

# Table des matières

1.	Introduction .....	1
2.	Synthèse bibliographique .....	2
2.1	Culture du blé .....	2
2.1.1	Aspects généraux.....	2
2.1.2	Aspects économiques.....	2
2.1.3	Itinéraire technique et cultural du blé.....	2
2.2	La septoriose .....	3
2.2.1	Symptômes .....	3
2.2.2	Cycle épidémiologique.....	3
2.2.3	Outil d'aide à la décision Septo_LIS® .....	3
2.3	La lutte « classique » .....	4
2.3.1	Lutte principale = lutte chimique.....	4
2.3.2	Les résistances .....	5
2.4	Les méthodes alternatives.....	6
2.4.1	La protection intégrée.....	6
2.4.2	Le biocontrôle .....	6
2.4.2	Les mécanismes de défense des plantes .....	9
2.4.3	Présentation des différents produits.....	10
3.	Matériels et méthodes .....	14
3.1	Essais en réseau dit « SDP » .....	14
3.1.1	Matériel végétal.....	14
3.1.2	Dispositif expérimental.....	14
3.1.3	Déroulement de l'essai .....	16
3.1.4	Notations .....	17
3.1.5	Analyses statistiques.....	18
3.2	Essai « BioCT » de Boigneville .....	19
3.2.1	Matériel végétal.....	19
3.2.2	Dispositif expérimental.....	19
3.2.3	Déroulement de l'essai .....	20
3.2.4	Notations et analyses statistiques .....	21
4.	Résultats .....	21
4.1	Essais en réseau dit « SDP » .....	21
4.1.1	Dynamique de la maladie par station .....	21
4.1.2	Résultats des qPCR .....	22
4.1.3	AUDPC du regroupement des essais « SDP ».....	22
4.1.4	Efficacité globale des programmes de traitements.....	23
4.1.5	Rendement .....	23
4.1.6	Corrélation rendement/efficacité globale.....	23
4.2	Essai à Boigneville dit « BioCT ».....	24
4.2.1	Dynamique de la maladie .....	24
4.2.2	qPCR.....	24
4.2.3	Corrélation entre le rendement et l'AUDPC .....	24
4.2.4	Efficacité globale des programmes de traitements.....	24
4.2.5	Rendement .....	24
4.2.6	Corrélation rendement/efficacité globale.....	25
5.	Discussion et perspectives .....	25
5.1	Essais en réseau dit « SDP » .....	25
5.1.1	Validité de l'essai.....	25
5.1.2	Synthèse du réseau de 3 essais « SDP » .....	26
5.2	Essai à Boigneville dit « BioCT ».....	27
6.	Conclusion .....	30

Bibliographie

Annexes

# Glossaire

---

- <sup>1</sup> Hémibiotrophe : Champignon dont le cycle biologique comporte deux phases : une phase saprophyte (capable de vivre de matière organique non vivante) et une longue phase parasitaire.
- <sup>2</sup> Pycnide : Structure reproductrice de certains champignons microscopiques qui permet la multiplication asexuée (visible à l'œil nu).
- <sup>3</sup> Ascomycète : Embranchement des champignons caractérisé par des spores formées à l'intérieur d'asques (=sacs).
- <sup>4</sup> Ascospore : Spore de champignon issue d'un ascocarpe.
- <sup>5</sup> Périthèce : Fructification en forme de bouteille, des champignons Ascomycètes, refermant les asques.
- <sup>6</sup> Mésophylle : Partie interne de la feuille, constituée de parenchyme chlorophyllien. C'est le siège principal de la photosynthèse.
- <sup>7</sup> Programme de traitements : Ensemble des traitements mis en œuvre pour lutter contre la septoriose.
- <sup>8</sup> Toxicité aiguë : Toxicité induite par l'administration d'une dose unique et massive d'un produit toxique (=toxicité à court terme).
- <sup>9</sup> Toxicité chronique : Effet nocif résultant de l'administration de doses faibles et répétées d'une substance ou d'exposition à celle-ci, au cours d'une période relativement longue.
- <sup>10</sup> Fongicide préventif : Traitement visant à prévenir une attaque de champignon. Il s'oppose à un traitement curatif qui a lieu après l'infection.
- <sup>11</sup> Résistance croisée : La résistance à un fongicide due à un gène est responsable de la résistance à plusieurs fongicides qui ont la même cible.
- <sup>12</sup> Substance sémio-chimique : Substance chimique qui intervient dans les relations entre les organismes. Plusieurs types sont définis en fonction du statut de l'émetteur et du receveur.
- <sup>13</sup> Kairomone : Substance produite par un organisme qui induit chez le receveur un comportement qui lui est favorable et défavorable à l'émetteur.
- <sup>14</sup> « Biocide naturel » : Produit de protection des plantes à base de substances naturelles qui agit directement sur les bioagresseurs.
- <sup>15</sup> Non persistant : Qui a une demi-vie dans le sol inférieure à soixante jours.
- <sup>16</sup> Mycoparasitisme : Champignon pathogène d'un autre champignon.
- <sup>17</sup> Hyphe : Organe principal des champignons qui se présente comme des filaments fins.
- <sup>18</sup> Résistance systémique induite (ISR) : Résistance induite grâce à l'induction des défenses à un moment donné. Elle est dépendante des voies de l'acide jasmonique et de l'éthylène.
- <sup>19</sup> Résistance systémique acquise (SAR) : Résistance acquise grâce à l'induction des défenses suite à l'exposition de la plante à un pathogène. Elle s'accompagne d'une augmentation d'acide salicylique et de protéinées PR dans les feuilles systémiques.
- <sup>20</sup> Composé organique volatil : Composé de carbone, oxygène et hydrogène pouvant se trouver facilement sous forme gazeuse dans l'atmosphère.
- <sup>21</sup> Callose : Polymère de glucose insoluble qui vient entourer les hyphes du champignon et ainsi bloquer sa pénétration dans la plante.
- <sup>22</sup> Fongicide systémique : Produit phytosanitaire qui est absorbé par la plante, véhiculé par la sève et qui s'attaque aux parasites par l'intérieur de la plante.
- <sup>23</sup> Catalogue : Répertoire officiel des espèces et variétés cultivées issues de sélection dont les semences sont autorisées à la vente et à la culture.
- <sup>24</sup> Traitement de couverture : Traitement identique sur l'ensemble de la parcelle permettant le bon développement de la culture et visant à éliminer les ravageurs ou adventices.
- <sup>25</sup> « Bouillie » : Suspension de produits phytosanitaires utilisée pour lutter contre les maladies des plantes, les adventices ou combattre les insectes nuisibles.
- <sup>26</sup> Maître-brin : Tige principale ou talle primaire.

# Liste des abréviations

---

AET : Autorisation d'entrée du territoire

AGMP-Technique : Association Générale des Producteurs de Maïs

AIE : Autorisation d'introduction dans l'environnement

CI 50 : Concentration Inhibitrice à 50%.

EPI : Equipement de protection individuelle

DFE : Dernière feuille étalée

DFP : Dernière feuille pointante

IBMA : Association internationale des fabricants de produits de biocontrôle

IDM : Inhibiteur de déméthylase

IFT : Indice de fréquence des traitements

ITCF : Institut Technique des Céréales et Fourrages

JA : Acide jasmonique

MAPKinase : Mitogen Activated Protein Kinase

MDR : Multi Drug Resistant

NoDu : Nombre de dose unité

OAD : Outil d'aide à la décision

PAMP's : Pathogen Associated Molecular Patterns

QoI : Strobilurine

qPCR : Quantitative Réaction par Polymérisation en Chaîne

RMT : Réseau Mixte Technologique

ROS = FAO : Forme active de l'oxygène

SA : Acide salicylique

SDHI : Inhibiteur de succinate déshydrogénase

SDP : Stimulateur de défense des plantes

SG3P : Service Génotype Physiologie et Protection des Plantes

Ufc : Unité formant colonie

UV : Ultra-violet

# Liste des annexes

---

Annexe I - Exemple de sortie de l'OAD Septo_LIS à la station de Boigneville. ....	I
Annexe II - Traitements de couverture (dates et produits) pour chaque station. ....	II
Annexe III - Diagramme température-pluviométrie des données météorologiques de la station de Rots du 01/04 au 31/07/14. ....	III
Annexe IV - Relation entre le rendement et l'AUDPC de l'essai SDP. ....	III
Annexe V - Les rendements de l'essai SDP pour chaque station. ....	IV
Annexe VI - Efficacité des programmes de traitements de l'essai SDP par station. ....	V
Annexe VII - Tableau du coût approximatif des programmes de traitements de l'essai SDP. ....	VI
Annexe VIII - Conditions météorologiques à Boigneville lors des quatre applications du microorganisme. ....	VII
Annexe IX - Tableau du coût approximatif des programmes de traitements de l'essai BioCT. ....	IX

# Liste des tableaux

---

Tableau I : Tableau décrivant les surfaces (Mha), la production (Mt) et le rendement en blé au niveau mondial et européen ainsi que les 7 pays les plus producteurs de blé en 2012. ....	2
Tableau II : Tableau présentant le mode d'action et les différentes molécules utilisables pour lutter contre la septoriose en 2014. ....	4
Tableau III : Tableau récapitulatif des caractéristiques des différents produits de biocontrôle testés. ....	12
Tableau IV : Tableau décrivant les caractéristiques des variétés ....	14
Tableau V : Date et stade des deux traitements contre la septoriose des essais « SDP » --	16
Tableau VI : Tableau récapitulatif et descriptif des 10 modalités de l'essai "SDP" ....	16
Tableau VII : Récapitulatif de l'échelle de Beaufort et conditions de pulvérisation ....	16
Tableau VIII : Date de récolte du blé selon le site d'expérimentation. ....	19
Tableau IX : Dates et stades du blé lors des traitements contre la septoriose pour l'essai "BioCT" ....	19
Tableau X : Tableau récapitulatif et descriptif des 15 modalités de l'essai "BioCT" ....	10
Tableau XI : Quantité d'ADN de <i>Septoria tritici</i> mesurée par qPCR sur les différents étages foliaires du témoin non traité lors des premières notations pour les trois lieux de l'essai « SDP ». ....	21

# Table des illustrations

Figure 1 : Représentation géographique des différentes stations et laboratoires ARVALIS en France -----	12
Figure 2 : Diagramme représentant le pourcentage de production de blé d'un pays par rapport à la production mondiale de 2012 (Mt) -----	2
Figure 3 : Symptômes de septoriose sur feuille de blé-----	3
Figure 4 : Représentation schématique du développement polycyclique de <i>S.tritici</i> au champ. -----	3
Figure 5 : Schéma d'un brin de blé pour indiquer la position des feuilles qui élaborent le rendement. -----	5
Figure 6 : Stades de développement principaux du blé selon l'échelle de Zadok et positionnement des traitements fongicides contre la septoriose. -----	5
Figure 7 : Schéma des modes d'action des différents SDP. -----	8
Figure 8 : Étiquette d'identification de parcelle-----	15
Figure 9 : Photo d'une micro-parcelle de blé -----	16
Figure 10 : Schéma du plan d'expérimentation de l'essai "SDP" de la station de Boigneville	15
Figure 11 : Photo de la « brouette de pulvérisation » -----	16
Figure 12: Pulvérisation -----	16
Figure 13 : Photo d'une feuille de blé atteinte de rouille jaune. -----	16
Figure 14 : Spores de <i>P.striiformis</i> (rouille jaune) qui suivent les nervures de la feuille de blé -----	16
Figure 15 : Échelle de notation de la septoriose. -----	19
Figure 16 : Photo de la récolte à Boigneville. -----	19
Figure 17 : Schéma du plan d'expérimentation de l'essai "BioCT" -----	19
Figure 18 : Diagramme température-pluviométrie des données météorologiques de la station de Boigneville du 01/04 au 31/07/14. -----	21
Figure 19 : Diagramme température-pluviométrie des données météorologiques de la station de La Jaillière du 01/04 au 31/07/14. -----	21
Figure 20 : Évolution de la septoriose dans le TNT pour chaque étage foliaire à la station de Boigneville du 7 avril au 16 juin 2014. -----	21
Figure 21 : Évolution de la septoriose dans les TNT pour chaque étage foliaire à la station de La Jaillière en 2014 du 14 avril au 16 juin 2014. -----	21
Figure 22 : Évolution de la septoriose dans les TNT pour chaque étage foliaire à la station de Rots du 10 avril au 12 juin 2014. -----	21
Figure 23 : Efficacité des modalités du réseau SDP contre la septoriose – Regroupement des 3 essais (91,44,14). -----	24
Figure 24 : Rendement des différentes modalités – Regroupement des 3 essais (91,44,14)	24
Figure 25 : Rendement en fonction de l'efficacité globale des différentes modalités. -----	24
Figure 26 : Relation entre le rendement de l'essai « BioCT » et l'AUDPC sur la F1 du 21 mai au 18 juin.. -----	24
Figure 27 : Relation entre le rendement et l'AUDPC sur la F2 du 21 mai au 18 juin. -----	24
Figure 28 : Relation entre le rendement et l'AUDPC sur la F3 du 21 mai au 11 juin. -----	24
Figure 29 : Efficacité des programmes de traitements contre la septoriose par rapport au TNT. -----	24
Figure 30 : Rendement en blé de la variété GARCIA pour chaque modalité de l'essai « BioCT ». -----	24
Figure 31 : Relation entre le rendement en blé et l'efficacité globale du programme de traitements de l'essai "BioCT". -----	25

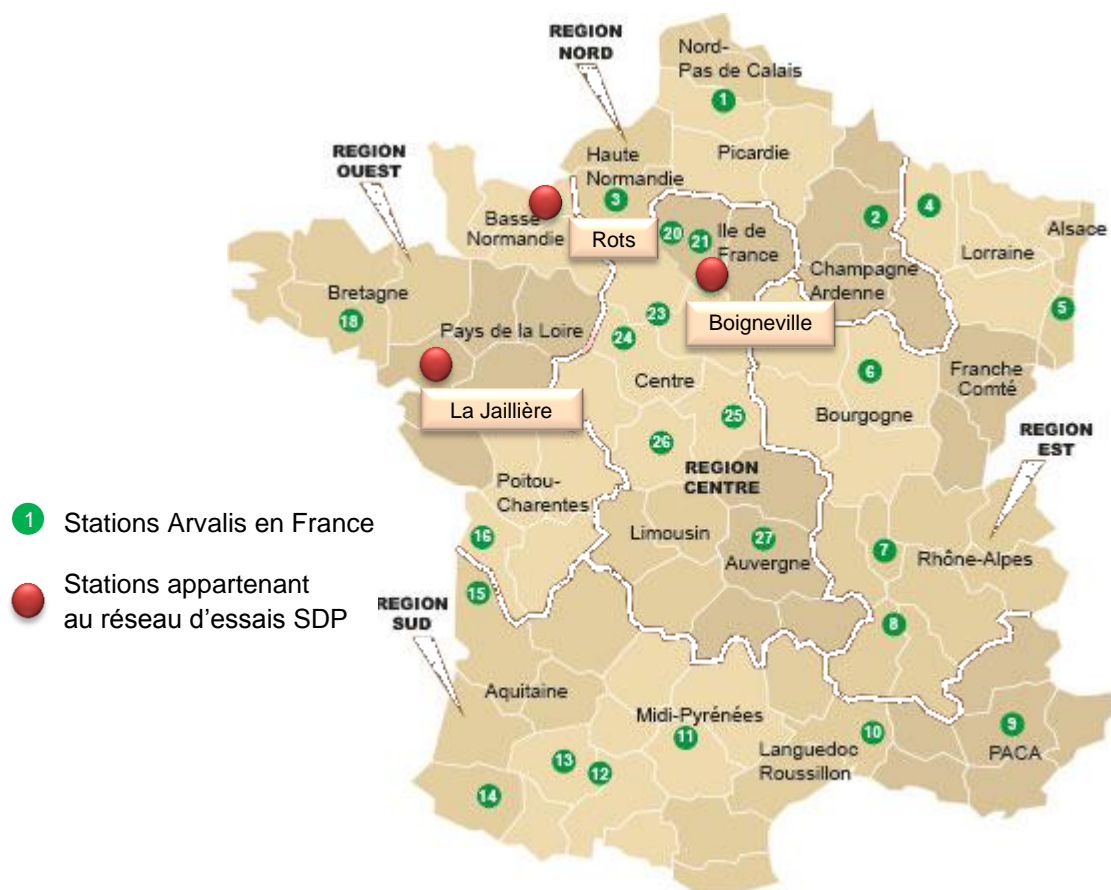


Figure 1 : Représentation géographique des différentes stations et laboratoires Arvalis en France



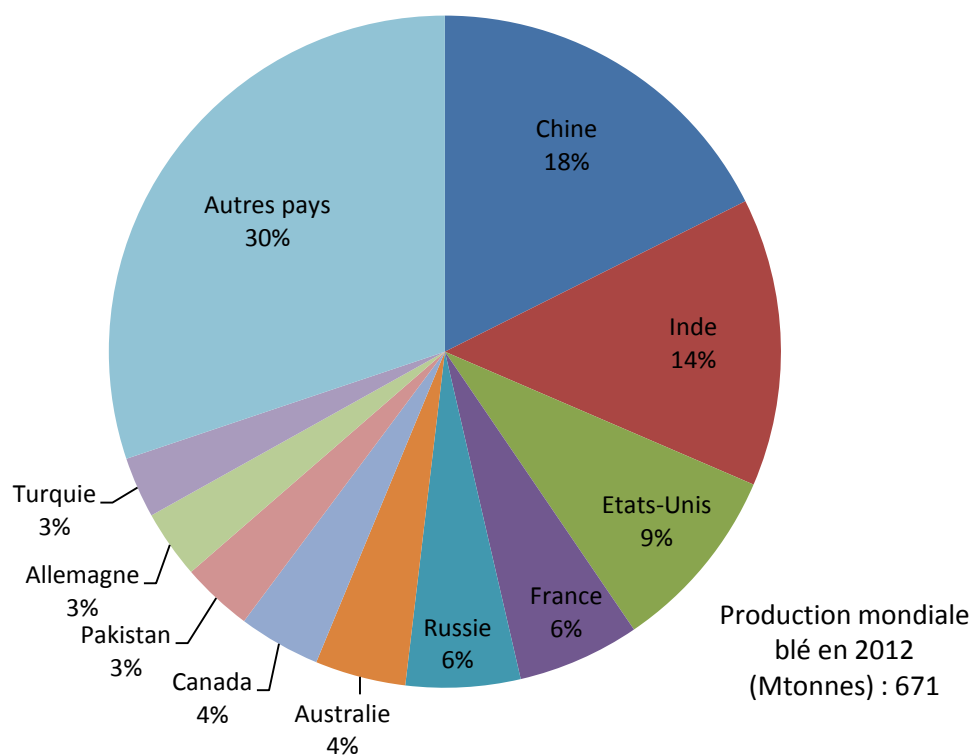
# Intégrer des produits de biocontrôle dans les programmes de lutte contre la septoriose du blé tendre d'hiver.

## 1. Introduction

ARVALIS-Institut du végétal est un organisme de recherche appliquée, créé en 2002 suite à la fusion de l'ITCF et de l'AGMP-Technique. Ses objectifs sont d'améliorer la compétitivité et la rentabilité des exploitations et des filières agricoles, tout en respectant l'environnement et en satisfaisant les consommateurs. La station de Boigneville, où j'effectue mon stage, est située à l'extrémité sud de l'Essonne et est limitrophe avec les départements du Loiret et de la Seine et Marne. Avec des sols limoneux, argilo-calcaires, elle est représentative des conditions de production de la région Centre qui est la plus grande région céréalière française (ARVALIS-Institut du végétal, 2013). Le Service Génétique, Physiologie et Protection des Plantes (SG3P) et plus précisément le pôle maladies et méthodes de lutte auquel je suis rattachée a pour principale mission de mettre au point des stratégies de protection des cultures en intégrant des techniques alternatives ou complémentaires à l'utilisation des produits phytosanitaires. Cette mission s'insère dans le plan Ecophyto, qui vise à réduire de 50%, si possible, l'usage des produits phytosanitaires. Dans ce contexte de réduction des intrants, ARVALIS expérimente différents produits de biocontrôle et différentes périodes d'application pour lutter contre la septoriose du blé. La septoriose est la maladie fongique majeure du blé tendre. Elle peut entraîner jusqu'à 40% de perte de rendement (Lipps, Mills, 2013).

L'objectif de mon stage est d'une part d'évaluer l'efficacité de substances naturelles seules ou en mélange avec des fongicides et d'autre part de trouver le meilleur positionnement de ces produits pour lutter contre le champignon. Dans une stratégie à deux traitements, le premier traitement sera positionné soit de façon systématique et précoce au stade « deux nœuds » ou en fonction de la dynamique réelle de la septoriose grâce aux recommandations de l'outil d'aide à la décision Septo\_LIS®. L'hypothèse est que les produits de biocontrôle ou leur association avec une dose réduite de fongicide au premier traitement permettent d'égaliser le rendement de la référence haute correspondante ou au moins d'être meilleure que la dose réduite seule. Ma mission consiste à suivre un réseau de trois essais conduits sur trois stations ARVALIS (La Jaillière, Rots et Boigneville (Figure 1)) et un autre essai mené uniquement à Boigneville. Ce dernier essai consiste à faire une première évaluation de plusieurs solutions de biocontrôle qui sont en cours de développement pour apporter des précisions sur leur fonctionnement et mode d'action avant leur intégration au futur projet de 2015. Ce projet vise à cribler et sélectionner des stimulateurs de défense des plantes capables d'induire une protection contre la septoriose et à proposer des voies d'optimisation de leur efficacité au champ (Mauмене, communication personnelle). ARVALIS-Institut du végétal est déjà très impliqué dans les recherches sur les méthodes alternatives et notamment les stimulateurs de défense des plantes puisqu'il est depuis 2011 co-animateur du RMT-Elicitra.

Ce rapport débute par une synthèse bibliographique sur les différents points du sujet, puis il décrit la mise en place et le suivi des différents essais avant d'analyser et discuter les résultats qui en ressortent.



Source : FAOstats.fr

**Figure 2 : Diagramme représentant le pourcentage de production de blé d'un pays par rapport à la production mondiale de 2012 (Mt)**

**Tableau I : Tableau décrivant les surfaces (Mha), la production (Mt) et le rendement en blé au niveau mondial et européen ainsi que les 7 pays les plus producteurs de blé en 2012.**

Blé 2012	Surface (Mha)	Production (Mt)	Rendement (q/ha)
Monde	215.49	670.88	31.13
Europe	54.24	195.82	36.10
Chine	24.14	120.58	49.95
Inde	29.90	94.88	31.73
Etats-Unis	19.83	61.76	31.15
France	5.30	40.30	75.99
Russie	21.28	37.72	17.73
Australie	13.90	29.91	21.51
Canada	9.35	27.01	28.88

Source : FAOstats.fr



## 2. Synthèse bibliographique

### 2.1 Culture du blé

#### 2.1.1 Aspects généraux

Le blé tendre, *Triticum aestivum* L. subsp. *aestivum*, appartient à la famille des Poacées (Graminées). Cette herbacée, monocotylédone est cultivée pour son grain qui est valorisé dans l'alimentation animale ou humaine. Les pailles peuvent être utilisées dans les exploitations de polyculture-élevage en tant que litière pour les animaux. Parmi les blés tendres, il faut distinguer le blé tendre de printemps et le blé tendre d'hiver qui est semé à l'automne. La différence entre ces deux types de blé réside dans le fait que le blé d'hiver a besoin d'une période de froid, allant de 10 à 60 jours (vernalisation) pour passer de l'état végétatif à l'état floral.

Actuellement, les programmes modernes d'amélioration portent sur les qualités agronomiques de la plante (rusticité hivernale, résistance à la sécheresse, aux maladies et à la verse, sur la facilité de récolte, rendement...) et la qualité du grain (forme, couleur, poids spécifique, concentration et nature des protéines, amidon...) (Gouvernement du Canada, 2012).

#### 2.1.2 Aspects économiques

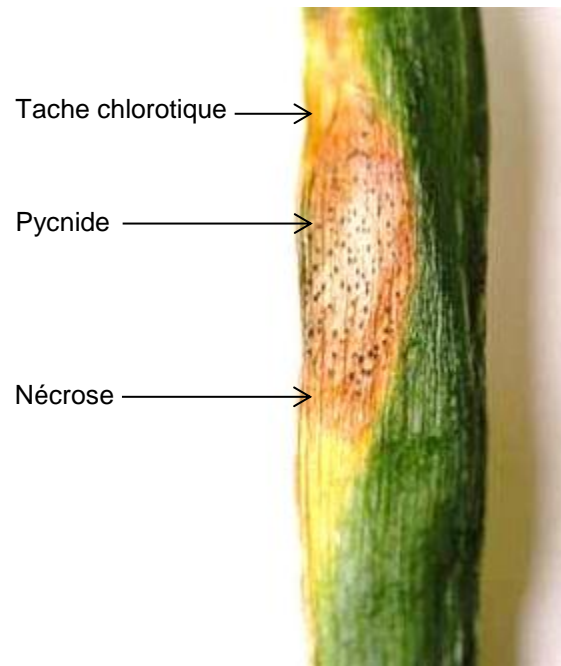
Avec plus de 670 millions de tonnes produites en 2012, le blé est la troisième céréale la plus cultivée au monde, derrière le maïs (872 millions de tonnes) et le riz (720 millions de tonnes). Les plus gros producteurs sont la Chine, l'Inde et les Etats-Unis. La France se hisse à la 4<sup>ème</sup> place mondiale avec une production atteignant les 40 millions de tonnes en 2012, soit environ 6% de la production mondiale (Figure 2). Ce chiffre élève le pays au premier rang européen pour ce qui concerne la production (FAO Stat, 2014).

En Europe, les surfaces en blé ne dépassent pas les 54 millions d'hectares, cependant les rendements y sont plus élevés que dans les autres pays du monde (Tableau I)(FAO Stat, 2014). Ces bons résultats favorisent le développement de l'économie agricole européenne et notamment française. Avec plus de 20 millions de tonnes exportées, la France était en 2011, le leader européen et le 2<sup>ème</sup> pays exportateur de blé au monde derrière les Etats-Unis. Pour la campagne 2011/2012, 23 % des grains exportés (soit environ 8.5 millions de tonnes) sont destinés aux pays Tiers (ex : Algérie, Maroc...). Cette part des exportations est instable car elle fluctue en fonction de leur demande qui est fortement dépendante des conditions climatiques (Renaud, 2012). Les exportations vers les autres pays de l'Union, qui représentent 21 % des grains exportés, constituent un débouché important et stable de la production céréalière française. Les exportations de produits transformés ne représentent que 9 % de l'utilisation du blé.

En France, 13 % de la production de blé tendre est destinée à l'alimentation animale et 8 % (soit environ 5 millions de tonnes) est destinée à l'amidonnerie et glutennerie (Passions céréales, 2013).

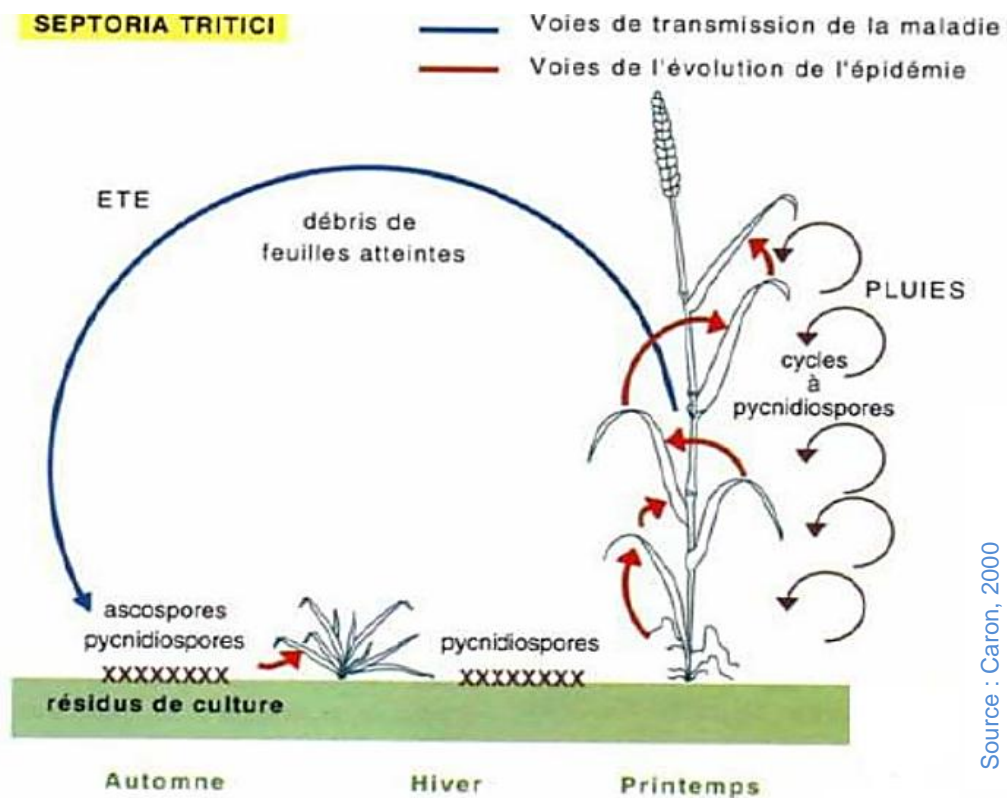
#### 2.1.3 Itinéraire technique et cultural du blé

De manière générale, ce sont les sols drainés et profonds de type argileux ou argilo-calcaire qui conviennent le mieux à la culture du blé. Pour bien se développer, le blé exige une somme de température comprise entre 1800 et 2400 ° jours, selon les variétés ainsi qu'une humidité permanente tout au long de son cycle (Soltner, 2004). Le développement d'agents pathogènes peut être augmenté par les pratiques agronomiques de l'agriculteur. Par exemple, les rotations courtes vont favoriser le développement d'adventices et ne vont pas stopper le cycle de développement de certains insectes ou champignons.



Source : Lipps et Mills, 2014

Figure 3 : Symptômes de septoriose sur feuille de blé



Source : Caron, 2000

Figure 4 : Représentation schématique du développement polycyclique de *S.tritici* au champ.

