

2023-2024

Master 1

Mention Biologie Végétale

**Evaluation de l'efficacité de l'outil d'aide à la
décision AVIZIO dans l'optimisation de la
protection fongicide sur le blé tendre d'hiver**

ARTHUR FOMBEUR

Sous la direction de Claire Campion

STAGE REALISE A SYNGENTA FRANCE SA

DU 29 AVRIL AU 26 JUILLET 2024

Maître de stage : Anthony Bossuet

Jury

Jérémie Clotault : président

Claire Campion : directrice

Thomas Guillemette : membre



Soutenu publiquement le 03 / 07 / 2024



2023-2024

Master 1

Mention Biologie Végétale

**Evaluation de l'efficacité de l'outil d'aide à la
décision AVIZIO dans l'optimisation de la
protection fongicide sur le blé tendre d'hiver**

ARTHUR FOMBEUR

Sous la direction de Claire Campion

STAGE REALISE A SYNGENTA FRANCE SA

DU 29 AVRIL AU 26 JUILLET 2024

Maître de stage : Anthony Bossuet

Jury

Jérémie Clotault : président

Claire Campion : directrice

Thomas Guillemette : membre



Soutenu publiquement le 03 / 07 / 2024



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Anthony Bossuet, mon maître de stage, pour m'avoir accueilli dans son équipe, pour toutes les connaissances techniques et scientifiques qu'il m'a transmis ainsi que pour son aide précieuse lors de la rédaction de ce rapport. Je remercie également Dorian Augras et Mathilde Humeau, les assistants technicien d'expérimentation d'Anthony Bossuet, avec qui j'ai travaillé durant ces deux mois et qui m'ont aussi conseillé dans la rédaction de mon mémoire. Je suis également reconnaissant envers l'ensemble des membres de la station de Tiercé pour leur accueil chaleureux et leur gentillesse. Enfin, je tiens à remercier ma tutrice de stage, Claire Campion, pour sa disponibilité et le temps qu'elle a consacré à m'orienter tout au long de la rédaction de ce rapport.

Engagement de non plagiat

Je soussigné Fombeur Arthur, étudiant en Master 1 Biologie Végétale à l'Université d'Angers, déclare être pleinement conscient que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiée sur toutes formes de support, numérique ou papier, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisé pour écrire ce mémoire.

signé par l'étudiant le 25 / 06 / 2024

A handwritten signature consisting of stylized initials 'AF' followed by a surname.

GLOSSAIRE

Ascospores : spores haploïdes produites dans une structure spécialisée, appelée asque, au cours du cycle sexué des champignons ascomycètes.

Basidiospores : spores haploïdes produites dans une structure spécialisée, appelée baside, au cours du cycle sexué des champignons basidiomycètes.

Biotrophe : qualifie un agent pathogène qui se nourrit des tissus vivants de l'organisme hôte.

Chlorose : décoloration plus ou moins prononcée des feuilles.

Cirrhes : pustules noires qui contiennent des spores de Zymoseptoria tritici.

Cryptogamique : maladie causée à une plante par un champignon parasite.

Hémibiotrophe : qualifie un agent pathogène qui réalise une phase initiale biotrophe suivie d'une phase nécrotrophe durant laquelle il provoque la mort des cellules de l'hôte pour se nourrir.

Hexaploïde : organisme possédant six lots de chromosomes.

Incubation : temps écoulé entre la contamination par un pathogène et l'apparition des symptômes.

Infestation : qualifie l'envahissement d'un organisme vivant par un pathogène.

Intrant : produit ajouté dans le sol pour optimiser le rendement des cultures.

Modèle : représentation simplifiée de la réalité à travers une relation mathématique.

Nécrose : dégradation ou mort des tissus végétaux.

Nuisibilité : capacité d'un agent pathogène à causer des dommages ou des maladies sur son hôte.

Pathogène : organisme capable d'infecter un organisme hôte.

Périthèces : structures de reproduction sexuelle du champignon contenant les asques.

Phénologique : phase spécifique du développement biologique d'une culture.

Phytosanitaire : ce qui concerne la protection des végétaux contre les maladies.

Préparation phytopharmaceutique : formulation chimique utilisée pour protéger les plantes contre les maladies.

Pycnides : structures de reproduction asexuée du champignon.

Pycnidiospores : spores asexuées du champignon produites dans les pycnides.

Sénescence : processus physiologique de vieillissement naturel des tissus.

Sévérité : intensité et étendue des dommages causés par un pathogène sur l'organisme infecté.

Stomate : petit orifice sur la tige ou les feuilles qui permet à la plante de respirer.

Symptôme : écart au phénotype normal attendu de la plante.

Systémique : absorbé puis distribué dans toute la plante par son système vasculaire.

Téléutospores : spores sexuées produites par le champignon.

Tétraploïde : organisme possédant quatre lots de chromosomes.

Triazoles : classe de composés chimiques utilisés comme fongicides.

Tube germinatif : structure fongique qui pénètre dans l'organisme hôte pour initier l'infection.

Urédolespores : spores asexuées du champignon.

LISTE DES ABREVIATIONS

BBCH : Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie, échelle internationale pour décrire les stades de développement des plantes

F1 : Première feuille de blé comptée à partir du sommet de la plante

F2 : Deuxième feuille de blé comptée à partir du sommet de la plante

F3 : Troisième feuille de blé comptée à partir du sommet de la plante

F4 : Quatrième feuille de blé comptée à partir du sommet de la plante

F5 : Cinquième feuille de blé comptée à partir du sommet de la plante

L/ha : Litres par Hectare, c'est une unité de mesure pour appliquer un liquide sur une unité de surface agricole.

OAD : Outil d'aide à la décision

Pst : *Puccinia striiformis f. sp. tritici*

q/ha : Quintaux par Hectare, c'est une unité de mesure du rendement de blé

SDHI : Succinate Déshydrogénase Inhibitors

TNT : Témoin Non Traité

TABLE DES MATIERES

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des Annexes

1. Introduction	1
1.1.	Contexte
1.2.	L'entreprise Syngenta
1.3.	L'outil d'aide à la décision AVIZIO
1.4.	L'importance de la culture du blé
1.5.	Les maladies du blé
1.5.1.	La septoriose
1.5.2.	La rouille jaune
1.5.3.	La rouille brune
1.6.	Les méthodes de protection des cultures
1.7.	Problématique
2. Matériels et Méthodes	7
2.1.	Localisation et mise en place de l'essai
2.2.	Dispositif expérimental
2.3.	Modalités étudiées
2.4.	Le programme AVIZIO
2.5.	Applications foliaires
2.6.	Notations
2.6.1.	Surface foliaire attaquée ...
2.6.2.	Surface verte de la dernière feuille ...
2.6.3.	Récolte ...
2.7.	Test statistique ...
3. Résultats	12
3.1.	Données météorologiques ...
3.2.	Résultats sur la variété SY Moisson ...
3.3.	Résultats sur la variété LG Absalon ...
4. Discussion	15
4.1.	Retour sur les conditions de l'essai ...
4.2.	Evaluation de l'efficacité d'AVIZIO ...
4.3.	Commercialisation de l'OAD ...
5. Conclusion	19
Bibliographie	20
Sitographie	20
Abstract	
Résumé	

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cycle de développement du pathogène <i>Z. tritici</i> sur le blé tendre (Field crop Diseases Victoria, 2020)	3
Figure 2 : Cycle de développement asexué du pathogène <i>P. striiformis</i> sur son hôte principal, le blé (Figure modifiée, Zheng et al., 2013).....	4
Figure 3 : Symptômes de <i>P. triticina</i> sur blé (Téma, agriculture et terroirs, 2024).....	4
Figure 4 : Plan de l'essai AVIZIO 2023 (AF).	6
Figure 5 : Interface d'AVIZIO. Rubrique risque agronomique de l'essai 2024 (AF).....	7
Figure 6 : Interface d'AVIZIO. Rubrique suivi climatique de l'essai 2024 (AF).....	7
Figure 7 : Photographie d'une feuille de blé infestée par la septoriose (AF).	9
Figure 8 : Graphique de l'évolution des températures et des précipitations de mars à juillet 2023 sur la commune de l'essai (Bossuet A.).....	11
Figure 9 : Graphique de l'évolution de la sévérité des attaques de septoriose dans les différentes modalités étudiées (AF).....	11
Figure 10 : Graphique de la surface foliaire verte de la F1, notée sur chacune des quatre modalités le 19 juin (AF).	12
Figure 11 : Graphique du rendement de blé pour chaque modalité (AF).....	12
Figure 12 : Graphique de l'évolution de la sévérité des attaques de septoriose dans les différentes modalités étudiées (AF).....	13
Figure 13 : Graphique de la surface foliaire verte de la F1, notée sur chacune des quatre modalités le 19 juin (AF).	13
Figure 14 : Graphique du rendement de blé pour chaque modalité (AF).....	13

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Liste des produits phytosanitaires appliqués dans l'essai pour la variété SY Moisson (AF)	8
Tableau II : Liste des produits phytosanitaires appliqués dans l'essai pour la variété LG Absalon (AF)	8
Tableau III : Dates d'application des différents fongicides de l'essai 2023 (AF)	8
Tableau IV : Dates de notation des quatre modalités étudiées (AF)	9

LISTE DES ANNEXES

Annexe I : Echelle BBCH du blé (Bayer CropSciences)I

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

Face à l'augmentation du prix des produits phytosanitaires* et à la mise en place du plan Ecophyto 2030, qui vise à réduire de 50% l'utilisation de produits phytopharmaceutiques d'ici 2030, l'agriculture française doit s'adapter et évoluer. Le secteur agricole voit donc ses pratiques progresser vers des méthodes plus responsables, notamment en optimisant l'utilisation des intrants* et en développant une agriculture de précision. Dans ce contexte, un développement rapide des outils d'aide à la décision (OAD) est observé. Ils contribueront à répondre aux enjeux à la fois environnementaux et sociétaux de la protection phytosanitaire.

Aujourd'hui, de plus en plus d'exploitations s'appuient sur les OAD. Selon une enquête menée en 2022 par l'organisation professionnelle française des entreprises de l'agrochimie Phyteis, 80% des agriculteurs estiment que les recommandations faites par les OAD s'avèrent utiles (Phyteis, 2023). Ces outils offrent une assistance précieuse aux agriculteurs en les aidant à gérer de manière optimale leurs interventions sur les cultures. Ils offrent un soutien dans diverses tâches telles que l'irrigation, la fertilisation et la stratégie phytosanitaire.

C'est dans cette dynamique que Syngenta, entreprise engagée dans le domaine phytosanitaire, développe son propre outil d'aide à la décision, appelé AVIZIO. Pour la huitième année consécutive, l'entreprise met en place sur l'ensemble du territoire des essais au champ afin d'évaluer et d'améliorer son outil. Par conséquent, dans le cadre de ce mémoire, nous évaluerons ***l'efficacité de l'outil AVIZIO dans l'optimisation de la protection fongicide sur le blé tendre d'hiver.***

1.2. L'ENTREPRISE SYNGENTA

Syngenta est une société d'origine suisse, spécialisée dans la recherche et la production de semences ainsi que dans la mise au point et la commercialisation de préparations phytopharmaceutiques*. Elle est issue de la fusion en 2000 des sociétés Novartis et AstraZeneca. En 2017, Syngenta a été rachetée par le groupe chinois ChemChina pour un montant de 38 milliards d'euros. Elle est aujourd'hui leader mondial dans le secteur des produits phytopharmaceutiques et des semences, mais elle fait face à une concurrence importante de la part d'autres acteurs majeurs du secteur tels que Bayer et BASF.

