

Spécialité : Agriculture

Bioagresseurs, assolement et paysages

Investigation des corrélations et recherche
d'interprétations



Mathilde CHEN
155^{ème} promotion

Mémoire de fin d'étude

Année 2015-2016

Maîtres de stage :

Irène FELIX (ARVALIS)
Corentin BARBU (INRA)
Christophe SAUSSE (Terres Inovia)

Tuteur : Saleh SELIM (Institut Polytechnique LaSalle Beauvais)

Résumé

Dans un contexte de réduction progressive de l'utilisation des produits phytosanitaires, la communauté agronomique cherche à mettre en place de nouveaux leviers de lutte contre les bioagresseurs. Il a été constaté que certains éléments du paysage peuvent participer localement à la régulation biologique de bioagresseurs de grandes cultures. Nous nous proposons de dépasser ces constats partiels et d'étudier la relation entre la pression exercée par plusieurs maladies de grandes cultures et le paysage à l'échelle de la France. Pour cela, nous comparons des informations tirées (i) de l'élicitation de la bibliographie, (ii) de l'élicitation d'experts et (iii) d'analyses statistiques multivariées spatialisées sur des données nationales (RPG, BD TOPO ® et Vigicultures ®). Tout d'abord, il a été constaté que le manque de références sur le sujet, la difficulté d'expérimentation à l'échelle humaine et la combinaison de multiples facteurs rendent l'appréhension de ces effets paysagers très difficile pour les experts et d'après l'interprétation de la bibliographie. A l'échelle de la parcelle, les pratiques agricoles semblent avoir un impact prédominant sur les maladies, qui disparaît en dehors de la parcelle. A l'échelle du paysage, l'estimation difficile des effets de l'assoulement et des éléments semi-naturels, couplée aux analyses statistiques, encore incomplètes, ont conduit à des divergences entre les résultats des trois sources d'informations. L'élicitation des experts et l'étude de la bibliographie suggèrent que l'assoulement environnant a plus d'impact sur la pression exercée par les maladies que les éléments semi-naturels, ce qui n'est pas convergent avec les résultats des analyses statistiques. Ces dernières révèlent des effets inattendus de certains éléments semi-naturels, tandis qu'elles ne montrent pas d'effet significativement fort de l'assoulement. Ces divergences ne nous permettent pas à l'heure actuelle de définir des théories opérationnelles pouvant conduire à du conseil. Cependant, elles nous permettent d'affirmer qu'il n'y a pas qu'une seule bonne méthode, mais qu'il est nécessaire de croiser les avis pour observer les effets du paysage sur les maladies de grandes cultures.

One of the great challenge of agriculture in this century is the decrease of pesticides use. In this context, scientists are working on finding sustainable alternatives for pests and diseases management. Proven interactions between landscape and some pests lead us to think that landscape could take part to biological regulation. Nevertheless, these interactions did not take more than one pest or more than one natural element into account. To move beyond these findings, we investigate the impact of landscape on several diseases at the landscape scale. For this purpose, we compare informations from (i) literature elicitation, (ii) experts elicitation and (iii) multivariate analysis on national data bases. First, we found that landscape effects were difficult to estimate by the experts and according to the literature because of the lack of references, the difference between human observation scale and landscape scale and the combination of factors leading to diseases abundances. At the field scale, disease management is closely related to agricultural practices. Results at landscape scale for other landscape factors from experts and literature elicitation do not agree with results from statistical analysis. On one hand, experts and literature elicitation suggests that crop abundance in surrounding fields may have a stronger impact on disease development and spread than semi-natural structures. In the other hand, results from penalised regression (Lasso) show unexpected effects of some of these semi-natural habitats and few significant impacts of crop abundance in the landscape. These differences do not allow us to define strategies for farm advisory and landscape management. Nevertheless, this study showed us that we need to cross different opinion from several methods to investigate landscape effect on agricultural diseases.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de ce stage de fin d'études et qui m'ont aidées lors de la rédaction de ce rapport.

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements à mes encadrants de stage, Corentin Barbu, Irène Félix et Christophe Sausse. Leurs conseils m'ont permis de mener à bien ces six mois de stage. Grâce à leur confiance et à leur accompagnement, j'ai pu m'accomplir totalement dans mes missions.

Je tiens à remercier Nicolas Guérin. Son stage sur l'effet du paysage sur les ravageurs des grandes cultures nous a permis de travailler et d'échanger ensemble sur les différents aspects de cette étude.

Je tiens à remercier vivement mon tuteur de stage à l'Institut Polytechnique LaSalle Beauvais, Mr Sameh Selim, pour son enthousiasme et son aide pour les différentes étapes académiques du stage.