## 2.2 La septoriose

### 2.2.1 Symptômes

La septoriose causée par l'agent pathogène *Septoria tritici*, est la maladie fongique majeure du blé. En plus de provoquer une perte de qualité au niveau du grain, ce champignon hémibiotrophe<sup>1</sup> peut entraîner une perte de rendement pouvant aller jusqu'à 40 % de la récolte (Lipps & Mills, 2013). D'après Robert en 2005, cette perte de rendement serait quasi-proportionnelle à la réduction de la surface foliaire des tissus malades. Les premiers symptômes qui apparaissent sont des chloroses (taches verdâtres) qui vont évoluer en taches brunâtres appelées nécroses (Slimane, 2010). Les taches de septoriose ont une forme ovale ou losangique qui est commune à de nombreuses maladies foliaires (Figure 3). Elles sont souvent irrégulières et localisées au bord du limbe ou entre les nervures des feuilles. Dès la formation des nécroses, des pycnides<sup>2</sup> apparaissent à leur surface. Après une pluie ou de la rosée, les pycnides noires exsudent une gelée incolore transparente sous forme de tourbillon, appelée cirrhe. Ces cirrhes blanches, caractéristiques de l'espèce *S. tritici*, contiennent les spores du champignon et sont distinguables à l'œil nu. En cas de difficulté d'observation, l'analyse microscopique des spores permet de certifier la présence de l'espèce *S. tritici* sur les feuilles (Caron, 2000).

### 2.2.2 Cycle épidémiologique

Le champignon responsable de la septoriose appartient à l'embranchement des Ascomycètes<sup>3</sup>. Il se multiplie selon deux modes de reproduction, sexué (*Mycosphaerella graminicola*) et asexué (*Zymoseptoria tritici*). L'infection primaire a lieu à l'automne par les ascospores<sup>4</sup> provenant des périthèces<sup>5</sup> qui se sont formés sur les résidus de la récolte précédente. Avec l'augmentation des températures et les précipitations de l'hiver, les ascospores matures sont éjectées et dispersées par le vent (Beyer et al., 2012). Elles pénètrent alors dans les tissus des jeunes feuilles par les stomates et se développent entre les cellules du mésophylle<sup>6</sup>. Le mycélium se développe et produit des pycnides noires. Au même moment, les taches de septoriose sont visibles sur les feuilles. La propagation des pycnides de la base du sol vers les feuilles de la partie supérieure va être favorisée par les pluies et le frottement des feuilles (Slimane, 2010). C'est le début de l'infection secondaire car les pycnides vont causer de nouvelles taches sur les feuilles supérieures qui donneront de nouvelles spores (Figure 4). Ces infections peuvent se poursuivre tout le printemps si les conditions sont favorables au développement du champignon (Ponomarenko et al., 2014). Le risque d'apparition de la septoriose est favorisé par le climat océanique et par des précipitations répétées. Les spores peuvent germer entre 2 et 37°C avec un optimum entre 15 et 20°C (Oxley et al., 2014). Les fortes contaminations ont lieu lorsqu'une période d'humectation de 35 heures est suivie d'une humidité relative supérieure à 80 % (Caron, 2000). Le temps d'incubation de *S. tritici* correspond à environ 300 jours. Avec des températures journalières de 14°C, il faudra donc environ trois semaines pour voir apparaître les symptômes sur les feuilles de blé (Caron, 2000).

### 2.2.3 Outil d'aide à la décision Septo\_LIS®

Grace à la bonne connaissance du cycle épidémiologique du champignon, ARVALIS a développé un outil d'aide à la décision (OAD) Septo\_LIS® qui permet d'anticiper le risque septoriose sur les parcelles de blé tendre. C'est un modèle agro-climatique qui tient compte de la sensibilité variétale, de la date de semis, de l'évolution physiologique de la culture et des prévisions météorologiques pour déclencher le premier traitement contre la septoriose. (ARVALIS-Institut du végétal, 2014). L'intérêt de cet OAD est pour l'agriculteur de limiter ses coûts de traitements et de gagner du temps en positionnant judicieusement et efficacement son premier traitement.

**Tableau II : Tableau présentant le mode d'action et les différentes molécules utilisables pour lutter contre la septoriose en 2014.**

Mode d'action	Cible	Famille chimique	Molécule	Dose (g/L)	Activité	Risque résistance
Multisites	Contact sur différents sites	Chloronitriles	Chlorothalonil	750	**	Faible
		Dithiocarbamates	Mancozèbe	1500	**	
			Manèbe	3150	*	
Processus respiratoire	Complexe mitochondrial type II (Succinate deshydrogenase inhibitors)	Pyrazole-carboxamides	Bixafen	125	***	Moyen à fort
			Fluxapyroxad	125	***	
		Pyridine-carboxamides	Boscalid	350	**	
	Complexe mitochondrial type III	QoI (Ubiquinone inhibitor) ou strobilurines	Pyraclostrobine	250	*	Fort
Biosynthèse des stérols	C 14 déméthylation des stérols	Imidazoles	Prochloraze	450	*	Moyen
		Triazoles	Epoxiconazole	125	**	
			Metconazole	90	**	
		Triazolinethiones	Prothioconazole	200	***	
	$\Delta 14$ réductase et $\Delta 8$ à $\Delta 7$ isomérase des stérols	Morpholines	Fenpropimorphe	750	*	Faible à moyen
		Pipéridines	Fenpropidine	562	*	
		Spirokétalamines	Spiroxamine	750	*	

Activité : \*\*\* = excellente ; \*\* = bonne ; \* = moyenne ; \* = faible

## 2.3 La lutte « classique »

### 2.3.1 Lutte principale = lutte chimique

Bien que les fongicides furent les derniers produits phytosanitaires à apparaître sur le marché mondial à la fin des années 1970, ils sont aujourd'hui le pôle majeur d'utilisation en France (Fishel & Dewdney, 2006). Depuis les années 90, la consommation française de fongicides diminue car les traitements ne sont pas systématiques (FAO Stat, 2014). Ils sont généralement intégrés à des programmes<sup>7</sup> de traitements et ont lieu lors de l'apparition des symptômes ou sur des parcelles à risques. L'emploi d'une substance active fongicide reste actuellement la méthode la plus efficace pour lutter contre les différentes maladies du blé ; d'où leur forte utilisation. En l'absence de traitement, les pertes sont en moyenne de 17q/ha.

#### a. L'efficacité d'un fongicide

L'efficacité d'un fongicide est évaluée par rapport à sa concentration inhibitrice 50 (CI 50). C'est la dose qui permet de réduire de 50% de la croissance du champignon testé. De plus, le produit doit avoir une très faible phytotoxicité pour ne pas tuer ou nuire à la plante cultivée. Enfin, le produit doit fournir un haut niveau d'efficacité à de faibles doses, avec des profils toxicologiques et écotoxicologiques favorables. Ceci implique qu'il ne présente pas de toxicité aiguë<sup>8</sup> ou chronique<sup>9</sup> pour l'homme (en tant qu'applicateur ou consommateur) et les organismes non cibles et qu'il disparaisse rapidement dans l'environnement (Leroux, 2003). S'il respecte toutes ces conditions, il peut recevoir une autorisation de mise sur le marché selon le règlement européen 1107/09.

#### b. Le mode d'action des produits

Environ 70 % des fongicides céréales utilisés en Europe sont destinés à contrôler la septoriose (Ponomarenko et al., 2014). Parmi les différentes molécules disponibles pour lutter contre cette maladie, seulement trois types de modes d'action sont représentés : produits multisites, produits agissant sur le processus respiratoire ou encore produits inhibant la biosynthèse des stérols (Tableau II) (ARVALIS-Institut du végétal, 2014).

- Les inhibiteurs de la biosynthèse des stérols

Parmi les produits les plus efficaces se trouvent ceux contenant des molécules de la famille des triazoles ou triazolinethiones. Ces composés chimiques ont un très large spectre d'action, ils peuvent donc combattre différentes souches de septoriose. Ce sont généralement des fongicides préventifs<sup>10</sup>. Lorsque la substance active rentre en contact avec sa cible, elle bloque la voie de synthèse des stérols de l'agent pathogène. Or pour développer un tube germinatif et percer la cuticule de la cellule végétale, la spore de champignon a besoin de ces composés lipidiques. Au final, le fongicide va bloquer la pénétration du champignon dans la plante (Leroux, 2003).

- Les inhibiteurs de la respiration

Les molécules de la famille des carboxamides comme le bixafen ou le boscalid sont également efficaces. Elles agissent au niveau du complexe mitochondrial de type II en bloquant le site de liaison à l'ubiquinone. Ce blocage entraîne l'inhibition de la succinate déshydrogénase et provoque un effet anti-sporulant et perturbe la respiration des champignons (Vincelli, 2002 ; Avenot & Michailides, 2010).

- Les multisites

Quelques produits multisites à base de chlorothalonil ou mancozèbe sont également intéressants contre la septoriose. Ces produits agissent préventivement et ont la propriété d'inhiber la germination des spores. Ils ont la particularité de ne pas agir que sur un seul site et d'interagir avec de nombreux groupements chimiques (Leroux, 2003).

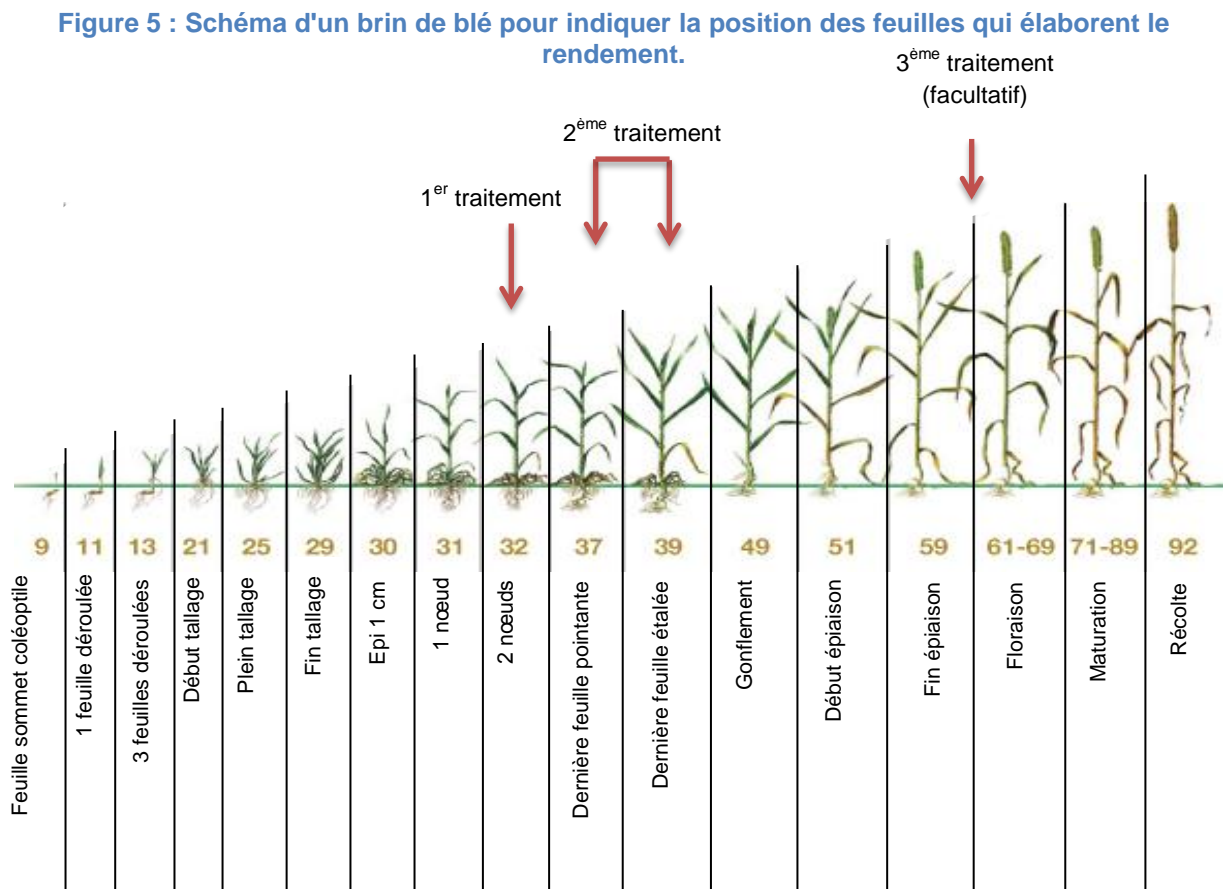
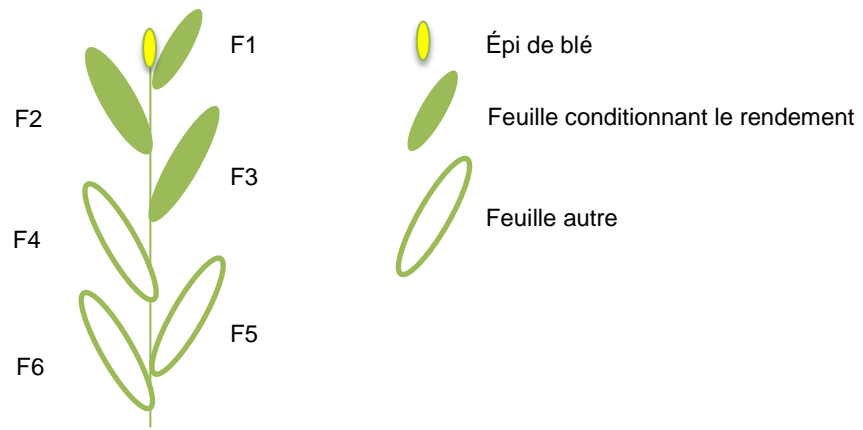


Figure 6 : Stades de développement principaux du blé selon l'échelle de Zadok et positionnement des traitements fongicides contre la septoriose.



### c. La période d'application du traitement

Pour que le traitement soit efficace, il doit être appliqué sur les étages foliaires qui conditionnent l'élaboration du rendement soit les 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> feuilles (Figure 5). Si le risque septoriose est élevé, le premier traitement a lieu au stade 2 nœuds pour limiter le développement de la maladie sur les feuilles F2, F3 et F4. Généralement dans les programmes, ce traitement est couplé avec un second traitement effectué entre les stades dernière feuille pointante et étalée qui a pour but de protéger les F1 et F2. En cas de forte infection ou un développement tardif de la maladie, une protection de l'épi peut être effectuée (Figure 6) (Gouache & Couleaud, 2010). L'efficacité des produits est d'autant plus importante si le traitement est effectué en préventif. La dose appliquée est fonction de la pression de la maladie et des conditions météorologiques à venir mais aussi du stade de la plante et du nombre d'application prévu.

## 3.3.2 Les résistances

### a. Définitions

Parmi les différentes souches de *S. tritici*, certaines développent des résistances aux fongicides (Tableau II) (Fishel & Dewdney, 2006). Cela signifie qu'au sein d'une population normalement sensible aux produits antifongiques, surgissent des individus moins sensibles. Cette résistance est due à une modification génétique stable, transmise à la descendance. La sélection des individus portant ces rares et aléatoires mutations qui préexistent à des fréquences faibles avant l'introduction du fongicide, va permettre l'installation de la résistance. Les phénotypes résistants sont généralement peu présents dans l'environnement car ils ont une faible fitness ; c'est-à-dire qu'ils ont une faible capacité à se développer, reproduire et survivre face à d'autres souches du même agent pathogène dans les mêmes conditions. Toutefois, une augmentation de la fréquence de ces individus résistants suite à l'utilisation du fongicide peut entraîner une perte significative du contrôle de la maladie (Bacon, 2002 ; Simoneau, 2013).

### b. Résistances observées

- Au niveau du système respiratoire

Les strobilurines sont des fongicides unisites qui agissent sur le processus respiratoire du champignon et inhibent la germination des spores. Cependant, à partir des années 2000, des souches résistantes aux strobilurines ont été observées sur l'ensemble du territoire français ce qui compromet fortement leur efficacité (MCCartney et al., 2007).

Les SDHI (Succinate Deshydrogenase Inhibitor) agissent également au niveau du système respiratoire de l'agent pathogène mais ont une cible différente des strobilurines. Deux cas de souches résistantes aux SDHI ont été observés en Europe en 2012. La première souche a été identifiée en Grande-Bretagne. La résistance est due à une mutation d'un W en S (soit un tryptophane en sérine) à la position 80 sur la sous unité C de la succinate déshydrogénase. La même année dans des parcelles d'essai du Nord de la France, une souche de *Mycosphaerella graminicola* portant une mutation d'une T en N (soit une thréonine en asparagine) a également été observée (INRA et al., 2014). Ces mutations confèrent aux souches une faible résistance aux SDHI (Walker, communication personnelle).

- Au niveau des inhibiteurs de déméthylation (IDM)

Depuis 2008, deux sous-groupes de phénotypes résistants aux triazoles sont détectés. Les souches appartenant au premier groupe possèdent une ou plusieurs mutations directement au niveau du gène cible CYP51 qui code pour la protéine 14 $\alpha$ -déméthylase. La grande diversité de mutations ou combinaisons de mutations de ce gène détermine une multiplicité de phénotypes qui ont une résistance faible à moyenne à un IDM donné. Deux phénotypes





TriR6 et TriR7 sont majoritaires dans les populations (≈70 %) et génèrent des niveaux moyens de résistance à la majorité des IDM (triazoles, imidazoles...).

Le second groupe est dit « MDR » (MultiDrugResistant) car les souches ont acquis un nouveau mécanisme de résistance qui leur permet d'excréter plus efficacement les fongicides. D'après les recherches de l'équipe AMAR de BIOGER, cet efflux actif de fongicides serait provoqué par une surproduction d'un transporteur membranaire MgMFS1 (Walker, communication personnelle). Bien que la présence de ces souches soit régulière dans les échantillons récoltés en 2012 et 2013, leur fréquence au sein de l'échantillon reste faible ce qui ne remet pas en cause l'efficacité des fongicides à base de triazoles pour l'instant (INRA et al., 2014). Toutefois, la MDR se caractérise par une résistance croisée<sup>11</sup> entre toutes les molécules triazoles (forts niveaux de résistance), mais également de modes d'action différents, comme les strobilurines et les SDHI.

#### a. Recommandations

La faible diversité de modes d'action pour lutter contre la septoriose fait qu'il existe un risque important d'émergence de souches de *S. tritici* capables de résister naturellement aux fongicides. Pour limiter le risque d'apparition de résistances, il est recommandé de coupler l'action des molécules ayant un effet unisite et un fort risque de résistance (ex : triazole) à un fongicide multisite ou un SDHI. De même, pour contrôler le niveau de résistance des souches, il est demandé de réaliser une seule application de SDHI sur les nouvelles souches émergentes de septoriose (INRA et al., 2014).

## 2.4 Les méthodes alternatives

### 2.4.1 La protection intégrée

Afin de limiter le développement des champignons en diminuant l'utilisation de fongicides, différentes techniques, entrant dans une stratégie de protection intégrée, peuvent être mises en place. Cette stratégie consiste à combiner les différentes méthodes de lutte (physiques, chimiques et biologiques). Par exemple, il est conseillé d'effectuer des rotations culturales longues, de plus de trois ans. Il est également recommandé d'enfouir les résidus culturaux en réalisant un labour. L'application de ces recommandations permet de limiter la présence de l'inoculum primaire de l'agent pathogène. Il est préconisé d'utiliser des variétés tolérantes aux maladies qui causent le plus de dégâts (Agriculture.gouv.fr, 2012). Il faut noter qu'à ce jour, pour la septoriose, aucune variété n'est totalement résistante. Malgré la mise en place de ces méthodes prophylactiques et génétiques, le recours à la lutte chimique reste nécessaire dans plus de 50 % des cas. Or, dans un contexte de réduction des intrants (plan EcoPhyto) et avec l'apparition ou le développement de souches résistantes à certains fongicides, de nouvelles solutions sont nécessaires. Certaines sont basées sur les mécanismes naturels de protection et permettent ainsi de réduire les risques pour la santé humaine et l'environnement. C'est le cas, par exemple, de certains produits de biocontrôle (Agriculture.gouv.fr, 2012).

### 2.4.2 Le biocontrôle

#### a. Définition et principe du biocontrôle

L'objectif du biocontrôle est de privilégier l'utilisation de mécanismes et d'interactions naturels. Il est fondé sur la gestion des équilibres des populations de bioagresseurs. Selon la définition donnée dans la loi d'avenir approuvée par l'assemblée nationale le 14 janvier 2014, les produits de biocontrôle sont « des agents et produits qui utilisent des mécanismes



naturels dans le cadre de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures » (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2013). Elle est à compléter avec la définition proposée par l'IBMA<sup>15</sup> qui précise que les produits de biocontrôle sont des produits permettant de maintenir les bioagresseurs en dessous de leur seuil de nuisibilité. Ces produits sont des agents qui mettent en œuvre des mécanismes propres aux plantes ou aux bioagresseurs ainsi que des dispositifs naturels et/ou des dispositifs qui ne dispersent pas dans le milieu naturel de produits dangereux pour la santé ou l'environnement (Vaury, 2014). Les produits de biocontrôle représentent déjà 3.5 % des parts du marché phytosanitaire mondial et la proportion est amenée à croître dans les prochaines années. Étant les vecteurs d'une nouvelle conception de la protection des plantes, ils intéressent fortement les grandes firmes du secteur des produits phytosanitaires (Maumene, 2014). Parmi tous les produits de biocontrôle, il faut distinguer les micro/macro-organismes, les médiateurs chimiques et les substances naturelles. Suite au développement dans les années 2000 de la lutte biologique intégrée pour protéger les cultures sous serre, il y a eu un engouement pour les macro-organismes. L'exemple le plus connu est celui de la coccinelle qui mange les pucerons. D'après l'IBMA actuellement près de 75 % des surfaces de cultures maraîchères sous abri sont protégées avec des auxiliaires. Bien que la recherche sur les produits de biocontrôle se soit d'abord concentrée sur les cultures sous serre, le maraîchage, l'arboriculture ou la vigne, elle s'étend aujourd'hui progressivement aux grandes cultures. Elle s'oriente sur les différents types d'agents (Vaury, 2014).

- Macro-organismes : invertébrés, insectes parasitoïdes ou prédateurs, acariens et nématodes. Les macro-organismes sont également connus sous le nom d'auxiliaires des cultures. Ces produits de biocontrôle sont les seuls à ne pas être considérés comme des produits phytosanitaires. Leur réglementation est donc particulière (cf : paragraphe : 4.4.1a) (Decoin, 2014).
- Micro-organismes : virus, bactéries, protozoaires et champignons. Les facteurs qui déterminent le choix de ces organismes sont le pouvoir pathogène, la rapidité d'action, la gamme d'hôte, l'absence d'effet secondaire, les possibilités de propagation et de production de masse à l'échelle commerciale. Leur application est souvent similaire à celle des produits phytosanitaires (Jaloux, 2013).
- Médiateurs chimiques : substances sémio-chimiques<sup>12</sup> qui induisent des réponses comportementales et/ou physiologiques chez les individus d'une même espèce ou d'espèces différentes. Ils comprennent les phéromones d'insectes et les kairomones<sup>13</sup>. Ces substances permettent le suivi des vols des insectes ravageurs et le contrôle des populations d'insectes par la méthode de confusion sexuelle et le piégeage. Ils sont surtout utilisés en arboriculture (IBMA, 2014a).
- Substances naturelles : substances organiques (végétale, animale) ou minérales, dont les composants existent dans la nature et donc non issues de la synthèse chimique. Dans cette catégorie peuvent figurer les « biocides naturels »<sup>14</sup> et les stimulateurs de défense des plantes (SDP) d'origine naturelle (IBMA, 2014b).
  - Les « biocides naturels » sont des produits d'origine naturelle destinés à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre, par une action chimique ou biologique. Comme les produits phytosanitaires, les « biocides naturels » vont protéger les plantes en agissant directement sur les bioagresseurs (ANSES, 2013). Par exemple, le savon noir qui permet de tuer les pucerons ou les acariens (Zegels, 2007).

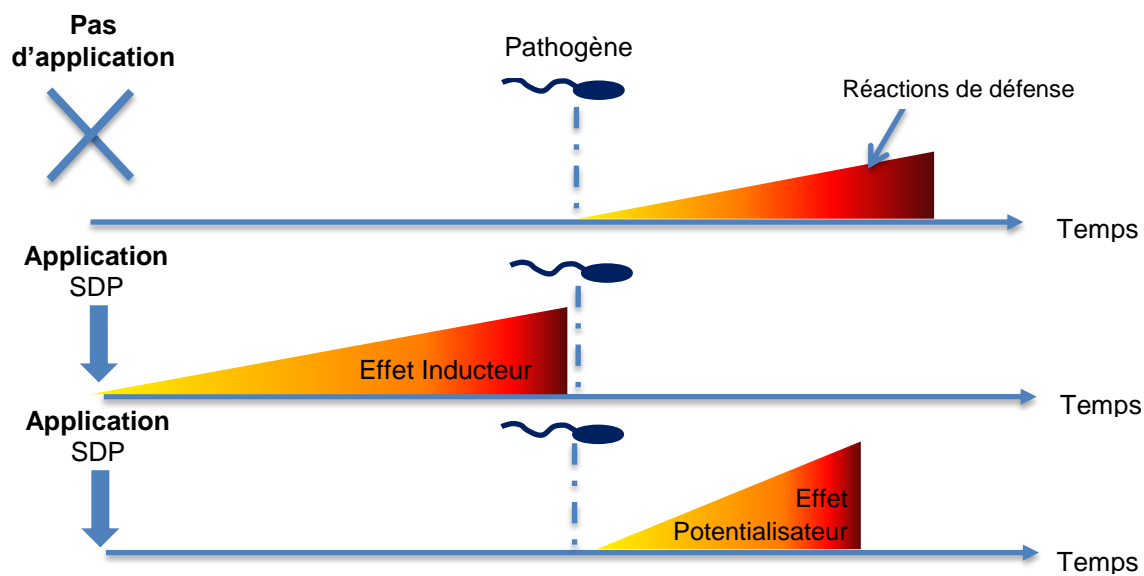


Figure 7 : Schéma des modes d'action des différents SDP.

- Les stimulateurs de défense des plantes sont des substances qui, après application sur une plante, lui permettent d'enclencher ses mécanismes naturels de défense et ainsi d'être en état de résistance vis-à-vis d'un agent pathogène auquel elle serait normalement sensible. Cette technique se base sur l'interaction plante-agresseur et permet de lutter contre des stress biotiques (bactérie, virus, champignon...) mais aussi abiotiques (stress hydrique, gel...). Il existe deux catégories de SDP. Les premiers ont un effet inducteur, c'est-à-dire qu'ils induisent des réactions de défense dès l'application du produit et cela que l'agent pathogène soit présent ou non. Le second type sont les SDP potentialisateurs qui ont la spécificité de déclencher les réactions de défense uniquement lors de la détection de l'agent pathogène et cela de manière plus rapide qu'en absence de produit (Figure 7) (Pajot, 2010 ; Kröner, 2012). Les stimulateurs de défense des plantes peuvent être d'origine naturelle ou alors de synthèse (ex : le BION de Syngenta à base d'acidbenzolar-S-Methyl est homologué sur différentes cultures (De Bastard, 2013)). Toutefois, dans ce rapport, la majorité des produits étudiés seront à base de composés naturels.

#### a. Rappel du cadre réglementaire

- Produits naturels et règlement européen 1107/2009

Actuellement, il n'existe pas de cadre réglementaire dédié aux produits de biocontrôle. Les micro-organismes, substances naturelles et médiateurs chimiques sont donc soumis à la réglementation des produits phytopharmaceutiques répondant au règlement européen 1107/2009. Ce règlement distingue différents types de substances. Afin de faciliter l'homologation des produits de biocontrôle, certains peuvent être autorisés en tant que « substance de base ». Pour cela, ils doivent répondre aux critères définissant les « denrées alimentaires ». Ces substances ne doivent pas avoir d'effet nocif immédiat ou différé sur la santé humaine, animale et sur l'environnement. L'étude des résidus n'est pas nécessaire et une simple analyse bibliographique peut suffire à démontrer leur innocuité. Cette voie d'accès au marché n'est cependant pas entièrement opérationnelle. Actuellement, deux substances seulement sont inscrites au niveau européen : le chitosan et le jus de prêle. À condition que les produits de biocontrôle respectent l'article 22 du règlement 1107/2009, ils peuvent être classés comme substance à faible risque et homologués en Europe. Pour cela, il faut démontrer que le produit est non cancérigène, mutagène, toxique pour la reproduction, ni toxique, explosif ou corrosif. De plus il doit être non persistant<sup>15</sup> dans le sol et présenter un facteur de bioconcentration inférieur à 100. Ce ne doit pas être un perturbateur endocrinien et enfin, il ne doit pas avoir d'effets neurotoxiques (Maumene, 2014). Le ministère de l'Agriculture a établi et réactualisé fin 2013, la liste NoDU Vert Biocontrôle (Nombre de dose Unité) qui comporte tous les produits de biocontrôle utilisables en France (Decoin, 2014 ; Maumene, 2014).

- Macro-organismes et décret n°2012-140 du 30 janvier 2012

Tous les produits de biocontrôle ne sont pas considérés comme des produits phytosanitaires. Par exemple les macro-organismes auxiliaires. Ils sont donc soumis à une autre réglementation. Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2012, date d'application du décret n°2012-140, les macro-organismes «non indigènes » sont soumis à une autorisation d'introduction dans l'environnement (AIE). Les macro-organismes sont considérés comme indigènes s'ils sont établis sur une division physique de l'Etat français, appelée un territoire (ex : France métropolitaine, Corse...). La vente de ces macro-organismes indigènes reste libre sur leur





territoire. Par contre, si les macro-organismes sont « non indigènes », pas encore établis sur un territoire, alors leur introduction nécessite une autorisation d'introduction dans l'environnement (AIE) pour une utilisation en milieu ouvert, même une serre de production ou une autorisation d'entrée sur le territoire (AET) pour une arrivée en milieu confiné et sécurisé (ex : pour la recherche). Les macro-organismes « non indigènes » déjà sur le marché et reconnus sans problème qui figurent sur une liste officielle sont exemptés d'autorisation. (Decoin, 2014)

### 2.4.3 Les mécanismes de défense des plantes

#### a. Les stratégies de défense des plantes

Pour se protéger des agressions provenant de l'environnement extérieur (stress biotique ou abiotique), la plante dispose de différentes barrières physiques comme sa cuticule, sa paroi végétale ou encore sa membrane plasmique. Ces barrières physiques peuvent aussi être accompagnées de barrières chimiques (ex : mono-terpènes). Face à une agression, la plante dispose de cinq stratégies de défense qui sont : la détoxification, l'exportation, la neutralisation, la séquestration ou encore le maintien et renforcement des barrières physiques. Toutefois, ces barrières naturelles sont insuffisantes pour empêcher la pénétration de l'agent pathogène puisqu'il possède lui aussi des techniques de contournement comme des enzymes de dégradation des parois, des moyens de pénétration physiques (ex : haustorium et appressorium pour les champignons) ou profite des ouvertures naturelles (stomates) des plantes et des insectes vecteurs de virus (Guillemette, 2013).