En 2023, le chiffre d'affaires du groupe s'élevait à 33,4 milliards de dollars, dont 16,3 milliards provenaient de la division « Protection des cultures ». Le siège social de Syngenta est situé à Bâle, en Suisse, et l'entreprise emploie 28 000 personnes réparties dans 90 pays. En France, Syngenta possède 6 sites de production ainsi que 2 stations d'expérimentation. Ces dernières jouent un rôle important dans la recherche et le développement de nouveaux produits et solutions. Ce stage s'est déroulé à la station d'expérimentation de Tiercé (49).

Trois piliers sont à l'origine de la réussite de l'entreprise. Tout d'abord, Syngenta accorde une importance cruciale à l'innovation. En effet, 5 000 chercheurs sont répartis dans les différents laboratoires internationaux et 1,3 milliard de dollars ont été investis en recherche et développement en 2023. Ensuite, l'entreprise cherche à répondre aux différents enjeux de l'agriculture moderne en proposant des solutions adaptées à tous les modèles agricoles. L'accompagnement de tous les types d'agricultures passe notamment par une large gamme de produits de protection conventionnelle, de biocontrôle et adaptés à l'agriculture biologique. Enfin, Syngenta a pour but de défendre une agriculture durable en accompagnant les agriculteurs dans une utilisation raisonnée des produits phytosanitaires. Elle les accompagne à réduire leur impact environnemental en développant de nouvelles solutions techniques mais également digitales tel que l'outil d'aide à la décision AVIZIO (Syngenta, 2024 [a]).

1.3. L'OUTIL D'AIDE A LA DECISION AVIZIO

En 2015, Syngenta a lancé le programme AVIZIO, un OAD dans la gestion du risque multi-maladies des blés. AVIZIO vise à optimiser la stratégie fongicide en fournissant des prévisions précises sur les risques maladies et en permettant de positionner les applications de manière optimale. Pour cela, le programme se base sur un modèle* qui simule le développement des maladies en fonction du stade phénologique* de la culture, des conditions climatiques locales et de la protection phytosanitaire déjà mise en place. AVIZIO évalue la nuisibilité* des maladies en utilisant des informations parcellaires transmises par l'utilisateur telles que le type de sol, le précédent cultural et le type de travail du sol effectué. Grâce à ces informations, il permet de visualiser à 10 jours à la fois le développement de la plante mais aussi celui de la maladie tout en envoyant une alerte en cas de risque maladie. Bien que l'outil soit commercialisé pour le blé depuis 2020, des essais en champ sont réalisés chaque année depuis 2016 pour continuellement améliorer le programme.

1.4. L'IMPORTANCE DE LA CULTURE DU BLE

La culture du blé est d'une importance capitale pour l'alimentation humaine. Il existe deux types de blés, le blé tendre hexaploïde* (*Triticum aestivum*), employé dans la fabrication de farine panifiable, et le blé dur tétraploïde* (*Triticum durum*), servant à la production de semoules et de pâtes alimentaires. Le blé aurait été domestiqué au Moyen-Orient dans le Croissant fertile il y a environ 10 000 ans. Accompagné du maïs et du riz, c'est l'une des trois cultures les plus importantes au niveau mondial, avec une production qui devrait atteindre environ 800 millions de tonnes en 2024 (Agroligne, 2024 ; Bonjean, 2001 ; INRAE, 2020).

Le blé est aujourd'hui la culture céréalière la plus importante dans l'Union européenne et c'est pour cela qu'il est nécessaire de garantir une production à haut rendement avec des grains de bonne qualité (Mitura *et al.*, 2023). La France se distingue en tant que premier producteur de blé tendre en Europe, avec une production estimée à 35 millions de tonnes en 2023 (Agreste, 2023). Toutefois, dans les pays développés, sa culture est principalement réalisée selon un système agricole conventionnel utilisant de manière intensive des engrains minéraux et produits phytopharmaceutiques chimiques. Ces intrants sont jugés indispensables car sans une protection fongicide adaptée, les pertes de rendement dues à des maladies cryptogamiques* telles que la septoriose et les rouilles seraient très dommageables.

1.5. LES MALADIES DU BLE

Le blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum*) est sensible à un certain nombre de maladies, et ce tout au long de son cycle de développement. Les principales maladies fongiques sont le piétin-verse, l'oïdium, la fusariose, les rouilles jaune et brune et la septoriose (Arvalis, 2021 [a]). En France, la septoriose et les rouilles jaune et brune sont les maladies foliaires les plus fréquentes mais aussi les plus nuisibles. C'est pour cette raison que par la suite, nous nous concentrerons sur ces dernières.

1.5.1. La septoriose

La septoriose est la principale maladie foliaire affectant le blé tendre. En France, au cours des dix dernières années, elle a entraîné une perte moyenne de rendement de 17 quintaux par hectare, en faisant ainsi la maladie la plus préjudiciable pour les cultures de blé. Cette maladie touche l'ensemble de l'hexagone mais les régions Nord et Ouest sont les plus touchées (Arvalis, 2018 [b]). On distingue deux formes de septoriose, la septoriose foliaire causée par le champignon ascomycète* hémibiotrophe*

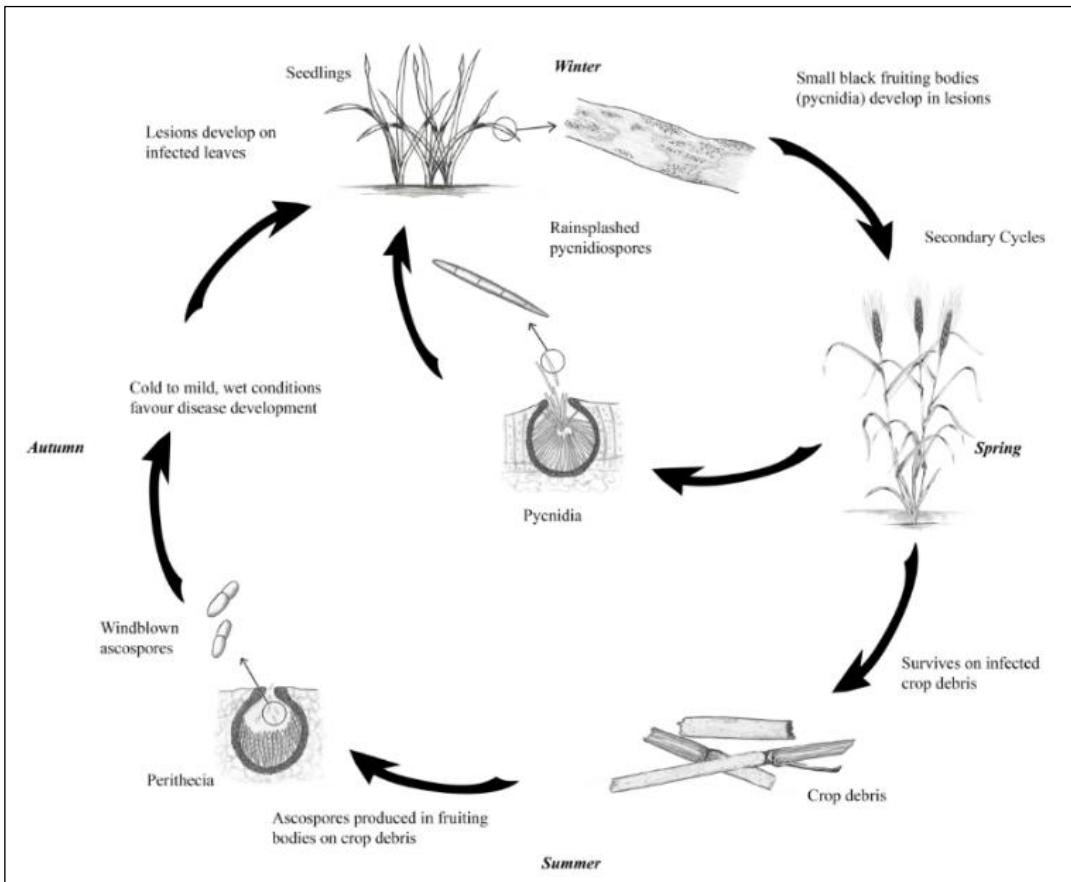


Figure 1 : Cycle de développement du pathogène *Z. tritici* sur le blé tendre (Field crop Diseases Victoria, 2020).

Zymoseptoria tritici et la septoriose de l'épi, plus rare, causée par le champignon *Stagonospora nodorum*. Ce dernier cause de légers dégâts sur les épis et les grains mais est aujourd'hui moins présent que *Z. tritici* (Slimane, 2010).

La contamination du blé débute dès l'automne lorsque les ascospores*, provenant de la reproduction sexuée de *Z. tritici*, sont libérées des périthèces* présentes sur les résidus de cultures. Ces ascospores sont ensuite dispersées dans la parcelle par le vent. C'est la phase d'infection primaire. Puis, au printemps, les cycles d'infection secondaires sont réalisés par la forme asexuée du champignon. Ce dernier produit des pycnides* qui vont se gorger d'eau et finir par expulser de nombreuses pycnidiospores*. Ces spores sont contenues dans une gelée sporifère appelée cirrhe*. Les cirrhes sont disséminées sur les étages foliaires supérieurs et les plantes voisines par l'effet « splashing » des éclaboussures de la pluie. La progression de la maladie se fait donc de la base vers le sommet du couvert végétal, avec un nouveau cycle infectieux démarrant sur chaque nouvelle feuille contaminée. Arrivées sur une feuille saine, les pycnidiospores de *Z. tritici* déploient un tube germinatif* qui pénètre à l'intérieur de la feuille par les stomates* et infecte les tissus. Le champignon va ensuite prélever les éléments nutritifs de la feuille avant d'en détruire les cellules (Morais, 2015 ; Slimane, 2010). Le cycle de la maladie est illustré dans la Figure 1.

Pour ce qui est des symptômes* de *Z. tritici*, on commence par observer des chloroses* qui évoluent ensuite vers des nécroses* allongées ou rectangulaires bordées d'un halo jaune. Au centre des nécroses, il est possible d'observer des petits points noirs qui correspondent aux pycnides. La nuisibilité de la septoriose réside dans le fait qu'elle diminue la surface foliaire verte diminuant ainsi la photosynthèse, la croissance et le remplissage des grains ce qui affecte le rendement (Slimane, 2010).

1.5.2. La rouille jaune

La rouille jaune, causée par le champignon basidiomycète* *Puccinia striiformis f. sp. tritici* (Pst), est une des maladies foliaires les plus fréquentes sur le blé tendre, en particulier dans les régions Nord et Ouest de France. Ce champignon biotrophe* réalise son cycle complet sur deux hôtes différents : le blé tendre, son hôte principal, et l'épine-vinette (*Berberis spp.*), son hôte secondaire. Cependant, le cycle sexué de *P. striiformis* n'a pas encore été observé en Europe (Chen et al., 2021).

Pour ce qui est du blé, les infections primaires ont lieu à l'automne et sont causées par les urédospores*. Ces spores proviennent des résidus de cultures ou de graminées adventices et peuvent être transportées sur de longues distances par le vent.

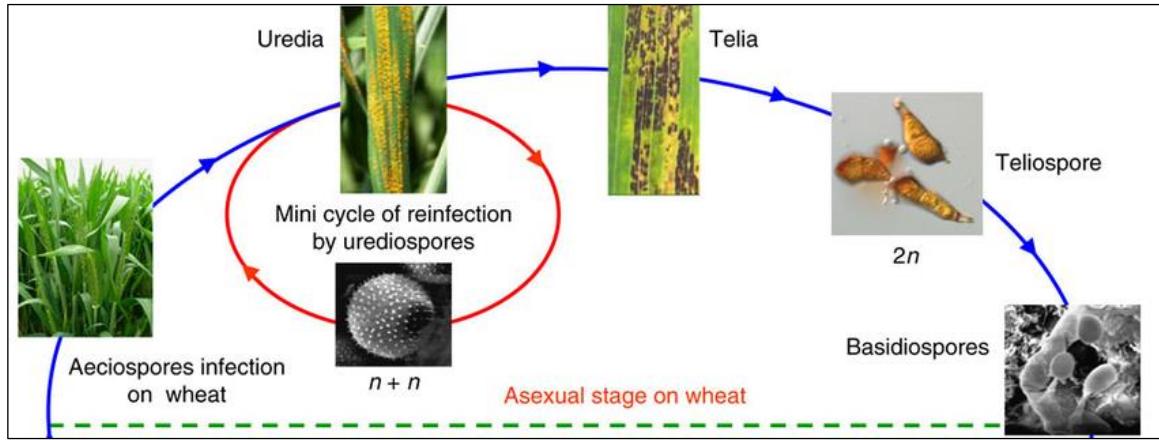


Figure 2 : Cycle de développement asexué du pathogène *P. striiformis* sur son hôte principal, le blé (Figure modifiée, Zheng et al., 2013).