Je remercie tous les experts qui ont accepté de participer à l'étude et de consacrer du temps pour répondre à mes questions et pour valider leurs questionnaires.

Je remercie également l'équipe de Grignon de Terres Inovia pour son accueil, son aide et sa bonne humeur qui m'ont accompagnée durant ces six mois.

Table des matières

Résumé.....	2
Remerciements	3
Table des matières.....	4
Table des illustrations.....	6
Liste des figures.....	6
Liste des tableaux	7
Table des annexes	8
Liste des abréviations, symboles et unités.....	10
Abréviations	10
Codification des métriques paysagères.....	10
Unités	10
Glossaire.....	11
Introduction	12
Matériel et méthodes.....	15
1. Le questionnaire, un outil commun de collecte de l'information.....	15
2. Etude systématique de la littérature	18
3. Elicitation des connaissances expertes.....	19
4. Analyses statistiques	20
4.1. Description des bases de données utilisées pour les analyses statistiques	21
4.1.1. Base de données épidémiologiques Vigicultures ®	21
4.1.2. Registre Parcellaire Graphique	22
4.1.3. BD TOPO ®.....	23
4.2. Calcul des variables à expliquer : les métriques d'abondance de bioagresseurs	23
4.3. Calcul des variables explicatives : les métriques paysagères	26
4.3.1. Assolement agricole	26
4.3.2. Facteurs "éléments semi-naturels".....	27
5. Contexte pédoclimatique : prise en compte de la grande région de production.....	28
6. Choix des modèles	30
Résultats	32
1. Impact des pratiques agricoles et des caractéristiques de la parcelle sur la rouille jaune.....	32
1.1. Résultats obtenus d'après les recherches bibliographiques	32
1.1.1. Echelle parcellaire	32
1.1.2. Echelle supra-parcellaire	33
1.2. Résultats obtenus auprès des experts	34

1.2.1. Echelle parcellaire	34
1.2.2. Echelle supra-parcellaire	36
1.3. Résultats obtenus d'après les analyses statistiques	37
2. Impact de l'assolement et des éléments semi-naturels sur la rouille jaune dans le paysage	37
2.1. Résultats obtenus d'après les recherches bibliographiques	38
2.2. Résultats obtenus auprès des experts	39
2.3. Résultats obtenus d'après les analyses statistiques	40
3. Synthèse par maladie	40
3.1. Rouille jaune	40
3.2. Septoriose	40
3.3. Phoma	42
3.4. Sclerotinia	43
4. Synthèse globale	44
5. Cohérence entre les sources d'informations	45
6. Effet de la région	46
Discussion	48
Conclusion	52
Liste des références bibliographiques	53
Annexes	58

