

Quantification de la nuisibilité des bio-agresseurs sur le rendement en grandes cultures.

Simon Kiéné, AgroParisTech, M1 AETPF 2018

Sous la direction de **Dr. Corentin BARBU** et **M. Nathan DEVAUD**



Stage du 02 mai au 31 Juillet 2018

Engagement de non plagiat

① Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

② Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

③ Sanction : En cas de manquement à ces consignes, le département SIAFEE se réserve le droit d'exiger la réécriture du document, dans ce cas la validation de l'Unité d'Enseignement ou du diplôme de fin d'études sera suspendue.

④ Engagement :

Je soussigné (e) Simon Kiéné

Reconnaît avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A Grignon le 31 Juillet 2018

Signature :



Table des matières

Résumé :	4
Abstract :	4
Introduction	5
Matériels et Méthodes	6
1. Présentation des essais	6
1.1. L'essai "SIC" (Système de culture Innovant sous Contraintes) 6	
1.2. L'essai "La cage"	7
2. Données disponibles :	8
3. Mise en forme des données et modèles	9
3.1 Calcul de la pression de bio-agresseurs	9
3.2 Etude de la relation Pression-Rendement	10
Résultats	10
1. Effets du traitement sur la pression de bioagresseurs	11
.....	13
2. Effets de la pression de bio-agresseurs sur le rendement	13
Discussion et conclusion	16
Remerciement	16
Bibliographie	18
Annexe 1: Métriques observées sur SIC	19
Annexe 2: Graphiques des pressions mixtes en fonction des pressions brutes	20
Annexe 3: Résumés des modèles Rendement-Pression	21

Résumé :

A l'heure où l'opinion publique pousse à une réduction de l'utilisation des pesticides l'efficacité et la nécessité des pratiques agricoles actuelles de protection des cultures est sur la sellette. Les pertes de rendement moyennes induites par les bio-agresseurs sont mal connues du fait de la grande variabilité de présence des bio-agresseurs d'une part et d'autre part du fait de l'apparition régulière de résistances qui dégradent l'efficacité des traitements. De plus, les estimations disponibles sont généralement des pertes maximales et non des pertes moyennes, estimées en comparant des bandes traitées et non-traitées. Cette approche empêche l'estimation de l'impact des bio-agresseurs non évité par le traitement. Ici, nous analysons des données de suivis d'épidémiomonitoring de 3 maladies fongiques (septoriose, rouille jaune, rouille brune) sur les cultures de blé tendre d'hiver (bléTH) de deux essais systèmes du département des Yvelines sur une période de 8 ans. En utilisant à la fois des comparaisons entre bandes traitées et non-traitées et des comparaisons interannuelle (approche "yield gap"), nous avons quantifié l'impact du traitement sur la pression et la perte de rendement induite par les bio-agresseurs. Nous montrons que le rendement départemental d'une culture constitue un bon proxy du rendement potentiel pour cette même culture sur nos essais. Nous mettons également en évidence une corrélation négative entre les trois maladies étudiées et le rendement du blé à l'échelle interannuelle sans pouvoir révéler d'écarts significatifs entre les pertes de rendements sur les différents systèmes de culture étudiés. Par ailleurs, la pression de maladie observée sur les parcelles traitées ne diffère pas significativement de celle observée sur les parcelles non traitées bien que les parcelles traitées présentent un rendement supérieur. Ces résultats suggèrent que le complexe fongique soit dommageable sans que l'on puisse précisément attribuer l'impact à une maladie ou à une autre, de ces maladies semblent encore mal contrôlées par les traitements existants.

Abstract :

At a time when public opinion is pushing for a reduction in the use of pesticides, the effectiveness and necessity of current agricultural crop protection practices is on the spot. The average yield losses induced by pests and diseases are poorly known due to the great variability in the presence of pests and diseases, on the one hand, and to the regular appearance of resistance that degrades the effectiveness of treatments, on the other. Moreover, the available estimates are generally maximum losses and not average losses, estimated by comparing treated and untreated bands. This approach prevents the estimation of the impact of pests not avoided by treatment. Here, we analyze epidemiomonitoring data for 3 fungal diseases (septoria, yellow rust, brown rust) on soft winter wheat crops from two system trials in the Yvelines department over an 8-year period. Using both treated and untreated band comparisons and yield gap comparisons, we quantified the impact of treatment on pressure and yield loss induced by bio-aggressors. We show that the departmental yield of a crop is a good proxy of the potential yield for that same crop on our trials. We also show a negative impact of the three diseases studied on wheat yield without being able to reveal significant differences between yield losses on the different crop systems studied. Furthermore, we observed that the disease pressure on the treated plots did not

differ significantly from that observed on the untreated plots. These results confirm that these diseases are harmful and that they are currently poorly controlled by existing treatments.

Introduction

La productivité alimentaire est constamment menacée par la pression des différents bio-agresseurs, qu'ils soient des pathogènes, des animaux ou des plantes. Selon les cultures, les bio-agresseurs peuvent être à l'origine de pertes de rendements pouvant atteindre 80%. D'après des observations sur 19 régions à l'échelle mondiale, le blé serait la culture la moins sensible aux bio-agresseurs bien que les pertes de rendement puissent atteindre 50% tous bio-agresseurs confondus ou 20% pour le sous-ensemble des pathogènes (Oerke, 2006 ; Murray, 2009) .

L'explosion démographique au XXème siècle et les changements de comportement alimentaires (consommation accrue de viande) ont considérablement accru la demande de production végétale. L'utilisation de pesticides a participé à répondre à cette demande dans la deuxième moitié du XXème siècle mais a aussi conduit à de nombreux effets collatéraux indésirables comme la pollution des eaux et des sols ou l'érosion de la biodiversité. Un autre effet observé de l'utilisation de ces produits est l'apparition de résistances aux pesticides chez de nombreux nuisibles (Hahn, 2014). Face à cette prise de conscience sur les problématiques environnementales, la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires est l'une des priorités pour construire une agriculture durable (Lechenet, 2014).

Il apparaît donc nécessaire d'adopter de nouveaux systèmes de culture permettant d'assurer la sécurité alimentaire tout en préservant les ressources naturelles de la planète. Pour ce faire, des études visant à comparer l'efficacité de différents systèmes de cultures ont été mis en place. L'utilisation de variétés résistantes est aussi mise à l'étude car elle peut être l'une des clés du contrôle des bio-agresseurs. Nous mobilisons ici les données issues d'essais comparatifs de systèmes de cultures qui mobilisent différentes variétés.

Les liens entre pertes de rendements et densité de ravageurs ne sont pas simples à estimer et dépendent fortement du contexte biologique des pratiques agricoles et des conditions pédoclimatiques, d'autant que les conditions favorables au développement de certains bio-agresseurs sont souvent similaires à celles favorables pour les plantes (Fones, 2015). Pour développer des stratégies de gestion durables de lutte il est donc nécessaire de quantifier ces liens et notamment de considérer conjointement différents bio-agresseurs. Dans cette optique, le projet Apismal dans lequel s'inscrit notre étude- vise à caractériser l'impact des modifications paysagères sur les productions agricoles mais aussi sur les principaux services écosystémiques (régulations des ravageurs, pollinisation, stockage de carbone etc...) impliquant des unités de recherche de différentes disciplines (agronomie, écologie, phytopathologie, économie). Des études ont prouvé que les espaces semi naturels pouvaient avoir un impact positif sur la lutte contre les bio-agresseurs (Barbu, 2017 ; Rusch, 2016).