Figure 3 : Symptômes de *P. tritici* sur blé. Les pustules brunes sont bien visibles et réparties aléatoirement, principalement sur la face supérieure de la feuille (Téma, agriculture et terroirs, 2024).

Les urédospores initient l'épidémie au printemps lorsque les conditions météorologiques sont favorables (humidité relative élevée et températures entre 10 et 20°C). Elles produisent de nouvelles spores qui vont se disséminer dans la parcelle, permettant un développement rapide du pathogène*. Une fois qu'elles ont germé sur une feuille, les urédospores produisent un tube germinatif qui pénètre la feuille par les stomates et prélève des nutriments pour se développer. A la fin de la saison, avec la hausse des températures et la sénescence* des feuilles, le champignon produit des téleutospores* au sein de pustules noires appelées téleutosores. Ces spores vont rapidement germer pour produire des basidiospores, spécialisées dans la survie hivernale du pathogène. Ces spores seront capables d'infecter l'hôte secondaire, l'épine-vinette (Chen *et al.*, 2021 ; Nicole-Brel, 2023).

La rouille jaune se distingue par des pustules jaune à orangé alignées entre les nervures des feuilles qui évoluent ensuite en pustules noires. Les symptômes ainsi que le cycle de la maladie sont visibles sur la Figure 2. Lorsqu'elle est détectée tardivement, la rouille jaune est difficile à maîtriser et induit une perte de rendement sur la culture (Prescott *et al.*, 1986).

1.5.3. La rouille brune

Le champignon *Puccinia triticina* est l'agent pathogène responsable de la rouille brune sur blé. Son cycle de vie est similaire à celui de *P. striiformis* et tout aussi complexe. Le pathogène passe également par plusieurs stades de spores, et les urédospores restent les principales responsables du développement de la maladie sur blé. Pour son bon développement, le champignon a besoin d'eau libre à la surface des feuilles et de températures entre 10 et 20°C (Bolton *et al.*, 2008). Les symptômes induits par ce pathogène sont illustrés sur la Figure 3.

1.6. LES METHODES DE PROTECTION DES CULTURES

En France, les méthodes de protection des cultures de blé sont principalement basées sur l'utilisation de produits fongicides et de variétés tolérantes aux maladies (Morais, 2015). Le choix variétal est réalisé selon les maladies habituellement présentes dans la parcelle. Pour limiter les dégâts dus à la septoriose et aux rouilles, on cultive principalement des variétés tolérantes telles que LG Absalon ou Fructidor (Arvalis, 2020 [c]). On compte généralement 2 à 3 applications de fongicides par campagne selon la pression maladie. Cependant, cette lutte chimique, largement appliquée depuis les années 50, pose un certain nombre de soucis. Ce type de modèle agricole présente des

effets délétères comme la pollution des sols, la perte de la biodiversité ou encore des problèmes liés à la santé humaine et animale. Une sélection involontaire des pathogènes les plus résistants d'une population peut également être observée si l'on utilise de manière répétée des fongicides ayant le même mode d'action. C'est le cas de certaines souches de *Z. tritici* pour lesquelles une forme de résistance multidrogues (MDR) est apparue il y a quelques années. Cette résistance aux triazoles* et SDHI est due à la surexpression d'un transporteur membranaire qui augmente l'efflux des fongicides hors des cellules fongiques (Bureau-Point *et al.*, 2021 ; Omrane *et al.*, 2015). Il est donc nécessaire de minimiser l'utilisation de solutions fongicides.

Pour compléter la lutte chimique, des pratiques agronomiques ont été développées pour protéger les cultures tout en préservant le rendement. Le travail du sol permet d'enfouir les résidus de culture ce qui perturbe le cycle des maladies. Une rotation de culture diversifiée est également à privilégier. La date de semis et sa densité sont aussi des éléments permettant de limiter la pression parasitaire en fournissant un environnement peu favorable au développement des maladies cryptogamiques telles que la septoriose et les rouilles (Charles *et al.*, 2011).

1.7. PROBLEMATIQUE

L'ensemble des informations précédentes ainsi que le contexte actuel nous amène à nous poser la question suivante :

Dans quelle mesure l'utilisation de l'outil d'aide à la décision AVIZIO permet-elle d'optimiser la protection fongicide du blé tendre d'hiver, en se concentrant sur la gestion de la septoriose et de la rouille ?

Pour répondre à cette problématique, Syngenta a mis en place les essais AVIZIO. Leur objectif est de comparer l'efficacité d'un programme de traitements fongicides préconisé par AVIZIO à celle d'un programme de traitement conventionnel, et ce dans le but de calibrer au mieux la sensibilité du modèle. Bien que l'outil AVIZIO puisse conseiller sur plusieurs maladies du blé, l'essai de 2023 s'est focalisé uniquement sur la septoriose. Par conséquent, dans ce mémoire, nous analyserons et discuterons les résultats de la sévérité* des attaques de *Z. tritici* et leur impact sur le rendement du blé en 2023.

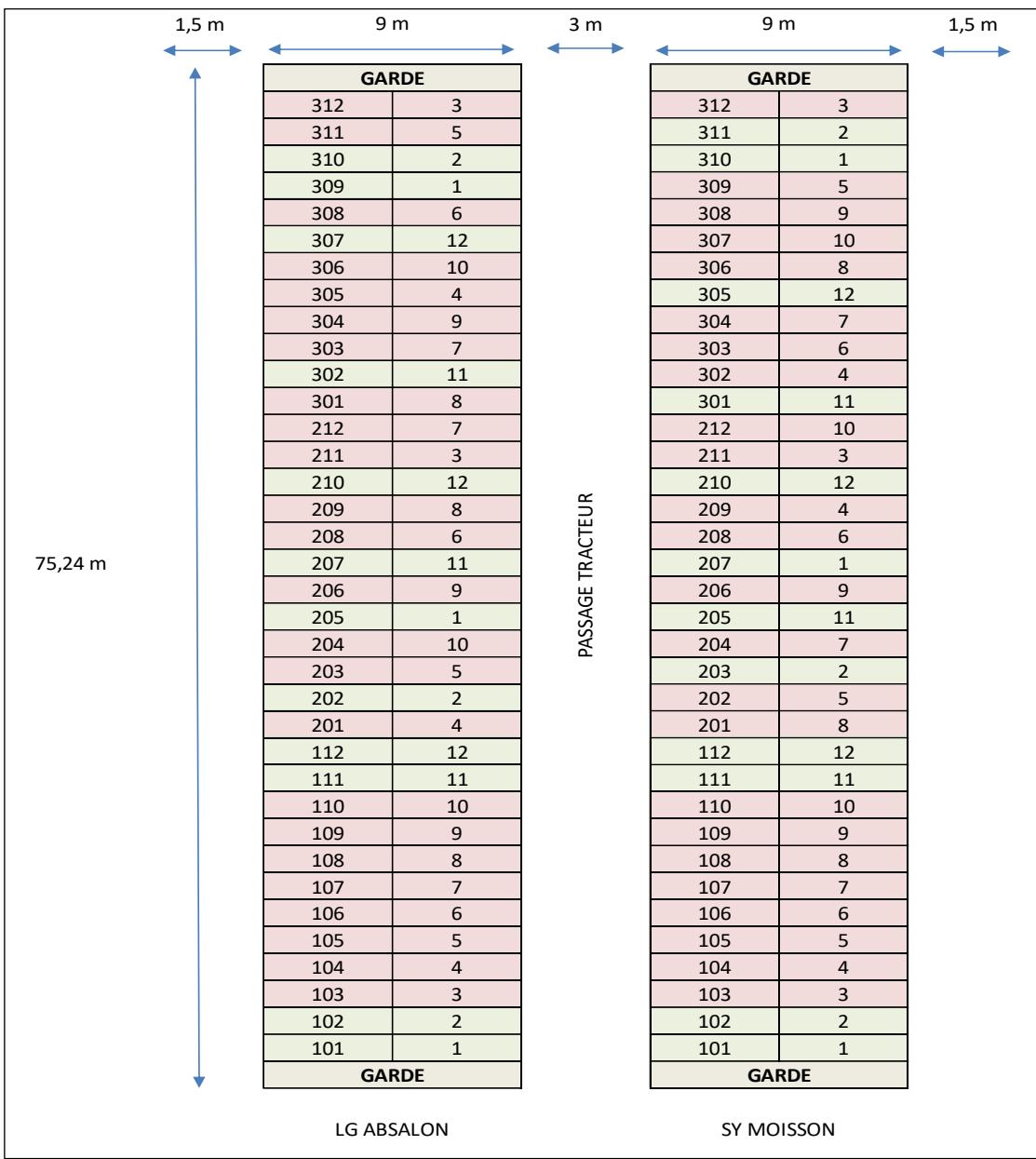


Figure 4 : Plan de l'essai AVIZIO 2023 (AF).

Pour chacune des deux variétés de blé, l'essai est constitué de 3 blocs contenant chacun les 12 modalités étudiées. En vert sont représentées les modalités étudiées et en rouge les modalités non étudiées dans ce rapport.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. LOCALISATION ET MISE EN PLACE DE L'ESSAI

L'essai AVIZIO de 2023 a été implanté sur une parcelle privée située dans la commune de Château-Gontier-sur-Mayenne (53200). La surface allouée à l'expérimentation était de 1584m². L'expérimentateur a sélectionné ce site car la parcelle était homogène et le lieu était favorable au développement de la maladie ciblée. Monsieur Guedon, l'agriculteur qui a accueilli cet essai, est habitué aux pratiques de l'expérimentation et garantit une bonne gestion de culture sans interférer avec l'essai. Il s'est notamment engagé à n'appliquer aucune protection fongicide sur l'essai. La parcelle reposait sur un sol de type argilo-limoneux. L'essai a été semé le 18 octobre 2022 à une densité de 300 grains/m², et selon une méthode de semis direct. La dernière culture sur cette parcelle était du maïs, cultivé en 2022, et précédé par un blé d'hiver.

2.2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Pour cette expérimentation, deux variétés de blé tendre d'hiver ont été plantées sur la parcelle : la variété SY Moisson, plus sensible aux maladies, et la variété LG Absalon, moins sensible et plus couramment cultivée. Pour leur tolérance aux maladies, la variété SY Moisson a une note globale de 4/10 contre 7/10 pour la variété LG Absalon. Dans le détail, les notes de tolérance à la septoriose, la rouille jaune et la rouille brune sont respectivement de 4.5/10, 7/10 et 6/10 pour la variété SY Moisson, et de 7.5/10, 6/10 et 7/10 pour la variété LG Absalon (Arvalis, (2023) [d] ; Arvalis (2018) [e]).

Dans cet essai, le dispositif expérimental utilisé est un dispositif en blocs randomisés (Figure 4). L'essai est disposé de manière à ce que toutes les micro-parcelles soient perpendiculaires au travail du sol, pour éviter un potentiel gradient d'hétérogénéité. Pour chaque variété, l'essai est constitué de 3 répétitions, ou blocs, contenant chacun les 12 modalités disposées aléatoirement. Chaque modalité n'est présente qu'une fois par bloc et représente une unité expérimentale. Chaque unité expérimentale mesure 9m de long par 1.98m de large, soit une surface expérimentale de 17,82m². Les micro-parcelles sont délimitées lors de la mise en place de l'essai. L'essai est délimité par des parcelles élémentaires de garde qui ont pour but de l'isoler du reste du champ, exploité par l'agriculteur.