Table des illustrations

Liste des figures

FIGURE 1 : PRINCIPAUX SYMPTOMES DES QUATRE MALADIES ETUDEES	14
FIGURE 2 : SCHEMA EXPLICATIF DES DIFFERENTES DEMARCHEES EFFECTUEES POUR COLLECTER (CADRE EN POINTILLES) ET PERMETTRE LA COMPARAISON DES CONNAISSANCES ISSUES DE LA LITTERATURE, DE L'EXPERIENCE DES EXPERTS ET DES BASES DE DONNEES NATIONALES	15
FIGURE 3 : EXTRAIT D'UN QUESTIONNAIRE D'EXPERT ; DESCRIPTION QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DE L'EFFET DE LA DIVERSITE VARIETALE SUR LE PHOMA DE 200 A 10 000 METRES AUTOUR D'UNE PARCELLE.	17
FIGURE 4 : DESCRIPTION QUANTITATIVE DE L'EFFET D'UN FACTEUR SUR LA PRESSION MALADIE DANS UNE PARCELLE. EN ABSISSE, LES DIFFERENTES FORMES THEORIQUES QUE L'ON PEUT ATTRIBUER A LA RELATION ENTRE LE FACTEUR EXPLIQUE ET LA PRESSION DE MALADIE DANS LA PARCELLE. EN ORDONNEE, LA PROBABILITE D'OBSERVER CHAQUE FORME THEORIQUE. DANS CET EXEMPLE, IL Y A 100 % DE CHANCE (SIX CASES SUR SIX CASES) DE N'OBSERVER AUCUN EFFET DU FACTEUR EXPLIQUE SUR LA PRESSION MALADIE (ENCADRE ORANGE).	17
FIGURE 5 : CAS DE FIGURES POSSIBLES DANS LES QUESTIONNAIRES ET TRADUCTION DES DIAGRAMMES DE PROBABILITES CORRESPONDANTS.....	18
FIGURE 6 : SCHEMA EXPLICATIF DES ANALYSES STATISTIQUES MULTIVARIEES REALISEES DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE.....	21
FIGURE 7 : LOCALISATION (A) DES PARCELLES DE COLZA (N = 2216) ET (B) LOCALISATION DES PARCELLES DE BLE (N = 2653) DU RESEAU VIGICULTURES ® UTILISEES POUR LES ANALYSES (PARCELLES GEO REFERENCEES DES CAMPAGNES 2009 A 2014).	22
FIGURE 8 : DISTRIBUTION DES METRIQUES D'ABONDANCE POUR CHAQUE MALADIE. CES GRAPHIQUES REPRESENTENT LA PART DE METRIQUES D'ABONDANCE QUI DEPASSENT UN CERTAIN NOMBRE DE FOIS (1, 2, 3 OU 4 FOIS ETC.) LE SEUIL D'ABONDANCE DEFINI AU PREALABLE AVEC LES EXPERTS ET LA LITTERATURE EST DEPASSE PAR LES NOTATIONS EFFECTUEES POUR LA BASE VIGICULTURES ® POUR CHAQUE MALADIE. SUR LA TOTALITE DES OBSERVATIONS CONCERNANT LA ROUILLE JAUNE, 6094 D'ENTRE ELLES NE DEPASSENT PAS LE SEUIL D'ABONDANCE DEFINI EN ACCORD AVEC LES RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES ET LES EXPERTS, 170 LE DEPASSENT UNE FOIS, 85 DEUX FOIS ETC. LA PREMIERE COLONNE DE CHAQUE GRAPHIQUE REPRESENTE LE NOMBRE D'OBSERVATIONS NE DEPASSENT PAS LE SEUIL CHOISI.....	25
FIGURE 9 : EXEMPLE DE TAMON UTILISE POUR LE CALCUL DES METRIQUES PAYSAGERES ISSUES DE LA BD TOPO ® ET DU RPG. D PEUT ETRE EGAL A 200, 1 000, 5 000 OU 10 000 METRES. ICI NOUS AVONS UTILISE LES AIRES DE L'UN OU L'AUTRE DES ELEMENTS DANS LE BUFFER.....	26
FIGURE 10 : CARTOGRAPHIE DE HUIT GRANDS TYPES D'ENVIRONNEMENTS DE PRODUCTION (LORGEOU ET AL., 2012). A PARTIR DE CETTE CLASSIFICATION, UNE LISTE DE 10 REGIONS AGRO-CLIMATIQUE A ETE DEFINIE PAR LE COMITE DE PILOTAGE : BASSIN PARISIEN ÎLE-DE-FRANCE (!), EST SEC (!), CENTRE EST (!), SUD DU BASSIN PARISIEN (!), PROVENCE (!), NORMANDIE NORD BORDURE MARITIME (!), BRETAGNE (!), EST HUMIDE (!), POITOU CHARENTE FAÇADE ATLANTIQUE (!), SUD-OUEST (!)	28
FIGURE 11 : DISTRIBUTION DES METRIQUES D'ABONDANCE DE BIOAGRESSEUR EN FONCTION DE LA CULTURE ET DE LA REGION.....	29
FIGURE 12 : SCHEMA EXPLICATIF DES VARIABLES A EXPLIQUER POUR LA ROUILLE JAUNE (EN ORANGE) ET DES VARIABLES EXPLICATIVES (EN VERT) ENTRANT DANS LES ANALYSES STATISTIQUES ET DE LA BASE DE DONNEES OU DE LA CLASSIFICATION A PARTIR DE LAQUELLE CHAQUE VARIABLE EST CALCULEE. LA VARIABLE EXPLICATIVE EST DIFFERENTE POUR CHAQUE MALADIE.....	30
FIGURE 13: RELATION ENTRE FBM ET DES FEM POUR CHAQUE FACTEUR D'ASSEOLEMENT OU ELEMENT SEMI-NATUREL DANS LE PAYSAGE A UNE ECHELLE DONNEE (PAR EXEMPLE : SURFACE DE BOIS DANS LES 200 METRES). • INFLUENCE DES FACTEURS PAYSAGERS DANS LES 200 ET 1 000 METRES ET • DANS LES 5 000 ET 10 000 METRES (COEFFICIENT ESTIME > 0 ET P.VALUE < 0.05)	46