L'objectif de cette étude est double, dans un premier temps il s'agira quantifier la perte de rendement de blé imputable à différentes maladies fongiques, puis dans un second temps de

comparer ces pertes de rendements en fonction des conditions de culture (système de culture, traitement). Pour cela, nous avons utilisé les données disponibles pour deux essais systèmes situés dans le département des Yvelines : l'essai SIC (Grignon) et l'essai de la cage (Versailles). Nous avons réalisé une étude statistique et comparé différents modèles de rendements en fonction de la pression de bio-agresseurs.

Matériels et Méthodes

1. Présentation des essais

1.1. L'essai "SIC" (Système de culture Innovant sous Contraintes)

Ce dispositif expérimental de longue durée implanté à Grignon (78) et fonctionnel depuis 2008, a pour objectif d'évaluer quatre systèmes de culture répondant à des enjeux environnementaux :

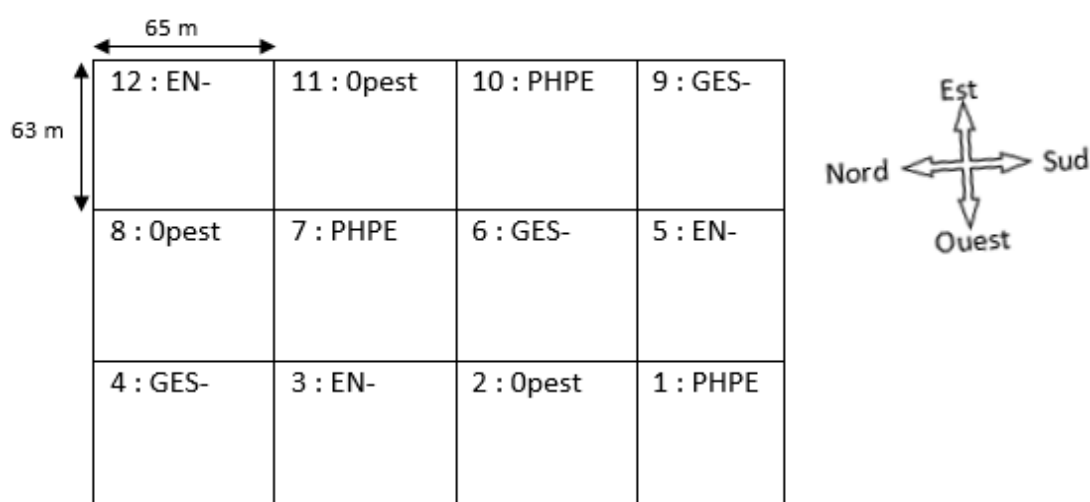


Figure 1 : Dispositif expérimental de l'essai SIC.

- **Le système PHPE** (système Productif à Hautes Performances Environnementales) dont l'objectif est de satisfaire 10 critères environnementaux (méthode Indigo) tout en ayant une productivité élevée. Ces contraintes environnementales représentent les bases de celles des autres systèmes.
- **Le système EN-** (Énergie moins) dont l'objectif est de réduire de moitié l'utilisation d'énergie fossile par rapport au système PHPE.
- **Le système GES-** (Gaz à Effet de Serre moins) dont l'objectif est de diviser par deux les émissions de gaz à effets de serre par rapport au système PHPE.
- **Le système Opest** (zéro Pesticides) dont l'objectif est la production agricole sans utilisation de traitements phytosanitaires qu'ils soient utilisables en agriculture biologique ou non.

L'essai est réalisé sur une parcelle de 6 ha comportant trois répétitions des quatre systèmes de culture testés. La taille élémentaire des parcelles est de 0,4 ha.

Système de culture	Successions culturales
PHPE	féverole d'hiver – blé tendre d'hiver – colza d'hiver – blé tendre d'hiver – (moutarde) – orge de printemps
EN-	féverole d'hiver – blé tendre d'hiver – lin oléagineux d'hiver – association blé tendre d'hiver et trèfle blanc – (trèfle blanc) – avoine de printemps
Opest	(IC*) – féverole de printemps – blé tendre d'hiver – (IC*) – chanvre – triticales – (IC*) – maïs – blé tendre d'hiver
GES-	(IC*) – féverole de printemps – colza d'hiver – (repousses + IC*) – blé tendre d'hiver – (IC*) – orge d'hiver – (IC*) – maïs – triticales

Tableau1 : Successions culturales des quatre systèmes de culture retenus pour l'expérimentation au champ. **D'après Colnenne-David *et al.* (2012).**

*IC : culture intermédiaire non définie

1.2. L'essai "La cage"

Mis en place en 1998 dans le contexte agricole du bassin parisien (absence d'élevage et forte proportion de culture de blé un an sur deux). Il vise à évaluer quatre systèmes de culture :

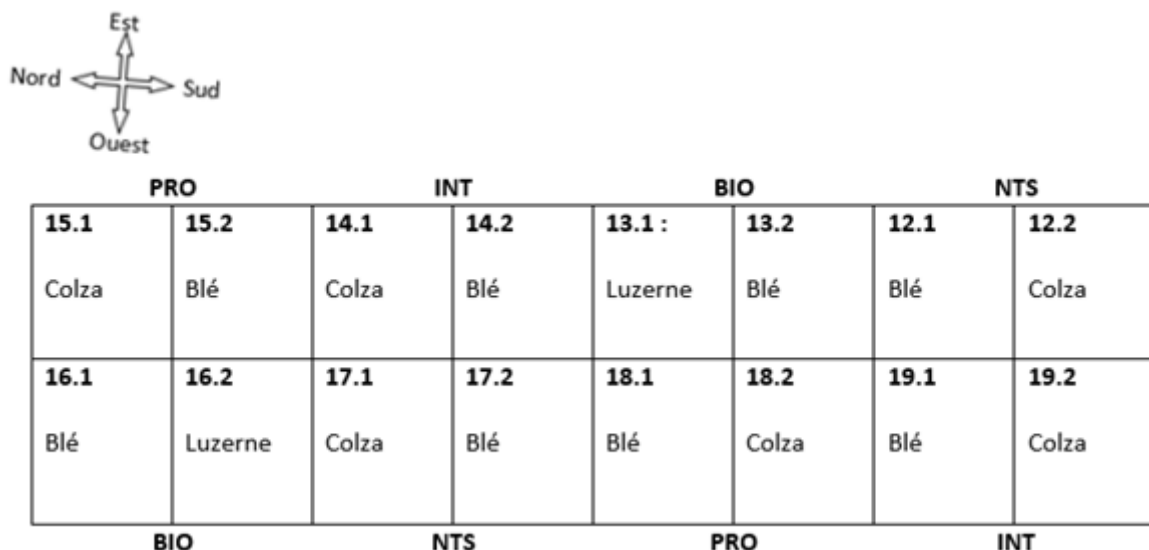


Figure 2 : Dispositif expérimental de l'essai « La cage » en 2016.