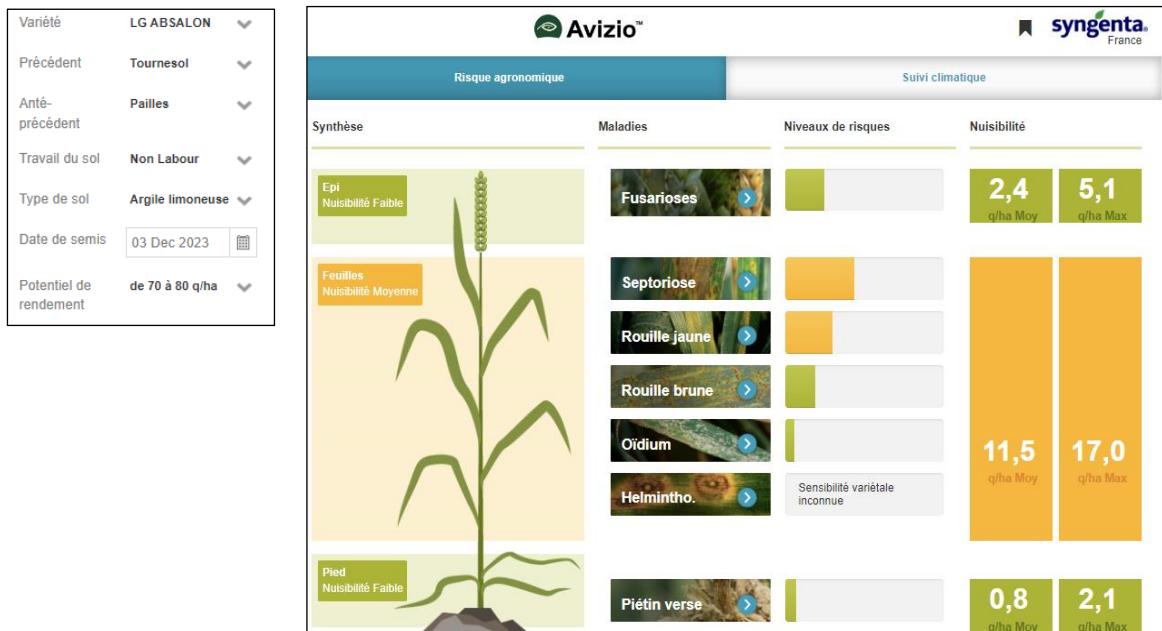


Figure 5 : Interface d'AVIZIO. Rubrique risque agronomique de l'essai 2024 (AF).

Les informations parcellaires sont indiquées sur la gauche de la Figure. Le niveau de risque maladie est indiqué selon les informations parcellaires ainsi que la sensibilité variétale.

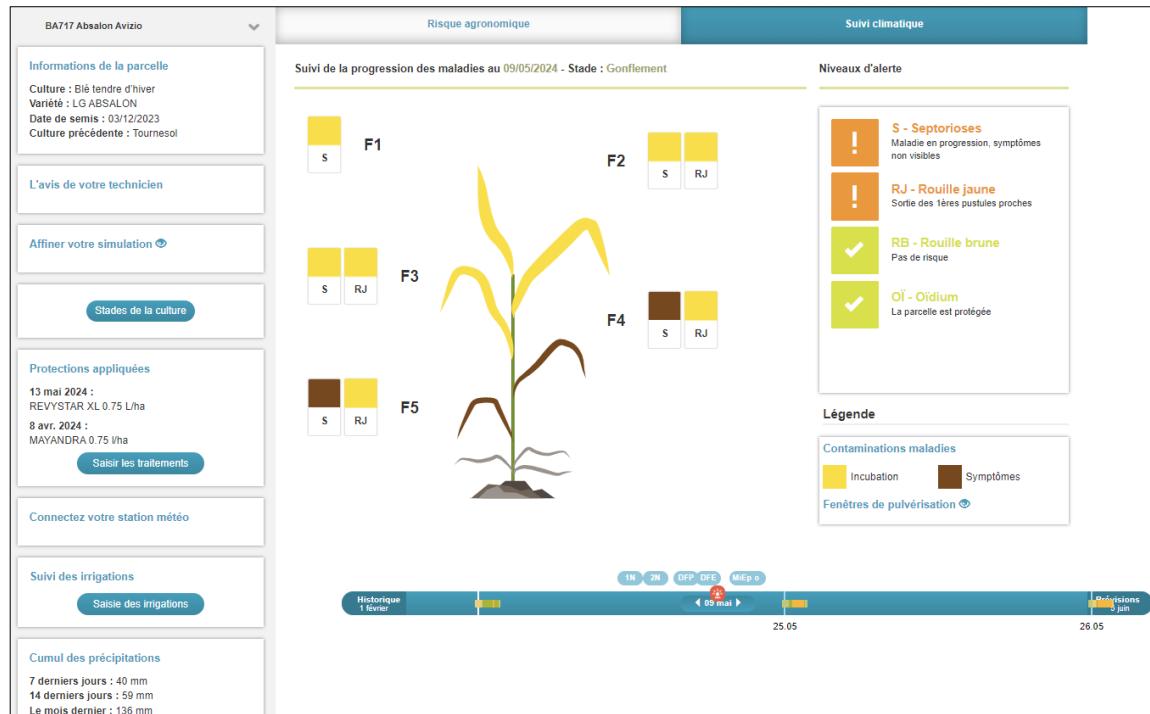


Figure 6 : Interface d'AVIZIO. Rubrique suivi climatique de l'essai 2024 (AF).

Les numéros de F5 à F1 correspondent aux différentes feuilles du blé. Sur cette Figure, l'outil déclenche une alerte le 9 mai 2024 pour un risque multi-maladies, à savoir rouille jaune et septoriose.

2.3. MODALITES ETUDIEES

Nous nous intéressons à 4 des 12 modalités de l'essai. La modalité numéro 1 est un témoin non traité (TNT) et ne reçoit par conséquent aucun traitement fongicide. Elle permet d'estimer la pression maladie de l'année. Les modalités numéro 2 et 11 reçoivent respectivement une et deux applications fongicides, déclenchées à un stade de développement de la culture défini à l'avance. La modalité numéro 2 reçoit uniquement le traitement 2 de manière à savoir si le traitement 1 est nécessaire ou facultatif. Dans la modalité numéro 11, nous réalisons un programme de traitement fongicide conventionnel constitué des deux traitements. Pour finir, la modalité numéro 12 est la modalité test du programme AVIZIO. Pour les dates et nombres d'applications à effectuer sur cette dernière, il faut suivre les recommandations du modèle qui se matérialisent par des alertes informatiques.

Les 8 autres modalités (numéros 3 à 10) viennent en complément afin d'expérimenter différentes associations de solutions à différents dosages. Elles ne feront donc pas l'objet d'analyses dans ce rapport.

2.4. LE PROGRAMME AVIZIO

Le modèle sur lequel se base AVIZIO est accessible dans l'outil informatique Cropwise® Protector proposé par Syngenta. Au lancement de l'essai, il faut entrer un certain nombre d'informations dans l'interface du programme (Figure 5). Il est notamment nécessaire d'entrer le type de sol, le précédent cultural, le type de travail du sol effectué, la variété de blé cultivée ainsi que la localité de l'essai. L'ensemble de ces informations parcellaires permettra d'affiner les prédictions de risque maladie. Le programme prend également en compte la météo dans un rayon de 4 à 5 km², mais il est possible d'y connecter sa propre station météo afin d'être plus précis. Cela permet de prendre en compte les averses et orages localisés et donc d'affiner les prédictions. L'ensemble des données agronomiques et météorologiques permet de prédire à 10 jours le développement de la culture ainsi que l'évolution des maladies (Figure 6). L'accès à l'outil se fait depuis un smartphone ou un ordinateur et permet d'observer facilement le risque de chaque maladie sur sa parcelle selon 3 couleurs (Figure 6). En vert, l'OAD estime qu'il n'est pas essentiel de traiter. Les pathogènes éventuellement présents n'auront pas d'impact sur la récolte. En jaune, l'OAD estime que c'est le moment de traitement optimal. La maladie est détectée mais n'est pas encore observable sur les feuilles, elle est en phase d'incubation*. En marron, l'OAD estime que la maladie est déjà installée sur la culture et que le rendement risque d'être impacté.

Tableau I : Liste des produits phytosanitaires appliqués dans l'essai pour la variété SY Moisson (AF).

Traitements variété SY Moisson			
Numéro modalité	Traitement 1	Traitement 2	Traitement 3
1 - TNT	/	/	/
2	/	ELATUS ERA (0,75 L/ha)	/
11	AMISTAR 250 SC (0,5 L/ha) + SG01 (1,5 L/ha)	ELATUS ERA (0,75 L/ha)	/
12	AMISTAR 250 SC (0,5 L/ha) + SG01 (1,5 L/ha)	ELATUS ERA (0,75 L/ha)	PROSARO 250 EC (0,6 L/ha)

Tableau II : Liste des produits phytosanitaires appliqués dans l'essai pour la variété LG Absalon (AF).

Traitements variété LG Absalon		
Numéro modalité	Traitement 1	Traitement 2
1 - TNT	/	/
2	/	ELATUS ERA (0,75 L/ha)
11	AMISTAR 250 SC (0,5 L/ha) + SG01 (1,5 L/ha)	ELATUS ERA (0,75 L/ha)
12	AMISTAR 250 SC (0,5 L/ha) + SG01 (1,5 L/ha)	ELATUS ERA (0,75 L/ha)

Tableau III : Dates d'application des différents fongicides de l'essai 2023 (AF).

/	Date traitement 1		Date traitement 2		Date traitement 3	
Variété	Programme conventionnel	Programme AVIZIO	Programme conventionnel	Programme AVIZIO	Programme conventionnel	Programme AVIZIO
SY Moisson	05/04/2023	05/04/2023	04/05/2023	21/04/2023	/	19/05/2023
LG Absalon	06/04/2023	13/04/2023	04/05/2023	02/05/2023	/	/

2.5. APPLICATIONS FOLIAIRES

Pour les modalités 2 et 11, les dates d'application correspondent au moment où la culture a atteint un certain stade. Pour la modalité 12, les dates d'application correspondent à celles recommandées par AVIZIO. Le traitement 1 correspond, sur les modalités 11 et 12, au fongicide AMISTAR 250 SC à la dose de 0,5 L/ha combiné au fongicide SG01 à la dose de 1,5 L/ha. Ce traitement est appliqué sur la modalité 11 entre les stades BBCH 31 et 33, soit au moment où 2 nœuds sont discernables et que la tige a atteint 20% de sa longueur définitive (Annexe I), et sur la modalité 12 au premier déclenchement d'AVIZIO. Le traitement 2 correspond, sur les modalités 2, 11 et 12, au fongicide ELATUS ERA à la dose de 0,75 L/ha. Ce traitement est appliqué sur les modalités 2 et 11 entre les stades BBCH 39 et 41, soit au stade cultural « dernière feuille étalée » quand l'épi commence à gonfler (Annexe I), et sur la modalité 12 à la seconde alerte AVIZIO. Les Tableaux I et II répertorient les différents traitements. Les dates d'application exactes des différents traitements sont reportées dans le Tableau III.

En complément des deux applications conventionnelles, une troisième application a été recommandée par AVIZIO dans la modalité 12 de la variété SY Moisson. En effet, le programme a détecté un risque de fusariose et a recommandé un traitement 3. Après discussion avec l'expert technique, le fongicide systémique* à large spectre PROSARO 250 EC a été appliqué à la dose de 0,6L/ha. Au moment de l'application, la culture se trouvait au stade BBCH 61, c'est-à-dire en début de floraison (Annexe I).