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : LISTE DES VARIABLES ETUDEES A TRAVERS LE QUESTIONNAIRE SELON L'ECHELLE CONSIDEREE.	16
TABLEAU 2 : NOMBRE D'ARTICLES SELECTIONNES POUR REMPLIR LES QUESTIONNAIRES "BIBLIOGRAPHIE" ...	19
TABLEAU 3 : NOM ET ORGANISME DE RATTACHEMENT DES EXPERTS RENCONTRES POUR CHAQUE MALADIE..	20
TABLEAU 4 : VARIABLE D'ABONDANCE SELECTIONNEE POUR CHAQUE BIOAGRESSEUR, SEUILS D'ABONDANCE DEFINIS A PARTIR DES DIRES D'EXPERTS, DE LA BIBLIOGRAPHIE ET DE LA DISPONIBILITE DES DONNEES DE 2009 A 2014, NOMBRE D'OBSERVATIONS REALISEES SUR LE TERRAIN ET NOMBRE DE PARCELLES VIGICULTURES ® UTILISEES POUR LES ANALYSES.	24
TABLEAU 5: DISTANCES MINIMALES ENTRE UNE PARCELLE VIGICULTURES ® ET UN ILOT DECLARE DE LA MEME CULTURE DANS LE RPG. LES PARCELLES VIGICULTURES ® ONT ETE CONSIDERES COMME ETANT EN BLE UNIQUEMENT SI LES ILOTS RPG PRESENTAIENT DU BLE (IDEM POUR LE COLZA). LES DONNEES CORRESPONDANT AUX PARCELLES EN GRAS ONT ETE UTILISEES POUR NOS ANALYSES STATISTIQUES. LES PARCELLES EN ITALIQUE SONT PLUS OU MOINS ELOIGNEES D'ILOTS CONTENANT DU BLE TENDRE OU DU COLZA D'APRES LE RPG. LES DONNEES RESTANTES CORRESPONDENT AUX DONNEES QUI N'ONT PAS ETE GEO-REFERENCEDES. ELLES ONT ETE ECARTEES DU JEU DE DONNEES.	27
TABLEAU 6 : POURCENTAGE MOYEN OCCUPE PAR CHAQUE ELEMENT PAYSAGER (CULTURES ET ELEMENTS SEMI-NATURELS) AUTOUR DE CHAQUE POINT VIGICULTURES ® POUR CHAQUE GRAND BASSIN DE PRODUCTION (CLASSIFICATION ARVALIS - INSTITUT DU VEGETAL) DANS UN RAYON DE 10 KILOMETRES	29
TABLEAU 7 : SOURCES D'INFORMATIONS ETUDIANT L'IMPACT DES DIFFERENTES CATEGORIES DE FACTEURS PAYSAGERS, A L'ECHELLE PARCELLAIRE ET SUPRA-PARCELLAIRE.....	32
TABLEAU 8 : SENS DE L'EFFET DE DIFFERENTS FACTEURS A L'ECHELLE DE LA PARCELLE D'APRES LES EXPERTS INTERROGES DANS LE CADRE DU STAGE. (0) : PAS D'EFFET DU FACTEUR ; (+) EFFET POSITIF DU FACTEUR SUR LA PRESSION EXERCEE PAR LES BIOAGRESSEURS ; (-) EFFET NEGATIF DU FACTEUR SUR LA PRESSION EXERCEE PAR LES BIOAGRESSEURS. LES CASES REMPLIES AVEC "+/-" REPRESENTENT UN EFFET BIMODAL DU FACTEUR CORRESPONDANT. LES CASES GRISEES SIGNIFIENT QUE L'EXPERT N'A PAS PU REPONDRE A LA QUESTION LORS DE L'ENTRETIEN.	34
TABLEAU 9 : SENS DE L'EFFET DE DIFFERENTS FACTEURS ET ELEMENTS PAYSAGERS A L'ECHELLE SUPRA- PARCELLAIRE D'APRES LES EXPERTS INTERROGES DANS LE CADRE DU STAGE. RESULTATS PAR FACTEUR, RESUMES POUR LES QUATRE ECHELLES (200, 1 000, 5 000 ET 10 000 METRES). LES RESULTATS PAR FACTEUR ET PAR ECHELLE SE TROUVENT EN ANNEXE. (0) : PAS D'EFFET DU FACTEUR ; (+) EFFET POSITIF DU FACTEUR SUR LA PRESSION EXERCEE PAR LES BIOAGRESSEURS ; (-) EFFET NEGATIF DU FACTEUR SUR LA PRESSION EXERCEE PAR LES BIOAGRESSEURS. LES CASES REMPLIES AVEC "+/-" REPRESENTENT UN EFFET BIMODAL DU FACTEUR CORRESPONDANT. LES CASES GRISEES SIGNIFIENT QUE L'EXPERT N'A PAS PU REPONDRE A LA QUESTION LORS DE L'ENTRETIEN.	36
TABLEAU 10 : ESTIMATION DU SENS DE L'EFFET DES FACTEURS PAYSAGERS SUR LA PRESSION EXERCEE PAR 4 MALADIES DE GRANDE CULTURES SUR UNE PARCELLE DE BLE OU DE COLZA PAR LA BIBLIOGRAPHIE (B), LES EXPERTS (E) ET LES ANALYSES STATISTIQUES (S). POUR LA BIBLIOGRAPHIE ET LES EXPERTS, LES FBM ET FEM (EQUATION 1). LES RESULTATS DES REGRESSIONS PENALISEES ONT EGALEMENT ETE UTILISES. (0) : PAS D'EFFET DU FACTEUR ; (+) EFFET POSITIF DU FACTEUR SUR LA PRESSION EXERCEE PAR LES BIOAGRESSEURS ; (-) EFFET NEGATIF DU FACTEUR SUR LA PRESSION EXERCEE PAR LES BIOAGRESSEURS. LES CASES GRISEES CORRESPONDENT AUX VARIABLES QUI N'ONT PAS PU ETRE ETUDEES PAR L'ELICITATION DE LA LITTERATURE ET DES EXPERTS.	38
TABLEAU 11 : SYNTHESE DE L'EFFET DE CHAQUE TYPE DE FACTEUR A L'ECHELLE PARCELLAIRE ET SUPRA- PARCELLAIRE SUR LES QUATRE MALADIES DE GRANDES CULTURES ETUDEES.....	45
TABLEAU 12 : REGION POUR LESQUELLES LA PRESENCE DES QUATRE MALADIES EST FORTE OU FAIBLE, D'APRES LES MODELES MULTIVARIES (P.VALUE < 0.05).	47