- **Le système PRO** (Productif) est fondé sur la recherche de forts rendements grâce à l'utilisation de variétés productives et l'utilisation de quantités élevées d'azote et de

pesticides, il est similaire aux pratiques dites intensives couramment utilisées dans la région.

- **Le système INT** (Intégré) vise à limiter l'utilisation d'intrants tout en assurant une forte rentabilité économique.
- **Le système BIO** (Biologique) satisfait le cahier des charges de l'agriculture biologique, la nutrition azotée est assurée par des légumineuses.
- **Le système NTS** (Non Travail du Sol) est basé sur l'utilisation de plantes de couverture en permanence (y compris pendant le cycle de la culture principale) et sur la suppression du travail du sol.

L'essai est implanté à Versailles et réalisé sur une parcelle de 8 ha comprenant deux répétitions des quatre systèmes de culture sur des parcelles de 0,5 ha.

L'essai est implanté à Versailles et réalisé sur une parcelle de 8 ha comprenant deux répétitions des quatre systèmes de culture sur des parcelles de 0,5 ha.

Système de culture	Successions culturales
PRO	colza – blé – pois – blé
INT	colza – blé – pois – blé
BIO	maïs – blé – pois – blé
NTS	culture* – blé – culture* – blé

Tableau 2 : Successions culturales des quatre systèmes de culture de l'essai « La cage ».
*culture : non défini, souvent une culture de légumineuse.

2. Données disponibles :

Essai SIC : Chaque parcelle est divisée en sept le long des passages de tracteur. Neuf placettes sont définies pour chaque parcelle le long des passages 2, 4 et 6 (trois placettes par passage). Les relevés de bio-agresseurs sont réalisés deux fois par mois. L'intensité de l'attaque des maladies est relevée et les insectes sont comptés dans des pièges ou directement sur les plantes (la liste complète des bio-agresseurs observés est présentée en annexe1).

- **Ravageurs systématiquement observés :** Charançons, méligèthes, limaces.
- **Maladies systématiquement observées :** Rouille brune, rouille jaune, septoriose.

Pour cet essai nous disposons de données couvrant une période de 5 ans de 2013 à 2017, les relevés précédents n'étant pas suffisamment précis pour être exploitables (ces données étant au format papier, une part importante de ce stage a consisté à numériser ces informations). Par ailleurs, seules les données sur le blé tendre d'hiver étaient analysables : les autres cultures n'étaient pas suffisamment présentes.

Essai La cage : Nous disposons des données de l'essai La cage couvrant la période 2010 à 2017. Chaque parcelle présente une bande sans traitement fongicide (NTF) permettant de

comparer les rendements et la pression de bio-agresseurs avec et sans l'utilisation de fongicides. Neuf placettes sont définies sur chaque parcelle. Les relevés de bio-agresseurs sont réalisés une fois par an au moment de la récolte.

- **Maladies systématiquement observées:** Septoriose, rouille Brune,

Les relevés de l'essai de la cage ne portent pas sur les ravageurs prédateurs ou parasites, nous limitant aux maladies fongiques.

Les parcelles de blé tendre d'hiver étant les plus nombreuses et les mieux documentés, nous avons décidé de ne travailler que sur cette espèce. Par ailleurs, le nombre de données sur certaines maladies étant très limité, nous avons uniquement étudié l'effet de la septoriose, de la rouille jaune et de la rouille brune sur le rendement du blé.

3. Mise en forme des données et modèles

3.1 Calcul de la pression de bio-agresseurs

Les données disponibles pour les maladies fongiques rapportées par les relevés de bio-agresseurs se présentent sous forme d'intensité de l'attaque du bio-agresseur par feuille de la plante, c'est à dire le pourcentage de la feuille recouverte par celui-ci. Les feuilles sont notées par ordre croissant du haut vers le bas : la feuille la plus haute est notée F1, puis F2 etc... (Figure 3).

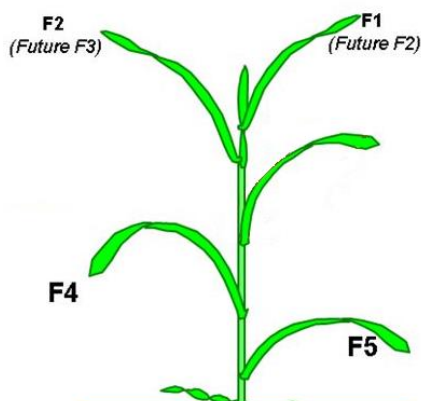


Figure 3 : Numérotation des feuilles pour les relevés de bio-agresseurs.

La majorité des données portaient sur les feuilles 1 à 3. Pour chaque bio-agresseur (rouille brune, rouille jaune et septoriose) nous avons décidé de travailler sur la métrique la plus utilisée ou celle observée sur la plus grande diversité de systèmes de culture (les deux types de rouille n'ont pas été observés sur tous les systèmes de culture). Il s'agit des données F2 pour la septoriose et la rouille jaune et F1 pour la rouille brune.

Le jeu de données ne comprenant que très peu d'observations des trois maladies à la fois, nous avons toujours étudié séparément l'effet de ces trois maladies sur le rendement.

Nous avons tout d'abord créé une variable pression correspondant au ratio de mesures dépassant un seuil de nuisibilité défini au préalable. Pour calculer ce seuil, les données ont été agrégées par parcelle, par année et par traitement (Traité, non traité ou partiellement traité), nous avons ensuite calculé la moyenne de chaque groupe de données (parcelle-année-traitement) et défini le seuil de pression comme étant la médiane de ces

moyennes. La première valeur de pression est calculée comme étant le rapport du nombre d'observations dépassant le seuil sur le nombre total d'observations. Cette pression est donc comprise entre 0 et 1: une pression de 0 signifie que toutes les observations sont inférieures au seuil, une pression de 1 signifie que toutes les observations sont supérieures au seuil.

Comme les mesures de pression sont très hétérogènes, avec parfois des valeurs de pression de 0 ou 1 sur des parcelles présentant peu d'observations, nous commençons par caractériser la pression grâce à un modèle aléatoire. Nous avons testé plusieurs modèles (figure 4) pour déterminer le plus adapté à nos données. En comparant les AIC de nos modèles, nous avons choisi d'utiliser le modèle avec un effet aléatoire de l'interaction Système de culture-campagne culturale. Pour en évaluer l'efficacité, nous avons tracé le graphique de la pression brute en fonction de la pression mixte (Annexe 2).

		AIC	BIC	logLik	deviance	df.resid
exp1	(1 campagne)	12160,48	12171,39	-6078,24	12156,48	1730,00
exp2	(1 SDC)	18989,29	19000,20	-9492,65	18985,29	1730,00
exp3	(1 SDC:campagne)	5586,12	5597,03	-2791,06	5582,12	1730,00
exp4	(1 campagne) + (1 SDC)	8004,30	8020,67	-3999,15	7998,30	1729,00
exp5	(1 Traitement)	22937,37	22948,28	11466,68	22933,37	1730,00
exp6	(1 Traitement:campagne)	10193,40	10204,31	-5094,70	10189,40	1730,00
exp0	Obs_ba ~ 1	23918,32	NA	NA	19635,97	1731,00

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des modèles mixte de calcul de pression

3.2 Etude de la relation Pression-Rendement

Pour évaluer l'impact des bio-agresseurs sur le rendement, nous avons créé différents modèles de complexité croissante. Nous avons commencé par étudier des modèles simples de régression linéaire Rendement = f(Pression). Nous avons ensuite créé de nouveaux modèles en ajoutant des paramètres au modèle de base, avec et sans interaction. En étudiant la significativité des paramètres de chaque modèle et en comparant leur AIC, nous avons pu évaluer la pertinence d'intégrer telle ou telle variable. Nous avons également obtenu des données officielle du ministère de l'agriculture (Agreste) les données de rendement départemental fourni par Agreste des données de pression à l'échelle départementale pour chaque année étudiée ont aussi été obtenue des données du réseau d'épidémiosurveillance du ministère pour les trois maladies considérées.