Les applications sont réalisées à l'aide d'un pulvérisateur à dos. La largeur de la rampe fait 1,98m de large. Pour cette largeur, les applications sont faites à une pression de 2,4 barres afin d'avoir un débit optimal de 200L/ha. A chaque application, le stade phénologique de la culture est renseigné selon l'échelle BBCH (Annexe I) dans la fiche de suivi de l'essai. En complément, à chaque début et fin d'application, le taux d'humidité de l'air en %, la température de l'air ainsi que celle du sol et la direction et vitesse du vent sont notés. Selon le besoin, les applications d'entretien (herbicides et insecticides) sont effectuées uniformément sur l'ensemble de l'essai, témoin compris.

2.6. NOTATIONS

Les périodes de notations sont adaptées en fonction de la pression maladie mais aussi de l'avancement de la culture. Les éléments notés avant la récolte sont le pourcentage de surface foliaire attaquée et le pourcentage de surface foliaire verte de la dernière feuille.

Tableau IV : Dates de notation des quatre modalités étudiées (AF).

Variété	Numéro notation	Etage foliaire noté	Date
SY Moisson	Notation 1	Feuilles 4 et 3	04/05/2023
	Notation 2	Feuilles 2 et 1	23/05/2023
	Notation 3	Feuille 1	13/06/2023
LG Absalon	Notation 1	Feuille 4	04/05/2023
	Notation 2	Feuille 3	23/05/2023
	Notation 3	Feuilles 2 et 1	13/06/2023



Figure 7 : Photographie d'une feuille de blé infestée par la septoriose (AF).

Sur cette feuille, le pourcentage de surface foliaire attaqué est estimé à 45%.

Photographie prise à Tiercé le 03/06/2024.

2.6.1. Surface foliaire attaquée

Dans l'essai, les notations de suivi sont réalisées à trois dates définies par le protocole. La première notation s'effectue au moment du second traitement, la deuxième a lieu environ 20 jours après le second traitement et la troisième environ 40 jours après ce même traitement. Une souplesse de 3 jours est accordée sur la date de notation. Les dates exactes de notation de l'essai sont reportées dans le Tableau IV.

A chaque notation, il est essentiel de commencer par noter le TNT. Le ou les étages foliaires notés sont définis selon le taux d'infestation* moyen du témoin. Il faut que l'infestation moyenne représente au moins 10% de la surface de la feuille concernée pour que la notation soit valide. Une fois les étages foliaires sélectionnés, on en échantillonne 20 par micro-parcelle puis on estime pour chacune des feuilles le pourcentage de surface foliaire attaquée. Cette donnée permet d'obtenir la sévérité de la maladie sur le ou les étages foliaires les plus touchés. Une démonstration de notation est présentée dans la Figure 7.

Avant chaque notation, les personnes qui vont estimer la surface foliaire touchée doivent estimer quelques feuilles ensemble afin de s'accorder. L'objectif de cet étalonnage commun est de diminuer le biais potentiel appelé effet notateur.

2.6.2. Surface verte de la dernière feuille

Avant la récolte, une notation est également effectuée sur la dernière feuille de la plante appelée F1. Autrement dit, nous notons la feuille la plus haute sur le plant de blé. L'objectif est d'évaluer la surface verte restante sur la feuille. Pour cela, 20 F1 sont prélevées sur les micro-parcelles de chaque modalité puis le pourcentage de surface foliaire encore verte sur la F1 est estimé. Tout comme pour la surface foliaire attaquée, les pourcentages sont reportés dans un tableau de données afin d'être analysés. Un étalonnement entre notateurs est également nécessaire avant les estimations.

Cette notation s'effectue entre les stades BBCH 75 et 85 (Annexe I), soit au moment de la maturation des grains quand ces derniers sont entre laiteux et pâteux. Dans la pratique, les notations F1 verte de 2023 ont eu lieu le 19 juin.

2.6.3. Récolte

A la récolte, dans chaque micro-parcelle, seul 1,6m de large est récolté pour éliminer l'effet de bordure. Une moissonneuse-batteuse spécifique à l'expérimentation est utilisée. La machine est munie d'une balance de précision indiquant le poids de grains récoltés par micro-parcelle en kg. Ce poids ramené à un taux d'humidité standard de 15%, ainsi que la surface récoltée, permettent d'obtenir les valeurs de rendement en quintaux par hectare.

2.7. TEST STATISTIQUE

Une étude statistique est réalisée sur l'ensemble des données recueillies pendant les notations et la récolte de 2023. Elle a pour objectif de déterminer si le programme fongicide d'une modalité permet d'avoir une efficacité de traitement et un rendement significativement différent des autres modalités. Pour cela, le test statistique utilisé est celui de Newman-Keuls avec un risque d'erreur fixé à 5%. Ce test est réalisé à la suite d'une analyse de variance (ANOVA). Il permet d'établir des groupes statistiques homogènes à partir des différentes modalités. Il compare ensuite les moyennes des groupes afin de détecter une différence significative entre les groupes de modalités. Chaque groupe est défini par une ou plusieurs lettres de significativité, ici a, b, c ou d. Par exemple, si une modalité appartient au groupe « ab » et qu'une autre appartient au groupe « c », alors ces deux modalités sont significativement différentes pour la variable étudiée.

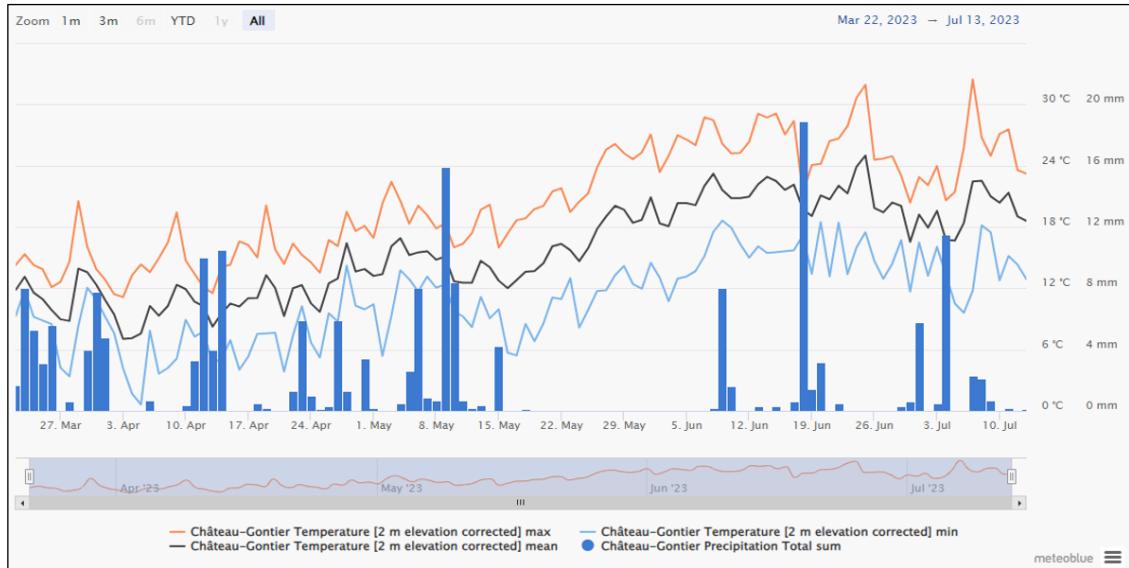


Figure 8 : Graphique de l'évolution des températures et des précipitations de mars à juillet 2023 sur la commune de l'essai (Bossuet A.).

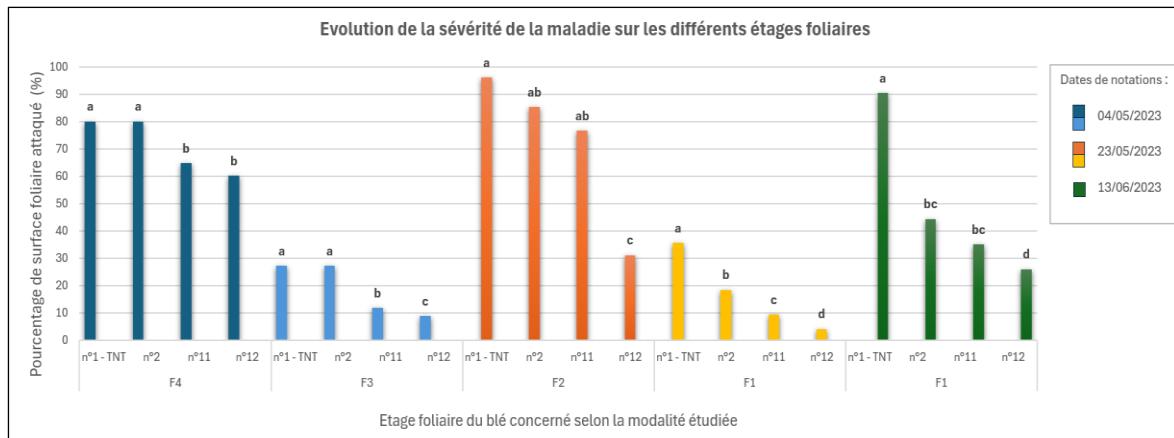


Figure 9 : Graphique de l'évolution de la sévérité des attaques de septoriose dans les différentes modalités étudiées (AF).

Les numérotations F4, F3, F2 et F1 correspondent aux numéros des feuilles de blé. La F1 étant la dernière à sortir, c'est celle qui est retrouvée le plus haut sur la plante. Les lettres sur le graphique représentent les groupes statistiques homogènes, à comparer entre modalités pour chaque feuille.

3. RESULTATS

Les résultats présentés dans cette partie ont pour objectif de démontrer si l'outil AVIZIO permet d'optimiser la protection fongicide sur le blé tendre en adaptant au mieux les périodes d'applications. En complément du bilan météorologique de la saison, les résultats présentés seront l'évolution de la septoriose sur les différents étages foliaires du blé, le pourcentage de surface verte sur la dernière feuille ainsi que le rendement final. Pour rappel, les quatre modalités étudiées sont la numéro 1, correspondant au TNT, la numéro 2, n'ayant reçu que la seconde application foliaire, la numéro 11, suivant un programme fongicide conventionnel, et la numéro 12, suivant ce même programme mais appliqué aux dates recommandées par AVIZIO.

3.1. DONNEES METEOROLOGIQUES

Les données météorologiques permettent d'avoir un suivi régulier de l'évolution des températures et des précipitations pour l'année 2023 (Figure 8). Ces données ont été recueillies de fin mars à mi-juillet, soit pendant toute la durée des applications et notations de l'essai. Le printemps 2023 a été humide avec des précipitations relativement faibles mais régulières de fin mars au 15 mai. Ces pluies étaient accompagnées de températures moyennes autour des 10 degrés avec des maximales enregistrées à 23 degrés et des minimales sous les 5 degrés. A partir du 15 mai, une augmentation des températures ainsi qu'une absence de précipitations a été observée jusqu'au début du mois de juin puis s'en est suivie une stabilisation des températures autour de 20 degrés avec quelques précipitations, mais plus rares qu'au printemps.

3.2. RESULTATS SUR LA VARIETE SY MOISSON

Le pourcentage de surface foliaire touchée par la septoriose pour les quatre modalités étudiées est présenté dans la Figure 9.

L'étude statistique révèle qu'à la première notation, soit le 4 mai, les F4 et F3 des modalités 11 et 12 montraient une surface foliaire infectée significativement inférieure à celle des modalités 1 et 2. En complément, la surface foliaire saine de la F3 dans la modalité 12, appartenant au groupe « c », était significativement supérieure à celle de la modalité 11, appartenant au groupe « b ».