L'objectif des stimulateurs de défense des plantes est de renforcer les mécanismes naturels de défense de la plante pour que le contournement du champignon soit plus difficile. Ce concept se base sur les interactions hôte/pathogène et plus précisément les mécanismes de défense des plantes.

#### b. Interaction hôte/pathogène

L'interaction du blé avec l'agent pathogène *Mycosphaerella graminicola*, suit une relation hôte compatible ; c'est-à-dire que la relation entre l'espèce végétale et le parasite aboutit au développement de l'agent pathogène qui est capable de réaliser son cycle biologique. Dans cette situation, les symptômes typiques de la maladie apparaissent. Leur développement est fonction du niveau d'agressivité de l'agent pathogène et également du niveau de tolérance de l'hôte (résistance partielle).

#### c. Développement de la qPFD

Afin de mieux comprendre et identifier les gènes impliqués dans les mécanismes de défense des plantes, l'Inra d'Angers a développé un nouvel outil moléculaire : la qPFD. Cet outil permet d'analyser de manière simultanée par qPCR l'expression de vingt-huit gènes de défense répartis dans les trois grandes classes connues de défense des plantes, barrières chimiques, barrières physiques et signaux d'alerte, dans un tissu de plante. Mis au point sur pommier, sa transposition à d'autres espèces végétales est possible car les défenses choisies sont très conservées entre espèces. Le seul impératif est que les banques de données publiques de séquence nucléotidiques soient suffisamment fournies, ou mieux, que les génomes soient séquencés (Brisset & De Bernonville, 2011).



## 2.4.4 Présentation des différents produits

### a. Le micro-organisme :

#### ○ *Trichoderma asperellum* souche T34

Parmi les différents produits de biocontrôle testés dans le cadre de cette étude, un seul est un micro-organisme. Il s'agit de *Trichoderma asperellum* souche T34. Ce champignon est homologué sur les cultures d'œillet sous serre au Canada et au Royaume-Uni, depuis 2013 et 2012 respectivement, pour lutter contre *Fusarium oxysporum* (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2013 ; European Food Safety Authority, 2012). Les espèces de champignons du genre *Trichoderma* sont les agents de lutte biologique les plus couramment utilisés. Elles se trouvent naturellement dans de nombreux sols de toutes les zones climatiques. Étant un champignon non hôte spécifique, différentes utilisations de ce champignon peuvent être faites (Rasu et al., 2012). Par exemple la souche T39 de *Trichoderma harzianum* permet de lutter contre le mildiou de la vigne (Perazzolli et al., 2011).

#### • Modes d'action

D'après une étude de Limón et al. de 2004, le genre *Trichoderma* a la capacité d'agir directement contre les champignons phytopathogènes par le mécanisme de mycoparasitisme<sup>16</sup>. Il peut également agir de manière indirecte en entrant en compétition pour les ressources et l'espace, en modifiant les conditions environnementales, en synthétisant des composés antibiotiques ou encore en stimulant les défenses de la plante. L'activation de chaque mécanisme implique la production de composés et métabolites spécifiques. La mise en place de défenses chez la plante est réalisée par les hyphes<sup>17</sup> du champignon qui induisent différents types de signaux transmis à la plante comme l'accumulation d'acide salicylique (SA), d'acide jasmonique (JA) ou les dérivés réactifs de l'oxygène (ROS). Ces voies de signalisation vont ensuite déclencher l'expression des gènes de défense. Les réactions de défense activées par le champignon sont de deux types : la résistance systémique induite<sup>18</sup> (ISR) dépendante des voies de l'acide jasmonique et de l'éthylène et la résistance systémique acquise<sup>19</sup> (SAR) dépendante de la voie de l'acide salicylique (Perazzolli et al., 2011 ; Nawrocka & Małolepsza, 2013).

#### • Les conditions d'application

La souche T34 de *Trichoderma asperellum* est homologuée dans plusieurs pays sur les cultures sous serre, avec un mode d'application foliaire (par pulvérisation) ou racinaire (par système d'irrigation ou trempage des racines). Ce produit est commercialisé par une entreprise espagnole Biocontrol Technologies à une concentration de 10<sup>9</sup> ufc (unité formant colonie). Une étude de Segarra et al. de 2007 a montré que la souche T34 de *T. asperellum* induit des réactions de défense sur le concombre qu'à des concentrations supérieures à 10<sup>5</sup> ufc. Suite à la colonisation des racines par le champignon, une réaction similaire à une SAR peut être observée chez la plante dans les premières heures après l'interaction. Lors de cette expérience, ils ont également pu constater que cela induisait une protection contre les agents pathogènes foliaires.

La société de consulting, AGR, en charge du développement du produit, a demandé à ce que l'application foliaire du champignon soit réalisée dans des conditions spécifiques, c'est-à-dire le soir et avec une humidité relative élevée (>70 %) et sans vent sec (Charlot, 2013). Ces recommandations concordent avec l'étude sur les conditions environnementales favorisant la survie et la dispersion de *Trichoderma* réalisée par Carreras-Villasenor et al., en 2012. Ils ont ainsi montré que dans le but de survivre et de se développer, le genre



*Trichoderma* changeait son mode de reproduction selon les conditions environnementales. Dans son milieu naturel, le sol, le champignon utilise la reproduction sexuée mais dès qu'il est à la lumière, il change pour la reproduction asexuée et prend la forme de conidies. D'autres facteurs comme un faible pH, les concentrations en carbone et azote du milieu ainsi que les composés organiques volatils<sup>20</sup> peuvent également le faire entrer dans cette forme de conservation (Carreras-Villasenor et al., 2012). Sous cette forme, le champignon ne développe pas d'hyphes mycéliens, ce qui laisse supposer que la stimulation des défenses de la plante peut être réduite.

- Digression sur l'utilisation de *Trichoderma* pour la construction de plantes génétiquement modifiées

Dans un article de Nicolás et al. en 2014, les chercheurs évoquent la possibilité d'utiliser les gènes de *Trichoderma* pour créer des plantes plus tolérantes aux stress biotiques et abiotiques. La connaissance des génomes de différentes espèces de *Trichoderma*, notamment *T. atroviride* et *T. virens*, a fourni des informations sur les interactions moléculaires entre la plante et l'agent pathogène et a permis d'identifier des gènes qui semblent avoir un effet bénéfique sur la plante. Les plantes transgéniques possédant des enzymes (ex : chitinase, glucanase...) capables de dégrader la paroi cellulaire des champignons se sont révélées être des outils efficaces pour augmenter la tolérance de plusieurs plantes d'intérêt agronomique à divers agents pathogènes. De plus, le transfert de différents gènes de ce champignon a permis d'augmenter la tolérance des plantes à la chaleur, salinité et aux métaux lourds.

#### b. La substance synthétisée chimiquement

- **LBG/chloro** (phosphite de potassium + chlorothalonil - DeSangosse)

L'entreprise DeSangosse développe un nouveau produit fongicide qui allie deux matières actives : le phosphonate (ou phosphite) de potassium et le chlorothalonil. Comme mentionné précédemment dans le paragraphe 2.3.1b, le chlorothalonil est une molécule qui se retrouve dans différents produits phytosanitaires et qui a un mode d'action multisite.

Le phosphonate est une molécule de synthèse qui est présente à l'état naturel dans les roches volcaniques. Cette molécule est biodégradable dans le sol et donne du phosphate (Natali, 2008). Toutefois, la quantité de phosphate apportée par les phosphonates de potassium est trop faible pour que le produit soit homologué en tant que fertilisant (Mortureux, 2011). Selon le règlement européen 1107/2009, l'action du phosphonate de potassium est fongicide. Il est donc homologué en France en tant que produit phytosanitaire qui stimule la défense des plantes sur différentes cultures maraichères (tomate, poivron, concombre...) (Mortureux, 2012 ; e-phy, 2014). Cependant, bien que stimulant les défenses des plantes, les phosphites ne sont pas considérés comme des produits de biocontrôle naturels, parce qu'ils sont issus d'une synthèse chimique.

- Modes d'action

En cas de forte concentration en phosphonate de potassium, la molécule peut agir directement sur l'agent pathogène en inhibant sa croissance avant qu'il ne soit en mesure d'établir une liaison avec l'hôte. Mais lorsqu'il est présent en faible concentration dans les racines, le phosphonate interagit avec l'agent pathogène à l'endroit de la pénétration en stimulant les défenses de l'hôte (Jackson et al., 2000). D'après une étude de Machinandiarena et al. de 2012, les phosphites de potassium induisent la production de peroxyde d'hydrogène et d'anion superoxyde dans les feuilles de pommes de terre dans les douze heures qui suivent l'inoculation avec l'agent pathogène *Phytophthora infestans*. Le traitement des feuilles par les phosphites provoque également une augmentation précoce du



dépôt de callose<sup>21</sup>. Ils ont également mis en évidence que l'induction précoce et intense des gènes de défense était due à la voie de signalisation de l'acide salicylique.

### c. Les substances naturelles

- Stimulateurs de défense des plantes
  - **ALEXIN** (molécule confidentielle - Verdesian Life science)

Par souci de confidentialité, l'entreprise Verdesian Life science n'a pas souhaité communiquer les informations concernant le nom de la molécule contenue dans le produit codé ALEXIN. D'après leurs renseignements, cette molécule agirait de manière similaire à l'acide salicylique. Elle stimulerait donc les défenses des plantes en induisant une résistance systémique acquise et déclenchant une réponse hypersensible.

- **Extrait d'algue** (VACCIPLANT Grandes Cultures - Goëmar)

Le produit VACCIPLANT Grandes cultures est le nouveau nom commercial du Iodus 2 Céréales développé par l'entreprise Goëmar. Cette petite entreprise bretonne a été rachetée en mars 2014 par le groupe Arysta Lyfe Science (Goëmar, 2014). La matière active du produit est la laminarine. Il s'agit d'un oligosaccharide, le 1-3  $\beta$ -D-glucane, issu de l'algue brune *Laminaria digitata*. Le produit était d'abord homologué en tant que produit phytosanitaire sur les cultures de blé et d'orge pour lutter contre le piétin-verse, l'oïdium, l'helminthosporiose ou encore la septoriose. Ces usages ont été retirés au profit de leur requalification selon le nouveau catalogue des usages. Le produit est à présent autorisé uniquement sur blé en tant que stimulateur de défense des plantes à une dose de 1 L/ha. Il est également homologué sur les fruits et légumes pour lutter contre diverses maladies du feuillage (e-phy, 2014).

- Conditions d'application

Dans un premier temps, l'entreprise préconisait d'utiliser le produit, à 1 L/ha, comme premier traitement au stade épi « 1cm » (Z30) pour protéger la culture contre la septoriose et ensuite de poursuivre le programme de protection avec un fongicide classique (Blanchard & Limache, 2005). Cependant, au vu des résultats qui traduisent une efficacité partielle du produit, l'entreprise a décidé d'adapter le positionnement de son produit (Joubert, 2013). Aujourd'hui, Goëmar propose son produit dans un programme à deux traitements dont le premier qui a lieu au stade 1 à 2 nœuds, est une association de VACCIPLANT, à 0.5 L/ha avec une demi-dose de fongicide classique. Le deuxième traitement est une pleine dose de fongicide classique (Goëmar, 2013). Dans ces conditions d'applications, l'emploi de VACCIPLANT permettra à l'agriculteur de réduire son IFT<sup>25</sup> et de diminuer l'impact toxicologique et écotoxicologique des traitements sur l'environnement.

- Modes d'action

Suite à l'application de laminarine, la plante reconnaît des éliciteurs de type PAMPs/MAMPs et active ses réactions de défenses (Shetty et al., 2009). Environ dix minutes après l'application de laminarine sur les suspensions cellulaires de vigne, Aziz et al. en 2003 ont observé un burst oxydatif. Ce dernier est dû à une augmentation rapide de la concentration en ions calcium suite à la reconnaissance de l'« agression ». Ce phénomène est accompagné de l'alcalinisation du milieu extracellulaire ainsi que de l'activation d'une chaîne de réaction MAPKinase, qui permet l'amplification et la propagation du signal. Enfin, ils ont mis en évidence l'augmentation des activités chitinasés et 1-3  $\beta$  glucanases ainsi que la production de deux phytoalexines. Des résultats similaires sont observés sur la culture de tabac par Klarzynski et al. en 2000. Ces deux études précisent que la stimulation des défenses des plantes par la laminarine n'entraîne pas de réaction hypersensible et donc pas



**Tableau III : Tableau récapitulatif des caractéristiques des différents produits de biocontrôle testés.**

Type d'agent	Molécule	Firme	Mode d'action	Condition d'application
<b>SDP</b>	ALEXIN	Verdesian Life science	Analogue acide salicylique	-
<b>SDP</b>	Phosphite de potassium + chlorothalonil	De Sangosse	Voie SA + production ROS + dépôt de callose + multisite	-
<b>SDP</b>	Laminarine	Arysta Life science	Activité chitinase et production phytoalexines	-
<b>Biocide naturel</b>	Natamycine ?	Ceradis	Inhibiteur de l'ergostérol	Sensible UV
<b>Micro-organisme</b>	Trichoderma asperellum souche T34	Biocontrol Technologies	Mycoparasitisme ou SA et JA	Sensible lumière

de mort cellulaire. En plus de la stimulation, la laminarine induit une protection efficace des feuilles de vignes contre deux pathogènes (*Botrytis cinerea* et *Plasmopara viticola*). L'utilisation de sulfate de laminarine permet d'augmenter les mécanismes de défenses de la plante en déclenchant la voie de signalisation de l'acide salicylique du tabac (Menard et al., 2005). Enfin, d'après une étude de Steimetz et al., 2012, l'âge de la feuille de vigne semble avoir une influence sur l'induction de résistance contre *Plasmopara viticola*. L'induction des défenses est plus élevée chez les feuilles adultes que les jeunes mais ce phénomène reste pour l'instant inexpliqué.

- Rôle direct sur le champignon
  - **Produit Ceradis** (molécule confidentielle)

Ceradis est une entreprise néerlandaise, spin-off de l'Université de Wageningen qui recherche et développe des produits à base de substances naturelles. Afin de pouvoir continuer leurs recherches sans que leur découverte ne soit reprise par des concurrents, le nom de la substance naturelle utilisée n'est pas dévoilé. L'entreprise a simplement pu spécifier qu'il s'agit d'une substance issue d'un micro-organisme qui n'agit pas comme un stimulateur de défense des plantes mais directement sur le champignon au niveau de la synthèse des stérols. C'est donc un « fongicide naturel ».

- Natamycine ?

A partir des quelques renseignements fournis par l'entreprise, nous avons poursuivi les recherches et découvert qu'elle a déposé des brevets pour des produits à base de natamycine. Il s'agit d'une substance naturelle qui est issue de la fermentation de la bactérie *Streptomyces natalensis* et qui est homologuée comme conservateur (E235) dans l'industrie agroalimentaire (Atta et al., 2012). La natamycine est utilisée, depuis plus de trente ans, sur les produits alimentaires tels que les fromages ou la charcuterie pour limiter le développement des champignons en surface. Jusqu'à présent aucune souche de champignon résistante à la natamycine n'a été observée. Cette molécule serait également efficace pour protéger les bulbes de fleurs, oignons contre l'agent pathogène *Fusarium oxysporum* (Stark et al., 2003). D'après les renseignements de Koninklijke DSM N.V de 2014, la natamycine inhiberait le développement des mycotoxines.

- Mode d'action

Cette molécule antifongique ( $C_{33}H_{47}NO_{13}$ ) est un macrolide polyène qui se lie à l'ergostérol au niveau de la membrane cellulaire du champignon. La natamycine est un fongicide non systémique<sup>22</sup> qui inhibe l'ergostérol. Bien que cette substance agisse au niveau de la biosynthèse des stérols, elle a une cible différente de celle des inhibiteurs de déméthylases (IDM) comme les triazoles et possède donc un niveau de résistance faible. A priori, il n'y aurait aucune résistance croisée avec les souches résistantes aux IDM.

- Conditions d'application

D'après les données figurant dans le rapport de la FAO et de l'OMS, la natamycine ne serait pas affectée par la chaleur mais serait dégradée rapidement par les rayons UV (FAO & OMS, 2000).

Le Tableau III, récapitule les différents produits de biocontrôle qui seront utilisés dans ce rapport.

**Tableau IV : Tableau décrivant les caractéristiques des variétés**

Variété	Obtenteur	Précocité montaison	Résistance Froid	Résistance Verse	<i>S. tritici</i>	Rouille jaune	Rouille brune	Fusariose épi	Risque mycotoxine (DON)
<b>Bermude</b>	Florimond Desprez	2	6	7	5	7	5	4	3.5
<b>Garcia</b>	Secobra	5	7.5	3.5	4	7	3		3.5
<b>Pakito</b>	RAGT 2n	3	7	5.5	4	8	5	5	5

*Précocité montaison : 0 – très tardif ; 6 – ultra précoce*

*Maladies – accidents climatiques : 1 – très sensible ; 9 – résistant*

## 3. Matériels et méthodes

### 3.1 Essais en réseau dit « SDP »

Le protocole dit « SDP » est mené en réseau dans trois stations d'ARVALIS (Boigneville, La Jaillière et Rots). Il s'agit d'un réseau d'essais sous contrat avec la société Goëmar qui souhaite principalement tester l'efficacité de son produit (VACCIPLANT Grandes cultures) en association avec une demi-dose d'un fongicide classique dans une stratégie à deux traitements. Au 1<sup>er</sup> traitement, il s'agit de déterminer le meilleur mode d'emploi du produit selon deux positionnements : soit un positionnement systémique et précoce au stade deux nœuds, soit un positionnement en fonction de la dynamique réelle de la septoriose grâce au modèle Septo\_LIS<sup>®</sup>. Mis à part pour la variété de blé tendre, le protocole expérimental décrit ci-dessous est identique sur l'ensemble des trois stations.

#### 3.1.1 Matériel végétal

##### a. Station de Boigneville

À Boigneville, c'est la variété de blé tendre Garcia qui est mise en place. C'est une variété qui n'est aujourd'hui plus beaucoup utilisée par les agriculteurs mais qui figure encore dans le catalogue<sup>23</sup>. Elle a été choisie pour ses caractéristiques. Il s'agit d'une variété très précoce, sensible à la septoriose (notée 4,5). De plus, lors de son inscription au catalogue et de la dernière évaluation de la variété en 2009, elle avait un bon comportement vis-à-vis des autres maladies puisqu'elle est sensible à la verse et à la rouille brune mais résistante à la rouille jaune (Tableau IV)(SECOBRA, 2004). Garcia a été semée le 21 octobre 2013 à une densité de 280 grains/m<sup>2</sup> avec un semoir d'expérimentation de 11 rangs. Le précédent cultural est un colza oléagineux dont les résidus culturaux ont été enfouis.

##### b. Station de La Jaillière

La variété Pakito a été semée, à la station de la Jaillière, le 24 octobre 2013 à une densité de 260 grains/m<sup>2</sup>. Cette variété à demi-précoce a pour caractéristiques d'être sensible à *Septoria tritici* (notée 4), à la verse, à la fusariose de l'épi, la rouille brune mais résistante à la rouille jaune (Tableau IV)(Semences de France & ARVALIS-Institut du végétal, 2014). Le précédent cultural est un colza oléagineux dont les résidus de culture ont été enfouis.

##### c. Station de Rots

À la station de Rots, c'est la variété assez tardive, Bermude qui a été semée le 22 octobre 2013 à une densité de 250 grains/m<sup>2</sup>. Elle a pour caractéristiques d'être relativement sensible à la septoriose (notée 5) et à la rouille brune mais assez résistante à la rouille jaune et à la verse (Tableau IV)(Semences de France & ARVALIS-Institut du végétal, 2014). Le précédent cultural est de la betterave dont les résidus de culture ont été enfouis.

#### 3.1.2 Dispositif expérimental

##### a. Dispositif expérimental

Chaque essai suit un itinéraire « classique » de production. Seuls les traitements fongicides visant la septoriose sont remplacés par ceux du protocole. Les traitements de couverture<sup>24</sup> herbicides, insecticides et d'engrais sont identiques sur l'ensemble de chaque essai et effectués par les techniciens de la station. Ces interventions ne doivent pas être effectuées le même jour que les traitements contre la septoriose. Le protocole « SDP » comporte dix modalités, c'est-à-dire qu'il y a un témoin qui ne reçoit aucun traitement et neuf modalités différentes qui sont testées et répétées sur trois blocs.

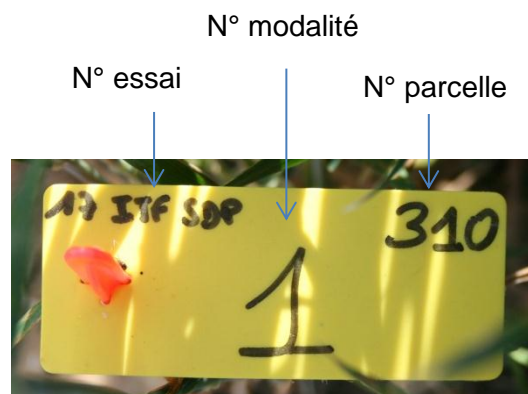
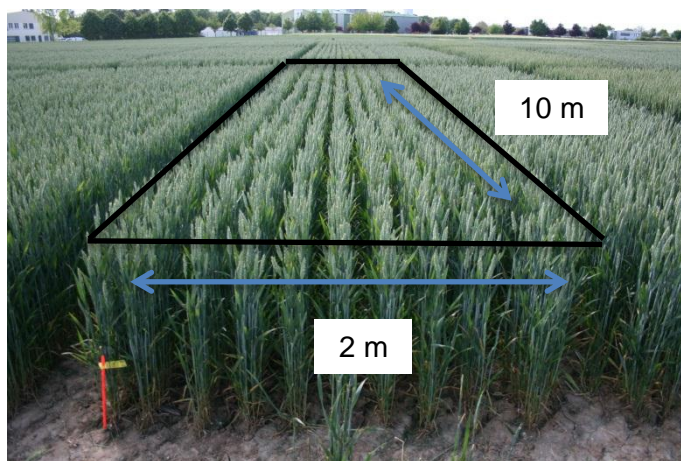


Figure 8 : Étiquette d'identification de parcelle



Source : R.NEVOT

Figure 9 : Photo d'une micro-parcelle de blé

N° micro-parcelle	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	
N° modalité	2	7	3	1	10	9	6	8	5	4	
	Bande tampon										
	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	
	9	6	2	10	5	1	3	7	8	4	
	Bande tampon										
	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	
	3	4	2	7	10	9	6	5	8	1	

Figure 10 : Schéma du plan d'expérimentation de l'essai "SDP" de la station de Boigneville

Tableau V : Date et stade des deux traitements contre la septoriose des essais « SDP »

Site	Date 1 <sup>er</sup> traitement modalités 2 et 3 au stade Z32 = «2nœuds»	Date 1 <sup>er</sup> traitement modalités 4 à 10 (déclenchement Septo_LIS®) stade 37 = dernière feuille pointante	Date 2 <sup>ème</sup> traitement modalités 2 et 3 stade Z39 = dernière feuille étalée	Date 2 <sup>ème</sup> traitement modalités 4 à 10	Stade blé
Boigneville	09/04/14	17/04/14	23/04/14 (14j)	14/05/14 (27j)	Z61 début floraison
La Jaillière	10/04/14	17/04/14	30/04/14 (20j)	14/05/14 (27j)	Z55 mi- épiaison
Rots	14/04/14	24/04/14	05/05/14 (21j)	16/05/14 (22j)	Z51 début épiaison

Les répétitions permettent d'estimer l'erreur résiduelle, c'est-à-dire celle qui n'est pas explicable ou de mettre en évidence un effet produit ou bloc. Enfin, au sein de chaque bloc, la répartition des modalités est aléatoire afin de réduire et supprimer les variables de l'environnement. Ce type de dispositif en bloc aléatoire complet (ou bloc de Fisher) permet de comparer des moyennes entre elles pour un même facteur, ici le facteur « produit ».

Chaque modalité est représentée sur une micro-parcelle de 20m<sup>2</sup> (2x10m) (Figure 9). Les micro-parcelles sont délimitées par des piquets de couleur sur lesquels sont inscrits le numéro d'essai, de parcelle et de traitement (Figure 8). L'essai est entouré au minimum d'une bordure de la taille d'une micro-parcelle correspondant à du blé tendre ne recevant aucune des modalités testées.

#### b. Plan d'expérimentation

Le plan d'expérimentation permet d'optimiser l'exploitation statistique de l'expérience en fonction des contraintes expérimentales et des principales questions posées. En entrant les caractéristiques du plan d'expérience (nombre de modalités, blocs, répétitions, facteurs à étudier...) dans la base de données SILENA (outil interne à ARVALIS), un exemple de plan à mettre en place au champ est généré (Figure 10).

#### c. Choix positionnement des traitements

- Position du 1<sup>er</sup> traitement

Dans cette expérience, deux stades d'application des traitements sont testés. Pour les modalités 2 et 3 (Tableau VI), le premier positionnement se fait au stade Z32, lorsque le blé se trouve à « 2 nœuds » et que la F2 définitive est tout juste pointante. C'est généralement à ce stade qu'est appliqué le premier fongicide en cas de développement précoce de septoriose (ARVALIS-Institut du végétal (France), 2007). Pour les modalités 4 à 10, le positionnement du premier traitement se fait entre le stade Z37 (dernière feuille pointante) et le stade Z39 (dernière feuille étalée). Ce sont des stades pivots pour le déclenchement du traitement contre la septoriose car ils permettent de protéger les feuilles qui conditionnent l'élaboration du rendement, c'est-à-dire la F2 et une partie de la F1. Pour ces modalités, le positionnement exact se fait à l'aide de l'OAD Septo\_LIS® qui permet d'anticiper le risque septoriose sur les parcelles. (ARVALIS-Institut du végétal, 2014)(Annexe I).

- Position du 2<sup>ème</sup> traitement

Le deuxième traitement pour les modalités 2 et 3 a lieu au stade Z39 (dernière feuille étalée). L'application à ce stade permet de protéger efficacement la F1 en cas d'attaque précoce de septoriose. Pour les modalités 4 à 10, le deuxième traitement est réalisé au début de l'épiaison (Z51) à la station de Rots, à la mi-épiaison (Z55) à la station de La Jaillière et au début de la floraison (Z61) à la station de Boigneville (Tableau V). Il protège entièrement toutes les feuilles de blé et même une partie de l'épi (ARVALIS-Institut du végétal (France), 2007).

Le stade exact de la culture, le pourcentage d'émergence, la position finale de la dernière feuille et la date d'application des traitements sont notés à chaque intervention sur la culture car ces conditions peuvent avoir une importance dans l'analyse des résultats.

**Tableau VI : Tableau récapitulatif et descriptif des 10 modalités de l'essai "SDP"**

Modalité*	1 <sup>er</sup> traitement fongicide contre la septoriose				2 <sup>ème</sup> traitement fongicide contre la septoriose			
	Produit	Dose produit (L/ha)	Molécules	Stade blé	Produit	Dose (L/ha)	Molécules	Stade blé
1 = TNT	Témoin non traité	-	-	-	-	-	-	-
2 = RefH2N	OSIRIS WIN + PYROS EW	1 + 0.5	epoxiconazole (37.5g) + metconazole (27.5g) + prochloraze (22.5g)	Z 32 (2nœuds)	AVIATOR XPRO	0.7	bixafen (52.5g) + prothioconazole (105g)	Z39 (DFE****)
3 = Vac2N	OSIRIS WIN + PYROS EW+ VACCIPLANT	0.5 + 0.25 + 0.5	epoxiconazole (18.8g) + metconazole (13.8g) + prochloraze (11.3g) + laminarine (18.5g)	Z 32 (2nœuds)	AVIATOR XPRO	0.7	bixafen (52.5g) + prothioconazole (105g)	Z39 (DFE****)
4 = RefH	OSIRIS WIN + PYROS EW	1 + 0.5	epoxiconazole (37.5g) + metconazole (27.5g) + prochloraze (22.5g)	Z37 = Septo_LIS® (DFP**)	AVIATOR XPRO	0.7	bixafen (52.5g) + prothioconazole (105g)	Z51 à Z61****
5 = RefB	OSIRIS WIN + PYROS EW	0.5 + 0.25	epoxiconazole (18.8g) + metconazole (13.8g) + prochloraze (11.3g)	Z37 = Septo_LIS® (DFP**)	AVIATOR XPRO	0.7	bixafen (52.5g) + prothioconazole (105g)	Z51 à Z61****
6 = Vac	OSIRIS WIN + PYROS EW + VACCIPLANT	0.5 + 0.25 + 0.5	epoxiconazole (18.8g) + metconazole (13.8g) + prochloraze (11.3g) + laminarine (18.5g)	Z37 = Septo_LIS® (DFP**)	AVIATOR XPRO	0.7	bixafen (52.5g) + prothioconazole (105g)	Z51 à Z61****
7 = AI	OSIRIS WIN + PYROS EW + ALEXIN	0.5 + 0.25 + 1	epoxiconazole (18.8g) + metconazole (13.8g) + prochloraze (11.3g) + Alexin (?)	Z37 = Septo_LIS® (DFP**)	AVIATOR XPRO	0.7	bixafen (52.5g) + prothioconazole (105g)	Z51 à Z61****
8 = RefC	CHEROKEE	1.33	chlorothalonil (498.8g) + propiconazole (83.1g) + cyproconazole (66.5g)	Z37 = Septo_LIS® (DFP**)	AVIATOR XPRO	0.7	bixafen (52.5g) + prothioconazole (105g)	Z51 à Z61****
9 = Bp+LBG	BUMPER P + LBG/Chloro	0.8 + 2	propiconazole (72g) + prochloraze (320g) + phosphonate potassium (750g) + chlorothalonil (500g)	Z37 = Septo_LIS® (DFP**)	AVIATOR XPRO	0.7	bixafen (52.5g) + prothioconazole (105g)	Z51 à Z61****
10 = LBG	LBG chloro	3	phosphonate potassium (1125g) + chlorothalonil (750g)	Z37 = Septo_LIS® (DFP**)	AVIATOR XPRO	0.7	bixafen (52.5g) + prothioconazole (105g)	Z51 à Z61****

*TNT = Témoin Non Traité ; RefH2N = Référence Haute à 2 nœuds ; Vac2N = VACCIPLANT à 2 nœuds ; RefH = Référence Haute au déclenchement Septo\_LIS® ; RefB = Référence Basse au déclenchement Septo\_LIS® ; Vac = VACCIPLANT au déclenchement Septo\_LIS® ; AI = Produit codé ALEXIN au déclenchement Septo\_LIS® ; RefC = Référence chlorothalonil au déclenchement Septo\_LIS® ;*

*DFP\* : Dernière Feuille Pointante ; DFE\*\* : Dernière Feuille Étalée ; Z51 = Début épiaison ; Z55 = Mi-épiaison et Z61 = Début floraison*



### 3.1.3 Déroulement de l'essai

#### a. Descriptif des modalités

Comme l'indique le Tableau VI, la première modalité sert de témoin non traité, elle ne reçoit aucun traitement fongicide visant la septoriose.