Résultats

1. Effets du traitement sur la pression de bio-agresseurs

Nous avons tout d'abord étudié les relations rendement-système de culture, rendement-traitement et rendement-variété (figure 4). D'après ces graphiques, on peut remarquer que la septoriose F2 ne semble pas influencée par le traitement ou la variété. En revanche, on observe une variation de la pression entre les deux essais : la pression observée est forte pression sur l'ensemble des systèmes des cultures de l'essai de la cage, ce qui pourrait correspondre à des différences dans les protocoles de notation. Nous avons réalisé les mêmes graphiques pour la rouille jaune et la rouille brune (Annexe 2) qui n'ont révélé aucune différence évidente de pression entre les systèmes de cultures ni entre les traitements ou les variétés. Pour quantifier la significativité de ces différences potentielles, nous avons étudié deux modèles de pression en fonction du traitement dont les paramètres sont présentés ci-dessous (Tableau 4).

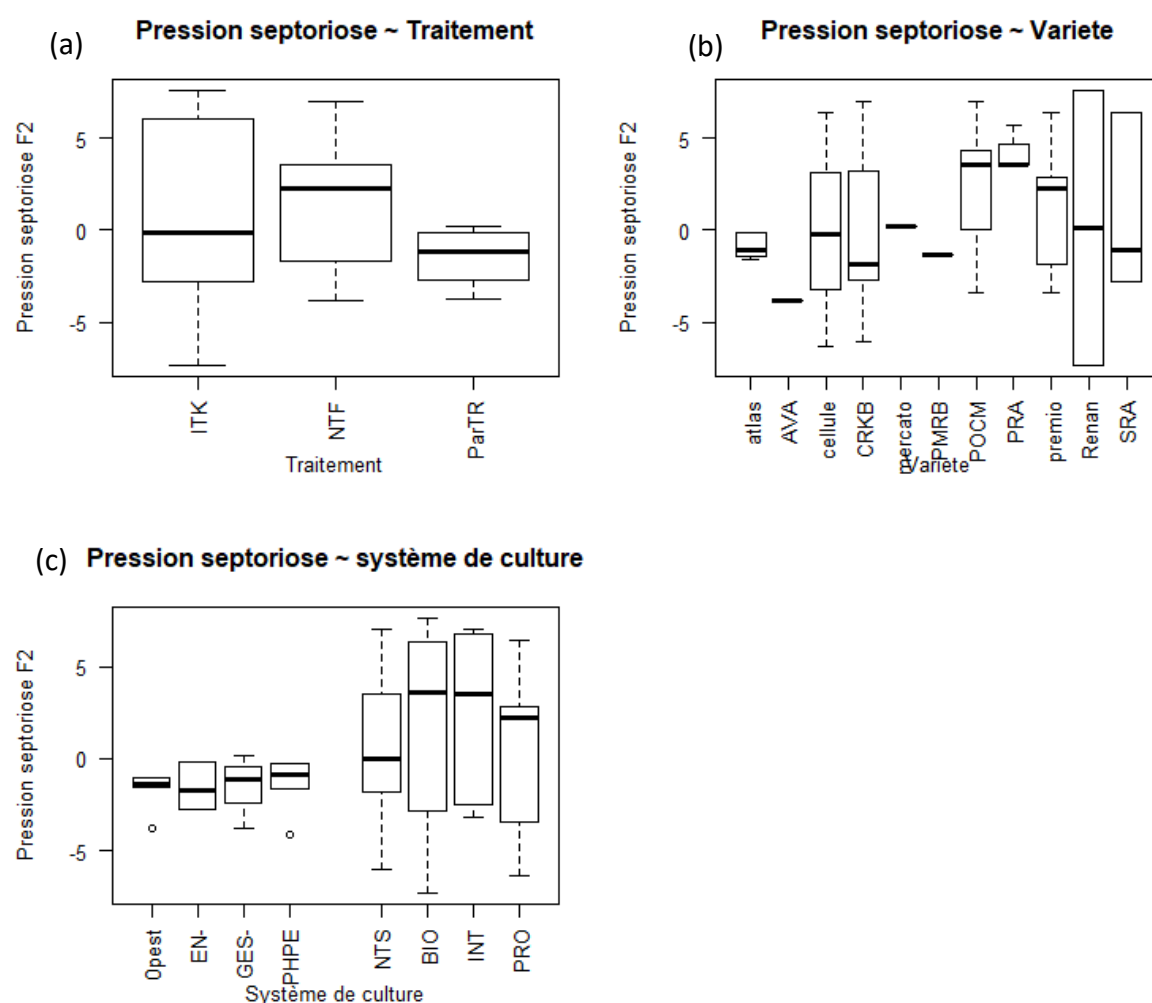


Figure 4 : Graphiques représentant la pression de septoriose F2 en fonction de différentes variables qualitatives : (a) Traitement (ITK = traité, NTF = Sans traitement fongicide, ParTR = partiellement traité), (b) Variété (c) Système de culture : les quatre de gauche = Essai SIC, les quatre de droite = Essai La Cage.

Les tableaux ci-dessous présentent les paramètres des modèles de la pression de septoriose en fonction du traitement (a) et de la pression de septoriose en fonction du traitement et de la pression départementale de septoriose (b). Le tableau 4a nous indique que la pression de septoriose est légèrement plus importante sur les parcelles non traitées. Toutefois cette relation n'est pas significative. Le tableau 4b confirme cette observation et nous apprend également que la pression départementale n'est pas non plus significativement corrélée à la pression sur les essais.

Pression ~ traitement		
	Estimate	p-value
(Intercept)	1,18	0,0658
Non traité	1,2219	0,3157

Pression ~ traitement + Pression dpt		
	Estimate	p-value
(Intercept)	0,3691	0,806
Non traité	1,640	0,242
Pression dpt	0,2973	0,293

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des modèles Pression-rendement pour la pression de septoriose.

De la même manière on remarque sur les graphiques ci-dessous (figure 5) que le rendement ne semble pas corrélé de manière significative au traitement ou à la variété. Cependant en regardant l'impact du système de culture sur le rendement, on peut noter que les rendements obtenus en Opest (non traité) tendent à être inférieurs aux rendements des autres systèmes de culture traités sur SIC. On observe le même phénomène sur l'essai la cage avec des systèmes BIO et NTS qui semblent dégager de moins bon rendements que les systèmes INT et PRO.

