** SMIAR Perspectives de Récolte et Situation Alimentaire #2 : Rapport mondial trimestriel. Food and Agriculture Org. : 46p.
55. **Ouhaddach M., Elyacoubi H., Douaik A., Hmouni D. et Rochdi A. (2016).** Réponse à la salinité de quelques paramètres physiologiques et biochimiques du Blé (*Triticum aestivum* L.) au stade montaison. *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (9) : 3084-3099.

56. Prescott J.M., Burnett P.A., Saari E., Ransom J., Bowman J., De Milliano W., Singh R.P. et Bekele G. (1987). Maladies et ravageurs du blé guide d'identification au champ. CIMMYT, Mexico : 17.
57. Rapilly E., Lemaire J.M., et Cassin R. (1971). Les maladies des céréales : les rouilles. INRA- I.T.C.F : 30-54.
58. Ravichandra N.G. (2018). Agrochemicals in plant disease management. *Scientific publishers*: 557 p.
59. Regnault-roger C. (2014). Produits de protection des plantes : Innovation et sécurité pour une agriculture durable. Ed. Lavoisier : 368 p.
60. Richard P., Oliver R., Hewitt H.G. (2014). Fungicides in crop protection. 2nd edition, CABI: 200 p.
61. Seguin B. (1995). Les maladies transmises par les semences. Perspectives agricoles. N°203 : 56p.
62. Vincent C., Panneton B. et Lessard F. (2000). La lutte physique en phytoprotection. Édition QUAE : 347 p.
63. Yang C., Hamel C., Vujanovi V. and Gan Y. (2011). Fungicides: modes of action and possible impact on no target microorganisms. *International Scholarly Research Network*: 08p.
64. Yeshwant R.M. (2014). Wheat diseases and their management. *Biomédical and life sciences*. Ed. Springer : 256p.
65. Zahri S., Farih A., Badoc A. et Douira A. (2014). Statut des principales maladies, cryptogamiques foliaires du blé au Maroc en 2013. *Journal of Applied Biosciences* 77 : 6543–6549.
66. Zaidi C. A., Benbelkacem A .et Brinis L. (2018). Etude de lignées de blé tendre utilisées dans un programme d'amélioration génétique pour la résistance à la rouille jaune en Algérie. *Synthèse : revue des sciences et de la technologie*. Vol 36 : 21-31.
67. Zhang X.W., Jia L.J., Zhang Y., Jiang G., Li X., Zhang D. and Tang W.H. (2012). In Planta Stage-Specific Fungal Gene Profiling Elucidates the Molecular Strategies of *Fusarium graminearum* growing inside Wheat Coleoptiles. *The Plant Cell*. 24(12) : 5159–5176.

Sites web :

- [1]. https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/PHYTOTECHNIE/document/phytotech/ble_dur/bled_devlpt.htm (consulté le 28/04/2020).
- [2]. <https://www.elwatan.com/edition/economie/lalgerie-a-importe-46-millions-de-tonnes-de-ble-francais-30-05-2019> (consulté le 01 /03 /2020).
- [3]. <https://www.arvalis-infos.fr/controler-la-rouille-brune-en-debut-d-attaque-@/view-12571-arvarticle.html> (consulté le 03 /03/2020).
- [4]. <https://plantix.net/fr/library/plant-diseases/100060/wheat-stem-rust>(consulté le 04 /03/2020).
- [5]. <https://www.cultivar.fr/nouveautes/inforisque-de-basf-pour-suivre-lapparition-des-principales-maladies-du-ble> (consulté le 04 /04/2020).
- [6]. <https://agrichem.dz/detailfleur/40/tan-spot-tache-aureolee-/> (consultation 20/04/2020).
- [7]. <http://www.bretagne.synagri.com/synagri/maladie---céréales---septoriose> (consulté le 04 /03/2020).
- [8]. https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies_du_ble/oidium_du_ble.html (consulté le 06 /03/2020).
- [9]. <https://www.terre-net.fr/observatoire-technique-culturale/strategie-technique-culturale/article/la-fusariose-un-mal-difficile-a-cerner-217-78809.html> (consulté le 07/03/2020).
- [10]. https://www.bayer-agri.fr/cultures/helminthosporiose-du-ble-tendre_1153/ (consulté le 07/03/2020).
- [11]. <https://www.syngenta.fr/traitements/charbon-du-ble> (consulté le 22/04/2020).
- [12]. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/25106/Vigi-Semences-Urocystis-agropyri-Charbon-foliaire-du-ble> (consulté le 22/04/2020).
- [13]. https://www.bayer-agri.fr/cultures/la-carie-du-ble-une-maladie-de-la-semence-en-recrudescence_3966/ (consulté le 22/04/2020).
- [14]. <https://www.google.com/maps/place/Institut+Technique+Des+Grandes+Cultures/@36.460487,7.4426828,2399m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x12f060ad9fa12cfd:0xa52dc849bc092765!8m2!3d36.4605752!4d7.4477059> (consulté le 15/06/2020).