- Les modalités 2 et 4 sont des références hautes à base de triazoles pour les deux stades d'application des traitements car les produits sont utilisés à une dose pratique recommandée qui est inférieure à la dose maximale autorisée sur blé.
- Les modalités 3 et 6 permettent de comparer l'efficacité du produit VACCIPLANT GC lorsqu'il est en association avec une demi-dose de la référence haute pour chacun des stades d'application (Z32 ou Z37=Septo\_LIS®).
- La modalité 5 sert de référence basse pour le positionnement au moment du déclenchement Septo\_LIS®. L'OSISRIS WIN et le PYROS EW sont employés à demi-dose par rapport à la dose de la référence haute. Cette modalité 5 va permettre de mettre en évidence l'efficacité, si elle existe, du stimulateur de défense contenu dans le produit VACCIPLANT (modalité 6) ou dans le produit ALEXIN (modalité 7).
- La modalité 8 correspond à une association d'un produit de contact multisite (chlorothalonil) avec des triazoles. Elle sera comparée à la modalité 9 qui est également une association de chlorothalonil à la même quantité (500g) avec des triazoles différentes et du phosphite de potassium. La modalité 10, correspond à une association de chlorothalonil (750g) avec du phosphite de potassium. Son efficacité est à comparer à celle de la modalité 9 qui contient en plus des triazoles.

Toutes les modalités reçoivent le même deuxième traitement, seule la date d'application est différente. L'application d'AVIATOR XPRO a lieu au stade dernière feuille étalée (Z39) pour les modalités 2 et 3 et du stade début épiaison (Z51) à début floraison (Z61) pour les modalités 4 à 10 selon les sites.

#### b. Préparations et réalisation des traitements

La préparation des produits se fait au laboratoire. La quantité de produit nécessaire pour traiter les trois parcelles de chaque modalité est mise dans une seringue. La pulvérisation des produits se fait à 210 L/ha. Il faut donc préparer 1.6 L de « bouillie <sup>25</sup> » par modalité. Le mélange des produits contenus dans la seringue avec l'eau se fait au champ dans le cylindre transparent qui se trouve sur la « brouette » (Figure 11). A cause de la toxicité de certaines substances, le port d'un équipement individuel de protection (EPI) est obligatoire pour la manipulation et la préparation des solutions. Cet équipement comprend, une paire de botte, une combinaison étanche, une paire de gants en nitrile, un masque et des lunettes de protection (Figure 12). Le même équipement est indispensable pour la personne qui effectue la pulvérisation sur la culture.

L'application des produits au champ se fait à l'aide d'une « brouette de pulvérisation » qui est équipée sur la droite d'une rampe de pulvérisation de deux mètres. Six buses sont installées sur cette rampe et espacées de trente-trois centimètres (Figure 12). Pour que le traitement soit optimal, l'application doit être effectuée lorsqu'il y a une hygrométrie supérieure à 60% et un vent inférieur à 19km/h. Lorsque la vitesse du vent est comprise entre 12 et 19km/h, il est recommandé d'utiliser des buses à dérive limitée (Tableau VII) (BayerAgri, 2014).



Figure 11 : Photo de la « brouette de pulvérisation »



Figure 12: Pulvérisation Source : R.NEVOT

Tableau VII : Récapitulatif de l'échelle de Beaufort et conditions de pulvérisation

Degré de Beaufort	Observations	Vitesse moyenne du vent (km/h)	Possibilités de traitements phytosanitaires
0	On ne sent pas le vent	<1	Bonnes conditions de traitement
1	On sent très peu le vent	1 à 5	Bonnes conditions de traitement
2	Les girouettes tournent	6 à 11	Bonnes conditions de traitement
3	Les feuilles et les rameaux sont sans cesse agités	12 à 19	Risque plus élevé. Si on ne peut pas différer le traitement, il est recommandé d'utiliser des moyens permettant de limiter la dérive.
4	Le vent soulève la poussière, les cheveux sont dérangés	> 20	Ne pas traiter en pulvérisation ou poudrage

Source : Bayer-agri.fr



Source : agro\_basf.fr

Figure 13 : Photo d'une feuille de blé atteinte de rouille jaune.



Figure 14 : Spores de *P. striiformis* (rouille jaune) qui suivent les nervures de la feuille de blé

Source : Manche chambre d'agriculture.fr

### c. Suivi de la culture

- Les stades du blé

L'observation du blé permet de suivre précisément le stade de la culture. Chaque semaine, 50 maîtres brins<sup>26</sup> sont prélevés dans les deux rangs de bordure des parcelles témoin et « disséqués » pour connaître le stade exact de la culture et ainsi appliquer les traitements au bon moment.

- Les maladies et carences autres que la septoriose

Tout au long du cycle de production, la culture de blé est régulièrement observée afin qu'il n'y ait pas de carences en minéraux ou que la culture ne soit pas ravagée par une maladie ou des insectes nuisibles. Ainsi, différents traitements de couverture sont réalisés sur l'essai depuis le semis pour que la septoriose soit la seule maladie qui puisse s'installer et se développer sur les parcelles. En cas d'attaque, il faut veiller à ne pas utiliser de produits susceptibles d'agir contre la septoriose sinon cela engendrerait un biais dans l'évaluation des produits présents dans le protocole (Annexe II).

Cette année a été marquée par une forte pression de rouille jaune très précoce, dès la fin du mois de février. Le champignon responsable de cette maladie, *Puccinia striiformis* est un pathogène obligatoire du blé qui peut engendrer d'importantes pertes de rendements lorsqu'il colonise les feuilles en suivant les nervures (Figure 13 et Figure 14). La variété Garcia a été sensible à cette forte attaque de rouille jaune et des traitements à base d'azoxystrobine (strobilurine) ont été nécessaires pour limiter son développement et ne pas perturber les objectifs de l'essai. Cette matière active possède une faible efficacité sur la septoriose depuis de nombreuses années suite à la résistance aux Qols (strobilurines), ce qui n'affectera pas l'analyse des résultats de l'essai.

### 3.1.4 Notations

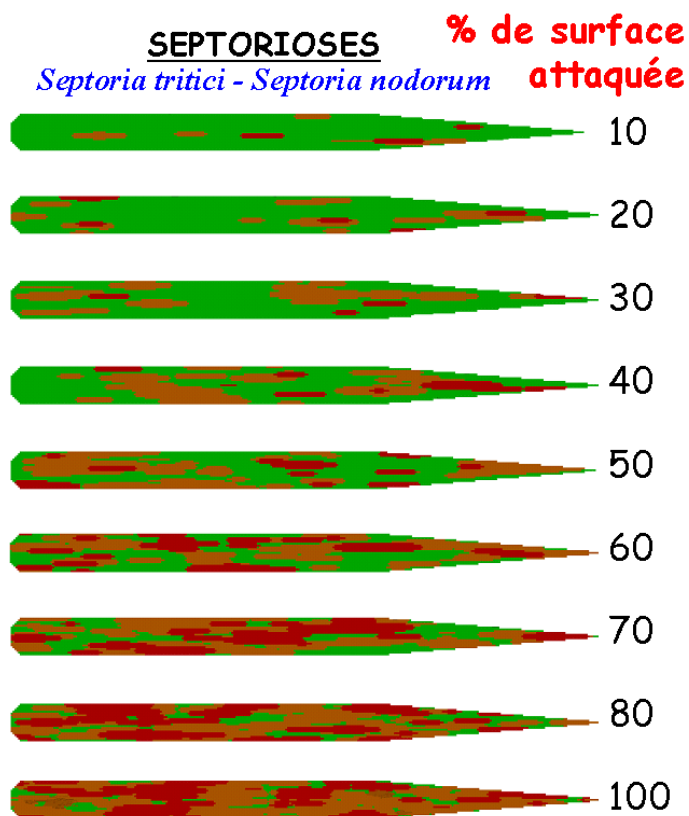
#### a. qPCR

Des analyses de la quantité d'ADN génomique (ADNg) de *S. tritici* sont réalisées par qPCR (Réaction par Polymérisation en Chaîne quantitative). Elles permettent d'évaluer la quantité de champignon avant l'apparition des symptômes et ainsi de savoir si le positionnement du premier traitement a lieu de façon préventive ou curative. 15 feuilles ne présentant pas de symptômes sont prélevées au hasard dans la parcelle témoin de chaque bloc avant chaque traitement. Après séchage de ces feuilles, l'ADNg du champignon est extrait avec le kit Qiagen®. Les analyses sont effectuées par le laboratoire d'ARVALIS situé à Grignon selon une méthode développée au laboratoire et validée selon la norme AFNOR NF V03-110 qui concerne l'analyse des produits agricoles et alimentaires.

#### b. Maladie

La septoriose étant une maladie foliaire, les notations vont porter sur les feuilles. L'évaluation de la maladie correspond à un pourcentage de surface foliaire nécrosée (Figure 15). Afin de voir le niveau d'infection, une notation est effectuée avant chaque traitement. Si la pression de maladie est inférieure à 5% dans les témoins alors il n'y a pas de notation dans les autres modalités. Au minimum deux notations de toutes les modalités sont réalisées 20 et 30 jours après le dernier traitement phytosanitaire. L'intensité de l'attaque est mesurée sur les différents étages foliaires de 20 plantes prises au hasard dans chaque micro-parcelle. Au total, pour chaque modalité, il y a 60 notes par étage foliaire et par date. Au début du cycle de culture, la notation se fait sur les feuilles présentes, c'est-à-dire les F3 et F4.





**Figure 15 : Échelle de notation de la septoriose.**

*Vert : surface saine ; Rouge : nécrose récente ;  
Marron : nécrose avancée*



Source : R.NEVOT

**Figure 16 : Photo de la récolte à Boigneville.**

**Tableau VIII : Date de récolte du blé selon le site d'expérimentation.**

Site	Variété	Date de récolte
<b>Boigneville</b>	Garcia	18/07/2014
<b>La Jaillière</b>	Pakito	16/07/2014
<b>Rots</b>	Bermude	01/08/2014

En fin de cycle, la notation a lieu principalement sur les feuilles qui établissent le rendement (F1 et F2) ; les feuilles F3 et F4 étant à cette période détruites par la septoriose.

### c. Rendement

Les parcelles sont récoltées une à une avec une moissonneuse batteuse d'expérimentation (Figure 16). L'humidité des grains est mesurée par pesée d'un échantillon frais et sec (après passage à l'étuve). L'humidité standard qui permet de conserver la qualité technologique et sanitaire du grain est de 15%. La date de récolte pour chaque site est indiquée dans le Tableau VIII.

$$\text{Rendement} \left( \frac{\text{q}}{\text{ha}} \right) = \frac{\text{poids récolté (kg)} \left( \frac{100 - \text{humidité du lot}}{100 - \text{humidité standard}} \right)}{\text{surface récoltée (m}^2\text{)}} * 100$$

### 3.1.5 Analyses statistiques

L'analyse statistique des données récoltées est effectuée avec le logiciel R<sup>®</sup>. Les essais sont d'abord analysés séparément puis une synthèse des trois essais est effectuée. Dans un premier temps, une AUDPC (Area Under the Disease Progress Curve) est effectuée pour résumer les données chronologiques et ainsi obtenir l'intensité des symptômes de septoriose sur toute la durée de l'expérience.

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y(i+1))}{2} * (t(i+1) - t_i)$$

Avec  $y$  : pourcentage de surface malade

$t$  : nombre de jours après le traitement

Afin de voir si l'action d'un programme de traitement a été utile par rapport au témoin et pour mettre en évidence des différences entre les modalités, l'efficacité globale des programmes de traitement est également calculée pour chaque modalité. Elle correspond à l'efficacité moyenne des différents étages foliaires pour une date puis à la moyenne des différentes dates. Après avoir validé le test de Shapiro qui permet de vérifier la normalité de la distribution des résidus, et le test de Bartlett qui vérifie l'égalité des variances des variables (bloc et modalité ou site et modalité pour le regroupement des essais), une analyse de variance à deux facteurs (Anova) est réalisée. Si l'hypothèse nulle « les moyennes ne sont pas significativement différentes au seuil de risque 5 % » n'est pas validée alors une comparaison multiple (Test de Tukey) des modalités est effectuée pour créer des groupes homogènes. Si les conditions d'application de l'Anova ne sont pas validées, une recherche des valeurs aberrantes est effectuée avec le Test de Grubbs.

L'efficacité est exprimée en pourcentage et se calcule avec la formule suivante :

$$\text{Efficacité (\%)} = 100 * \frac{I \text{ témoin} - I \text{ traité}}{I \text{ témoin}}$$

Avec  $I$  témoin : moyenne d'intensité de la maladie dans le témoin.

$I$  traité : valeur d'intensité de la maladie dans la micro-parcelle X.

Une analyse de variance est également réalisée sur les données de rendement. Afin de voir s'il existe une liaison linéaire entre l'efficacité globale du programme de traitement et le rendement, le coefficient de corrélation est calculé pour ces deux variables à l'aide du test de Pearson. Les conditions de validation de l'Anova ont toujours été respectées, aucun test non paramétrique (ex : Kruskal-Wallis) n'a été nécessaire.

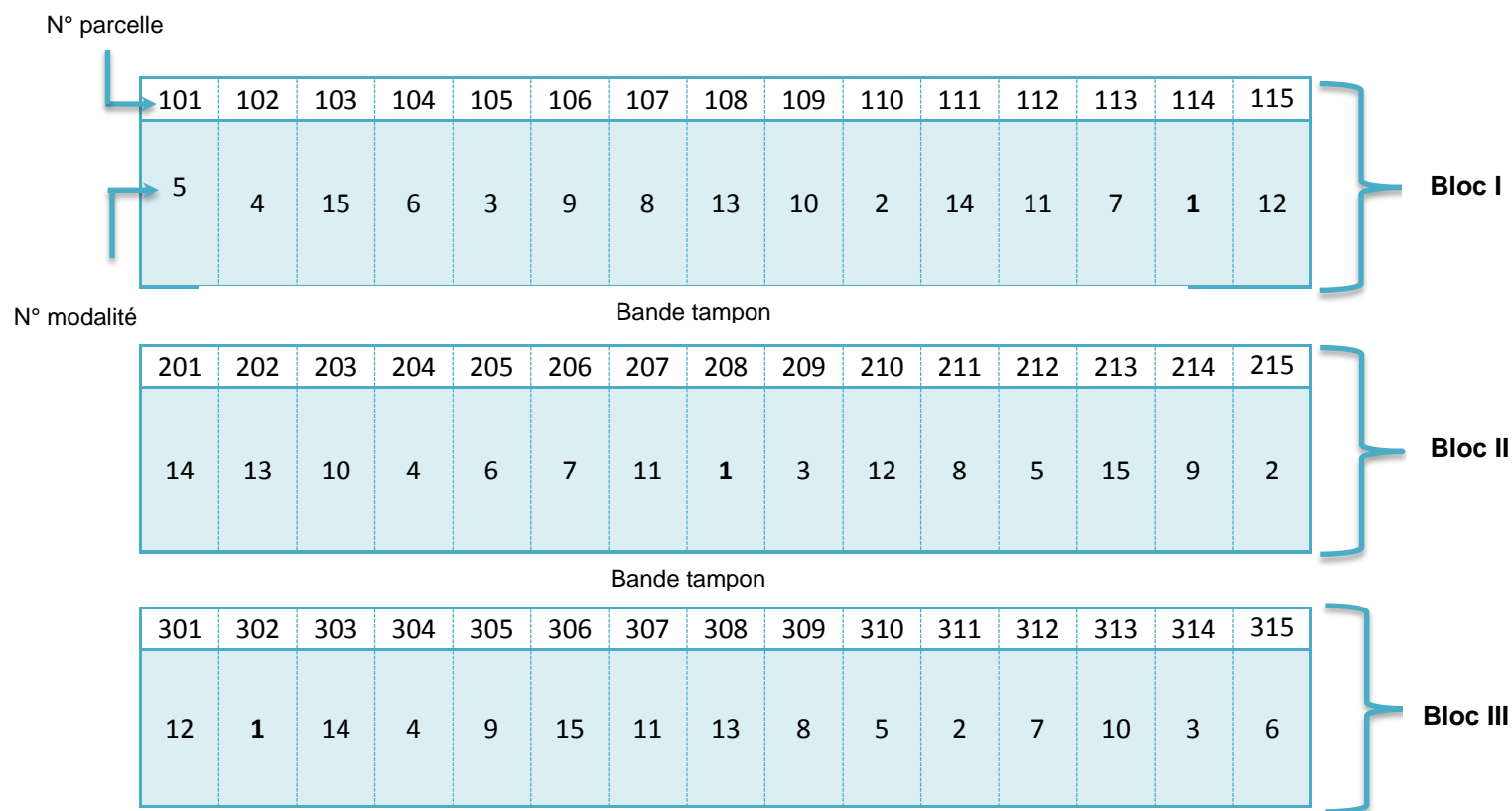


Figure 17 : Schéma du plan d'expérimentation de l'essai "BioCT"

Tableau IX : Dates et stades du blé lors des traitements contre la septoriose pour l'essai "BioCT"

Date 1 <sup>er</sup> traitement	Stade 1 <sup>er</sup> traitement	Date 2 <sup>ème</sup> traitement	Stade 2 <sup>ème</sup> traitement	Date 3 <sup>ème</sup> traitement	Stade 3 <sup>ème</sup> traitement	Date 4 <sup>ème</sup> traitement	Stade 4 <sup>ème</sup> traitement
09/04/14	Z32 2 nœuds	17/04/14	Z37 Dernière feuille pointante	23/04/14	Z39 Dernière feuille étalée	14/05/14	Z61 Début floraison

## 3.2 Essai « BioCT » de Boigneville

Le protocole dit « BioCT » est uniquement mené à la station de Boigneville. Il s'agit d'un essai qui a pour objectif de faire une première évaluation de nouvelles solutions de biocontrôle. Ces résultats permettront d'apporter des précisions sur les produits ou leur mode d'action avant leur intégration au projet de 2015.

### 3.2.1 Matériel végétal

La variété implantée est la même que pour l'essai « SDP » conduit à la station de Boigneville (cf : paragraphe 4.1.1). Il s'agit de la variété très précoce Garcia dont les caractéristiques principales se trouvent dans le Tableau IV.

### 3.2.2 Dispositif expérimental

#### a. Dispositif expérimental

L'essai « BioCT » suit un itinéraire « classique » de production. Seuls les traitements fongicides contre la septoriose sont remplacés par ceux du protocole. Cet essai comporte 15 modalités dont un témoin non traité. Comme dans le protocole « SDP », le dispositif expérimental est un dispositif en bloc aléatoire complet avec trois répétitions. Le facteur étudié est toujours le « produit ».

La taille d'une micro-parcelle est de 20m<sup>2</sup> (2x10m), la surface de l'essai est donc de 900m<sup>2</sup>.

#### b. Plan d'expérimentation

Le plan d'expérimentation est créé à partir de la base de données SILENA (Figure 17).

#### c. Choix positionnement des traitements (Tableau IX)

- Stratégie à 1 traitement :

- Positionné tôt

Le traitement unique au stade « 2 nœuds » permet de protéger le blé lorsque la F2 définitive est tout juste pointante. Cette stratégie est efficace lors d'une attaque précoce de la septoriose. L'objectif est de voir si la stimulation des défenses des plantes par le produit codé ALEXIN va également protéger les nouvelles feuilles.

- Positionné tard

Le traitement unique au stade dernière feuille étalée protège les feuilles qui établissent le rendement (F2 et F1). En cas de développement tardif de la septoriose, due à des conditions climatiques sèches, ce positionnement est efficace. Ce positionnement permet de voir si une stimulation tardive des défenses des plantes est efficace.

- Stratégie à 2 traitements :

Le but de la stratégie à deux traitements réalisés aux stades « 2 nœuds » et dernière feuille étalée est de mieux comprendre le mode d'action du produit ALEXIN. Il s'agit de la stratégie classiquement utilisée par les agriculteurs car elle protège les feuilles élaborant le rendement (F2 et F1).

- Stratégie à 4 traitements :

Les produits utilisés dans les modalités 12, 13 et 14 sont utilisés pour la première fois au champ. Il n'y a donc aucune référence bibliographique sur le positionnement des produits. De plus, il s'agit de produits de contact qui sont suspectés d'avoir une faible persistance, c'est pourquoi afin d'avoir un bon contrôle de la septoriose, quatre traitements identiques successifs sont effectués aux stades « 2 nœuds » (Z32), dernière feuille pointante (Z37), dernière feuille étalée (Z39) et au début de la floraison (Z61).



**Tableau X : Tableau récapitulatif et descriptif des 15 modalités de l'essai "BioCT"**

	<b>1<sup>er</sup> traitement = stade Z32 (2 nœuds)</b>			<b>2<sup>ème</sup> traitement = stade Z37*</b>			<b>3<sup>ème</sup> traitement = stade Z39**</b>			<b>4<sup>ème</sup> traitement = stade Z61***</b>		
Modalité	Produit	Dose (L/ha)	Molécules	Produit	Dose (L/ha)	Molécules	Produit	Dose (L/ha)	Molécules	Produit	Dose (L/ha)	Molécules
1 = TNT	Témoin non traité	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 = RefH32	CHEROKEE	1.33	chlorothalonil (498.8g) + propiconazole (83.1g) + cyproconazole (66.5g)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 = RefB32	CHEROKEE	0.67	chlorothalonil (249.4g) + propiconazole (41.6g) + cyproconazole (33.3g)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 = AI32	CHEROKEE + ALEXIN	0.67 + 1	chlorothalonil (249.4g) + propiconazole (41.6g) + cyproconazole (33.3g) + Alexin (?)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 = RefH39	-	-	-	-	-	-	ADEXAR	1	epoxiconazole (62.5g) + fluxapyroxad (62.5g)	-	-	-
6 = RefB39	-	-	-	-	-	-	ADEXAR	0.5	epoxiconazole (31.3) + fluxapyroxad (31.3g)	-	-	-
7 = AI39	-	-	-	-	-	-	ADEXAR + ALEXIN	0.5 + 1	epoxiconazole (31.3) + fluxapyroxad (31.3g) + Alexin (?)	-	-	-
8 = RefH2T	CHEROKEE	1.33	chlorothalonil (498.8g) + propiconazole (83.2g) + cyproconazole (66.5g)	-	-	-	ADEXAR	1	epoxiconazole (62.5g) + fluxapyroxad (62.5g)	-	-	-
9 = Bravo+AI	BRAVO + ALEXIN	1 + 1	chlorothalonil (500g) + Alexin (?)	-	-	-	ADEXAR	1	epoxiconazole (62.5g) + fluxapyroxad (62.5g)	-	-	-
10 = LBG/chloro	LBG/chloro	3	phosphonate potassium (1125g) + chlorothalonil (750g)	-	-	-	ADEXAR	1	epoxiconazole (62.5g) + fluxapyroxad (62.5g)	-	-	-
11 = LBG	CHEROKEE + LBG (solo)	0.67 + 3	chlorothalonil (249.4g) + propiconazole (41.6g) + cyproconazole (33.3g) + phosphite potassium (1125g)	-	-	-	ADEXAR	1	epoxiconazole (62.5g) + fluxapyroxad (62.5g)	-	-	-
12 = Ceradis1	CERADIS 1	1% (21 mL)	Natamycine ?	CERADIS 1	1% (21 mL)	Natamycine ?	CERADIS 1	1% (21 mL)	Natamycine ?	CERADIS 1	1% (21 mL)	Natamycine ?
13 = Ceradis2	CERADIS 2	1% (21 mL)	Natamycine ?	CERADIS 2	1% (21 mL)	Natamycine ?	CERADIS 2	1% (21 mL)	Natamycine ?	CERADIS 2	1% (21 mL)	Natamycine ?
14 = T34	T34 + adjuvant	200 g + 200 g	<i>Trichoderma asperellum</i> T34 + sorbate de potassium	T34 + adjuvant	200 g + 200 g	<i>T.asperellum</i> T34 + sorbate de potassium	T34 + adjuvant	200 g + 200 g	<i>T.asperellum</i> T34 + sorbate de potassium	T34 + adjuvant	200 g + 200 g	<i>T.asperellum</i> T34 + sorbate de potassium
15 = Ref4T	BRAVO	1	chlorothalonil (500g)	BRAVO	1	chlorothalonil (500g)	BRAVO	1	chlorothalonil (500g)	BRAVO	1	chlorothalonil (500g)

*Z37\* = Dernière Feuille Pointante ; Z39\*\* = Dernière Feuille Étalée (=déclenchement Septo\_LIS®) ; Z61\*\*\* = Début floraison*

### 3.2.3 Déroulement de l'essai

#### a. Descriptif des modalités

Comme l'indique le Tableau X, la première modalité sert de témoin non traité, elle ne reçoit aucun traitement fongicide visant la septoriose.

- Les modalités 2, 3 et 4 reçoivent un seul traitement fongicide réalisé au stade « 2 nœuds » (Z32). La modalité 2 sert de référence haute, le produit est utilisé à une dose pratique apportant 500 g/ha de chlorothalonil tandis que la modalité 3 sert de référence basse. Le CHEROKEE est utilisé à demi-dose par rapport à la référence haute. Ces deux références permettent de mettre en évidence l'efficacité, s'il elle existe, de la modalité 3 qui est une association d'une dose réduite de CHEROKEE avec un produit de biocontrôle codé ALEXIN. Ce produit est testé en association uniquement avec une dose réduite de SDHI (triazole) dans la modalité 7 en positionnement tardif au stade dernière feuille pointante (Z39). Cette modalité est à comparer avec la modalité 5 qui sert de référence haute puisqu'il s'agit d'une dose pratique de SDHI (triazole) appliquée au stade Z39. La modalité 6 est une demi-dose d'ADEXAR de (SDHI triazole) positionnée au même stade, elle sert donc de référence basse.
- Les modalités 8 à 11 sont dans un programme à deux traitements réalisés aux stades « 2 nœuds » et dernière feuille étalée. Le traitement à dernière feuille étalée est identique pour ces quatre modalités, seul le premier traitement diffère. La modalité 8 sert de référence haute puisqu'il s'agit d'une dose pratique de CHEROKEE qui contient 500 g/ha de chlorothalonil et des triazoles (propiconazole et cyproconazole).
- Dans la modalité 9 se trouve le produit de biocontrôle codé ALEXIN en association avec du chlorothalonil. Etant donné qu'il y a la même quantité de chlorothalonil entre les modalités 8 et 9, la comparaison se fait entre l'ALEXIN et les triazoles. Les modalités 10 et 11 correspondent à une association de phosphites de potassium avec différentes concentrations en chlorothalonil et triazoles.
- Les modalités 12 et 13 correspondent aux produits de biocontrôle en développement chez Ceradis. Dans la modalité 12, le produit contient en plus un conservateur. Ces traitements sont appliqués quatre fois à la même dose. Ils sont à comparer avec la modalité 14 qui est un micro-organisme *Trichoderma asperellum*. La référence haute pour ces trois dernières modalités est la modalité 15 qui correspond à quatre applications de chlorothalonil (500g/L) aux stades « 2 nœuds », dernière feuille pointante, étalée et début de floraison.

#### b. Conditions d'application

Lors de la manipulation de produits phytosanitaires, le port d'un équipement individuel de protection (EPI) est obligatoire (gants, combinaison étanche, bottes, masque et lunettes de protection). De plus, pour être efficace, le traitement doit être effectué lorsqu'il y a une forte hygrométrie (>60 %) et que le vent est inférieur à 19 km/h.

La substance active utilisée dans la modalité 14 est un micro-organisme, *Trichoderma asperellum*. Étant un organisme vivant, il a besoin de conditions particulières pour se conserver et se développer. C'est pourquoi, l'application de cette modalité doit être réalisée le soir, lorsque la luminosité est faible. D'après le distributeur AGR, la forte hygrométrie de la nuit et cette faible luminosité devraient permettre le bon développement du champignon à la surface de la feuille.

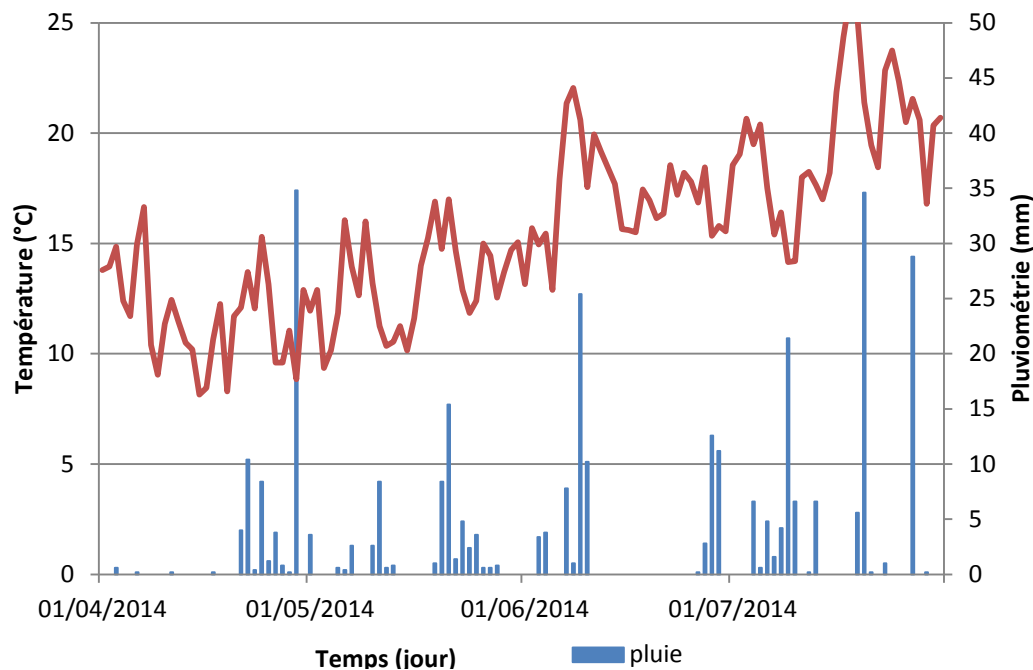


Figure 18 : Diagramme température-pluviométrie des données météorologiques de la station de Boigneville du 01/04 au 31/07/14.