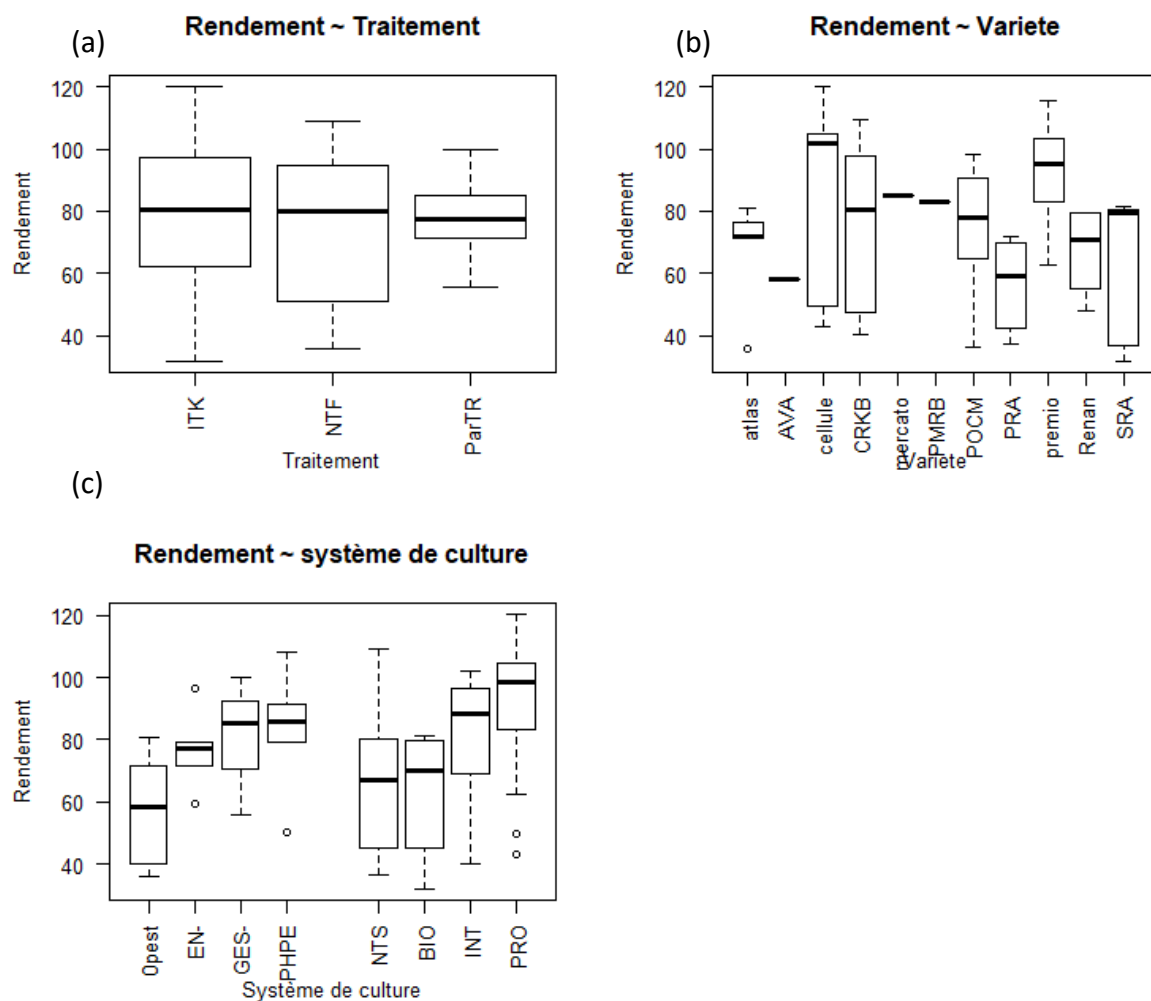


Figure 5 : Graphiques représentant le Rendement de bléTH en fonction de différentes variables qualitatives : (a) Traitement (ITK = traité, NTF = Sans traitement fongicide, ParTR = partiellement traité), (b) Variété (c) Système de culture : les quatre de gauche = Essai SIC, les quatre de droite = Essais La Cage.

2. Effets de la pression de bio-agresseurs sur le rendement

Nous avons cherché à savoir quel impact avait la pression des différents bioagresseurs sur le rendement. Pour cela, nous avons utilisé des modèles de régression linéaire simples du rendement en fonction de la pression du bio-agresseur: $Rdt_i = a + b * Pression_i$ (Figure 6a et Tableau 5b).

Les pentes des droites de régression étant négative, le rendement semble corrélé négativement à la pression de chacun des trois bio-agresseurs, significativement pour la septoriose et la rouille jaune. La pression de rouille brune quant-à-elle ne semble pas significativement corrélée au rendement de blé tendre d'hiver ($p\text{-value} > \alpha$).

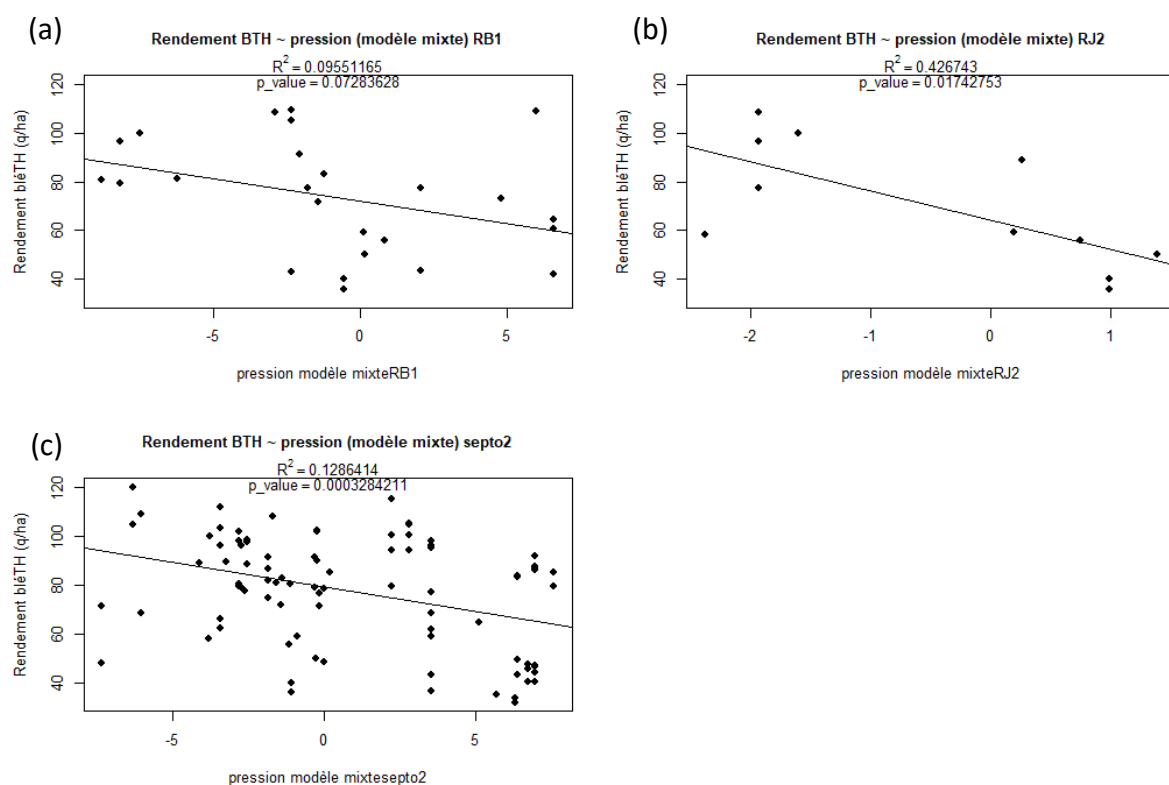


Figure 6 : (a), (b) et (c): Graphiques représentant le rendement de bléTH en fonction de la pression de différents bio-agresseurs. (a) Rouille brune F1, (b) Rouille jaune F2 (c) Septoriose F2.