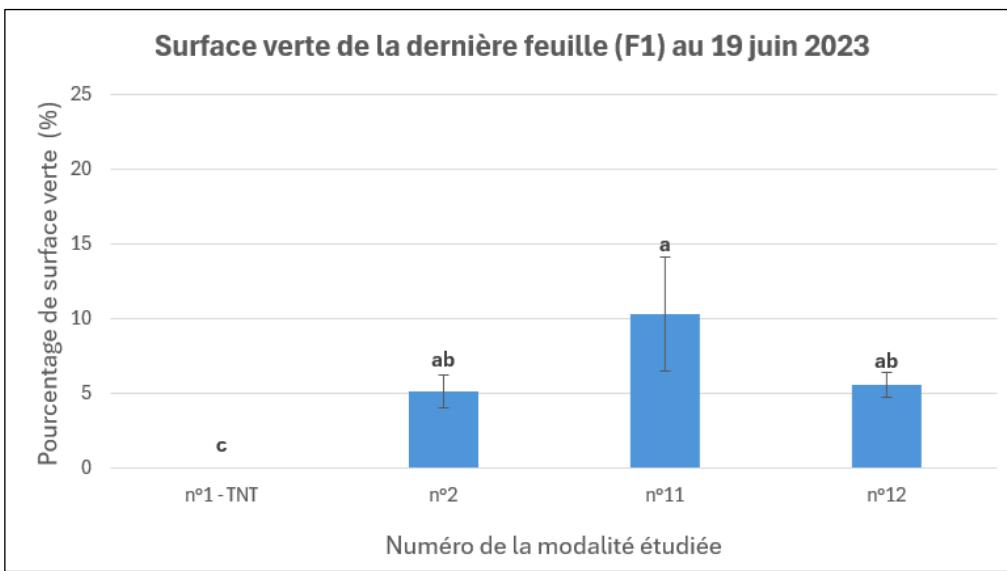


Figure 10 : Graphique de la surface foliaire verte de la F1, notée sur chacune des quatre modalités le 19 juin (AF).

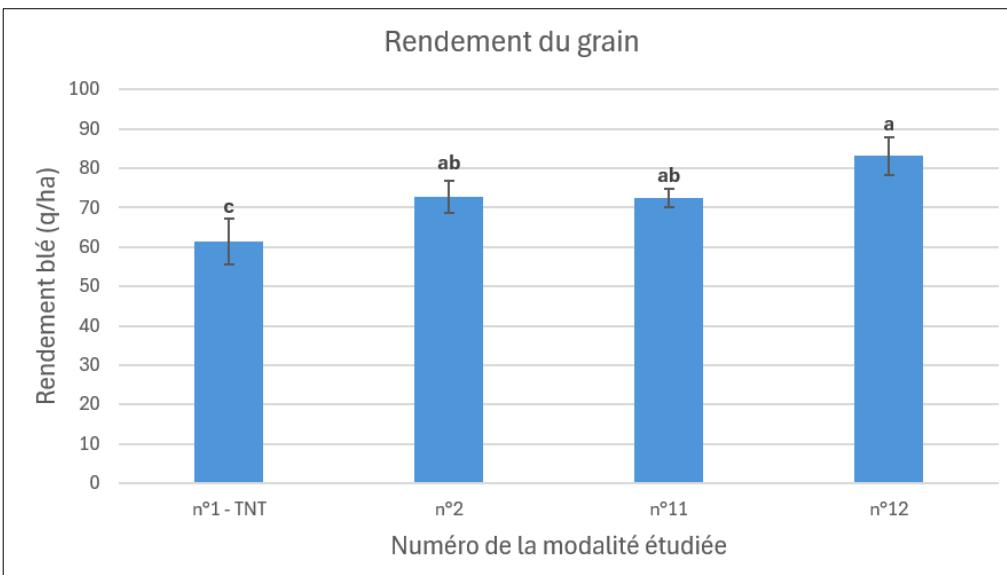


Figure 11 : Graphique du rendement de blé pour chaque modalité (AF).

Lors de la seconde notation, seule la modalité 12, correspondant à la modalité AVIZIO, a montré un pourcentage d'infestation sur la F2 significativement inférieur aux autres modalités. En effet, seul 31% de la feuille était touché contre 76% pour la modalité 11 et 95% dans le témoin. En ce qui concerne la F1, toutes les modalités étaient significativement différentes. Le TNT s'est vu être le plus infecté (36%) alors que la F1 de la modalité 12 était la moins infectée (4%).

Le jour de la troisième notation, seule la F1 a été évaluée. La F1 de la modalité témoin était touchée à 90%. Intégrées dans le groupe « a », les feuilles du témoin étaient significativement plus touchées que les feuilles des autres modalités. Les modalités 2 et 11 sont significativement semblables puisqu'elles appartiennent toutes deux au groupe « bc » avec un taux d'infestation de respectivement 44 et 35%. La modalité 12, appartenant au groupe « d » a été la moins impactée, avec 26% de la F1 touchée.

De manière générale, la maladie est toujours plus présente sur les modalités 1 (TNT) et 2 que sur la modalité 12. Il est également à noter que lorsque deux étages foliaires sont évalués le même jour, celui qui se situe le plus haut sur la plante est moins touché par la maladie.

Le graphique de la Figure 10 illustre le pourcentage de surface verte restant sur la F1 au 19 juin. Pour le TNT, toute la feuille était couverte de maladie à cette date. Les modalités 2 et 11 ont montré une surface verte restante de respectivement 5 et 10%. La surface verte de la F1 dans la modalité 12 était quant à elle de 6% mais statistiquement non différente des modalités 2 et 11 car appartenant au groupe « ab ».

Après avoir récolté les micro-parcelles de chaque modalité, le rendement final a été calculé en quintaux par hectare. La Figure 11 répertorie ces résultats. Le rendement de la modalité 1 était de 61.3 q/ha. C'est également la seule modalité appartenant au groupe « c ». Les modalités 2 et 11 ont montré des résultats semblables avec des rendements moyens de 72.6 et 72.4 q/ha. Elles ont par ailleurs été attribuées au même groupe homogène « ab ». Bien que la modalité 12 ait obtenu un rendement supérieur, atteignant 83.2 q/ha, cette augmentation par rapport aux modalités 2 et 11 n'est pas significative au vu du test statistique. En effet, les groupes homogènes « ab » et « a » ne diffèrent pas de manière significative. Cependant, il est à noter que les trois modalités (2, 11 et 12) ont obtenu un rendement significativement supérieur au TNT.

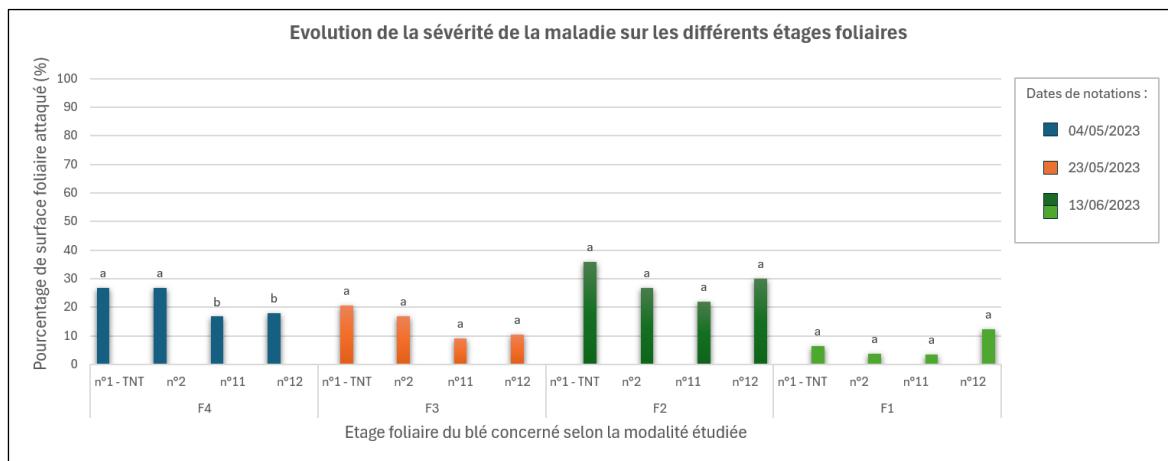


Figure 12 : Graphique de l'évolution de la sévérité des attaques de septoriose dans les différentes modalités étudiées (AF).

Les lettres sur le graphique représentent les groupes statistiques homogènes, à comparer entre modalité pour chaque feuille.

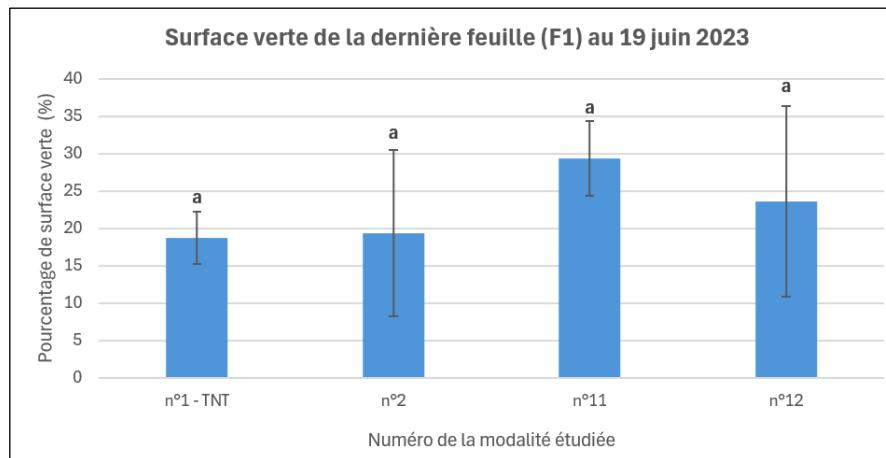


Figure 13 : Graphique de la surface foliaire verte de la F1, notée sur chacune des quatre modalités le 19 juin (AF).

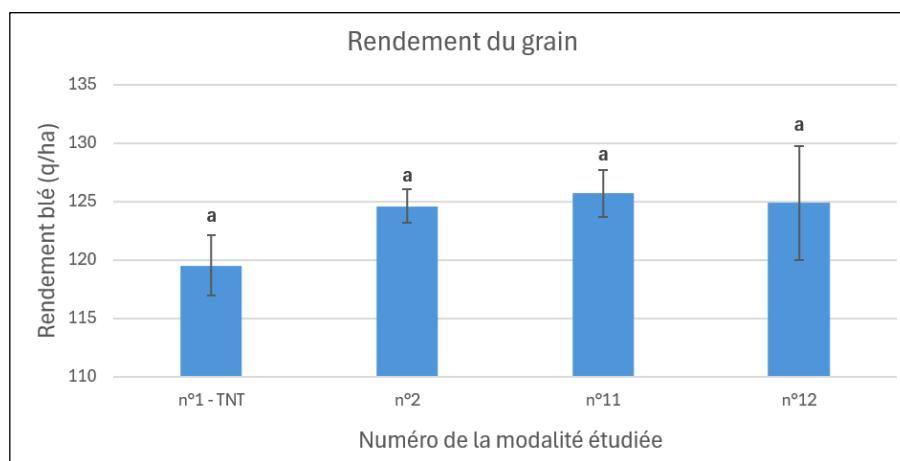


Figure 14 : Graphique du rendement de blé pour chaque modalité (AF).

3.3. RESULTATS SUR LA VARIETE LG ABSALON

Pour la variété LG Absalon, plus tolérante à la septoriose, l'évolution de la surface foliaire infestée par la maladie a également été étudiée dans les quatre modalités. Les données obtenues sont reportées dans la Figure 12.

A la première notation, seule la F4 a été évaluée et deux groupes homogènes sont ressortis de cette notation : le groupe « a » contenant les modalités 1 et 2 avec un taux d'infestation semblable de 27% de la surface foliaire, et le groupe « b », regroupant les modalités 11 et 12 avec respectivement 17 et 18% de la surface foliaire touchée par la maladie.