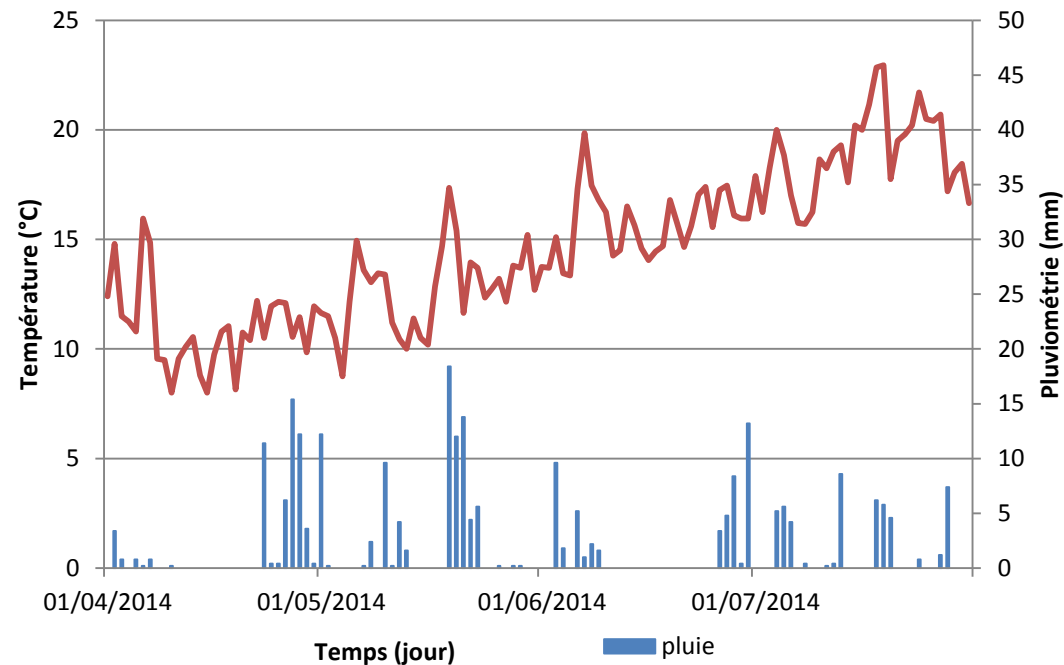


Figure 19 : Diagramme température-pluviométrie des données météorologiques de la station de La Jaillière du 01/04 au 31/07/14.

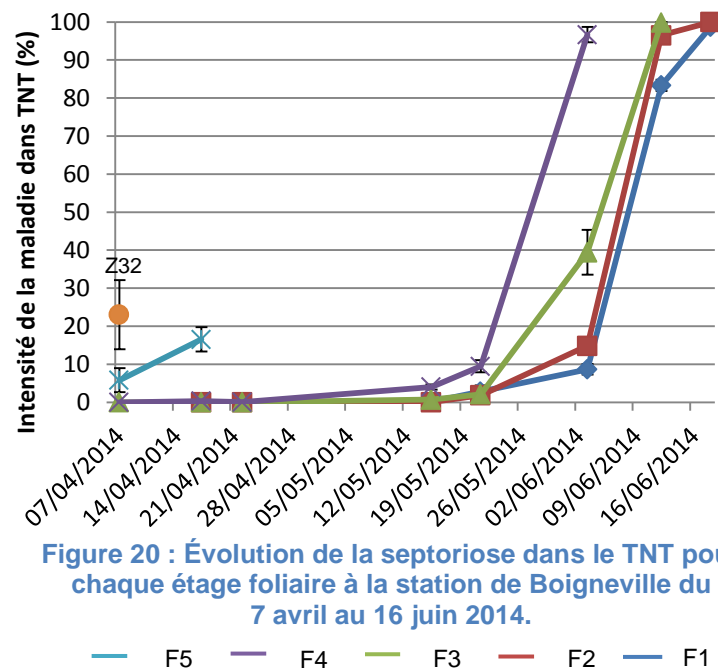


Figure 20 : Évolution de la septoriose dans le TNT pour chaque étage foliaire à la station de Boigneville du 7 avril au 16 juin 2014.

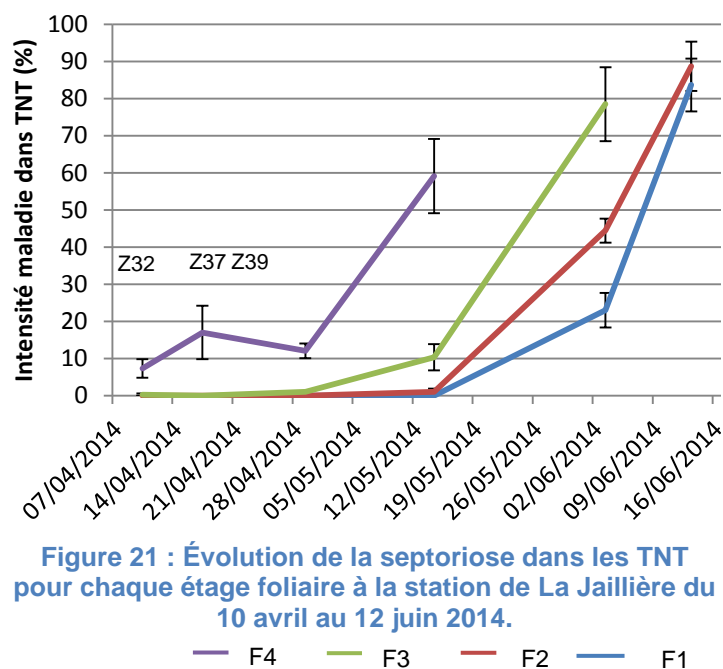


Figure 21 : Évolution de la septoriose dans les TNT pour chaque étage foliaire à la station de La Jaillière du 10 avril au 12 juin 2014.

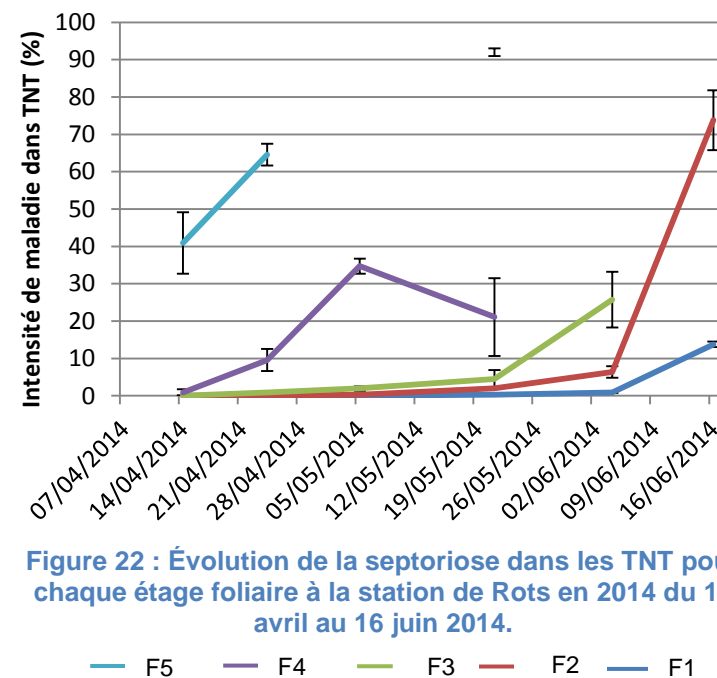


Figure 22 : Évolution de la septoriose dans les TNT pour chaque étage foliaire à la station de Rots en 2014 du 14 avril au 16 juin 2014.

#### b. Suivi de la culture

Les traitements de couverture et suivis sont identiques et réalisés au même moment que ceux de l'essai « SDP » mené à la station de Boigneville (cf : 3.1.3c).

### 3.2.4 Notations et analyses statistiques

Les notations et l'analyse statistique des données sont identiques à celles effectuées dans l'essai dit « SDP ». Il faut donc se référer aux paragraphes 3.1.4 et 3.1.5 p17 et 19 de ce rapport.

## 4. Résultats

### 4.1 Essais en réseau dit « SDP »

#### 4.1.1 Dynamique de la maladie par station

##### a. Station de Boigneville

- Conditions météorologiques

Le diagramme température-pluviométrie issu des données météorologiques de la station de Boigneville pour la période du 1<sup>er</sup> avril au 31 juillet (Figure 18), indique qu'après un mois de mars et un début d'avril sec (19 mm), la dernière décade a été très arrosée (64 mm). La température moyenne pour le mois est de 11.7°C. Au mois de mai, les températures journalières augmentent légèrement mais restent comprises entre 10 et 17°C. Au niveau des précipitations, il y a eu un total de 15 jours de pluie supérieurs à 1mm sur le mois de mai. Au début du mois de juin, les températures augmentent, elles sont comprises entre 15 et 20°C. C'est l'intervalle de température optimum pour le développement de la septoriose.

- Progression de la maladie

La septoriose est présente au début du mois d'avril, à la station de Boigneville, uniquement sur l'étage foliaire le plus bas, c'est-à-dire la F5 (Figure 20). Ce n'est qu'à partir de la dernière décade d'avril que les symptômes apparaissent sur la F4. La maladie continue de progresser et touche les étages foliaires supérieurs au cours du mois de mai. Au 12 juin, il y a respectivement plus de 83% et 95% de septoriose sur F1 et F2.

##### b. Station de La Jaillière

- Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques à la Jaillière sur la période du 1<sup>er</sup> avril au 31 juillet sont représentées sur la Figure 19. Elles sont similaires à celles relevées à Boigneville pour la même période ; c'est-à-dire un mois d'avril doux (10 à 15°C) avec une dernière décade pluvieuse, un mois de mai doux avec un total de 16 jours où la pluviométrie est supérieure à 1mm et un mois de juin plus chaud avec des températures entre 15 et 20 °C accompagnées de précipitations autour du 20 juin.

- Progression de la maladie

Au stade Z37 (DFP), au 17 avril, il y a environ 15 % de nécroses sur la F4 qui sont dues à la septoriose (Figure 22). Sur cet étage foliaire, le niveau de maladie va se maintenir jusqu'au début du mois de mai et ensuite, il va fortement augmenter pour atteindre près de 60 % au 15 mai. À cette date, les premiers symptômes sont visibles sur F3. Les mêmes observations qu'à la station de Boigneville sont faites, la septoriose est d'abord présente sur les étages foliaires du bas (F4) et progresse vers les étages supérieurs. Ainsi, au 3 juin, il y a respectivement 79 %, 44 % et 23 % de symptômes de septoriose sur les F3, F2 et F1 et la maladie continue de progresser puisqu'au 12 juin, il y a 84 % de maladie sur F1 et 89 % sur F2.

Tableau XI : Quantité d'ADN de *Septoria tritici* mesurée par qPCR sur les différents étages foliaires du témoin non traité lors des premières notations pour les trois lieux de l'essai « SDP ».

Lieu	Feuille	Date	qADN <i>S. tritici</i> pg/ng ADNtotal	Écart type
Boigneville	F1	28/04/2014	0.004	-
	F2	17/04/2014	pas quantifiable	-
	F3	07/04/2014	0.002	0.001
	F3	17/04/2014	0.005	0.006
	F4	07/04/2014	0.006	0.001
	F4	17/04/2014	0.020	0.010
La Jaillière	F1	29/04/2014	0.007	0.000
	F2	10/04/2014	0.353	0.599
	F2	17/04/2014	0.036	0.009
	F2	29/04/2014	0.013	0.002
	F3	10/04/2014	0.016	0.024
	F3	17/04/2014	0.623	0.461
	F3	29/04/2014	0.389	0.209
	F4	10/04/2014	1.063	0.335
	F4	17/04/2014	8.220	4.039
Rots	F1	05/05/2014	0.003	0.000
	F2	05/05/2014	0.024	0.011
	F3	14/04/2014	pas quantifiable	-
	F3	24/04/2014	0.050	0.010
	F3	05/05/2014	0.073	0.061
	F4	14/04/2014	0.027	0.025
	F4	24/04/2014	0.372	0.399
	F5	14/04/2014	0.801	0.949
	F5	24/04/2014	9.881	5.977

Pas quantifiable = limite de détection, la quantité d'ADN de *S. tritici* est < à 0.001 pg/ng d'ADN.  
L'écart type correspond à la variation de quantité d'ADN entre les trois blocs.

### c. Station de Rots

- Conditions météorologiques

Les données météorologiques du 01/04 au 31/07/14 de la station de Rots se trouvent en Annexe III. Elle montre que le mois d'avril a été frais avec une moyenne des températures de 11°C et sec jusqu'au 20 avril. À partir du 22 avril jusqu'au 10 juin, il y a eu 16 jours avec des précipitations supérieures à 1mm. Les températures du mois de juin, comprises entre 15 et 20°C, rentrent dans l'intervalle optimum du développement de la septoriose.

- Progression de la maladie

Au 21 avril à la station de Rots, l'intensité de maladie sur la F5 des parcelles non traitées est de 60 % tandis que sur la F4, elle est de 10 % (Figure 22). À cette date, les premiers étages foliaires, F1, F2 et F3 ne présentent aucun symptôme visuel de septoriose. Il faut attendre le 2 juin pour observer environ 25 % de maladie sur la F3. Au 16 juin, le niveau de maladie est de 14% pour la F1 et 74% pour la F2. En comparaison aux deux autres stations de La Jaillière (Z75 ; 88.7 %) et Boigneville (Z85 ; 96.5 %), pour cette même dernière date mais des stades différents, l'intensité de maladie est plus faible (Z71 ; 73.8 %).

### 4.1.2 Résultats des qPCR

Les analyses de la quantité d'ADN de *S.tritici* présente sur les feuilles des témoins non traités sont réalisées par PCR quantitative au laboratoire de Grignon. Ces analyses doivent confirmer les observations visuelles faites aux mêmes dates sur le terrain. Les résultats sont présentés dans le Tableau XI.

#### a. Station de Boigneville

Les résultats de qPCR de l'essai de Boigneville indiquent que la quantité de *S.tritici* augmente dans le temps et que c'est sur l'étage foliaire F4, qu'il y a une plus grande quantité d'ADN (0.02pg/ng d'ADN total au 17/04 sur F4).

#### b. Station de La Jaillière

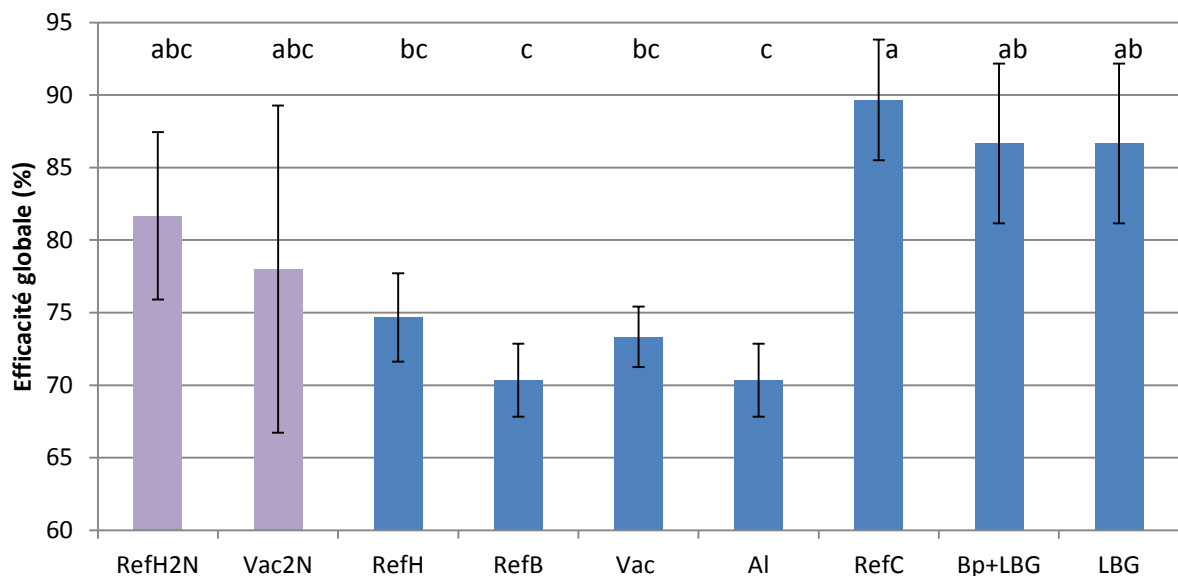
Les résultats de l'essai de La Jaillière suivent la même tendance, c'est-à-dire qu'il y a une plus forte quantité de septoriose sur les étages foliaires du bas, qui augmente ou se stabilise au cours du temps. Au 17 avril, la pression de maladie sur la F4 est plus forte sur l'essai de La Jaillière (8.2 pg/ng d'ADN) que sur l'essai de Boigneville (0.02 pg/ng d'ADN).

#### c. Station de Rots

Pour l'essai de Rots, la quantité de septoriose est faible sur les F3 et F4 au 14 avril. Au 24 avril, il y a une forte augmentation de la maladie sur tous les étages foliaires. La pression de maladie a continué à augmenter et au 5 mai, la quantité d'ADN de *S.tritici* est de 0.07 et 0.02pg/ng d'ADN total sur les F3 et F2 respectivement. À cette date, la maladie commence à arriver sur la F1.

### 4.1.3 AUDPC du regroupement des essais « SDP »

Avant d'effectuer la synthèse du réseau des trois essais « SDP », ces derniers ont été analysés par station. Il y a une bonne corrélation entre le rendement et l'AUDPC sur les différents étages foliaires et notamment avec la F2 pour les trois essais (Annexe IV) ; cela signifie que plus le niveau de septoriose est élevé sur l'étage foliaire, plus faible sera le rendement. Cependant, dans la synthèse des trois essais, le niveau de maladie est trop hétérogène entre les sites pour obtenir des résultats statistiques viables. Le test de Bartlett qui permet de vérifier l'égalité des variances n'est pas respecté pour la modalité « site » dans l'analyse de l'AUDPC sur F2 (p. value « site » = 0.02). De plus, le test de Grubbs n'a détecté aucune valeur aberrante (p. value :  $6.7 \times 10^{-3}$ ).



**Figure 25 : Efficacité du programme de traitements contre la septoriose – regroupement des 3 essais.**

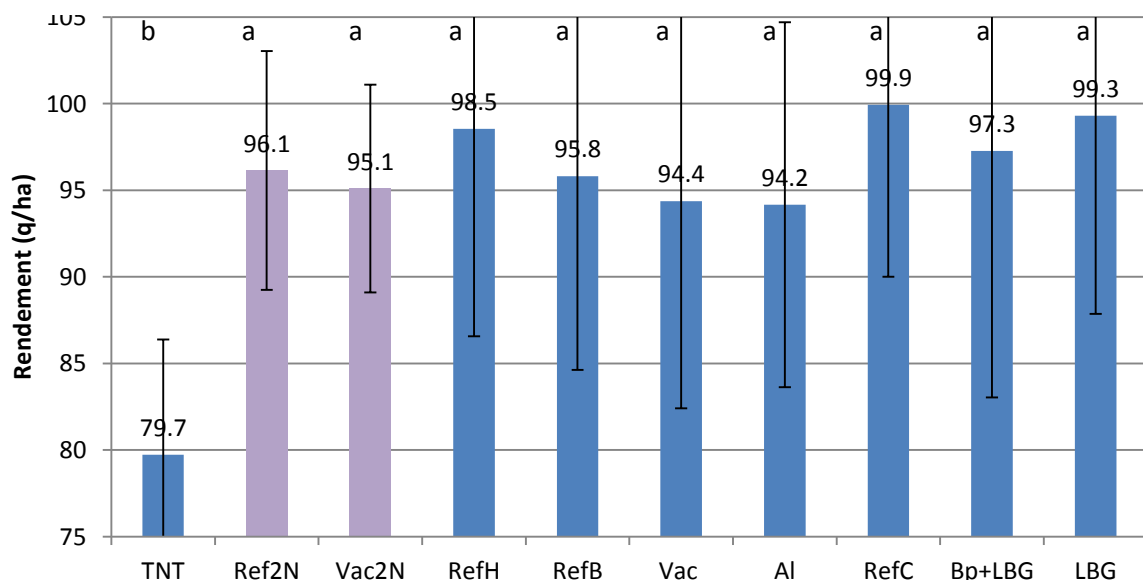
Efficacité globale = moyenne des efficacités de F1F2 à 20 et 30 jours après le dernier traitement pour les trois essais. ETR = 5.1

Les groupes homogènes sont obtenus par la méthode de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) ; p. value modalité =  $8.8 \times 10^{-4}$  et p. value site = 0.14

Barre d'erreur = écart type entre les 3 essais.

L'intensité de maladie dans les témoins non traités sur les F1F2 à cette période est de 55%.

Violet = 1<sup>er</sup> traitement stade « 2 nœuds » ; bleu = 1<sup>er</sup> traitement déclenchement Septo\_LIS®



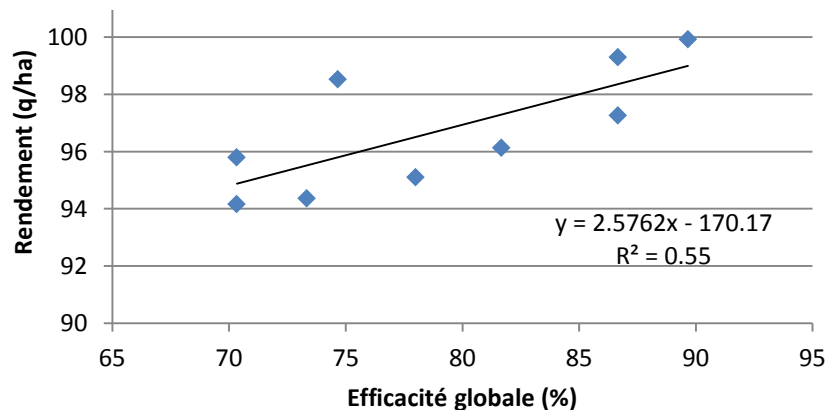
**Figure 23 : Rendement des différentes modalités – Regroupement des 3 essais (91,44,14).**

Le rendement correspond à la moyenne des rendements des trois essais. ETR = 3.11

Les groupes homogènes sont obtenus par la méthode Tukey ( $\alpha=0.05$ ) ; p. value modalité =  $1.9 \times 10^{-5}$  et p. value site =  $1.4 \times 10^{-10}$

Barre d'erreur = écart type entre les 3 essais.

Violet = 1<sup>er</sup> traitement stade « 2 nœuds » ; bleu = 1<sup>er</sup> traitement déclenchement Septo LIS®



**Figure 24 : Rendement rendement en fonction de l'efficacité globale des différentes modalités**

Efficacité globale = moyenne des efficacités de F1F2 à 20 et 30 jours après le dernier traitement pour les trois essais.

L'intensité de maladie dans les témoins non traités sur les F1F2 à cette période est de 55%.

Le rendement correspond à la moyenne des rendements des trois essais.

Les groupes homogènes sont obtenus par la méthode de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).



#### 4.1.4 Efficacité globale du programme de traitements

L'efficacité globale correspond à la moyenne des efficacités des F1 et F2 à 20 et 30 jours après le dernier traitement contre la septoriose sur les trois stations. Pour cette variable, les tests statistiques validant les conditions d'application de l'Anova à deux facteurs sont respectés (p. value du test de Shapiro = 0.17 ; p. value du test de Bartlett pour les résidus de la variable « site » = 0.21 et p. value du test de Bartlett sur les résidus de la « modalité » = 0.75). L'analyse indique qu'il y a un effet modalité (p. value =  $8.8 \times 10^{-4}$ ).

La Figure 25 représente les résultats du regroupement des trois essais de l'efficacité globale du programme de traitements pour chaque modalité. La modalité RefC (référence CHEROKEE) est celle qui a la meilleure efficacité globale (environ 90 %). Cette modalité n'est significativement pas différente de l'association BUMPER P + LBG (Bp+LBG), de la modalité LBG chloro (LBG) et des deux modalités qui ont reçu le premier traitement au stade « 2 nœuds » (RefH2N et Vac2N). Les modalités ayant reçu le premier traitement au stade déclenchement Septo\_LIS® (dernière feuille pointante) et sans chlorothalonil ont une efficacité globale plus faible. Même s'il n'y a pas de différence significative entre ces traitements, la logique est respectée puisque la référence haute (RefH) a une efficacité globale supérieure à la référence basse (RefB). Le VACCIPLANT en association avec la référence basse (Vac) a tendance à avoir une meilleure efficacité globale que la référence basse seule (RefB) mais reste tout de même moins efficace que la référence haute (RefH). Le produit codé ALEXIN en association avec la référence basse (Al) n'est significativement pas différent de la référence basse seule (RefB).

#### 4.1.5 Rendement

La comparaison des moyennes de rendement entre les trois sites d'expérimentation indique qu'il n'y a pas d'effet modalité autre que la différence entre le témoin non traité (TNT) et les autres modalités. Le témoin non traité a un rendement plus faible que les autres modalités de 20q/ha. Le même résultat a été constaté lors de l'analyse du rendement pour les sites de Boigneville et La Jaillière. Par contre l'analyse de variance du rendement du regroupement des trois essais, dont tous les tests de validation des conditions d'application sont vérifiés, montre qu'il y a un effet « site ». En effet le rendement de l'essai à la station de Rots est significativement plus élevé, au seuil de risque 5 % que dans les essais des stations de Boigneville et La Jaillière (Annexe V).

D'après la Figure 23, bien qu'il n'y ait pas de différence significative pour la variable « modalité », la référence CHEROKEE (RefC) ainsi que les autres modalités à base de chlorothalonil (Bp+LBG et LBG) semblent avoir un rendement plus élevé que les autres, tout comme la référence haute (RefH) dont le premier traitement a été positionné au stade de déclenchement Septo\_LIS® (dernière feuille pointante).

Ces observations rejoignent les résultats obtenus lors de l'analyse du rendement à la station de Rots (Annexe V) qui indiquent que les modalités Bp+LBG et LBG ont les meilleurs rendements même si elles ne sont pas significativement différentes des modalités RefC, RefH et Vac dont le premier traitement a lieu au stade Z37 (DFP). De plus, les résultats de la station de Rots révèlent que les modalités Ref2N et Vac2N qui sont appliquées au stade « 2 nœuds » ainsi que la modalité Al, appartiennent au même groupe homogène c et ont un rendement qui n'est significativement pas différent des autres modalités.

#### 4.1.6 Corrélation rendement/efficacité globale

Il semble y avoir une assez bonne corrélation entre l'efficacité globale du programme de traitements et le rendement en blé puisque le  $R^2$  est de 0.55 (Figure 24). Plus l'efficacité contre la septoriose est élevée, plus le rendement est élevé.

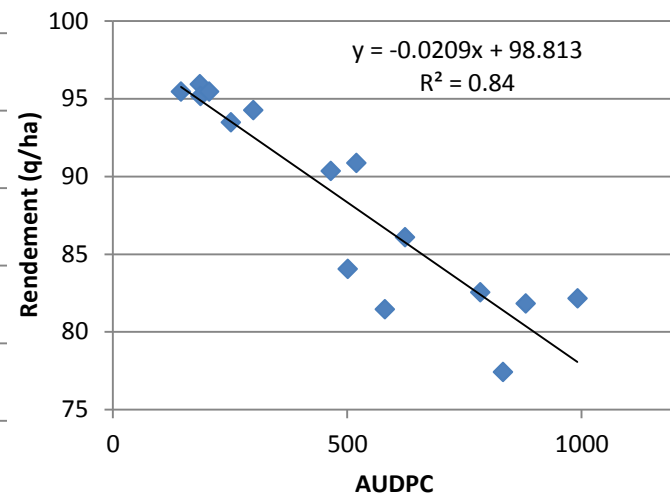
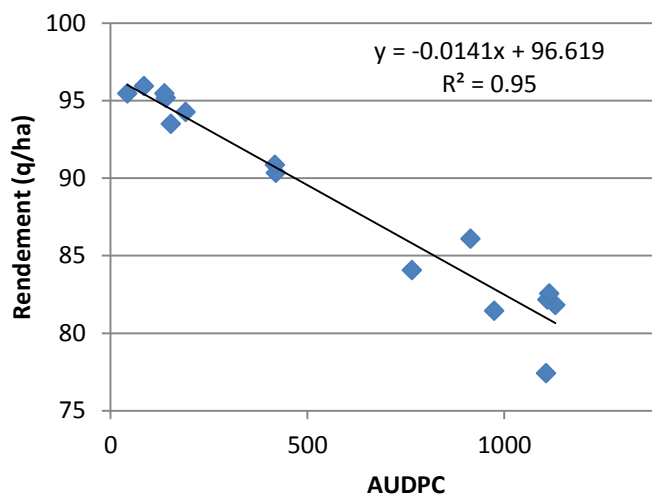
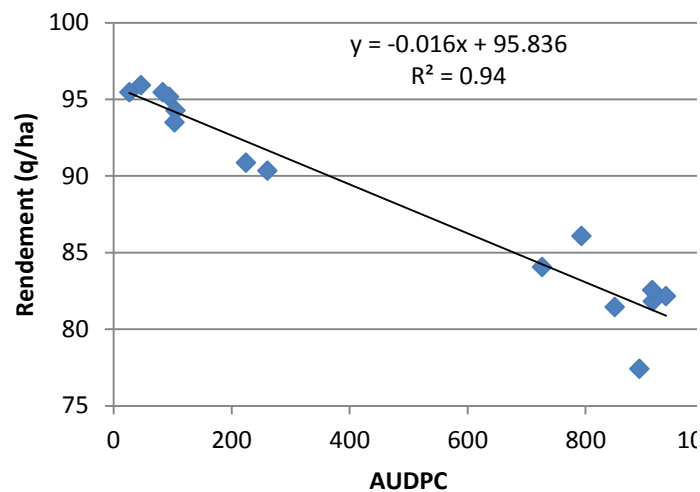


Figure 26 : Relation entre le rendement de l'essai « BioCT » et l'AUDPC sur la F1 du 21 mai au 18 juin..

Figure 27 : Relation entre le rendement et l'AUDPC sur la F2 du 21 mai au 18 juin.

Figure 28 : Relation entre le rendement et l'AUDPC sur la F3 du 21 mai au 11 juin.