Par contre, la différence de traitement est significativement corrélée à une différence de rendement en mettant l'année en interaction avec le système de culture en effet fixe (estimation de perte de 6 qt dans les espaces non-traités à système de culture constant, p -value inférieure à 0.01), ce qui indique que le traitement améliore bien le rendement mais que son effet est mal traduit par les différences de symptômes. La corrélation des rendements départementaux aux pressions à l'échelle départementale est elle aussi forte (Tableau 5c). Enfin, les rendements locaux étant très corrélés aux rendements départementaux, on quantifie la corrélation des rendements à la pression en prenant en compte ce proxy du potentiel de rendement sur les parcelles.

Par contre, la différence de traitement est significativement corrélée à une différence de rendement en mettant l'année en interaction avec le système de culture en effet fixe, ce qui indique que le traitement améliore bien le rendement mais que son effet est mal traduit par les différences de symptômes. La corrélation des rendements départementaux aux pressions à l'échelle départementale est elle aussi forte (Tableau 5c). Enfin, les rendements locaux étant très corrélés aux rendements départementaux, on quantifie la corrélation des rendements à la pression en prenant en compte ce proxy du potentiel de rendement sur les parcelles.

Contrairement aux modèles précédents, aucune corrélation significative n'est observée entre pression de bio-agresseur et rendement, et ce, que l'interaction système de culture : année soit aléatoire ou fixe. L'ajout du rendement départemental étant un proxy du rendement

potentiel qui intègre la pression générale de septoriose à l'échelle du département mais aussi plus généralement les effets météorologique retire donc toute leur pertinence aux observations locales de septoriose pour prédire le rendement.

Nous avons réalisé les mêmes modèles pour la rouille brune et la rouille jaune. Les résultats de ces modèles sont présentés en annexe 3. Ces résultats nous amènent à des conclusions proches pour les trois bio-agresseurs.

(a)

Rdt~Pression + (1 SDC:campagne)		
	Estimate	t value
(Intercept)	76,499	25,24*
Pression	-1,999	-2,679 *

(b)

Rdt ~ Pression		
	Estimate	p-value
(Intercept)	79,336	2.10-16 *
Pression	-1,952	4,9.10-4 *

(c)

Rdt pdt ~ Pression dpt		
	Estimate	p-value
(Intercept)	94,7285	2.10-16 *
Pression	-4,4989	2.10-16 *

(d)

Rdt ~ Pression + Rdt dpt + (1 SDC:campagne)		
	Estimate	t value
(Intercept)	5,9101	0,351
Pression	-0,8904	-1,223
Rdt dpt	0,9324	4,239 *

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des modèles Rendement-Pression de septoriose (* = résultat significatif)

Nous avons ensuite regardé si l'effet de la pression sur le rendement varie suivant le système de culture avec le type de modèle suivant : $Rdt_{i,j} = SDC_i + b_i * Pression_{i,j} + c_i * SDC_i * Pression_{i,j}$ (figure 7). Dans ces graphiques représentant le rendement de blé sur les essais en fonction de la pression des différents bio-agresseurs, les points sont identifiés par système de culture. On remarque tout d'abord que quel que soit le système de culture ou le bio-agresseur, la pression de maladie semble corrélée négativement au rendement. Le graphique (a) semble montrer que le rendement est plus impacté par la pression de rouille brune sur les parcelles PHPE que sur les autres parcelles. Cependant, d'après les p-valeurs des différents paramètres du modèle, l'influence de la pression de rouille brune sur le rendement n'est pas significativement différente entre les systèmes de culture. Dans le cas de la pression de septoriose (c) notre modèle semble expliquer une part non négligeable de la variabilité du rendement ($R^2=0,45$).

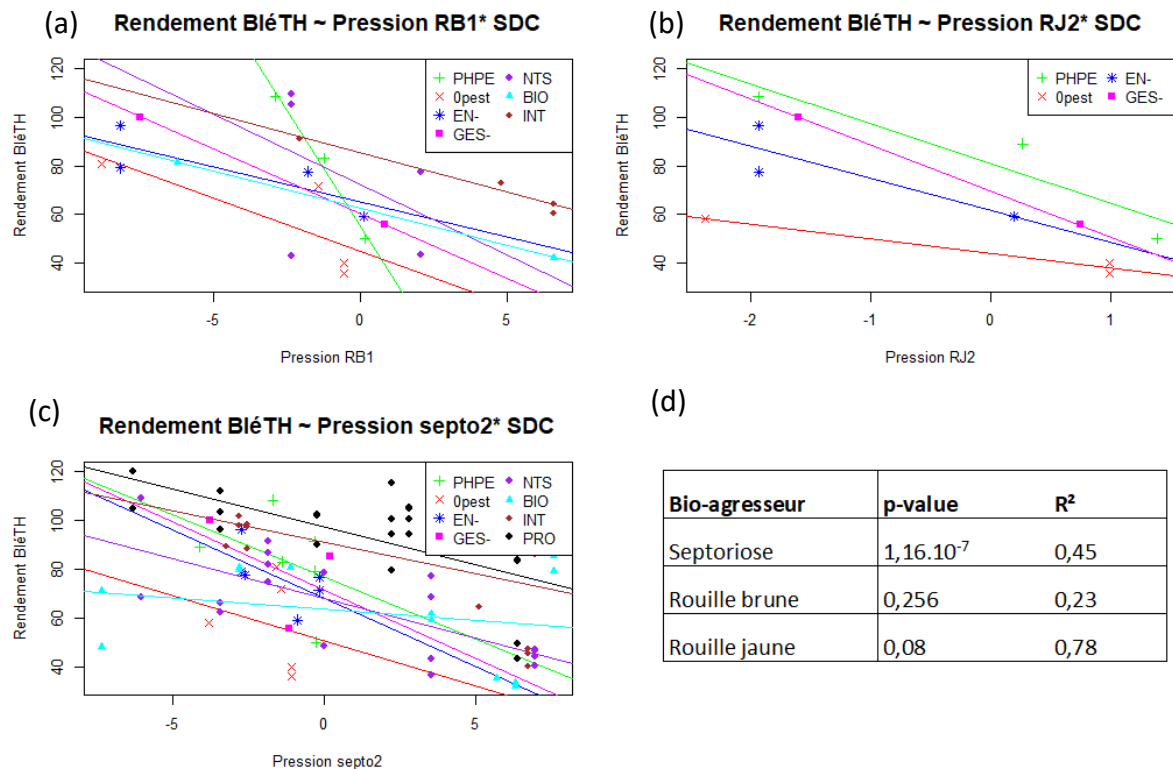


Figure 7 : (a), (b) et (c): Graphiques représentant le rendement de bléTH en fonction de la pression de différents bio-agresseurs. (a) Rouille brune F1, (b) Rouille jaune F2 (c) Septoriose F2. Le tableau (d) présente la p-valeur globale et le coefficient de détermination de chaque modèle.