19 jours après, la seconde notation a été effectuée et lors de celle-ci, c'est la F3 qui a été évaluée. Sur cette feuille, bien que les modalités 11 et 12 semblent avoir été moins touchées, la différence n'est pas considérée comme significative étant donné que toutes les modalités ont été attribuées au même groupe homogène « a ».

Pour la troisième notation du 13 juin, les F2 et F1 ont été évaluées et aucune différence significative entre modalités n'a été observée. En effet, toutes les modalités sont attribuées au groupe « a » pour la F2. Pour la F1 le constat est le même, bien que la F1 de la modalité 12 semble être plus touchée par la maladie que les F1 des autres modalités, cette observation n'est pas vérifiée. Les quatre modalités sont attribuées au même groupe homogène « a ».

La Figure 13 rapporte la notation du 19 juin 2023. Lors de cette notation, c'est la surface foliaire encore verte de la F1 qui a été estimée. En observant le graphique, nous constatons que bien que les feuilles des modalités 1 et 2 semblent plus touchées que celles des modalités 11 et 12, cet écart n'est pas jugé significatif car les 4 modalités sont attribuées au même groupe statistique. Nous observons tout de même qu'il reste 18% de surface verte sur la F1 du témoin contre respectivement 29 et 23% de surface verte sur cette même feuille dans les modalités 11 et 12.

De la même manière que pour SY Moisson, le rendement de la variété LG Absalon est présenté dans la Figure 14. Le rendement obtenu, ramené à l'hectare, est de 119.5 quintaux dans la modalité témoin. Les rendements des modalités 2, 11 et 12 sont respectivement de 124.6, 125.7 et 125 q/ha. Bien que ces valeurs soient supérieures au rendement de la modalité témoin, elles ne sont pas non plus significativement supérieures car appartenant toutes les quatre au groupe statistique « a ».

4. DISCUSSION

4.1. RETOUR SUR LES CONDITIONS DE L'ESSAI

Les conditions météorologiques du printemps 2023 se sont montrées propices au développement de la septoriose du blé. L'enchaînement des cycles de la maladie ainsi que la dispersion des spores ont été facilités par les précipitations fréquentes du printemps, qui ont maintenu une humidité relativement élevée dans la culture. Les températures moyennes oscillant autour des 10 degrés ont légèrement ralenti la propagation du pathogène, qui se développe de manière optimale à des températures comprises entre 10 et 20 degrés. Selon un rapport de Syngenta, la campagne 2023 a été marquée par une forte pression de septoriose dès le début du cycle cultural (Syngenta, 2023 [b]). Les taux d'infestation élevés sur les feuilles des modalités témoins confirment que la parcelle d'essai n'a pas échappé à la pression septoriose caractéristique de cette campagne.

4.2. EVALUATION DE L'EFFICACITE D'AVIZIO

L'essai comportait deux variétés : LG Absalon, présentant une tolérance accrue à la septoriose, et SY Moisson, plus sensible. Il est à noter que la variété LG Absalon a manifesté une sévérité de maladie moins importante que la variété sensible, et ce tout au long de la campagne. Le choix d'utiliser deux variétés de blé dans l'essai se justifie par le fait qu'expérimenter sur une variété sensible augmente la chance d'avoir des résultats exploitables. Inclure en parallèle une variété plus couramment cultivée dans la région permet d'avoir une meilleure représentation des résultats par rapport aux conditions locales.

Pour la variété SY Moisson, au 4, mai la sévérité de la maladie sur les F4 et F3 était moindre dans les modalités 11 et 12. Cette observation est en accord avec nos attentes car contrairement aux modalités 1 et 2, les modalités 11 et 12 ont reçu un premier traitement fongique. La maladie a également évolué de façon moins sévère sur les F3, F2 et F1 dans la modalité sous le contrôle d'AVIZIO par rapport aux autres modalités. Cette différence d'évolution des symptômes peut s'expliquer par un déclenchement d'AVIZIO plus précoce qu'au stade « dernière feuille étalée », stade repère habituellement attendu pour appliquer un second traitement sur la culture. En effet, le traitement 2 a été réalisé 13 jours plus tôt dans la modalité 12 que dans les modalités 2 et 11, suivant un programme conventionnel. L'un des rôles du second traitement est de protéger de façon optimale la F1 de tout pathogène. La F1, aussi appelée feuille

étandard, est la feuille la plus importante pour le rendement du blé car elle influence considérablement le remplissage des grains. Son positionnement au sommet du couvert végétal ainsi que son importante capacité photosynthétique au moment de la maturation font d'elle la principale source d'assimilas pour les grains (Ali et al., 2010). Cependant, l'application d'un second traitement 13 jours plus tôt dans la modalité 12 que dans les modalités 2 et 11 n'a pas eu de réel impact sur la surface verte de la F1 car aucune augmentation significative n'a été démontrée.

En s'intéressant au rendement, qui reste le principal facteur pris en compte par l'agriculteur pour savoir si son programme fongicide a été calé de façon optimale, une différence significative entre les modalités traitées et le témoin a été constatée. Le fait qu'AVIZIO conseille une seconde intervention fongicide 13 jours avant le programme conventionnel a permis de mieux protéger la F3 ainsi que les feuilles responsables du rendement. Même si la différence de rendement n'est pas significative par rapport aux modalités 2 et 11, le rendement moyen de la modalité AVIZIO tend quand même à être plus élevé que celui de la modalité 11, suivant le programme conventionnel, de près de 11 q/ha. En conseillant de traiter plus tôt, AVIZIO a également montré un intérêt dans la lutte contre le développement d'une résistance des pathogènes. En effet, la seconde application fongique a été réalisée avec le produit ELATUS ERA qui a l'avantage d'être à la fois préventif mais aussi curatif. Toutefois, il contient des matières actives de la famille chimique des triazoles et SDHI. Comme expliqué en introduction, un traitement effectué avec ces matières actives sur une culture trop touchée par la septoriose peut favoriser le développement de souches résistantes. Dans ce sens, l'OAD a montré un intérêt en conseillant une seconde application plus précoce. Il a ainsi trouvé un équilibre entre application préventive et curative, limitant le développement potentiel de résistance des pathogènes.

Pour la variété LG Absalon, que ce soit avec des pratiques conventionnelles ou en suivant les recommandations AVIZIO, les résultats sont plus contrastés. Pour la sévérité de la maladie, seule la F4 des modalités ayant reçu le premier traitement (n° 11 et 12) s'est démarquée des modalités non traitées. Ce premier traitement a été réalisé avec une semaine d'écart entre les modalités 11 et 12. Bien qu'AVIZIO ait recommandé de retarder l'application d'une semaine, la protection des F4 et F3 n'a pas été supérieure à celle de la modalité 11. Pour le second traitement, le décalage de 2 jours entre l'intervention dans les modalités 2 et 11 par rapport à la modalité 12 n'a également pas eu d'impact sur la protection des feuilles. En ce qui concerne les rendements finaux, bien qu'ils semblent être supérieurs dans les modalités traitées par rapport au témoin, cette différence n'est pas statistiquement significative. Il est donc complexe d'évaluer l'impact d'une potentielle optimisation de la protection fongicide, que ce soit via un

programme conventionnel prescrit par un technicien ou par l'outil AVIZIO. Cette année-là, ni l'OAD, ni le traitement conventionnel n'ont permis d'obtenir un rendement plus élevé. Le fait que le rendement ne soit pas significativement supérieur avec le programme AVIZIO pourrait s'expliquer par une contamination plus élevée de la F1 dans cette modalité. Même si la sévérité de la maladie n'est pas significativement supérieure dans la modalité 12, il est tout de même possible que les grains se soient moins bien remplis en raison d'une F1 moins efficace, car davantage infectée.

4.3. COMMERCIALISATION DE L'OAD

A travers les résultats de cet essai, nous pouvons constater que la mise au point de l'outil AVIZIO est facilitée sur des variétés sensibles au pathogène cible. Les effets d'un calendrier de traitement différent sont plus marqués sur une variété peu tolérante. Comme visé par l'entreprise, l'OAD a montré des performances de protection foliaire comparables à celles d'un programme fongicide conventionnel, établi par un conseiller visitant régulièrement les parcelles. AVIZIO est un outil de conseil et a pour objectif de sécuriser la prise de décision de l'agriculteur concernant la période de traitement choisie. Il lui fournit toutes les informations nécessaires, données parcellaires et climatiques, pour qu'il prenne sa décision en ayant toutes les données en main. Cet outil n'est pas directement vendu à l'utilisateur, Syngenta le distribue à des coopératives et des négociants. Ce sont eux qui le revendent ensuite aux agriculteurs pour un coût moyen relativement contenu de 250€ par campagne. Ce prix par exploitation comprend 10 parcelles d'une même culture.

En plus du conseil pour une intervention fongicide optimale, la rubrique suivi climatique d'AVIZIO permet à l'utilisateur de suivre le développement de sa culture et des maladies présentes sur sa parcelle. Le retour des agriculteurs indique que les prévisions du modèle sont en accord avec leurs observations de terrain, donnant lieu à une satisfaction générale de l'outil (Syngenta, communication personnelle). Toutefois, les techniciens dont le rôle inclut la vente de produits et le conseil sur les programmes fongicides représentent le principal frein au développement d'AVIZIO. En effet, cet outil peut potentiellement réduire le nombre de traitements nécessaires et entrer en concurrence avec leurs conseils produits.

Dans la stratégie de Syngenta, AVIZIO est prévu d'être intégré à la plateforme Cropwise® Protector qui regroupe tous les outils numériques de la société destinés à soutenir l'agriculteur. L'objectif est de centraliser tous les outils pour se diriger vers une agriculture de précision performante. Actuellement, les principaux utilisateurs d'AVIZIO sont les agriculteurs ayant un attrait pour le numérique et l'agriculture de précision, ainsi que les exploitants en polyculture-élevage. En s'appuyant sur l'OAD pour suivre les cultures et les maladies, ils se libèrent d'une charge mentale et économisent du temps, qu'ils peuvent consacrer à d'autres activités. Cela leur permet de confronter leurs décisions d'intervention fongicide avec les prédictions du modèle. Les grandes exploitations bénéficient également de cet outil car les producteurs ne peuvent visiter chacune des parcelles de façon régulière. En ce sens, l'outil les assiste pour optimiser l'organisation générale et prioriser les interventions sur les parcelles les plus touchées. En général, les agriculteurs utilisent AVIZIO pour piloter leur protection fongicide plutôt que pour économiser des produits car avec une meilleure planification des interventions, ils améliorent l'efficacité des produits appliqués.

5. CONCLUSION

Pour conclure, en 2023 sur la variété SY Moisson, l'OAD a été aussi performant qu'un programme prédéfini ce qui a donné lieu à des rendements similaires, tous deux supérieurs au rendement du TNT. Pour LG Absalon, ni l'OAD, ni le programme conventionnel n'ont permis d'améliorer la protection fongicide et le rendement de façon significative. En complément des résultats de 2023, les notations de la campagne 2024 révèlent la présence de rouilles en plus de la septoriose. Le complexe maladie de l'année permettra de compléter les résultats obtenus en 2023 sur la septoriose. L'ensemble de ces données fournira un retour d'information plus conséquent pour améliorer le modèle. Par ailleurs, pour les prochaines campagnes, il serait pertinent d'ajouter une modalité utilisant un modèle agroclimatique concurrent d'AVIZIO. Il serait ainsi possible de comparer les différences de prévisions et de conseil entre plusieurs OAD.