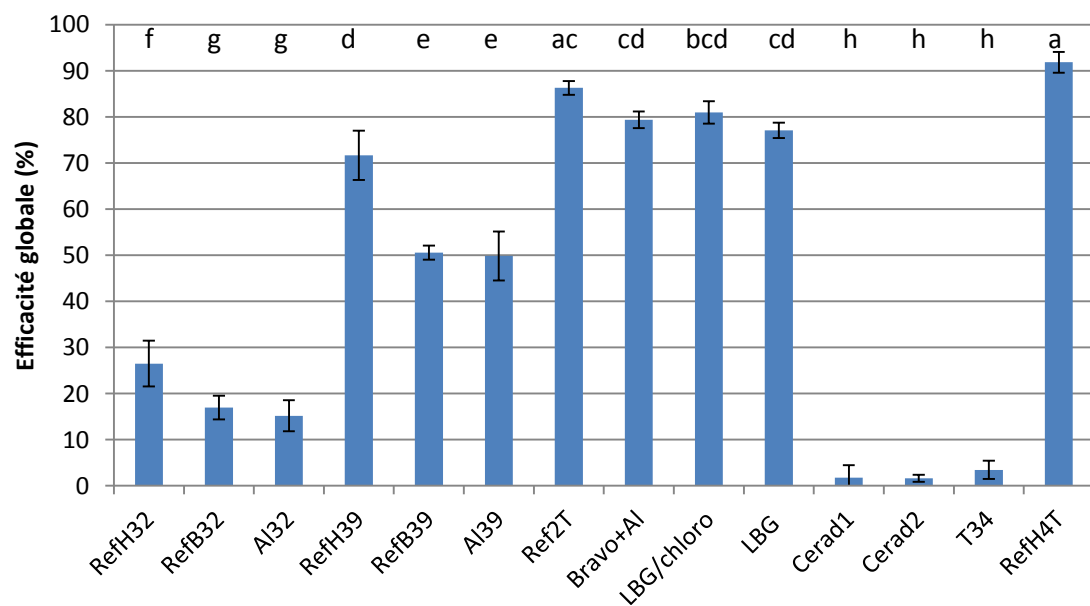


Figure 29 : Efficacité des programmes de traitements contre la septoriose par rapport au TNT.

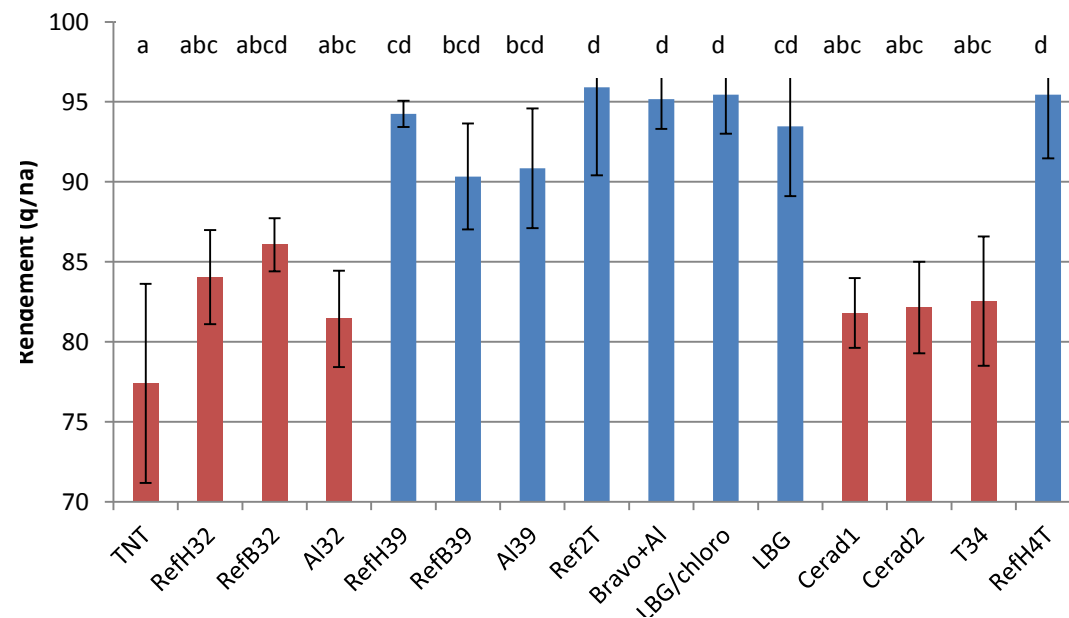


Figure 30 : Rendement en blé de la variété GARCIA pour chaque modalité de l'essai « BioCT ».

Efficacité globale = moyenne des efficacités de F1F2F3F4 au 02/06, F1F2F3 au 11/06 et F1F2 au 18/06.

ETR = 3.1 ; p. value modalité =  $2.0 \times 10^{-16}$  et p. value bloc = 0.52

Les groupes homogènes sont obtenus par la méthode de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

L'intensité de maladie dans les témoins non traités sur les étages foliaires à cette période est de 74%.

ETR = 3.5 ; p. value modalité =  $1.2 \times 10^{-7}$  et p. value bloc = 0.20

Les groupes homogènes sont obtenus par la méthode de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

Rouge = modalité non significativement différente du témoin non traité (TNT)

## 4.2 Essai à Boigneville dit « BioCT »

### 4.2.1 Dynamique de la maladie

Les résultats sont identiques à ceux présentés dans l'essai « SDP » à la station de Boigneville (cf paragraphe 4.2.41.a.). La nuisibilité pour l'essai « BioCT » est de 18.5 q/ha. L'essai est donc validé.

### 4.2.2 qPCR

Les résultats sont identiques à ceux présentés dans l'essai « SDP » à la station de Boigneville (4.2.31.a).

### 4.2.3 Corrélation entre le rendement et l'AUDPC

D'après les Figure 26, Figure 27 et Figure 28 qui représentent le rendement de l'essai « BioCT » en fonction de l'AUDPC pour chaque étage foliaire (F1, F2 et F3), il y a une bonne corrélation entre ces deux variables. Cela signifie que plus la valeur de l'AUDPC est élevée et donc que le niveau de septoriose est important, plus le rendement sera faible. Avec un  $R^2$  de 0.95, c'est avec l'AUDPC de la F2 sur la période du 21 mai au 18 juin que la corrélation est la plus importante.

### 4.2.4 Efficacité globale du programme de traitement

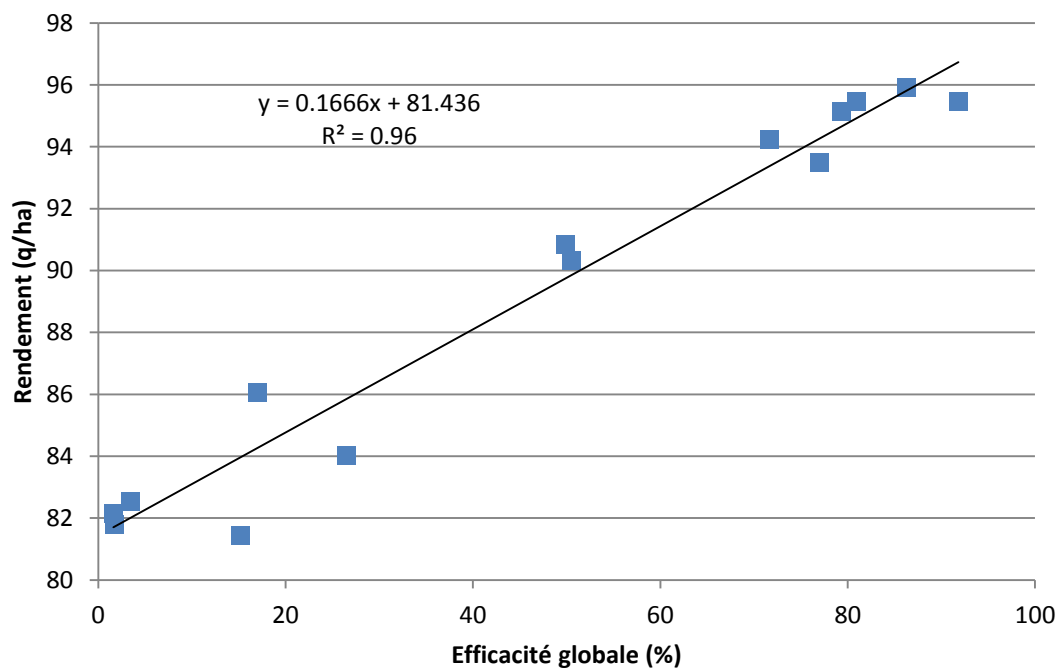
L'efficacité la plus faible est observée pour les modalités Cerad1, Cerad2 et T34. Elles correspondent aux produits de biocontrôle qui ont été appliqués quatre fois (Figure 29). En comparaison, la référence fongicide qui a aussi été appliquée quatre fois (modalité Ref4T) a la meilleure efficacité comme la modalité Ref2T qui correspond à la référence haute de la stratégie à deux traitements. Il n'y a pas de différence significative entre les modalités de la stratégie à deux traitements (modalités Ref2T à LBG). Toutefois, la modalité LBG qui correspond à une association de CHEROKEE à dose réduite avec du phosphonate de potassium a tendance à avoir une efficacité plus faible que les modalités RefC, Bravo+Al et LBG/chloro qui font partis de la même stratégie de positionnement des traitements.

Les modalités entrant dans la stratégie à un traitement positionné au stade « 2 nœuds » (Z32)(modalités RefH32, RefB32 et Al32) ont une faible efficacité globale. Cependant, la modalité RefH32, dose pratique de CHEROKEE, est significativement plus efficace que la modalité RefB32 qui est une dose réduite du même produit et de la modalité Al32 qui est une association de la dose réduite de CHEROKEE avec le produit codé ALEXIN.

Le même constat est observé dans la stratégie à un traitement positionné au stade Z39 (DFE). Cela signifie que la modalité RefH39 qui est la dose pratique d'ADEXAR est plus efficace que les modalités RefB39 et Al39 qui sont respectivement une dose réduite d'ADEXAR et une association d'ADEXAR dose réduite avec le produit codé ALEXIN.

### 4.2.5 Rendement

Les modalités RefH32, RefB32, Al32, Cerad1, Cerad2 et T34 appartiennent au groupe homogène d (Figure 30). Elles ne sont pas significativement différentes du témoin non traité (TNT). Les modalités RefH32, RefB32 et Al32 correspondent à la stratégie à un traitement positionné au stade Z32 et les modalités Cerad1, Cerad2 et T34 aux produits de biocontrôle appliqués quatre fois. Les meilleurs rendements correspondent aux modalités appartenant au groupe homogène a. Il s'agit des modalités RefH39 à LBG et Ref4T. Bien qu'il n'y ait pas de différence significative, les modalités entrant dans la stratégie à deux traitements (modalités Ref2T à LBG) ont un rendement supérieur à celles appartenant à la stratégie à un traitement positionné au stade Z39 (DFE) (modalités RefH39, RefB39 et Al39). Parmi les modalités de la stratégie à un traitement positionné au stade Z39 (DFE), la



**Figure 31 : Relation entre le rendement en blé et l'efficacité globale du programme de traitements de l'essai "BioCT".**

*Efficacité globale = moyenne des efficacités de F1F2F3F4 au 02/06, F1F2F3 au 11/06 et F1F2 au 18/06.  
L'intensité de maladie dans les témoins non traités sur les étages foliaires à cette période est de 74%.*

modalité RefH39 qui est la dose pratique d'ADEXAR a un meilleur rendement que les modalités RefB39 et Al39 qui correspondent respectivement à la dose réduite du même produit et à la dose réduite associée au produit codé ALEXIN. Le faible écart de rendement entre Ref2T et RefH39 (1.7 q/ha) montre que le poids du T1 à « 2 nœuds » a eu peu d'impact dans les conditions de cet essai.

#### 4.2.6 Corrélation rendement/efficacité globale

Pour l'essai « BioCT », il existe une forte corrélation entre le rendement en blé et l'efficacité globale du programme de traitements puisque le  $R^2$  est de 0.96. Comme l'indique la Figure 31, plus l'efficacité du programme contre la septoriose est élevée, plus le rendement est important.

## 5. Discussion et perspectives

### 5.1 Essais en réseau dit « SDP »

#### 5.1.1 Validité de l'essai

Les conditions météorologiques sur les trois stations d'expérimentation (Boigneville, La Jaillière et Rots) ont permis le développement de septoriose. La pression maladie de cette année 2014 a été plutôt tardive. Les pluies ayant activé la préconisation du 1<sup>er</sup> traitement donné par le modèle agronomique de prédiction de la septoriose Septo\_LIS<sup>®</sup> sont celles de la dernière décade d'avril sur les trois sites. (À Rots 33 mm - 24 avril ; à La Jaillière 11.4 mm - 23 avril et Boigneville 22 mm d'irrigation le 16 et 18 avril en plus des pluies du 22 avril). Ces pluies ont permis la première contamination des étages foliaires supérieurs (F1, F2 et F3).

Les premières notations de septoriose sur les témoins non traités sont faibles. Au mois d'avril, les symptômes ne sont visibles que sur les F4 et F5. Il faut attendre le milieu du mois de mai pour observer des symptômes sur les étages foliaires supérieurs pour les stations de Boigneville et La Jaillière. La variété Bermude mise en place à Rots est plus tardive, il faut donc attendre le début du mois de juin pour voir des symptômes. Le temps d'incubation de *S.tritici* correspond à environ 300°jour soit environ trois semaines à une température journalière de 14°C (Caron, 2000). Cela confirme que ce sont les pluies de la dernière décade d'avril qui ont contaminé les étages foliaires supérieurs.

Étant donné que les températures du mois de mai et juin ne sont pas très élevées, le développement du champignon a été tardif cette année. L'intervalle optimum de températures (15 à 20°C) qui permet le développement de *S.tritici* a été atteint uniquement au mois de juin pour les trois stations (Oxley et al., 2014).

Les conditions météorologiques de cette année ont été favorables au développement de la rouille jaune. La variété Garcia implantée à la station de Boigneville a été particulièrement sensible à cette attaque précoce de *P.striiformis* à tel point que deux traitements spécifiques ont dû être réalisés (Annexe II). L'attaque a été maîtrisée et comme le montre les résultats la pression de septoriose a été satisfaisante. De manière générale, un écart de 17 q/ha entre le TNT et la meilleure modalité indique que la nuisibilité a été moyenne. Ici, dans le cas du regroupement des trois essais, l'écart est de 20 q/ha, cela signifie que la nuisibilité est moyenne à forte et que les essais sont validés.



### 5.1.2 Synthèse du réseau de 3 essais « SDP »

#### a. Efficacité globale des programmes de traitements

- Différence d'efficacité entre chlorothalonil et triazoles à Z39

Les produits et la dose utilisés pour le deuxième traitement sont identiques pour toutes les modalités. C'est donc bien le premier traitement et le positionnement du deuxième traitement servant de relais qui impactent l'efficacité globale.

Pour un positionnement au même stade Z37 (DFP), les modalités à base de chlorothalonil sont plus efficaces que celles contenant des triazoles. Le chlorothalonil est une molécule de contact multisite. Après l'application il reste à la surface des feuilles et empêche la pénétration des spores dans les feuilles. Contrairement aux triazoles, molécules pour lesquelles le risque d'apparition de souches de *S. tritici* résistantes est assez fort, le chlorothalonil a un intérêt supplémentaire puisqu'il a un risque faible (ARVALIS-Institut du végétal, 2014 ; Fishel, Dewdney, 2006).

- Différences de positionnement des triazoles entre Z32 et Z39

D'après les résultats d'efficacité du regroupement des trois essais, pour les modalités à base OSIRIS WIN + PYROS EW, le positionnement au stade «2 nœuds » (Z32) du premier traitement semble plus efficace que le positionnement du 1<sup>er</sup> traitement au stade Z37 (DFP) (déclenchement Septo\_LIS®). Ce résultat est significatif dans l'essai SDP de Boigneville (Annexe VI).

OSIRIS WIN + PYROS EW sont des fongicides préventifs à base de triazoles et d'imidazoles. Les résultats de qPCR montrent qu'il y avait peu de septoriose sur les F3 et F4 au moment de l'application du 1<sup>er</sup> traitement. Cela suggère qu'il a bien été réalisé de façon préventive.

L'efficacité plus faible de ces produits au stade Z37 peut s'expliquer par le fait que le positionnement du 2<sup>ème</sup> traitement relais a été trop tardif. Les experts d'ARVALIS disent que le temps entre deux applications ne doit pas excéder en cas de forte nuisibilité, les vingt jours pour que le traitement relais ne soit pas positionné en curatif sur F1 (Couleaud, 2014). Dans le cas du 1<sup>er</sup> traitement à Z32, ce délai a été respecté. De même à la station de Rots puisque l'écart entre le 1<sup>er</sup> traitement à Z37 et le 2<sup>ème</sup> à Z51 est de vingt et un jours. Or, à la station de Boigneville et La Jaillière, l'écart entre les deux traitements depuis celui à Z37 est de vingt-sept jours (Tableau V). Cela explique aussi pourquoi l'efficacité est supérieure pour les modalités positionnées avec Septo\_LIS® à la station de Rots. À Boigneville et à La Jaillière, le relais sur la F2 a été un peu trop tardif pour les modalités sans chlorothalonil au premier traitement (Annexe VI).

- Les stimulateurs de défense des plantes (SDP)
  - Les associations avec le phosphite de potassium (LBG/chloro)

En tenant compte du critère de résistance aux triazoles évoqué précédemment, la modalité LBG est intéressante car elle permet d'obtenir la même efficacité que la modalité Bp+LBG sans utiliser de triazoles. De plus, bien qu'ayant une dose de chlorothalonil supérieure (750 g), l'IFT de la modalité LBG est plus faible que celui de l'association avec des triazoles (Bp+LBG) (Annexe VII). Afin de comparer efficacement les modalités Bp+LBG et LBG, il faudrait ajouter au protocole une modalité contenant du phosphite de potassium avec 500 g de chlorothalonil.

Le phosphite de potassium est un stimulateur de défense des plantes issu de la synthèse chimique. Cette molécule induirait des gènes de défense en utilisant la voie de l'acide salicylique. Elle empêcherait également la pénétration du champignon à l'intérieur de la feuille, en provoquant une augmentation précoce du dépôt de callose (Machinandarena et al., 2012). Dans une stratégie à deux traitements, l'association du phosphite de potassium





avec un fongicide classique permet d'obtenir les mêmes rendements que la référence haute correspondante. C'est donc un produit très intéressant d'un point de vue environnemental et économique (Annexe VII). Afin de mettre en avant, l'intérêt du phosphite contenu dans la modalité LBG/chloro, il faudrait ajouter une modalité contenant uniquement 750 g de chlorothalonil pour disposer d'une comparaison de produit.

- ALEXIN

Le produit codé ALEXIN, stimulateur de défense des plantes, ne permet pas d'augmenter l'efficacité de la référence basse lorsqu'il est en association avec une dose réduite d'un fongicide classique. La méconnaissance de la molécule employée empêche de discuter son comportement.

- VACCIPLANT GC

VACCIPLANT GC est également un stimulateur de défense des plantes. Son association avec une dose réduite de fongicide donne de meilleurs résultats que l'ALEXIN. Les différences ne sont pas significatives entre les références hautes, basses et l'association avec le VACCIPLANT au stade Z37 (DFP). Toutefois, le produit VACCIPLANT GC semble permettre d'augmenter l'efficacité de la référence basse car le niveau d'efficacité de l'association des produits a tendance à être supérieur à celui de la référence seule lors du positionnement au stade Z37 (DFP). Avec cette association, l'IFT a été diminué en comparaison à la référence haute correspondante (RefH) mais le coût du programme a légèrement augmenté (Annexe VII). De plus, l'efficacité de l'association (Vac) reste en deçà de l'efficacité de la référence haute (RefH). L'efficacité de l'association (Vac) serait donc un intermédiaire entre la référence basse (RefB) et haute (RefH). Pour confirmer ce résultat avec le positionnement au stade Z32, il faudrait mettre en place la modalité dose réduite de l'association VACCIPLANT + OSIRIS WIN + PYROS EW au stade Z32 qui n'a pas pu être étudiée cette année par manque de place dans l'essai.

Dans d'autres essais ARVALIS, une autre association avec VACCIPLANT est testée. Il n'est plus associé à des triazoles comme dans les essais « SDP » mais il est associé à 0.8 L/ha de CHEROKEE au stade Z37 et relayé par 0.8 L/ha d'ADEXAR au stade Z55. D'après l'analyse de trois essais, son efficacité sur la F2 n'est significativement pas différente de la dose réduite 0.8 L de CHEROKEE seule. Cependant, au niveau de l'efficacité sur la F2, l'association avec le VACCIPLANT a tendance à être intermédiaire entre la dose réduite seule et la dose pratique de 1.6 l/ha de CHEROKEE ; ce qui semble venir confirmer les résultats acquis dans les essais « SDP » (ARVALIS, communication personnelle). Les tendances observées sur l'efficacité ne ressortent pas au niveau du rendement. Aucun gain par rapport à la référence basse n'est obtenu.

#### b. Rendement

Dans le regroupement des résultats « SDP », il n'y a pas de différence significative entre les différentes modalités pour la variable rendement mais un effet « site » a été mis en avant. La station de Rots a un rendement supérieur aux deux autres. Le potentiel de rendement du sol, les conditions météorologiques ainsi que les variétés différentes entre les stations peuvent expliquer ce résultat.

## 5.2 Essai à Boigneville dit « BioCT »

### a. Efficacité globale du programme de traitements

- Stratégie à quatre traitements

- Les produits Ceradis

Les produits Ceradis ont la plus faible efficacité globale parmi toutes les modalités testées. Malgré les quatre applications de produits, l'efficacité globale du programme de traitements



ne dépasse pas les 5 %. Si la natamycine est bien la substance active contenue dans ces deux produits, alors le fait qu'elle soit photosensible pourrait expliquer ce résultat (FAO, OMS, 2000). Les produits Ceradis ont été testés dans d'autres essais pour lutter contre la fusariose du blé qui est également causée par un champignon Ascomycète (*Fusarium graminearum*) comme la septoriose. En application foliaire, ces produits n'ont pas montré de résultats satisfaisants. Toutefois, ils ont également été testés en enrobage de semence et là, ils se sont révélés efficaces (Robin, 2014). Ce résultat suggère que la lumière empêcherait le fonctionnement de ce fongicide naturel.

- Le micro-organisme *T.asperellum* souche T34

La faible efficacité de la modalité T34, suggère que la souche T34 du champignon *Trichoderma asperellum* n'a pas réussi à jouer son rôle de stimulateur de défense des plantes. D'après un article de Nawrocka & Małolepsza, 2013, la mise en place des défenses chez la plante est réalisée par les hyphes mycéliens. Or selon les conditions environnementales, le champignon va changer de forme de reproduction. Dès qu'il est à la lumière, il change pour la reproduction asexuée et prend la forme de conidies (Carreras-Villasenor et al., 2012). Il ne développe donc pas d'hyphes mycéliens. Malgré le respect des conditions d'application spécifiques c'est à dire le soir, avec une humidité relative supérieure à 70 %, le développement mycélien de ce champignon microscopique a pu être difficile (Annexe VIII). Dans les jours et semaines qui ont suivi les traitements, aucun symptôme de la présence de *T.asperellum* n'était visible à l'œil nu. Il serait intéressant d'envisager une détection moléculaire de ce champignon pour quantifier sa présence et son développement sur les feuilles.

Le mode d'application du produit T34 est peut-être à revoir. Une application directement dans le sol de la souche T34 de *T.asperellum* est à réfléchir. Cette méthode a donné de bons résultats sur des cultures légumières (Segarra et al., 2007). Dans ces conditions, le champignon se retrouverait dans son milieu naturel et pourrait ainsi développer des hyphes. Toutefois, dans des cultures comme le blé, il est difficile de mettre en place des essais avec des traitements au niveau du sol. Il faudrait donc envisager de faire l'application du T34 en même temps que le semis ou d'envisager un enrobage de semence.

- La référence à quatre traitements de chlorothalonil (Ref4T)

La référence haute de la stratégie à quatre traitements qui correspond à quatre applications de Bravo à 1 L/ha est la modalité la plus efficace. Dans cette modalité, c'est un total de 2000 g/ha de chlorothalonil qui a été appliqué. Or, dans la réglementation française, seulement deux applications de Bravo sont autorisées par an, ce qui fait un total de 1250 g/ha de chlorothalonil (e-phy, 2014). Cette modalité, bien qu'efficace contre la septoriose, avec un faible risque d'apparition de résistance et peu coûteuse pour l'agriculteur, ne peut pas être recommandée dans les conditions actuelles d'utilisation (Annexe IX). Ici, cette modalité a une fonction de référence mais les résultats ressortant de l'analyse illustrent son potentiel. Il serait intéressant de tester le produit avec un nombre d'applications réduit à trois, en supprimant le 1<sup>er</sup> traitement, ce qui permettrait en même temps de réduire l'IFT et d'être compatible à la réglementation.

- Stratégie à un traitement

L'efficacité globale des modalités qui ont reçu l'application du traitement au stade Z32 (« 2 nœuds ») ont une moins bonne efficacité que le positionnement au stade Z39 (DFE). Ceci s'explique par le fait qu'au stade « 2 nœuds », toutes les feuilles définitives ne sont pas encore sorties. Au stade Z32, la F2 (définitive) est tout juste pointante tandis qu'au stade Z39 (DFE), le blé a atteint son architecture foliaire définitive (ARVALIS-Institut du végétal (France), 2007). Toutes les feuilles sont présentes et elles sont donc toutes protégées par le



traitement. Le fait que cette année le développement de la septoriose ait eu lieu tardivement a renforcé l'intérêt du traitement positionné au stade Z39.

Que ce soit positionné au stade Z32 en association avec une dose réduite de CHEROKEE ou alors positionné au stade Z39 (DFE) en association avec une dose réduite d'ADEXAR, le produit codé ALEXIN n'est significativement pas différent de la référence basse correspondante (dose réduite seule).

- Stratégie à deux traitements
  - L'intérêt du 2<sup>ème</sup> traitement

La modalité RefH39 qui correspond à la dose pratique haute d'ADEXAR dans la stratégie à un traitement positionné à Z39 (DFE) permet de montrer le faible poids du 1<sup>er</sup> traitement dans la stratégie à deux traitements. Puisque le développement de la maladie a été tardif cette année, le 2<sup>ème</sup> traitement qui a permis de lutter efficacement contre la septoriose. Afin de savoir s'il a été positionné de manière curative, il aurait été utile d'ajouter au protocole une analyse qPCR, positionnée avant ce traitement à Z39 (DFE).

- ALEXIN

Le produit codé ALEXIN a été testé en association avec différentes matières actives et à différents stades du blé. Dans toutes ces situations, il n'a pas réussi à stimuler la défense du blé car son efficacité reste équivalente à celle de la référence basse correspondante. Comme dans le réseau d'essais « SDP », la méconnaissance de la matière active empêche de discuter ces résultats. D'après les renseignements fournis par l'entreprise, il s'agirait d'une substance dont le mode d'action serait similaire à l'acide salicylique. D'autres produits au même mode d'action comme le Bion, ont été testés les années précédentes par ARVALIS sur le blé. Les résultats indiquaient que couplé à 250 g de chlorothalonil, le produit semblait plus efficace que les 250 g seul mais l'association restait significativement moins efficace que la dose pratique haute de 500 g de chlorothalonil (ARVALIS résultats d'essais, 2009).

- LBG/chloro

Que les phosphites de potassium soient en association avec seulement du chlorothalonil (LBG) ou avec du chlorothalonil et des triazoles (LBG/chloro), l'efficacité de la modalité est la même. Ces modalités ne sont pas significativement différentes de la référence haute qui correspond à la dose pratique de CHEROKEE (RefC : 500 g de chlorothalonil avec 150 g de triazoles) mais elles ont tendance à être moins efficaces. La dose de phosphites utilisée (1125 g) dans la modalité LBG est peut-être trop faible pour compenser le manque de triazoles. Comme dans les essais « SDP », cette modalité est intéressante du point de vue de l'apparition des résistances puisqu'elle n'utilise pas de triazoles. Pour mettre en avant l'intérêt des phosphites, il faudrait ajouter d'autres modalités avec des doses en phosphites supérieures et faire varier les concentrations en chlorothalonil de 250 à 750 g. L'article de Jackson et *al.* de 2000 indique qu'avec une forte concentration, la molécule peut agir directement sur l'agent pathogène en inhibant sa croissance et avant qu'il puisse établir une liaison avec l'hôte.

## b. Rendement

La forte corrélation entre le rendement et l'efficacité globale du traitement indique que les modalités à forte efficacité auront un fort rendement. Ceci explique que les produits Ceradis et le micro-organisme *T.asperellum*, malgré les quatre applications n'ont pas un rendement significativement différent du TNT. À l'inverse, les meilleurs rendements sont obtenus avec les modalités pour lesquelles la septoriose a causé le moins de nécroses sur les étages foliaires F1 et F2. Ils ont ainsi pu participer à l'élaboration du rendement.





## 6. Conclusion

*S. tritici* est l'agent pathogène principal de la culture de blé. Il cause en moyenne des pertes de rendement de 17 q/ha. Dans le contexte actuel de réduction de l'usage des produits phytosanitaires il est envisagé d'intégrer des produits de biocontrôle dans les programmes de lutte contre la septoriose du blé. L'objectif de ce mémoire est d'évaluer l'efficacité de différents produits de biocontrôle (microorganisme, substance naturelle...) utilisés seuls ou associés à des doses réduites de fongicides et de trouver le meilleur positionnement des applications. Les résultats des années précédentes ont indiqué qu'appliqués seuls, les stimulateurs de défense des plantes tel que VACCIPLANT GC ne permettaient pas de lutter efficacement contre la septoriose. La stratégie a donc été modifiée. Ils sont à présents couplés à une dose réduite d'un fongicide classique et appliqués soit de façon systématique et précoce à deux nœuds (Z32), soit en fonction de la dynamique réelle de la septoriose grâce au modèle Septo\_LIS®.

Le réseau d'essais « SDP » a permis de tester des stimulateurs de défenses des plantes (VACCIPLANT GC, ALEXIN et LBG/chloro) dans différents environnements. Parmi les deux stratégies de positionnement testées pour les modalités dose pratique haute et association d'une dose réduite avec VACCIPLANT, les meilleurs résultats sont obtenus lorsque le positionnement du premier traitement a lieu au stade Z32 (« 2 nœuds ») et qu'il est relayé par un second au stade Z39 (DFE). Dans l'essai « BioCT », le produit codé ALEXIN en association avec différentes matières actives triazoles ou chlorothalonil n'a montré aucune efficacité qu'il soit positionné au stade Z32, Z39 ou dans une stratégie à deux traitements. La performance des produits de biocontrôle, stimulateurs la défense des plantes, ne semble pas être liée au positionnement du produit. D'autres variables, comme la dose et le nombre d'applications, pouvant interagir avec leur efficacité au champ, seraient intéressantes à étudier. Les résultats d'efficacité de l'association VACCIPLANT GC sont encourageants. Au niveau de l'efficacité, l'association semble être intermédiaire entre la référence haute et basse. Au niveau du rendement, cette tendance ne se confirme pas car il n'y a pas de gain de rendement pour l'association comparé à la dose réduite seule.

D'après les résultats de l'essai « BioCT », les quatre applications des fongicides naturels Ceradis n'ont pas été performantes sur la septoriose. De même, le microorganisme *Trichoderma asperellum* (T34) s'est révélé inefficace. Aucun gain d'efficacité ou de rendement n'est obtenu par rapport à la parcelle non traitée pour ces modalités. Des essais menés par ARVALIS sur l'enrobage des semences de blé avec les produits Ceradis pour lutter contre la fusariose semblent apporter des résultats intéressants. La formulation de ces produits est peut-être à revoir en application foliaire, par exemple au niveau de la sensibilité à la lumière.