Discussion et conclusion

Le rendement du blé tendre d'hiver est contraint par la pression des différents bio-agresseurs que nous avons observés. Cependant, Dans cette étude, nous n'avons pas pu mettre en évidence de lien significatif entre le rendement et la pression de bio-agresseur. Concernant la rouille brune, les résultats n'étaient pas significatifs. Cependant, n'ayant pas pu tester de modèles incluant plusieurs bio-agresseurs par manque de données, ces résultats sont à prendre avec précaution. En effet, les pentes des régressions du rendement en fonction de la pression des différents bio-agresseurs sont comparables les unes aux autres ce qui suggère que les pertes de rendements sont similaires pour chaque bio-agresseur. Les maladies se déclenchant sous des conditions environnementales similaires, il est difficile d'évaluer la part de perte de rendement imputable à un bio-agresseur en particulier. Il serait d'ailleurs utile d'évaluer les pertes de rendements imputables à un cortège de bio-agresseur et non de les évaluer séparément. L'évaluation que nous avons faite de l'effet du traitement évalue d'ailleurs cela indirectement et en partie puisque le traitement est général aux maladies foliaires mais la différence entre traité et non traité ne permet que d'évaluer l'impact prévenu par le traitement et non pas la part induite par les maladies malgré le traitement.

Les modèles incluant les effets du système de culture ou du traitement semblent montrer que les rendements sont meilleurs sur les parcelles traitées. En revanche il ne semble pas y avoir de différences significatives d'impact des bioagresseurs selon le système de culture. Enfin, les modèles mixtes semblent être les meilleurs prédicteurs du rendement.

Le jeu de données à notre disposition provenait d'essais dont l'objectif est d'étudier le rendement, la rentabilité économique et l'impact environnemental de différents systèmes de culture. En conséquence, les relevés de bio-agresseurs ne sont pas forcément adaptés à cette étude. En effet, les données de l'essai de Versailles (La Cage) ne sont réalisées qu'une fois par an, au moment de la récolte ce qui implique que la variable utilisée ne correspond pas à un suivi de la pression de bio-agresseurs mais une pression ponctuelle. D'autre part, les relevés ne sont pas effectués par le même observateur d'une année sur l'autre, ce qui peut constituer un biais dans l'analyse statistique que nous avons réalisé. On peut également noter que pour certaines données de l'essai de Grignon (SIC), l'information disponible était partielle. Lorsqu'une plante était infectée par plusieurs maladies fongiques, l'observateur notait le pourcentage total de feuille atteint sans distinguer la part de chaque champignon responsable de la maladie. Par ailleurs nous avons constaté que le jeu de données comportait certaines valeurs aberrantes, notamment du fait du nombre restreint d'observations réalisées. En effet la taille du jeu de donnée étant restreint, il peut présenter des valeurs aberrantes. C'est d'ailleurs ce qui nous a contraints à utiliser un modèle avec effet aléatoire pour calculer nos variables pression. Certaines modalités ne contenaient pas ou peu de données. Il n'y avait par exemple aucune observation de rouille jaune sur l'essai "la Cage". Ceci a constitué un véritable frein et nous a contraint à étudier l'influence des bioagresseurs sur le rendement un par un. Notez que le recensement des limitations des données issues de ces essais systèmes faisait partie intégrante des objectifs de ce stage et une conclusion importante de ce stage est que même des mesures réputées mesurées chaque année sont de fait lacunaires et souvent insuffisante pour étudier l'impact des bioagresseurs sur le rendement.

Notre étude a permis de mettre en évidence le fait que certains bioagresseurs sont mal contrôlés par les pesticides, notamment pour la septoriose qui semble fortement corrélée à l'échelle inter-annuelle avec des pertes de rendement. Cette observation va dans le sens de la réduction de l'utilisation de telles substances, d'autant que l'apparition de résistance aux fongicides est un problème connu depuis de nombreuses années (Hahn, 2014). La gestion des rotations, l'utilisation de variétés résistantes et la préparation des parcelles pourraient contribuer à plus de 50% à la gestion des ravageurs (Murray, 2009) cependant le manque de différences entre systèmes de cultures dans les essais étudiés ne va pas dans ce sens. De plus, le développement et l'utilisation de variétés résistantes peut être un levier majeur à mobiliser d'avantage (Ziv, 1978).

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Corentin Barbu qui a su répondre à mes questions et m'accompagner dans l'élaboration de modèles et la rédaction de ce rapport. Ses conseils et son aide ont été précieux pour l'accomplissement de ce travail.

Je souhaite également remercier Nathan Devaud, Jihan Drissi et Anne-Raphaël Lorant qui m'ont conseillé et orienté sur l'utilisation du logiciel R et sur la recherche sources bibliographiques.

Enfin, je remercie tout le personnel de l'INRA Grignon qui a su m'accueillir dans la joie et la bonne humeur et qui ont rendu ce stage très agréable.