Table des annexes

ANNEXE 1 : PROCEDURE D'ETUDE SYSTEMATIQUE DE LA BIBLIOGRAPHIE ET LISTE DES REQUETES UTILISEES LORS DES RECHERCHES DANS GOOGLE SCHOLAR ®.....	58
ANNEXE 2 : LISTE DES ARTICLES SELECTIONNES D'APRES LEUR TITRE POUR COMPLETER LES QUESTIONNAIRES BIBLIOGRAPHIE.....	60
ANNEXE 3 : EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE REALISE AVEC LES EXPERTS. ICI, L'EXPERT INTERROGE EST ANNETTE PENAUD, SUR L'IMPACT DES PRATIQUES AGRICULTURALES A L'ECHELLE DE LA PARCELLE ET DES ELEMENTS PAYSAGERS A L'ECHELLE SUPRA PARCELLAIRE (ASSEOLEMENT ET ELEMENTS SEMI- NATURELS) SUR LE PHOMA DU COLZA.....	71
ANNEXE 4 : EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE REALISE AVEC LES EXPERTS. ICI, L'EXPERT INTERROGE EST FREDERIC SUFFERT, SUR L'IMPACT DES PRATIQUES AGRICULTURALES A L'ECHELLE DE LA PARCELLE ET DES ELEMENTS PAYSAGERS A L'ECHELLE SUPRA PARCELLAIRE (ASSEOLEMENT ET ELEMENTS SEMI- NATURELS) SUR LA SEPTORIOSE DU BLE	76
ANNEXE 5 : NOMS DES COLONNES DES DIFFERENTS EXPORTS DES DONNEES VIGICULTURES ® MIS A DISPOSITION	81
ANNEXE 6 : LES VARIABLES EN BLEU CONCERNENT UNIQUEMENT LE COLZA ET LES VARIABLES EN VERT CONCERNENT UNIQUEMENT LES EXPORTS POUR LE BLE.	82
ANNEXE 7 : ENREGISTREMENT D'UNE PARCELLE DE BLE TENDRE SOUS VIGICULTURES ® PAR UN UTILISATEUR. EN BAS A GAUCHE, LA LOCALISATION PRECISE DE LA PARCELLE PEUT ETRE RENSEIGNEE EN BOUGEANT LE CURSEUR BLEU SUR LA CARTE. POUR LES PARCELLES DE BLE TENDRE D'HIVER, LA VARIETE, LA DATE DE SEMIS, LA DENSITE DE SEMIS, LE TRAVAIL DU SOL ET LE PRECEDENT SONT RENSEIGNES PAR L'OBSERVATEUR.....	83
ANNEXE 8 : ENREGISTREMENT D'UNE PARCELLE DE COLZA SOUS VIGICULTURES ® PAR UN UTILISATEUR. EN BAS A GAUCHE, LA LOCALISATION PRECISE DE LA PARCELLE PEUT ETRE RENSEIGNEE EN BOUGEANT LE CURSEUR BLEU SUR LA CARTE. POUR LES PARCELLES DE COLZA, L'UTILISATEUR RENSEIGNE LA SITUATION DE LA PARCELLE PAR RAPPORT AU VENT (ABRITEE/VENTEE), SA TOPOGRAPHIE (PLAINE/COTEAU/PLATEAU), L'ELOIGNEMENT PAR RAPPORT AUX RESIDUS DE COLZA DE L'ANNEE PRECEDENTE, L'HISTORIQUE DE LA PARCELLE ET LE RETOUR DU COLZA DANS LA PARCELLE.	84
ANNEXE 9 : INFORMATION FOURNIE SELON LE NIVEAU DE RPG. EN VERT, LE RPG DEGRADE ACCESSIBLE AU GRAND PUBLIC SUR LE GEOPORTAIL.....	85