Actuellement, l'intégration des produits de biocontrôle dans la lutte contre la septoriose n'est pas performante. Toutefois, certains produits stimulateurs de défenses des plantes semblent être l'intermédiaire entre la référence haute et basse. D'un point de vue environnemental, ce constat est intéressant car il permet de diminuer l'IFT des produits. Au niveau économique, le constat est plus mitigé, le gain de rendement n'étant pas réalisé avec l'utilisation de l'association comparé à la référence basse. La forte demande des consommateurs et de la réglementation sur la protection de l'environnement, encourage à poursuivre les études sur les nouvelles solutions encore en développement. Le développement de la biologie moléculaire devrait permettre de comprendre le fonctionnement de ces produits et donnera des indications pour faciliter leur intégration dans les systèmes au champ.



# Bibliographie

---

## Littérature scientifique:

AGENCE DE RÉGLEMENTATION DE LA LUTTE ANTIPARASITAIRE, 2013. Souche T34 de *Trichoderma asperellum* : Décision d'homologation. In : *Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire Santé Canada*. Ottawa, Canada, 4 septembre 2013. p. 7.

ARVALIS-INSTITUT DU VÉGÉTAL, 2013. *Rapport interne - Livret d'accueil*. novembre 2013.

ARVALIS-INSTITUT DU VÉGÉTAL, 2014a. *Céréales - Lutte contre les maladies 2014*. février 2014. S.l. : Arvalis-Institut du végétal.

ARVALIS-INSTITUT DU VÉGÉTAL (FRANCE), 2007. *Fongiscope blé tendre guide pratique*. Paris (8, av du président Wilson) : ITCF-Céréaliers de France. ISBN 2864923777 9782864923770 2864927578 9782864927570.

ATTA, H.M., EL-SAYED, A.S., EL-DESOUKEY, M.A., HASSAN, M. et EL-GAZAR, M., 2012. Biochemical studies on the Natamycin antibiotic produced by *Streptomyces lydicus*: Fermentation, extraction and biological activities. In : *Journal of Saudi Chemical Society* [en ligne]. avril 2012. [Consulté le 20 juin 2014]. DOI 10.1016/j.jscs.2012.04.001.

AVENOT, Hervé F. et MICHAILIDES, Themis J., 2010. Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi. In : *Crop Protection*. juillet 2010. Vol. 29, n° 7, p. 643-651. DOI 10.1016/j.cropro.2010.02.019.

AZIZ, Aziz, POINSSOT, Benoît, DAIRE, Xavier, ADRIAN, Marielle, BÉZIER, Annie, LAMBERT, B., JOUBERT, Jean-Marie et PUGIN, Alain, 2003. Laminarin Elicits Defense Responses in Grapevine and Induces Protection Against Botritis cinerea and Plasmopara viticola. In : *The American Phytopathological Society*. juin 2003. p. 118-1128.

BACON, Réjean, 2002. *Gestion de la résistance aux fongicides*. 2002.

GUILLEMETTE, Thomas, 2013. *Cours Interaction hôte/pathogène ; Master 1 Biologie et Technologie du Végétal*. Université d'Angers. Cours Master 1 Biologie et Technologie et Végétal. Université d'Angers.

BRISSET, Marie Noëlle, DE BERNONVILLE Thomas Duge 2011. Dispositif pour déterminer ou étudier l'état de stimulation des défenses naturelles de plantes ou parties de plantes, WO 2011161388 A1, 21/12/2011

CARON, Daniel, 2000. *Maladies des blés et des orges*. Paris : ITCF. Institut technique des céréales et des fourrages. ISBN 2864924285 9782864924289.

CARRERAS-VILLASENOR, N., SANCHEZ-ARREGUIN, J. A. et HERRERA-ESTRELLA, A. H., 2012. *Trichoderma*: sensing the environment for survival and dispersal. In : *Microbiology*. 1 janvier 2012. Vol. 158, n° 1, p. 3-16. DOI 10.1099/mic.0.052688-0.

CHARLOT, Bernard, 2013. *Tests fongicides biocontrôle blé 2013*. Rapport interne.

COULEAUD, Gilles, 2014. *Communication personnelle*. 2014.

DECOIN, Marianne, 2014. Produits de biocontrôle et évolution des lois. In : *Phytoma, la défense des végétaux*. mars 2014. n° 672, p. 16-23.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2012. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance *Trichoderma asperellum* strain T34. In : *EFSA Journal*. EFSA Journal. Parma, Italy, 2012. p. 37.

FISHEL, Frederick M. et DEWDNEY, M. M., 2006. Fungicide Resistance Action Committee's (FRAC) classification scheme of fungicides according to mode of action. In : *Fla. Coop. Extn. Serv. PI-94. IFAS. Univ. Fla., Gainesville*. 2006. p. 7.

GOUACHE, David et COULEAUD, Gilles, 2010. Positionnement des traitements ciblant la septoriose : un enjeu de 5q/ha. In : *Perspectives agricoles*. mars 2010. n° 365, p. 4.

INRA, ANSES et ARVALIS-INSTITUT DU VÉGÉTAL, 2014. *Note Commune INRA, ANSES, ARVALIS – Institut du végétal 2014 pour la gestion de la résistance aux fongicides utilisés pour lutter contre les maladies des céréales à pailles*. janvier 2014.

JACKSON, T. J., BURGESS, T., COLQUHOUN, I. et HARDY, GE Stj, 2000. Action of the fungicide phosphite on *Eucalyptus marginata* inoculated with *Phytophthora cinnamomi*. In : *Plant Pathology*. 2000. Vol. 49, n° 1, p. 147–154.

JALOUX, Bruno, 2013. *Poly Cours Lutte Bio 2013 2014*. Cours Master 2 ProTeV - Module Bioagresseurs.

JOUBERT, Jean-Marie, 2013. Success story de la laminarine. In : *Colloque Elicitra*. Avignon : s.n. 13 juin 2013. p. 15.

KLARZYNSKI, Olivier, PLESSE, Bertrand, JOUBERT, Jean-Marie, YVIN, Jean-Claude, KOPP, Marguerite, KLOAREG, Bernard et FRITIG, Bernard, 2000. Linear  $\beta$ -1, 3 glucans are elicitors of defense responses in tobacco. In : *Plant Physiology*. 2000. Vol. 124, n° 3, p. 1027–1038.

LEROUX, Pierre, 2003. Modes d'action des produits phytosanitaires sur les organismes pathogènes des plantes. In : *Comptes Rendus Biologies*. janvier 2003. Vol. 326, n° 1, p. 9-21. DOI 10.1016/S1631-0691(03)00005-2.

LIMÓN, M. Carmen, CODÓN, Antonio C., BENITEZ, Tahia et RINCON, Ana M., 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. In : *International microbiology*. 2004. Vol. 7, p. 249–260.

MACHINANDIARENA, Milagros Florencia, LOBATO, María Candela, FELDMAN, Mariana Laura, DALEO, Gustavo Raúl et ANDREU, Adriana Balbina, 2012. Potassium phosphite primes defense responses in potato against *Phytophthora infestans*. In : *Journal of Plant Physiology*. septembre 2012. Vol. 169, n° 14, p. 1417-1424. DOI 10.1016/j.jplph.2012.05.005.

MAUMENE, Claude, 2014. Biocontrôle : la clé pour demain. In : *Perspectives agricoles*. février 2014. n° 408, p. 29-46.

MCCARTNEY, C., MERCER, P.C., COOKE, L.R. et FRAAIJE, B.A., 2007. Effects of a strobilurin-based spray programme on disease control, green leaf area, yield and development of fungicide-resistance in *Mycosphaerella graminicola* in Northern Ireland. In : *Crop Protection*. août 2007. Vol. 26, n° 8, p. 1272-1280. DOI 10.1016/j.cropro.2006.10.027.

MENARD, Rozenn, DE RUFFRAY, Patrice, FRITIG, Bernard, YVIN, Jean-Claude et KAUFFMANN, 2005. Defense and Resistance-inducing Activities in Tobacco of the Sulfated -1,3 glucan PS3 and its Synergistic Activities with the Unsulfated Molecule. In : *Plant and Cell Physiology*. 5 octobre 2005. Vol. 46, n° 12, p. 1964-1972. DOI 10.1093/pcp/pci212.

NAWROCKA, J. et MAŁOLEPSZA, U., 2013. Diversity in plant systemic resistance induced by *Trichoderma*. In : *Biological Control*. novembre 2013. Vol. 67, n° 2, p. 149-156. DOI 10.1016/j.biocontrol.2013.07.005.

NICOLÁS, Carlos, HERMOSA, Rosa, RUBIO, Belén, MUKHERJEE, Prasun K. et MONTE, Enrique, 2014. *Trichoderma* genes in plants for stress tolerance- status and prospects. In : *Plant Science* [en ligne]. mars 2014. [Consulté le 25 avril 2014]. DOI 10.1016/j.plantsci.2014.03.005. Disponible à l'adresse : <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168945214000491>.

OXLEY, Simon, GOSLING, Paul, NICHOLLS, Caroline et WATTS, Jenna, 2014. HGCA Wheat disease management guide. In : HGCA. janvier 2014. p. 12.

PERAZZOLLI, Michele, ROATTI, Benedetta, BOZZA, Elisa et PERTOT, Ilaria, 2011. *Trichoderma harzianum* T39 induces resistance against downy mildew by priming for defense without costs for grapevine. In : *Biological Control*. juillet 2011. Vol. 58, n° 1, p. 74-82. DOI 10.1016/j.biocontrol.2011.04.006.

RASU, Thilagavathi, SEVUGAPPERUMAL, Nakkeeran, THIRUVENGADAM, Raguchander et RAMASAMY, Samiyappan, 2012. *Trichoderma asperellum*, Identified as a Novel Fungal Biocontrol Agent for the Control of Plant Pathogen. In : *International Conference on Bioscience, Biotechnology and Healthcare Sciences*. Singapore : s.n. 14 décembre 2012. p. 77-79.

RENAUD, Aurianne, 2012. Bilans céréaliers français de 1993 à 2011 : Les exportations, un débouché majeur des céréales. In : *Agreste Primeur*. juillet 2012. p. 4.

ROBERT, C., 2005. Quantification of the effects of *Septoria tritici* blotch on wheat leaf gas exchange with respect to lesion age, leaf number, and leaf nitrogen status. In : *Journal of Experimental Botany*. 22 novembre 2005. Vol. 57, n° 1, p. 225-234. DOI 10.1093/jxb/eri153.

ROBIN, Nathalie, 2014. *Communication personnelle*. Arvalis-Institut du végétal. 2014.

SECOBRA (éd.), 2004. *Caractéristiques de la variété Garcia*. 2004.

SEGARRA, Guillem, CASANOVA, Eva, BELLIDO, David, ODENA, Maria Antonia, OLIVEIRA, Eliandre et TRILLAS, Isabel, 2007. Proteome, salicylic acid, and jasmonic acid changes in cucumber plants inoculated with *Trichoderma asperellum* strain T34. In : *PROTEOMICS*. novembre 2007. Vol. 7, n° 21, p. 3943-3952. DOI 10.1002/pmic.200700173.

SHETTY, N. P., JENSEN, J. D., KNUDSEN, A., FINNIE, C., GESHI, N., BLENNOW, A., COLLINGE, D. B. et JORGENSEN, H. J. L., 2009. Effects of -1,3-glucan from *Septoria tritici* on structural defence responses in wheat. In : *Journal of Experimental Botany*. 1 novembre 2009. Vol. 60, n° 15, p. 4287-4300. DOI 10.1093/jxb/erp269.

SIMONEAU, Philippe, 2013. Bioagresseurs des végétaux : méthodes de lutte. In : *Module Bioagresseurs*. Cours Master 2 ProTeV (2013-2014). Angers. 10 octobre 2013.

SLIMANE, Rym Ben, 2010. *Effets de la septoriose foliaire sur la sénescence et les flux d'azote pendant le remplissage des grains chez le blé tendre* [en ligne]. S.I. : AgroParisTech. [Consulté le 16 avril 2014]. Disponible à l'adresse : <http://tel.archives-ouvertes.fr/pastel-00560282/>.

SOLTNER, Dominique, 2004. *Les grandes productions végétales*. Sainte-Gemme-sur-Loire : Collection sciences et techniques agricoles. ISBN 2907710028 9782907710022.

STARK, Jacobus, VAN BIJN, Ferdinand Theodorus Jozef, VAN DER KRIEKEN, Wilhelmus Maria et STEVENS, Lucas Henricus, 2003. A new antifungal composition comprising phosphate and natamycin. US 2010/0050512 A1. 2 novembre 2003.

STEIMETZ, Emilie, TROUVELOT, Sophie, GINDRO, Katia, BORDIER, Adeline, POINSSOT, Benoît, ADRIAN, Marielle et DAIRE, Xavier, 2012. Influence of leaf age on induced resistance in grapevine against *Plasmopara viticola*. In : *Physiological and Molecular Plant Pathology*. juillet 2012. Vol. 79, p. 89-96. DOI 10.1016/j.pmpp.2012.05.004.

VINCELLI, P., 2002. QoI (Strobilurin) Fungicides: Benefits and Risks. In : *The Plant Health Instructor* [en ligne]. 2002. [Consulté le 17 avril 2014]. DOI 10.1094/PHI-I-2002-0809-02.

WALKER, Anne-Sophie, 2014. *Resistances et pesticides*. Rapport interne

## Sitographie :

AGRICULTURE.GOUV.FR, 2012. Annexe III de la Directive 2009/128/CE - Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. In : *Annexe III de la directive 2009/128/CE* [en ligne]. 23 août 2012. [Consulté le 12 mai 2014]. Disponible à l'adresse : <http://agriculture.gouv.fr/Annexe-III-de-la-Directive-2009>.

ANSES, 2013. Les produits biocides. Définition, cadre réglementaire et rôle de l'Agence. In : *Les produits biocides* [en ligne]. janvier 2013. [Consulté le 19 mai 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.anses.fr/fr/content/les-produits-biocides>.

ARVALIS-INSTITUT DU VÉGÉTAL, 2014b. Septo-LIS® Blé tendre. In : *ARVALIS-infos.fr* [en ligne]. [Consulté le 9 juin 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.arvalis-infos.fr:80/view-124-arvoad.html>.

BAYERAGRI, 2014. Traiter en tenant compte du vent: Bayer-Agri, conseils pour la protection des cultures. In : [en ligne]. [Consulté le 10 juin 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.bayer-agri.fr/articles/1190/traiter-en-tenant-compte-du-vent/>.

BLANCHARD, Antoine et LIMACHE, Flora, 2005. Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN). In : [en ligne]. 2005. [Consulté le 16 avril 2014]. Disponible à l'adresse : [http://www.enroweb.com/misc/Rapport\\_SDN.pdf](http://www.enroweb.com/misc/Rapport_SDN.pdf).

DE BASTARD, Laure, 2013. Acibenzolar-S-methyl, le premier SDP. In : *Colloque Elicitra* [en ligne]. Support oral. Avignon. juin 2013. [Consulté le 19 mai 2014]. Disponible à l'adresse : <http://elicitra.org/vars/fichiers/Colloque/5%20-%20Elicitra%20juin%202013%20-%20De%20Bastard.pdf>.

E-PHY, 2014. Vacciplant Grandes Cultures. In : [en ligne]. 22 mai 2014. [Consulté le 27 mai 2014]. Disponible à l'adresse : <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>.

E-PHY, 2014. Substance active: Phosphonate de potassium. In : [en ligne]. [Consulté le 28 mai 2014]. Disponible à l'adresse : <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/mata/100348.htm>.

FAO et OMS, 2000. *Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Comité du codex sur les additifs alimentaires et les contaminants*. [en ligne]. janvier 2000. S.I. : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture et l'Organisation mondiale de la santé. [Consulté le 4 juillet 2014]. Disponible à l'adresse : [ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/CCFAC/CCFAC32/fa00\\_05e.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/CCFAC/CCFAC32/fa00_05e.pdf).

FAO STAT, 2014. Production mondiale de blé (tonnes) par pays. In : *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [en ligne]. [Consulté le 17 avril 2014]. Disponible à l'adresse : <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>.

GOËMAR, 2013. Préconisations en programme. In : [en ligne]. Fiche présentation. S.I. 26 novembre 2013. [Consulté le 27 mai 2014]. Disponible à l'adresse : [http://www.vacciplant.fr/fichiers/Syntheses\\_des\\_Reseaux\\_Techniques\\_VACCIPLANT.PDF](http://www.vacciplant.fr/fichiers/Syntheses_des_Reseaux_Techniques_VACCIPLANT.PDF).

GOËMAR, 2014. GOËMAR La nature qui stimule la nature. In : [en ligne]. 27 mars 2014. [Consulté le 27 mai 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.goemar.com/prehome/index.html>.

GOUVERNEMENT DU CANADA, Agence canadienne d'inspection des aliments, 2012. La biologie du *Triticum aestivum* L. (blé). In : [en ligne]. 5 mars 2012. [Consulté le 16 avril 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/vegetaux-a-caracteres-nouveaux/demandeurs/directive-94-08/documents-sur-la-biologie/triticum-aestivum-l-fra/1330982915526/1330982992440>.

IBMA, 2014. Les médiateurs chimiques. In : *IBMA France* [en ligne]. [Consulté le 14 mai 2014 a]. Disponible à l'adresse : <http://www.ibmafrance.com/les-meacutediateurs-chimiques.html>.

IBMA, 2014. Les substances naturelles. In : *IBMA France* [en ligne]. [Consulté le 16 avril 2014 b]. Disponible à l'adresse : <http://www.ibmafrance.com/les-substances-naturelles.html>.

KONINKLIJKE DSM N.V, 2014. Natamycin - What is Natamycin? In : *Natamycin Natural mold inhibitor* [en ligne]. 2014. [Consulté le 4 juillet 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.natamycin.com/natamycin>.

KRÖNER, Alexander, 2012. La résistance des plantes face aux agents pathogènes : effets de la stimulation des défenses. In : *Salon professionnel de l'agriculture de demain* [en ligne]. Support oral. Obernai. 25 octobre 2012. [Consulté le 19 mai 2014]. Disponible à l'adresse : [http://www.agriculturededemain.com/dynamic/telechargement\\_conferences/alexander\\_kraner\\_agrobiopro.pdf](http://www.agriculturededemain.com/dynamic/telechargement_conferences/alexander_kraner_agrobiopro.pdf).

LIPPS, Patrick et MILLS, Dennis, 2013. Septoria tritici Blotch and Stagonospora nodorum Blotch. In : *The Ohio State University extension* [en ligne]. août 2013. [Consulté le 2 mai 2014]. Disponible à l'adresse : <http://ohioline.osu.edu/ac-fact/0002.html>.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT, 2013. *Projet de loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt* [en ligne]. 13 novembre 2013. S.I. : s.n. [Consulté le 27 août 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.assemblee-nationale.fr/14/pdf/projets/pl1548.pdf>.

MORTUREUX, Marc, 2011. Saisine n°2011-SA-0181 : *Avis de l'Anses - Saisine n°2011-SA-0181* [en ligne]. Saisine. Maisons-Alfort. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail. [Consulté le 28 mai 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.anses.fr/Documents/DPR2011sa0181.pdf>.

MORTUREUX, Marc, 2012. Saisine n°2012-SA-0122 : *Avis de l'Anses - Saisine n°2012-SA-0122* [en ligne]. Maisons-Alfort. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail. [Consulté le 28 mai 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.anses.fr/Documents/DPR2012sa0122.pdf>.



NATALI, Alessandro, 2008. Phosphites, phosphates, phosphonates... quelle confusion ! In : [en ligne]. S.I. 2008. [Consulté le 28 mai 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.itab.asso.fr/downloads/actes%20suite/phosphites-agriclean.pdf>.

PAJOT, Emmanuel, 2010. Stimulateurs des Défenses Naturelles des plantes : états des lieux et perspectives de recherche et développement pour sécuriser leur efficacité sur le terrain. In : *Les XVI Rencontres Professionnelles « Les Stimulateurs des Défenses Naturelles en Production Végétale : Mythe ou Réalité ? »* [en ligne]. Support oral. Colmar. 8 octobre 2010. [Consulté le 19 mai 2014]. Disponible à l'adresse : [http://www.rittmo.com/IMG/pdf/Pajot\\_E\\_-\\_part\\_1.pdf](http://www.rittmo.com/IMG/pdf/Pajot_E_-_part_1.pdf).

PASSIONS CÉRÉALES, 2013. *Des chiffres et des céréales : édition 2012-2013* [en ligne]. 2013. Disponible à l'adresse : [http://asset.keepeek.com/permalinks/domain39/2013/06/04/927-B18-Des\\_chiffres\\_et\\_des\\_cereales\\_\\_edition\\_2012-2013\\_-\\_page\\_a\\_page.pdf](http://asset.keepeek.com/permalinks/domain39/2013/06/04/927-B18-Des_chiffres_et_des_cereales__edition_2012-2013_-_page_a_page.pdf).

PONOMARENKO, A., GOODWIN, S. B. et KEMA, Gert HJ, [sans date]. Septoria tritici blotch (STB) of wheat. In : *The American Phytopathological Society* [en ligne]. [Consulté le 5 mai 2014]. Disponible à l'adresse : <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/Pages/Septoria.aspx>.

SEMENCES DE FRANCE et ARVALIS-INSTITUT DU VÉGÉTAL, 2014. *Mémento 2014 : Céréales à pailles et Protéagineux* [en ligne]. Mémento. [Consulté le 6 mai 2014]. Disponible à l'adresse : [www.semencesdefrance.com](http://www.semencesdefrance.com).

VAURY, Charles, 2014. *Présentation IBMA France* [en ligne]. Présentation IBMA. S.I. [Consulté le 13 mai 2014]. Disponible à l'adresse : [http://www.ibmafrance.com/uploads/1/9/8/2/19823647/prsentation\\_ibma\\_france\\_mars2014.pdf](http://www.ibmafrance.com/uploads/1/9/8/2/19823647/prsentation_ibma_france_mars2014.pdf).

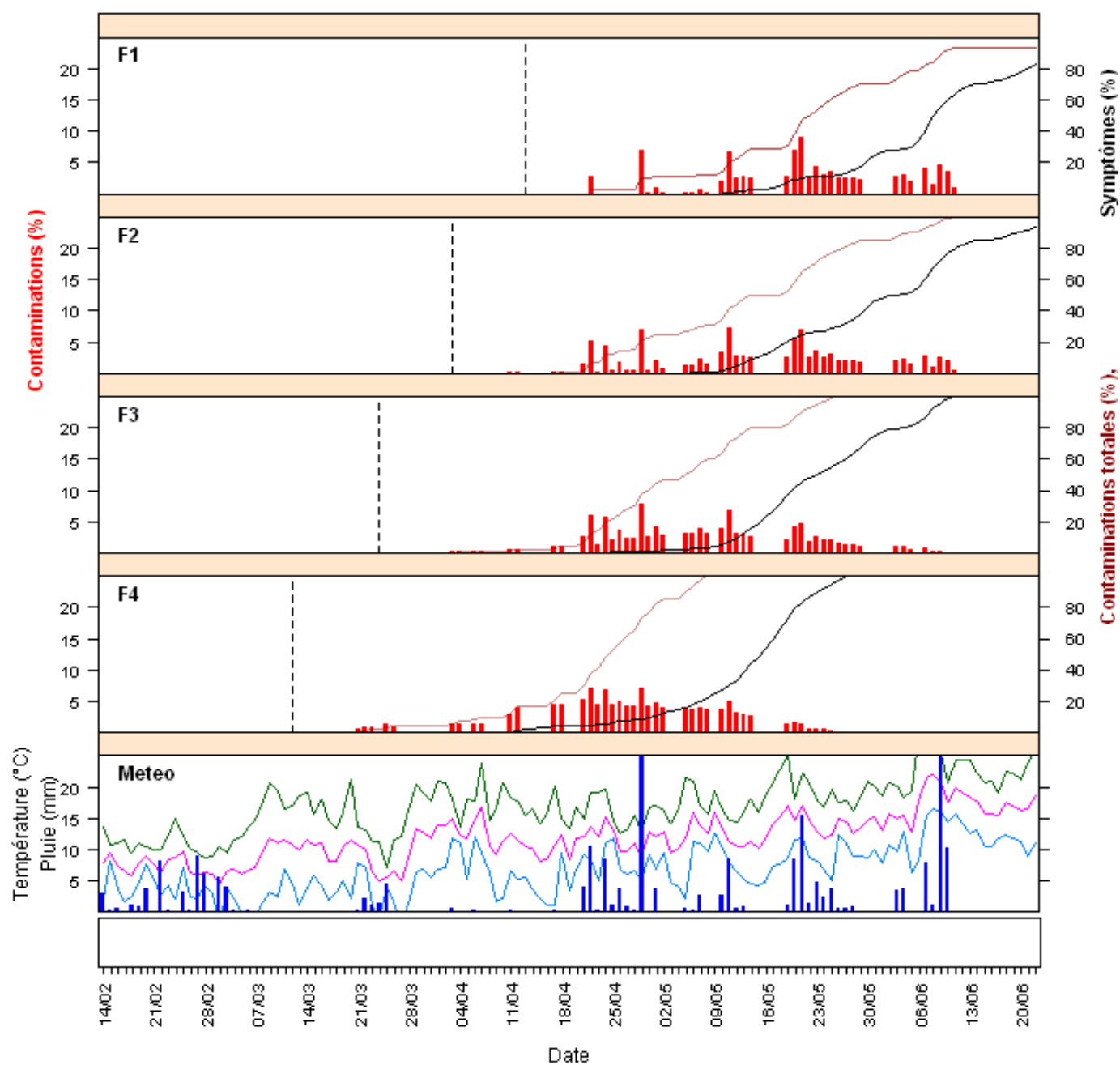
ZEGELS, Albert, 2007. La lutte naturelle contre les « pestes » du jardin et de la maison. In : *La lutte naturelle contre les « pestes » du jardin et de la maison* [en ligne]. juin 2007. [Consulté le 19 mai 2014]. Disponible à l'adresse : [http://environnement.wallonie.be/education/pollutions\\_domestiques/biocides.html#biocides8](http://environnement.wallonie.be/education/pollutions_domestiques/biocides.html#biocides8).

# ANNEXES



**Annexe I** - Exemple de sortie de l'OAD Septo\_LIS à la station de Boigneville.

**9151 Garcia 23/10/2013**





## Annexe II - Traitements de couverture (dates et produits) pour chaque station.

### A : Site de Boigneville

nature	date	stade de culture	produit	dose	unité	cible
Molluscicide	13/11/2013		METAREX RG	4.60	kg/ha	Limaces
Herbicide	26/02/2014	Z25 : Tallage (5 talles et +)	NICANOR	15.00	g/ha	ANTI DICOT
Herbicide	26/02/2014	Z25 : Tallage (5 talles et +)	MEXTRA	1.00	L/ha	ANTI DICOT
Herbicide	26/02/2014	Z25 : Tallage (5 talles et +)	QUASAR	0.25	kg/ha	ANTI DICOT
Fongicide	31/03/2014	Z31 : 1 noeud	AMISTAR	0.50	L/ha	ANTI ROUILLE JAUNE
Régulateur	09/04/2014	Z32 : 2 noeuds	MEDAX TOP	0.50	L/ha	REGULATEUR
Fongicide	28/04/2014	Z39 : Ligule dernière feuille juste visible	AMISTAR	0.50	L/ha	ANTI ROUILLE JAUNE
Fongicide	05/06/2014	Z75 : Grain laiteux	CORBEL BASF	1.00	L/ha	ANTI ROUILLE JAUNE

### B : Site de La Jaillière

nature	date	stade de culture	produit	dose	unité	cible
Herbicide	27/11/2013	Z13 : 3 feuilles	LEGACY DUO	2.40	L/ha	graminées + dicots
Herbicide	02/04/2014	Z32 : 2 noeuds	AXIAL PRATIC	1.00	L/ha	graminées
Herbicide	02/04/2014	Z32 : 2 noeuds	MIX-IN	1.00	L/ha	
Herbicide	07/04/2014	Z33 : 3 noeuds	BOFIX	3.00	L/ha	dicots

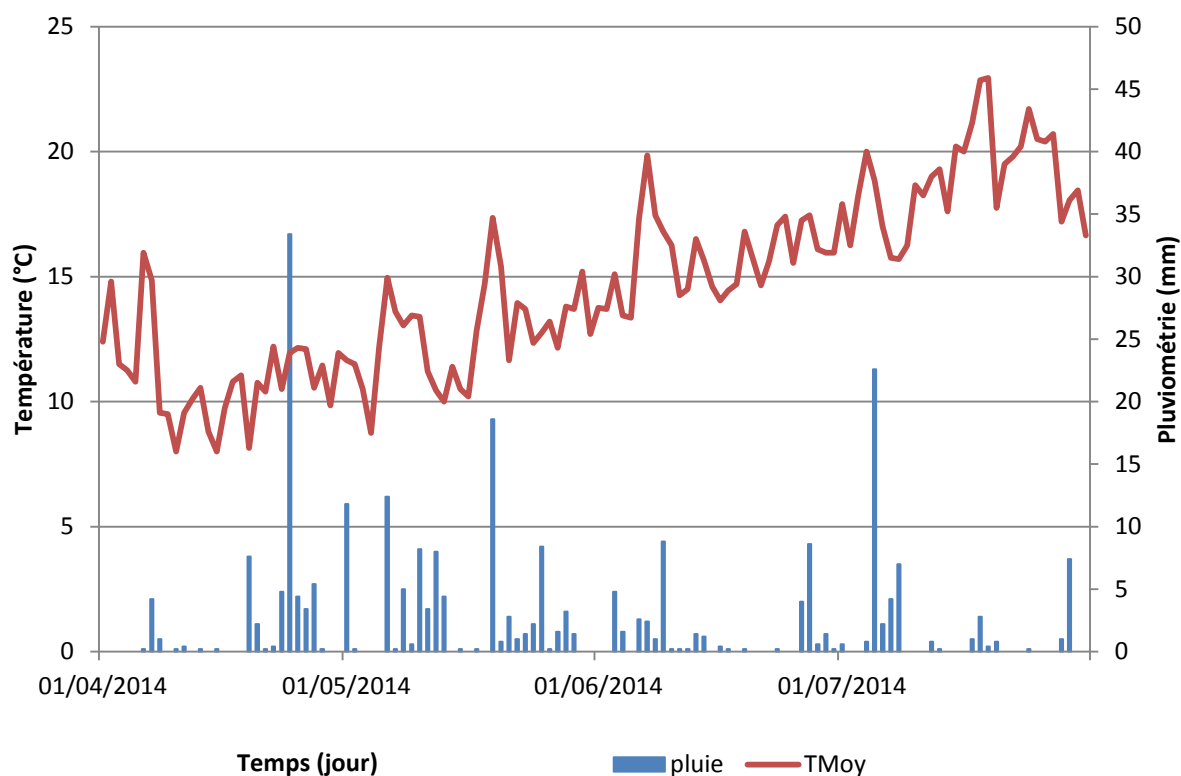
### C : Site de Rots

nature	date	stade de culture	produit	dose	unité	cible
Herbicide	18/11/2013	Z22 : Tallage (2 talles)	MATIN EL	2.40	L/ha	Paturin
Herbicide	18/11/2013	Z22 : Tallage (2 talles)	CHAMOIS	1.00	L/ha	Matricaire, véronique, gaillet
Herbicide	14/04/2014	Z33 : 3 noeuds	CELIO	0.40	L/ha	Folle avoine
Adjuvants	14/04/2014	Z33 : 3 noeuds	ACTIROB B	1.00	L/ha	
Herbicide	14/04/2014	Z33 : 3 noeuds	NICANOR	30.00	g/ha	Chardons, renouées
Régulateur	01/04/2014	Z31 : 1 noeud	MONDIUM	2.00	L/ha	





**Annexe III** - Diagramme température-pluviométrie des données météorologiques de la station de Rots du 01/04 au 31/07/14.