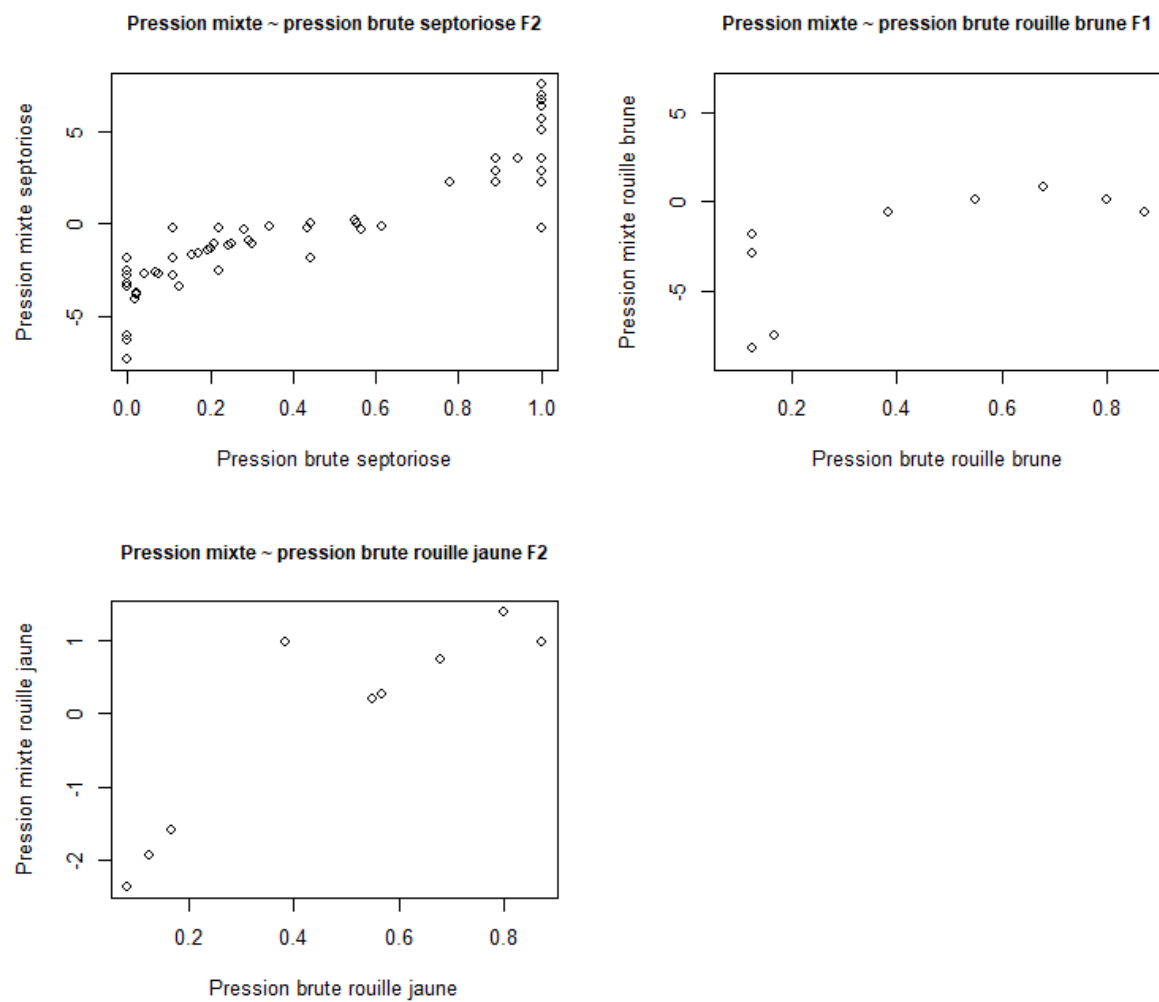
Bibliographie

- Barbu, C M, M Chen, N Guérin, D Simmoneau, M Valentin-Morison, C Sausse, et I Félix. « Regards croisés sur l'effet des espaces semi-naturels et de l'assolement sur les bio-agresseurs de grandes cultures », s. d., 10.
- Bhathal, J S, R Loughman, et J Speijers. « Yield Reduction in Wheat in Relation to Leaf Disease From Yellow (Tan) Spot and Septoria Nodorum Blotch », s. d., 9.
- Colnenne-David, Caroline, Gilles Grandeau, et Thierry Doré. « Concilier performances environnementales et rendements élevés : premières évaluations de systèmes de culture innovants sous contraintes », 2012, 14.
- Fones, Helen, et Sarah Gurr. « The Impact of Septoria Tritici Blotch Disease on Wheat: An EU Perspective ». *Fungal Genetics and Biology* 79 (juin 2015): 3-7.
- Lechenet, Martin, Vincent Bretagnolle, Christian Bockstaller, François Boissinot, Marie-Sophie Petit, Sandrine Petit, et Nicolas M. Munier-Jolain. « Reconciling Pesticide Reduction with Economic and Environmental Sustainability in Arable Farming ». Édité par Raul Narciso Carvalho Guedes. *PLoS ONE* 9, n° 6 (2 juin 2014): e97922..
- Murray, Gordon M., et John P. Brennan. « Estimating Disease Losses to the Australian Wheat Industry ». *Australasian Plant Pathology* 38, n° 6 (2009): 558.
- Oerke, E.-C. « Crop Losses to Pests ». *The Journal of Agricultural Science* 144, n° 01 (février 2006): 31.
- Rusch, Adrien, Rebecca Chaplin-Kramer, Mary M. Gardiner, Violetta Hawro, John Holland, Douglas Landis, Carsten Thies, et al. « Agricultural Landscape Simplification Reduces Natural Pest Control: A Quantitative Synthesis ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 221 (avril 2016): 198-204.
- Ziv, Oded. « Assessment of Yield Component Losses Caused in Plants of Spring Wheat Cultivars by Selected Isolates of Septoria Tritici ». *Phytopathology* 68, n° 5 (1978): 791.

Annexe 1: Métriques observées sur SIC

métrique	2013	2014	2015	2016	2017	nObs_tot
altise	0	0	0	2	0	2
antrachnose	0	0	0	0	1	1
botrytis	0	0	7	0	0	7
brome	12	0	0	0	0	12
bruche	18	0	0	0	0	18
cetoine	2	0	0	0	0	2
charancon	8	36	10	2	24	80
corbeau	2	1	2	0	0	5
cylindrospriose	0	12	0	0	0	12
degats d'altise	0	54	6	0	27	87
siliques	0	42	12	0	27	81
fusariose	0	0	0	90	0	90
grillure_f1	0	5	0	0	0	5
helminthosporiose_f1	0	78	49	48	0	175
jaunisse nanisante de l'orge_f1	0	0	0	81	0	81
lema	9	25	19	0	0	53
limace piege	0	576	531	693	441	2241
meligethe	8	36	8	0	24	76
mildiou	0	0	16	0	0	16
oidium_f1	0	14	42	2	1	59
phoma	11	43	12	0	27	93
pietin echaudage	1	3	0	10	3	17
pietin verse	9	11	0	10	1	31
pigeon	1	0	3	0	0	4
puceron	0	4	7	0	2	13
pyrale	0	0	47	0	0	47
rhizoctone	3	7	0	10	6	26
rhynchosporiose_f1	0	18	0	39	0	57
rouille brune_f1	0	166	81	127	8	382
rouille couronnee_f1	0	18	0	0	0	18
rouille jaune_f2	0	0	22	150	60	232
septoriose_f2	255	102	395	407	287	1446
sitone	0	0	0	0	15	15

Annexe 2: Graphiques des pressions mixtes en fonction des pressions brutes



Annexe 3: Résumés des modèles Rendement-Pression (a :d = rouille brune ; e :h = rouille jaune)

(a)

Rdt~Pression + (1 SDC:campagne)		
	Estimate	t value
(Intercept)	72,06	15,81*
Pression	-1,825	-1,866

(b)

Rdt ~ Pression		
	Estimate	p-value
(Intercept)	72,04	6,07.10 ⁻¹⁴ *
Pression	-1,8297	0,073*

(c)

Rdt dpt ~ Pression dpt		
	Estimate	p value
(Intercept)	58,28	2.10 ⁻¹⁶ *
Pression	4,63	6,36.10 ⁻¹⁴ *

(d)

Rdt ~ Pression + Rdt dpt + (1 SDC:campagne)		
	Estimate	t value
(Intercept)	1,2577	0,059
Pression	-1,3273	-1,593
Rdt dpt	0,9128	3,381 *

(e)

Rdt~Pression + (1 SDC:campagne)		
	Estimate	t value
(Intercept)	66,55	9,88 *
Pression	-10,806	-2,43 *

(f)

Rdt ~ Pression		
	Estimate	p-value
(Intercept)	64,38	2,25.10 ⁻⁶
Pression	-12,01	0,0174 *

(g)

Rdt dpt ~ Pression dpt		
	Estimate	p-value
(Intercept)	80,319	2.10 ⁻¹⁶
Pression	-1,431	0,122

(h)

Rdt ~ Pression + Rdt dpt + (1 SDC:campagne)		
	Estimate	t value
(Intercept)	28,95	0,718
Pression	-10,73	-1,22
Rdt dpt	0,61	0,939