ANNEXE 10 : LES 28 GROUPES DE CULTURES EXISTANTS DANS LE RPG 2012 ; EN GRAS, LES GROUPES DE CULTURES SELECTIONNES POUR LES ANALYSES (GEOPORTAIL)	86
ANNEXE 11 : DEFINITION, SELECTION ET REGROUPEMENT POUR CHAQUE CLASSE DE LA BD TOPO ®. PAR COULEUR, LES CLASSES REGROUPEES ENSEMBLES POUR LES ANALYSES STATISTIQUES (BD TOPO ® 2.1 - DESCRIPTIF DE CONTENU - IGN, 2011)	87
ANNEXE 12 : MATRICES DE CORRELATION (A) ROUILLE JAUNE (B) SEPTORIOSE (C) PHOMA ET (D) SCLEROTINIA. LES CASES ROUGES REPRESENTENT LES CORRELATIONS DE PLUS DE 0.6 ENTRE LES FACTEURS PAYSAGERS ETUDES (VOIR LA CODIFICATION PAGE 10).	89
ANNEXE 13 : DESCRIPTION QUANTITATIVE DE L'EFFET DE DIFFERENTS FACTEURS A L'ECHELLE D'UNE PARCELLE AGRICOLE SUR LA ROUILLE JAUNE DU BLE D'APRES TROIS EXPERTS ET D'APRES LA LITTERATURE	93
ANNEXE 14 : DESCRIPTION QUANTITATIVE DE L'EFFET DE DIFFERENTS FACTEURS A L'ECHELLE D'UNE PARCELLE AGRICOLE SUR LA SEPTORIOSE DU BLE D'APRES TROIS EXPERTS ET D'APRES LA LITTERATURE.	95
ANNEXE 15 : DESCRIPTION QUANTITATIVE DE L'EFFET DE DIFFERENTS FACTEURS A L'ECHELLE D'UNE PARCELLE AGRICOLE SUR LE PHOMA DU COLZA D'APRES TROIS EXPERTS ET D'APRES LA LITTERATURE. 97	97
ANNEXE 16 : DESCRIPTION QUANTITATIVE DE L'EFFET DE DIFFERENTS FACTEURS A L'ECHELLE D'UNE PARCELLE AGRICOLE SUR LE SCLEROTINIA DU COLZA D'APRES TROIS EXPERTS ET D'APRES LA LITTERATURE	99
ANNEXE 17 : DESCRIPTION QUANTITATIVE DE L'EFFET DE DIFFERENTS FACTEURS A DIFFERENTES ECHELLES PAYSAGERES SUR QUATRE MALADIES DE GRANDES CULTURES, D'APRES DIFFERENTS EXPERTS ET D'APRES L'INTERPRETATION DE LA LITTERATURE. DANS LES DIAGRAMMES DES EXPERTS, CHAQUE SPECIALISTE EST REPRESENTE PAR UNE COULEUR DIFFERENTE. ROUILLE JAUNE : NOIR = RJ1, GRIS =	

RJ2 ET BLANC = RJ3. SEPTORIOSE : NOIR = SP1, GRIS = SP2 ET BLANC = SP3. PHOMA : NOIR = PH1, GRIS = PH2 ET BLANC = PH3. SCLEROTINIA : : NOIR = SC1 ET BLANC = SC2.	101
ANNEXE 18 : CLASSEMENT DES VARIABLES LES PLUS SIGNIFICATIVES PAR LES REGRESSIONS PENALISEES, COEFFICIENT ESTIME ET COEFFICIENT NORMALISE ESTIME POUR CHAQUE VARIABLE, DONT LE NOM EST EXPLICITE DANS LA PARTIE « ABREVIATIONS, UNITES ET SYMBOLES », PAGE 10. LE SENS DES COEFFICIENTS TRADUIT LE SENS DE L'EFFET DE CHAQUE VARIABLE SUR L'ABONDANCE DES DIFFERENTES MALADIES. (A) ROUILLE JAUNE (B) SEPTORIOSE (C) PHOMA ET (D) SCLEROTINIA.	112