**Annexe IV** - Relation entre le rendement et l'AUDPC de l'essai SDP.

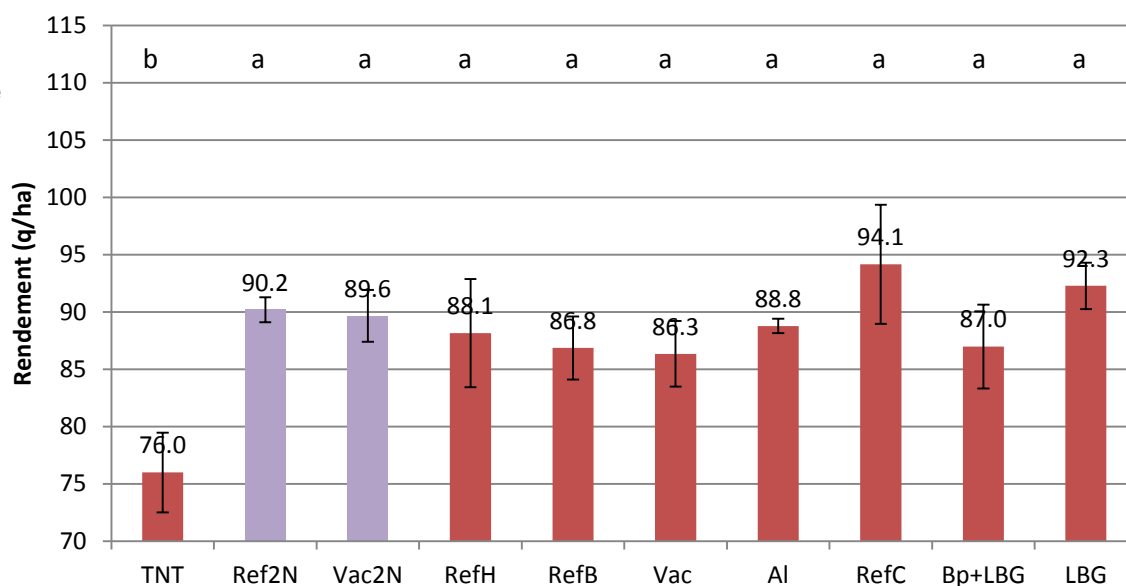
Site	Étage foliaire de l'AUDPC	R <sup>2</sup>
Boigneville	F1	0.79
	F2	0.81
	F3	0.75
La Jaillière	F1	0.81
	F2	0.83
Rots	F1	0.95
	F2	0.85





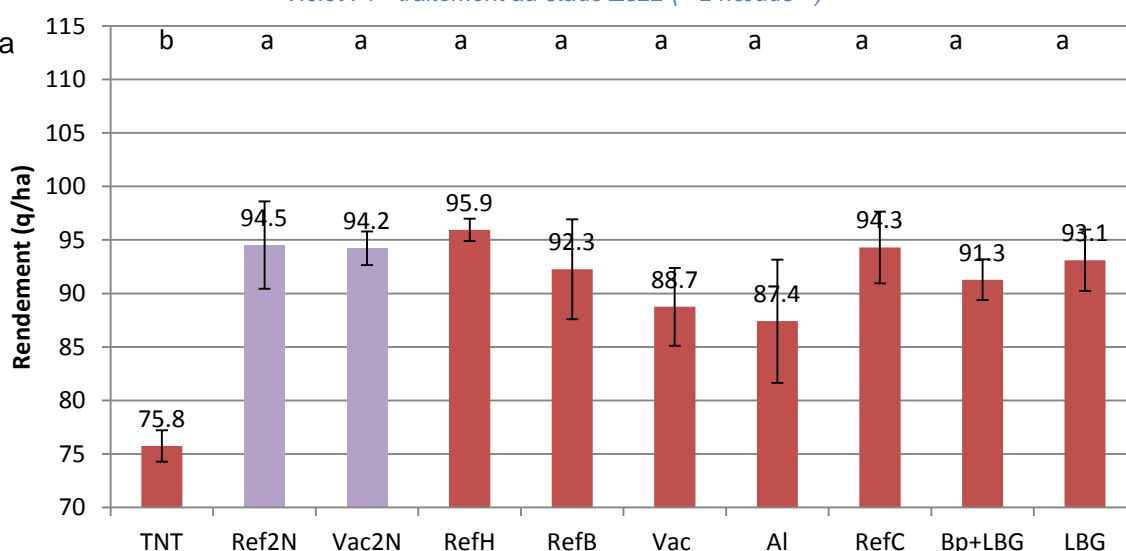
## Annexe V - Les rendements de l'essai SDP pour chaque essai.

**A : Site de Boigneville**



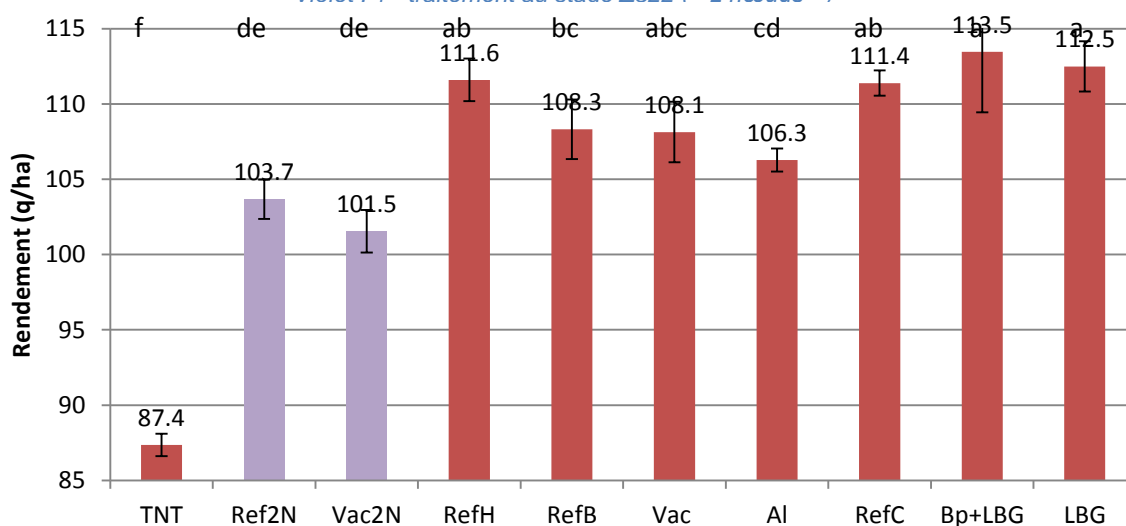
*ETR = 3.2 ; p. value modalité =  $2.3 \times 10^{-4}$  et p. value bloc = 0.36*  
*Les groupes homogènes sont obtenus par la méthode de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).*  
*Violet : 1<sup>er</sup> traitement au stade Z322 (« 2 nœuds »)*

**B : Site de La Jaillière**



*ETR = 3.1 ; p. value modalité =  $1.4 \times 10^{-5}$  et p. value bloc = 0.10*  
*Les groupes homogènes sont obtenus par la méthode de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).*  
*Violet : 1<sup>er</sup> traitement au stade Z322 (« 2 nœuds »)*

**C : Site de Rots**

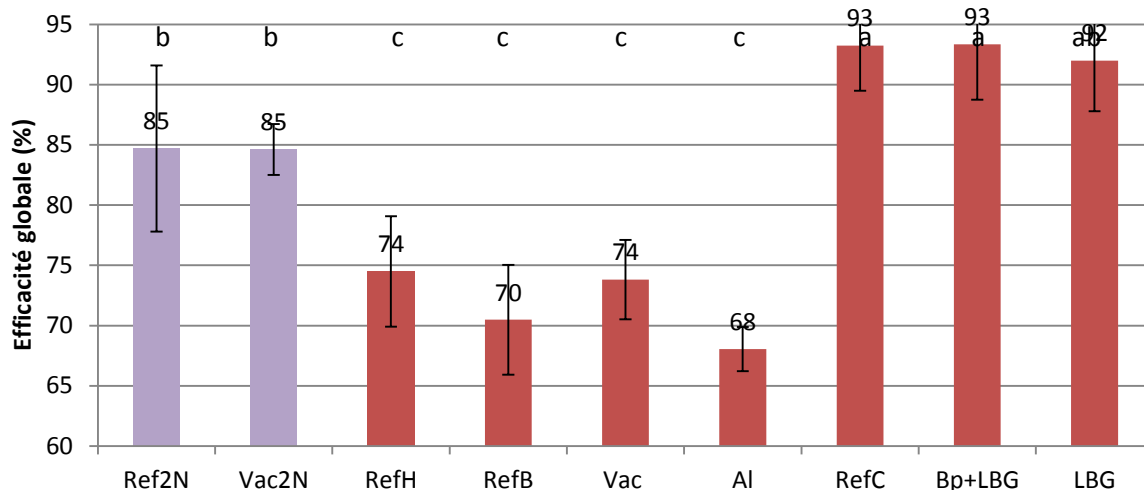


*ETR = 1.4 ; p. value modalité =  $9.3 \times 10^{-13}$  et p. value bloc =  $2.4 \times 10^{-3}$  (bloc 2>1 et 3)*  
*Les groupes homogènes sont obtenus par la méthode de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).*  
*Violet : 1<sup>er</sup> traitement au stade Z322 (« 2 nœuds »)*



## Annexe VI - Efficacité des programmes de traitements de l'essai SDP par station.

**A : Site de Boigneville**



Efficacité globale = moyenne des efficacités de F1F2 sur la période du 3 au 12 juin 2014.

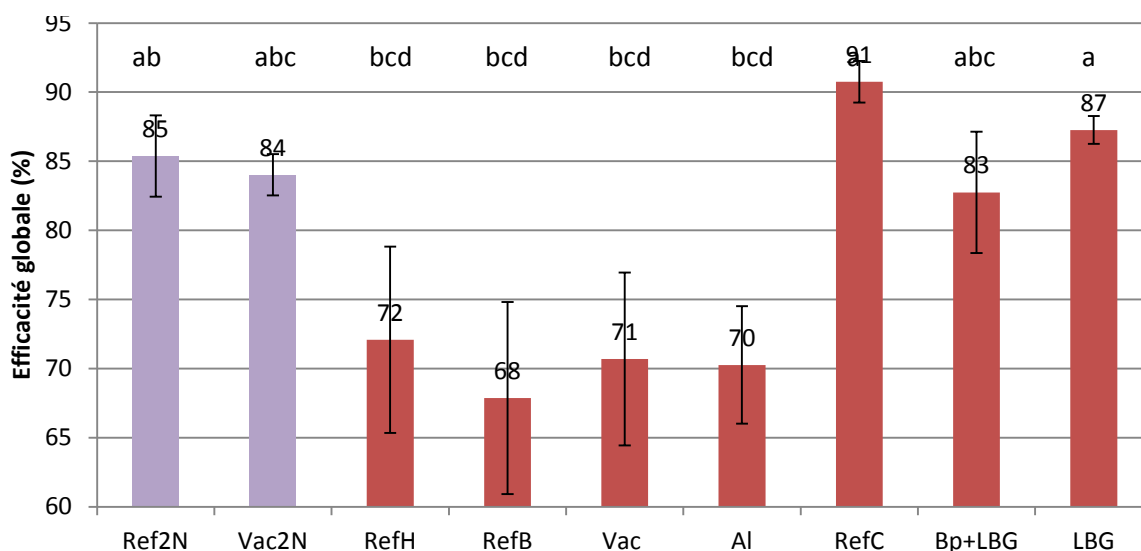
ETR = 3.4 ; p. value modalité =  $5.6 \times 10^{-10}$  et p. value bloc = 0.36 ; Barre d'erreur = écart type entre les 3 blocs.

Les groupes homogènes sont obtenus par la méthode de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

L'intensité de maladie dans les témoins non traités sur les F1F2 à cette période est de 67%.

Violet : 1<sup>er</sup> traitement au stade Z32 (« 2 nœuds ») ; rouge : traitement déclenchement Septo\_LIS®

**B : Site de La Jaillière**



Efficacité globale = moyenne des efficacités de F1F2 sur la période du 3 au 13 juin 2014.

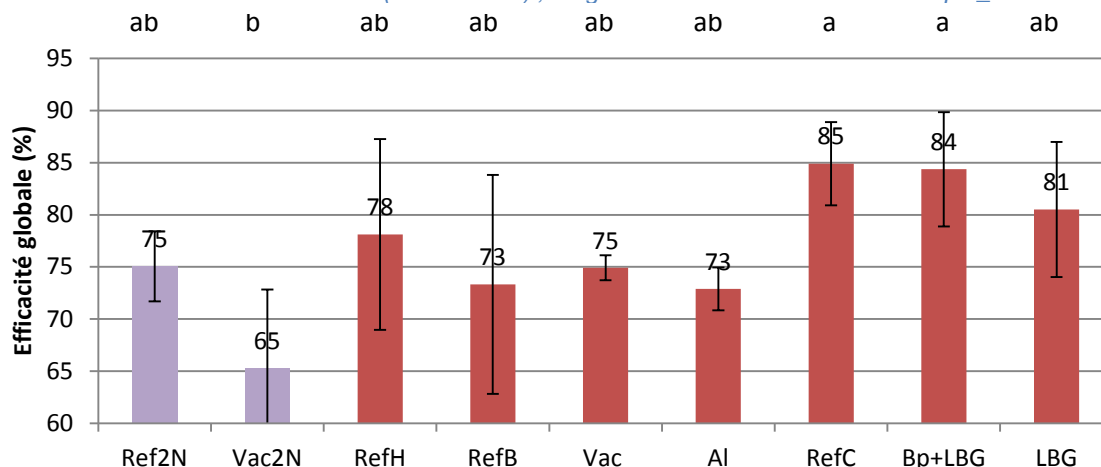
ETR = 4.5 ; p. value modalité =  $3.4 \times 10^{-5}$  et p. value bloc = 0.8. Barre d'erreur = écart type entre les 3 blocs

Les groupes homogènes sont obtenus par la méthode de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

L'intensité de maladie dans les témoins non traités sur les F1F2 à cette période est de 67%.

Violet : 1<sup>er</sup> traitement au stade Z32 (« 2 nœuds ») ; rouge : traitement déclenchement Septo\_LIS®

**C : Site de Rots**



Efficacité globale = moyenne des efficacités de F1F2 sur la période du 4 au 16 juin 2014.

ETR = 6.2 ; p. value modalité = 0.03 et p. value bloc = 0.34. Barre d'erreur = écart type entre les 3 blocs.

Les groupes homogènes sont obtenus par la méthode de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

L'intensité de maladie dans les témoins non traités sur les F1F2 à cette période est de 30%.

Violet : 1<sup>er</sup> traitement au stade Z32 (« 2 nœuds ») ; rouge : traitement déclenchement Septo\_LIS®



**Annexe VII** - Tableau du coût approximatif des programmes de traitements de l'essai SDP.

Modalité*	1 <sup>er</sup> traitement		2e traitement		Coût (€/ha)	IFT (PC)	IFT (SA)
	Produit	Dose produit (L/ha)	Produit	Dose (L/ha)			
1 = TNT	Témoin non traité	-	-	-	-	-	-
2 = RefH2N	OSIRIS WIN + PYROS EW	1 + 0.5	Aviator X-Pro	0.7	86,8	1,4	2,0
3 = Vac2N	OSIRIS WIN + PYROS EW + VACCIPLANT	0.5 + 0.25 + 0.5	Aviator X-Pro	0.7	77,8	0,8	1,2
4 = RefH	OSIRIS WIN + PYROS EW	1 + 0.5	Aviator X-Pro	0.7	86,8	1,4	2,0
5 = RefB	OSIRIS WIN + PYROS EW	0.5 + 0.25	Aviator X-Pro	0.7	57,3	0,8	1,2
6 = Vac	OSIRIS WIN + PYROS EW + VACCIPLANT	0.5 + 0.25 + 0.5	Aviator X-Pro	0.7	77,8	0,8	1,2
7 = AI	OSIRIS WIN + PYROS EW + ALEXIN	0.5 + 0.25 + 1	Aviator X-Pro	0.7	57,3 + ALEXIN	0,8	1,2
8 = RefC	CHEROKEE	1.33	Aviator X-Pro	0.7	81,9	1,2	2,9
9 = Bp+LBG	Bumper P + LBG/chloro	0.8 + 2	Aviator X-Pro	0.7	77,6 + phosphites	1,9	2,7
10 = LBG	LBG chloro	3	Aviator X-Pro	0.7	65,9 + phosphites	1,6	1,6

IFT PC : indice de fréquence des traitements du produit commercial

IFT SA : indice de fréquence des traitements de la substance active

Source : données PHYTCOM





**Annexe VIII** - Conditions météorologiques à Boigneville lors des quatre applications du microorganisme.

**A : 1<sup>ère</sup>**  
application

Date Boigneville	Heure	T	RRh	U	VTh	GLOTh	UD9h
09/04/2014	16:00	15.3	0	41	7	100	0
09/04/2014	17:00	14.2	0	44.5	5	42	0
09/04/2014	18:00	12.9	0	47.5	4	4	0
09/04/2014	19:00	11.5	0	54	4	0	0
09/04/2014	20:00	9.4	0	65	1	0	0
09/04/2014	21:00	8	0	69.5	1	0	0
09/04/2014	22:00	5.9	0	79	5	0	0
09/04/2014	23:00	5.2	0	81	3	0	0
10/04/2014	00:00	5	0	83.5	5	0	0
10/04/2014	01:00	4	0	84	5	0	0
10/04/2014	02:00	3.9	0	90	4	0	0
10/04/2014	03:00	3.1	0	91	3	0	0.1
10/04/2014	04:00	2.4	0	92	3	0	1
10/04/2014	05:00	3.1	0	92.5	3	10	1
10/04/2014	06:00	6.4	0	86.5	4	62	0.7
10/04/2014	07:00	10.8	0	74.5	5	126	0
10/04/2014	08:00	14	0	58.5	8	186	0
10/04/2014	09:00	15	0	49.5	12	236	0
10/04/2014	10:00	16	0	45.5	14	268	0
10/04/2014	11:00	17.1	0	43.5	10	284	0
10/04/2014	12:00	18.1	0	37	10	278	0

T = Température horaire instantanée sous abri (°C)

VTh = Vent cumulé horaire (km)

RRh = Cumul horaire des précipitations (mm)

GLOTh = Rayonnement global horaire (J/cm²)

U = Humidité relative horaire instantanée (%)

UD9h = Durée humidité > 90% (%)

période application T34

**B : 2<sup>ème</sup>**  
application

Date Boigneville	Heure	T	RRh	U	VTh	GLOTh	UD9h
17/04/2014	16:00	19.4	0	30.5	7	112	0
17/04/2014	17:00	17.9	0	35.5	9	52	0
17/04/2014	18:00	14.1	0	46	5	6	0
17/04/2014	19:00	12.6	0	54	6	0	0
17/04/2014	20:00	11.8	0	59	4	0	0
17/04/2014	21:00	11.8	0	58.5	4	0	0
17/04/2014	22:00	12.2	0	55.5	3	0	0
17/04/2014	23:00	12.3	0	52	8	0	0
18/04/2014	00:00	11.7	0	53.5	10	0	0
18/04/2014	01:00	11	0	63.5	6	0	0
18/04/2014	02:00	9.9	0.2	74	8	0	0
18/04/2014	03:00	9.8	0	76.5	10	0	0
18/04/2014	04:00	9.6	0	79	7	0	0
18/04/2014	05:00	10.1	0	79.5	7	8	0
18/04/2014	06:00	10.4	0	74.5	12	10	0
18/04/2014	07:00	11.3	0	73	10	50	0
18/04/2014	08:00	12	0	68	13	126	0
18/04/2014	09:00	13.3	0	56	13	186	0
18/04/2014	10:00	14.5	0	46.5	15	210	0
18/04/2014	11:00	13.8	0	45.5	16	208	0
18/04/2014	12:00	14.3	0	43	18	198	0



**C : 3<sup>ème</sup>**  
application

Date Boigneville	Heure	T	RRh	U	VTh	GLOTh	UD9h
23/04/2014	16:00	15.6	0.2	68.5	10	14	0
23/04/2014	17:00	15.3	0	73	7	14	0
23/04/2014	18:00	14.7	0	74	7	4	0
23/04/2014	19:00	13.7	0.2	79	6	0	0
23/04/2014	20:00	13.2	0	81.5	5	0	0
23/04/2014	21:00	12.9	0	82	5	0	0
23/04/2014	22:00	12.5	0	83.5	7	0	0
23/04/2014	23:00	12.1	0	82.5	6	0	0
24/04/2014	00:00	11.9	0	84	5	0	0
24/04/2014	01:00	11.1	0	88.5	3	0	0
24/04/2014	02:00	11.3	0	88	3	0	0
24/04/2014	03:00	11.2	0	89	3	0	0
24/04/2014	04:00	11	0	90.5	2	2	0.5
24/04/2014	05:00	11.3	0	92	1	4	1
24/04/2014	06:00	11.9	0	91	2	28	1
24/04/2014	07:00	13	0	89	2	44	0.3
24/04/2014	08:00	15.6	0	77	2	150	0
24/04/2014	09:00	16.4	0	66.5	8	218	0
24/04/2014	10:00	16.4	0	65.5	10	234	0
24/04/2014	11:00	17.9	0	65.5	9	204	0
24/04/2014	12:00	17.9	0	61	10	244	0

T = Température horaire instantanée sous abri (°C)

VTh = Vent cumulé horaire (km)

RRh = Cumul horaire des précipitations (mm)

GLOTh = Rayonnement global horaire (J/cm<sup>2</sup>)

U = Humidité relative horaire instantanée (%)

UD9h = Durée humidité > 90% (%)

période application T34

**D : 4<sup>ème</sup>**  
application

Boigneville Date	Heure	T	RRh	U	VTh	GLOTh	UD9h
14/05/2014	06:00	7.2	0	97	5	56	1
14/05/2014	07:00	9.1	0	97.5	6	84	1
14/05/2014	08:00	11	0	96.5	5	152	1
14/05/2014	09:00	14.2	0	73.5	7	284	0.2
14/05/2014	10:00	15.3	0	66.5	8	192	0
14/05/2014	11:00	15.5	0	54	12	206	0
14/05/2014	12:00	16.5	0	46.5	15	274	0
14/05/2014	13:00	17.3	0	46.5	15	300	0
14/05/2014	14:00	18.1	0	45	16	274	0
14/05/2014	15:00	17.9	0	45.5	17	210	0
14/05/2014	16:00	16.9	0	45.5	15	148	0
14/05/2014	17:00	16.2	0	46.5	15	70	0
14/05/2014	18:00	14.2	0	53	12	10	0
14/05/2014	19:00	11.7	0	65	7	2	0
14/05/2014	20:00	11.1	0	71	4	0	0
14/05/2014	21:00	10.4	0	71.5	5	0	0
14/05/2014	22:00	8.2	0	77	4	0	0



**Annexe IX** - Tableau du coût approximatif des programmes de traitements de l'essai BioCT.

	1 <sup>er</sup> traitement		2 <sup>ème</sup> traitement		3 <sup>ème</sup> traitement		4 <sup>ème</sup> traitement				
Modalité	Produit	Dose (L/ha)	Produit	Dose (L/ha)	Produit	Dose (L/ha)	Produit	Dose (L/ha)	Coût (€/ha)	IFT (PC)	IFT (SA)
1 = TNT	Témoin non traité	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 = RefH32	CHEROKEE	1.33	-	-	-	-	-	-	30,1	0,7	1,9
3 = RefB32	CHEROKEE	0.67	-	-	-	-	-	-	15,1	0,3	1,0
4 = Al32	CHEROKEE + ALEXIN	0.67 + 1	-	-	-	-	-	-	15,1 + ALEXIN	0,3	1,0
5 = RefH39	-	-	ADEXAR	1	-	-	-	-	56	0,5	1,0
6 = RefB39	-	-	ADEXAR	0.5	-	-	-	-	28	0,3	0,5
7 = Al39	-	-	ADEXAR + ALEXIN	0.5 + 1	-	-	-	-	28 + ALEXIN	0,3	0,5
8 = RefH2T	CHEROKEE	1.33	ADEXAR	1	-	-	-	-	86,1	1,2	2,9
9 = Bravo+Al	Bravo + ALEXIN	1 + 1	ADEXAR	1	-	-	-	-	65,4 + ALEXIN	1,2	1,5
10 = LBG/chloro	LBG/chloro	3	ADEXAR	1	-	-	-	-	70,1 + phosphites	1,5	1,7
11 = LBG	CHEROKEE + LBG (solo)	0.67 + 3	ADEXAR	1	-	-	-	-	71,1 + LBG	0,8	2,0
12 = Ceradis1	Ceradis 1	1% (21 mL)	Ceradis 1	1% (21 mL)	Ceradis 1	1% (21 mL)	Ceradis 1	1% (21 mL)	-	-	-
13 = Ceradis2	Ceradis 2	1% (21 mL)	Ceradis 2	1% (21 mL)	Ceradis 2	1% (21 mL)	Ceradis 2	1% (21 mL)	-	-	-
14 = T34	T34 + adjuvant	200 g + 200 g	T34 + adjuvant	200 g + 200 g	T34 + adjuvant	200 g + 200 g	T34 + adjuvant	200 g + 200 g	-	-	-
15 = Ref4T	Bravo	1	Bravo	1	Bravo	1	Bravo	1	37,6	2.7	1.8

Source : données PHYTCOM





Diplôme / Mention : Master 2 Biologie et Technologie du Végétal  
Spécialité : Production et Technologie du Végétal (ProTeV)  
Parcours : Productions Végétales Spécialisées  
Option : Produits phytosanitaires, réglementations et méthodes alternatives

Organisme d'accueil : ARVALIS – Institut du végétal  
Station expérimentale  
91720 BOIGNEVILLE

Maître de stage : Gilles COULEAUD

Auteur : Rozenn NEVOT  
Date de naissance : 17/04/1991

Nb pages : 30 Annexes : 9

Année de soutenance : 2014

**Titre français :** Intégrer des produits de biocontrôle dans les programmes de lutte contre la septoriose du blé tendre d'hiver.

**English title :** Integrate biocontrol products in control programs against Septoria of winter wheat

*Septoria tritici*, champignon Ascomycète, est l'agent pathogène le plus néfaste sur la culture de blé. En moyenne, il provoque une perte de rendement de 17 q/ha. Dans le contexte actuel de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, des méthodes alternatives de protection des cultures comme le biocontrôle sont envisagées. Le biocontrôle privilégie l'utilisation de mécanismes et d'interactions naturels par le biais de différents types d'agents (microorganisme, substance naturelle...). L'objectif de ce mémoire est d'évaluer certains produits ou leurs associations avec des produits classiques et de trouver le meilleur positionnement au champ.

La première stratégie testée dans le réseau de trois essais « SDP » est de conjuguer l'application d'un stimulateur de défense des plantes (SDP) avec une dose réduite d'un fongicide de synthèse et d'ensuite relayer ce traitement par un second avec une pleine dose de fongicide. Le produit VACCIPLANT GC a été étudié dans ces conditions. Les résultats ne sont pas significatifs mais l'association du VACCIPLANT avec une dose réduite semble avoir une efficacité intermédiaire entre la dose pleine et la dose réduite seule.

La deuxième stratégie testée dans l'essai « BioCT » est d'appliquer de manière répétée le produit de biocontrôle seul. Les résultats observés indiquent que les quatre applications foliaires des fongicides naturels Cerad1 et Cerad2 sont inefficaces sur la septoriose. Les mêmes résultats sont obtenus avec l'application d'un microorganisme, la souche T34 de *Trichoderma asperellum*. Les résultats d'autres essais ne figurant pas dans ce rapport indiquent que ces produits auraient un potentiel sur la fusariose lorsqu'ils sont en enrobage de semence. La formulation de ces nouveaux produits est donc à améliorer pour qu'ils soient par exemple moins sensibles à la lumière.

*Septoria tritici*, Ascomycete fungus, is the most damaging pathogen of the wheat crop. It causes a loss of yield of 17 quintals per hectare, on average. In the current context of reducing the use of pesticides, alternative methods of crop protection such as biocontrol are considered. Biocontrol favors the use of natural processes and interactions through different types of agents (microorganism, natural substance ...). The objective of this paper is to evaluate some products or their associations with conventional products and find the best position in the field.

The first strategy tested in three trials "SDP" is to combine the application of a plant stimulator (SDP) with a reduced dose of a synthetic fungicide and then relay this treatment by a second with a full dose of fungicide. Product VACCIPLANT GC was investigated under these conditions. The results are not significant, but the association with a reduced dose VACCIPLANT seems to have an intermediate efficacy between full dose and single dose reduced.

The second strategy tested in the essay "BioCT" is applying the biocontrol product alone repeatedly. The observed results indicate that the four foliar applications of natural fungicides Cerad1 Cerad2 are ineffective on Septoria. The same results are obtained with the application of a microorganism, the strain of *Trichoderma asperellum* T34. The results of other tests not included in this report indicate that these products have a potential to control Fusarium when coating the seeds. It is a way to study for the control of Septoria. The formulation of these new products is improving. For instance, they will be less sensitive to light.

Mots-clés : Biocontrôle, septoriose, blé tendre, programme de traitements

Key Words : Key Words: Biocontrol, Septoria , winter wheat, control program