AVIZIO reste un outil d'aide à la décision et non de décision. L'OAD est basé sur un modèle, qui est par définition faux, et qui doit réaliser la tâche complexe de prédire une interaction entre êtres vivants selon des repères climatiques changeants. C'est pour cette raison qu'il est et qu'il restera préférable d'aller vérifier les informations au champ afin de s'assurer que la maladie est bien présente et qu'une intervention fongicide est justifiée. Comme vu lors de la campagne 2023, le retour d'information sur une année n'est pas toujours suffisant pour être pris en compte. C'est pour cette raison que Syngenta se base sur les résultats de plusieurs années avant de modifier son modèle. De ce fait, même si l'OAD est déjà commercialisée, il ne faut pas oublier qu'AVIZIO reste en cours de développement et que les expérimentations vont continuer.

BIBLIOGRAPHIE

- Ali MA, Hussain M, Khan M, Ali Z, Zulkiffal M, Anwar J, Sabir W, Zeeshan M** (2010). Source-Sink Relationship between Photosynthetic Organs and Grain Yield Attributes during Grain Filling Stage in Spring Wheat (*Triticum aestivum*). International Journal of Agriculture and Biology, **12**, 509-515.
- Bolton MD, Kolmer JA, Garvin DF** (2008). Wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. Molecular Plant Pathology, **9**, 5, 563-575.
- Bonjean A** (2001). Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*Triticum aestivum L.*). Dossier de l'environnement de l'INRA, **21**, 29-37.
- Bureau-Point E, Barthélémy C, Demeulenaere E, Doudou DT, Thivet D** (2021). Les mondes agricoles face au problème des pesticides. Compromis, ajustements et négociations. Introduction au dossier. VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement, **21**, 3, 9 p.
- Charles R, Cholley E, Frei P, Mascher F** (2011). Maladies et rendement du blé d'automne : -influence du système de culture. Recherche Agronomique Suisse, **2**, 5, 264-271.
- Chen W, Zhang Z, Chen X, Meng Y, Huang L, Kang Z, Zhao J** (2021). Field Production, Germinability, and Survival of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* Teliospores in China. Plant Disease, **105**, 8, 2122-2128.
- Mitura K, Cacak-Pietrzak G, Feledyn-Szewczyk B, Szablewski T** (2023). Yield and Grain Quality of Common Wheat (*Triticum aestivum L.*) Depending on the Different Farming Systems (Organic vs. Integrated vs. Conventional). Plants, **12**, 5, 21 p.
- Morais D** (2015). Les déterminants des phases épidémiques précoces de la septoriose du blé (*Zymoseptoria tritici*) : Quantité, efficacité et origine de l'inoculum primaire. Doctorat Sciences Agronomiques, AgroParisTech, Paris, 183 p.
- Nicole-Brel KN** (2023). Etude comparative des paramètres météorologiques favorisant la rouille jaune sur la culture tritcale avec ceux favorisant la même maladie sur la culture de blé au grand-duché du Luxembourg. Mémoire Sciences et Gestion de l'Environnement, Liège université Sciences, Liège, 81 p.
- Omrane S, Audeon CC, Ignace A, Duplaix C, Sghyer H, Aouini L, Kema G, Fillinger S, Walker AS** (2015). La résistance de type MDR chez l'agent de la septoriose du blé : dernières avancées sur un mode d'action original. CIMA, Association Française de Protection des Plantes (AFPP), 11 p.
- Prescott JM, Burnett PA, Saari EE, Ransom J, Bowman J** (1986). Wheat diseases and pests: a guide for field identification. CIMMYT, Mexico, 135 p.
- Slimane RB** (2010). Effets de la septoriose foliaire sur la sénescence et les flux d'azote pendant le remplissage des grains chez le blé tendre. Doctorat Sciences Agronomiques, AgroParisTech, Paris, 159 p.
- Zheng W, Huang L, Huang J, et al.** (2013). High genome heterozygosity and endemic genetic recombination in the wheat stripe rust fungus. Nature communications, **4**, 2673.

SITOGRAPHIE

Agreste (2023). En 2023, hausse globale des productions d'automne. https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/IraGcu23124/2023_124inforapgdescultures.pdf (consulté le 02/05/2024)

Agroligne (2024). Production mondiale de céréales : La FAO prévoit 791 millions de tonnes de blé en 2024. <https://agroligne.com/site-map/articles/212-e-agroligne/le-meilleur-de-l-info/25046-production-mondiale-de-cereales-la-fao-prevoit-791-millions-de-tonnes-de-ble-en-2024.html> (consulté le 05/06/2024)

Arvalis [a] (2021). Connaître les maladies du blé les plus fréquentes. <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/connaitre-les-maladies-les-plus-frequentes-sur-ble> (consulté le 03/05/2024)

Arvalis [b] (2018). La septoriose, une maladie propagée par les éclaboussures de pluie. <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/la-septoriose-une-maladie-propagee-par-les-eclaboussures-de-pluie> (consulté le 03/05/2024)

Arvalis [c] (2020). Choisir et anticiper, préconisation régionale juin 2020. https://www.arvalis.fr/sites/default/files/imported_files/choisiretanticiper_2020_hdf6507846752341084310.pdf (consulté le 03/06/2024)

Arvalis [d] (2023). LG ABSALON, variété de blé tendre d'hiver. https://fiches.arvalis-infos.fr/fiche_variete/fiches_varietes.php?mode=fv&id_espece=512&id_variete=9885 (consulté le 10/05/2024)

Arvalis [e] (2018). SY MOISSON, variété de blé tendre d'hiver. https://fiches.arvalis-infos.fr/fiche_variete/fiches_varietes.php?mode=fv&id_espece=512&id_variete=5072 (consulté le 10/05/2024)

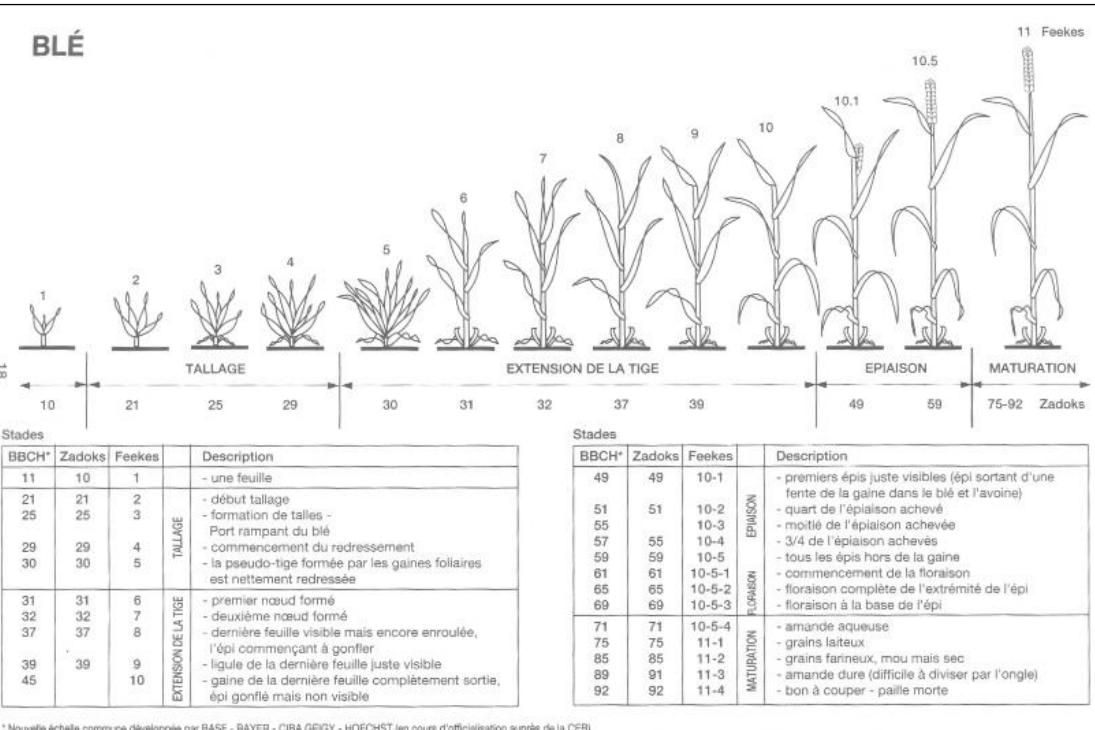
INRAE (2020). L'origine des blés modernes révélée. <https://www.inrae.fr/actualites/lorigine-bles-modernes-revelee#:~:text=aestivum%2C%20utilisé%20de%20nos%20jours,%27ouest%20de%20Iran> (consulté le 14/05/2024)

Phyteis (2023). Enquête contrat de solutions, quelle perception des OAD par les céréaliers ? <https://phyteis.fr/actualites/enquete-contrat-de-solutionsquelle-perception-des-oad-par-les-cerealiers/> (consulté le 16/05/2024)

Syngenta [a] (2024). Présentation du groupe Syngenta. <https://www.syngenta.fr/qui-sommes-nous/article/le-groupe-syngenta> (consulté le 30/04/2024)

Syngenta [b] (2023). La septoriose a fait son retour sur les blés en 2023. <https://www.syngenta.fr/cultures/cereales/article-fongicide/maladies-cereales-tour-regions> (consulté le 15/06/2024)

Annexe



Annexe I : Echelle BBCH du blé (Bayer CropSciences)

RESUME

Evaluation de l'efficacité de l'outil d'aide à la décision AVIZIO dans l'optimisation de la protection fongicide sur le blé tendre d'hiver

Dans un contexte d'évolution du secteur agricole, les outils d'aide à la décision (OAD) jouent un rôle crucial en guidant les utilisateurs dans diverses tâches, notamment la protection fongicide. Parmi ces outils, Syngenta développe depuis 2015 AVIZIO, un OAD conçu pour piloter la protection fongicide du blé tendre d'hiver. Des essais sont menés chaque année pour affiner l'outil, permettant d'optimiser les périodes d'application des fongicides. L'expérimentation présentée dans ce rapport avait pour objectif d'évaluer l'efficacité de l'outil d'aide à la décision AVIZIO dans l'optimisation de la protection fongicide sur le blé tendre d'hiver. En 2023, un essai a comparé l'efficacité d'un programme de traitement conventionnel à celle d'un programme préconisé par AVIZIO contre la septoriose. Réalisé dans des conditions climatiques favorables au développement de cette maladie, l'essai a démontré qu'AVIZIO offre une protection fongicide aussi efficace que celle d'un programme établi par un conseiller sur une variété sensible. Cependant, sur une variété tolérante à la septoriose, ni AVIZIO, ni le programme conventionnel n'ont permis d'améliorer la protection foliaire ou le rendement. Enfin, AVIZIO continue d'évoluer pour répondre aux défis agronomiques tout en optimisant la protection fongicide et en s'adaptant aux besoins des agriculteurs.

Mots-clés : outil d'aide à la décision, AVIZIO, fongicide, *Triticum aestivum*, *Zymoseptoria tritici*, expérimentation

ABSTRACT

Evaluation of the effectiveness of the AVIZIO decision support tool in optimizing fungicide protection on soft winter wheat

As the agricultural sector evolves, decision support tools (DSTs) play a crucial role in guiding users through various tasks, including fungicide protection. Since 2015, Syngenta has been developing AVIZIO, a DST designed to manage fungicide protection in soft winter wheat. Trials are carried out every year to fine-tune the tool, making it possible to optimize fungicide application periods. The aim of the trial presented in this report was to assess the effectiveness of the AVIZIO decision-support tool in optimizing fungicide protection on soft winter wheat. In 2023, a trial compared the effectiveness of a conventional treatment program with that of a program recommended by AVIZIO against septoria. Carried out in climatic conditions favorable to the development of this disease, the trial showed that AVIZIO offers fungicide protection as effective as that of a program drawn up by an advisor on a susceptible variety. However, on a variety tolerant to septoria, neither AVIZIO, nor the conventional program improved foliar protection or yield. Finally, AVIZIO continues to evolve to meet agronomic challenges while optimizing fungicide protection and adapting to farmers' needs.

Key words : decision support tool, AVIZIO, fungicide, *Triticum aestivum*, *Zymoseptoria tritici*, experimentation