Liste des abréviations, symboles et unités

Abréviations

- ASP : Agence de Service et Paiements
- BSV : Bulletin de Santé du Végétal
- CIRAD : Centre de coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement
- FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations
- IGN : Institut National de l'Information Géographique et Forestière
- INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
- PH : Phoma
- RGE : Référentiel géographique à Grande Echelle ® de l'IGN
- RJ : Rouille Jaune
- RPG : Registre Parcellaire Graphique issu de la politique agricole commune européenne
- SC : Sclerotinia
- SP : Septoriose
- UMR : Unité Mixte de Recherche
- WHO : World Health Organization

Codification des métriques paysagères

- Nom de variable commençant par :
 - o « RPG » : variable calculée à partir du RPG
 - o « BDTOPO2012 » : variable calculée à partir de la BD TOPO de 2012
 - o « X » : effet d'une région agro-climatique
- Facteur calculé
 - o « Same » : Surface de même culture dans le paysage durant la campagne en cours
 - o « Prec » : Surface de même culture dans le paysage durant la campagne précédente
 - o « haie » : Surface de haies
 - o « bois » : Surface de bois
 - o « boisTraites » : Surface de bois traités
 - o « landes » : Surface de landes
 - o « PrairiesSame » : Surface de prairies
- Echelle paysagère
 - o « _w200 » : dans les 200 mètres autour des parcelles Vigicultures ®
 - o « _w1000 » : dans les 1 000 mètres autour des parcelles Vigicultures ®
 - o « _w5000 » : dans les 5 000 mètres autour des parcelles Vigicultures ®
 - o « _w10000 » : dans les 10 000 mètres autour des parcelles Vigicultures ®

Unités

- m : mètres

Glossaire

- Ascospores : Spores issues de la reproduction sexuée de certains champignons, les ascomycètes.
- Bioagresseurs : Le terme bioagresseur regroupe tous les organismes pouvant engendrer des dommages sur les cultures. Il peut s'agir d'agents pathogènes responsables de maladies, de ravageurs ou de plantes adventices (Ecophyto)
- Elicitation : L'élicitation est une technique de collecte de l'information à partir d'une source humaine généralement ouverte).
- Métrique paysagère : La métrique paysagère est associée aux éléments et échelles de paysage, elles représentent les relations entre les éléments du paysage (Skupinsky et al., 2009).
- Réseau d'épidémi-o-surveillance : Réseau d'épidémiologie dont le but est de collecter, analyser, interpréter, diffuser à ceux qui ont besoin de ces connaissances pour la prise de décision en santé publique. Il repose sur un réseau d'acteurs et des sources d'informations bien coordonnés.
- Système d'information géographique : Un système d'information géographique est un système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques.

Introduction

L'agriculture contemporaine, support des besoins alimentaires de 7.4 milliards de personnes, fait face à de nombreux enjeux. L'un d'entre eux est la réduction progressive de l'utilisation des produits phytosanitaires, dont dépendent de nombreux systèmes de production. D'après l'expertise menée par Aubertot et al. (2007), cette dépendance est explicable par (i) la configuration des systèmes de production, qui favorise le développement des bioagresseurs, (ii) le faible coût et la facilité d'application de produits phytosanitaires par rapport à d'autres méthodes de lutte et (iii) certaines exigences des consommateurs.

Cependant, l'utilisation massive de pesticides est susceptible d'avoir un impact négatif sur la santé humaine, sur certains organismes non cibles et sur les écosystèmes (Aubertot et al., 2007). À la suite de l'apparition de résistances aux substances actives qui les composent, la production agricole est de plus confrontée à la diminution de l'efficacité des produits phytosanitaires. Dans ce contexte, plusieurs leviers ont été définis pour réduire progressivement l'utilisation des pesticides dans la production agricole (Aubertot et al., 2007). L'un de ces leviers est la mise en place de conditions défavorables au développement et la propagation des bioagresseurs à travers :

- l'adaptation du système de production afin de limiter ou de prévenir le développement des bioagresseurs, appelé aussi contrôle agronomique
- l'organisation spatiale des cultures, dans le but de limiter ou de prévenir la propagation des bioagresseurs à l'échelle supra-parcellaire
- la manipulation environnementale, qui est l'utilisation d'éléments semi-naturels comme les haies ou encore les bandes enherbées afin de favoriser les ennemis naturels des bioagresseurs.

La composition et l'agencement des éléments paysagers traduisent la complexité de ce paysage (Fahrig et al., 2011). Plus un paysage est complexe, plus les services écosystémiques qui y sont liés peuvent être importants, défavorisant le développement et la propagation de bioagresseurs. En effet, il a été montré que certains éléments paysagers peuvent favoriser la présence d'ennemis naturels des bioagresseurs (Thies and Tscharntke, 1999 ; Degroot et al., 2010 ; Bianchi et al., 2010) et que la structure complexe d'un paysage peut compenser une gestion locale intensive (Tscharntke, 2005). Certains constats ont été faits sur le sujet à travers l'étude de l'effet d'un élément du paysage sur la régulation biologique, e.g. le colza chez Frearson et al. (2005), ou du comportement d'un ravageur particulier dans le paysage, e.g. Rusch (2012) et Hanson et al. (2015).

Dans le but de dépasser ces constats partiels, une approche globale est menée sur plusieurs bioagresseurs et plusieurs facteurs du paysage. Cette approche originale est portée par deux stages complémentaires, l'un étant consacré aux ravageurs et l'autre aux maladies. Ce document propose une étude exploratoire de l'effet de la composition du paysage (présence et abondance d'éléments paysagers tels que des bois, des haies...) et de l'occupation des sols en France sur quatre maladies de grandes cultures.

Cet effet est-il suffisamment net pour permettre d'observer des corrélations dans ce sens à l'échelle de la France métropolitaine ? Est-il possible de définir des paysages favorisant la régulation biologique de la rouille jaune du blé (*Puccinia striiformis*), la septoriose du blé (*Septoria tritici*), le phoma du colza (*Leptosphaeria maculans* et *L. biglosa*) et le sclerotinia du colza (*Sclerotinia sclerotiorum*) ?

La rouille jaune (*Puccinia striiformis*) est la maladie foliaire jugée la plus nuisible sur blé tendre (*Triticum aestivum*) par ARVALIS - Institut du Végétal ces dernières années. La maladie peut se disperser à la fois localement et sur de très grandes distances grâce aux courants d'air. Ces caractéristiques ont permis à de nouvelles souches résistantes venues d'Asie Centrale de s'implanter en Europe et de contourner les variétés résistantes.

A la différence de la rouille jaune, la septoriose (*Septoria tricit*) se propage majoritairement grâce aux éclaboussures provoquées par la pluie. Autre maladie foliaire majeure sur blé tendre d'après ARVALIS - Institut du Végétal, elle monte de feuille en feuille lors des épisodes pluvieux. Une propagation aérienne serait également possible sur de courtes distances et aurait lieu en fin de cycle de la maladie.

Le phoma (*Leptosphaeria maculans*) est l'une des maladies des plus préjudiciables du colza (*Brassicaceae napus*). En effet, la maladie contourne assez facilement les résistances existantes (Stonard et al., 2009) grâce à un très fort potentiel évolutif (critère McDonald et Linde, 2002) dû à sa dispersion à grandes distance par le vent, à une forte taille de population et à la combinaison de reproduction sexuée et asexuée.

Pour finir, le sclérotinia (*Sclerotinia sclerotiorum*) est une maladie présente sur de nombreuses dicotylédones dont le colza (Boland et Hall, 1994 ; cités par Bolton et al., 2006). Les feuilles de la plante sont généralement infectées via les pétales tombant à la fin de la floraison, eux-mêmes contaminés par des spores produites au pied de la plante.

Ces maladies (figure 1), parmi les plus préjudiciables sur blé tendre et sur colza présentent un intérêt économique qui leur assure un suivi dans les réseaux épidémiologiques. Leurs différences en termes de cycle de vie et de dispersion permettent de formuler des hypothèses contrastées concernant l'effet du paysage sur leur abondance et seront utiles pour valider les résultats obtenus.

Le travail s'articule autour de la collecte et de la comparaison d'informations issues :

- de la littérature afin de connaître les maladies (cycle de vie, dispersion, contrôle...) et de faire un état des lieux des recherches effectuées sur le sujet au niveau de la parcelle et du paysage (impact du bioagresseur, mais aussi impact des techniques culturales, de l'assoulement et des éléments semi-naturels à l'échelle du paysage sur le bioagresseur)
- des enquêtes auprès d'experts, dans le but de regrouper les connaissances acquises par leur expérience sur le terrain concernant l'impact des pratiques agricoles et du paysage sur la maladie et de les formaliser
- des analyses statistiques multivariées effectuées sur des seuils d'abondance et des métriques paysagères calculés au préalable à partir de données issues du Bulletin de Santé du Végétal (BSV), du Registre Parcellaire Graphique (RPG) et de la BD TOPO ®.

Ce stage s'inscrit dans une démarche exploratoire, dont le but est de mettre en lumière la participation du paysage à la pression exercée sur les grandes cultures par les quatre maladies. La cohérence entre les informations acquises par les différentes méthodes est également investiguée dans ce document. Les résultats pourront d'une part contribuer à la compréhension du fonctionnement des agroécosystèmes, pour favoriser une agriculture durable et économiquement performante et d'autre part valider les méthodes de travail utilisées.

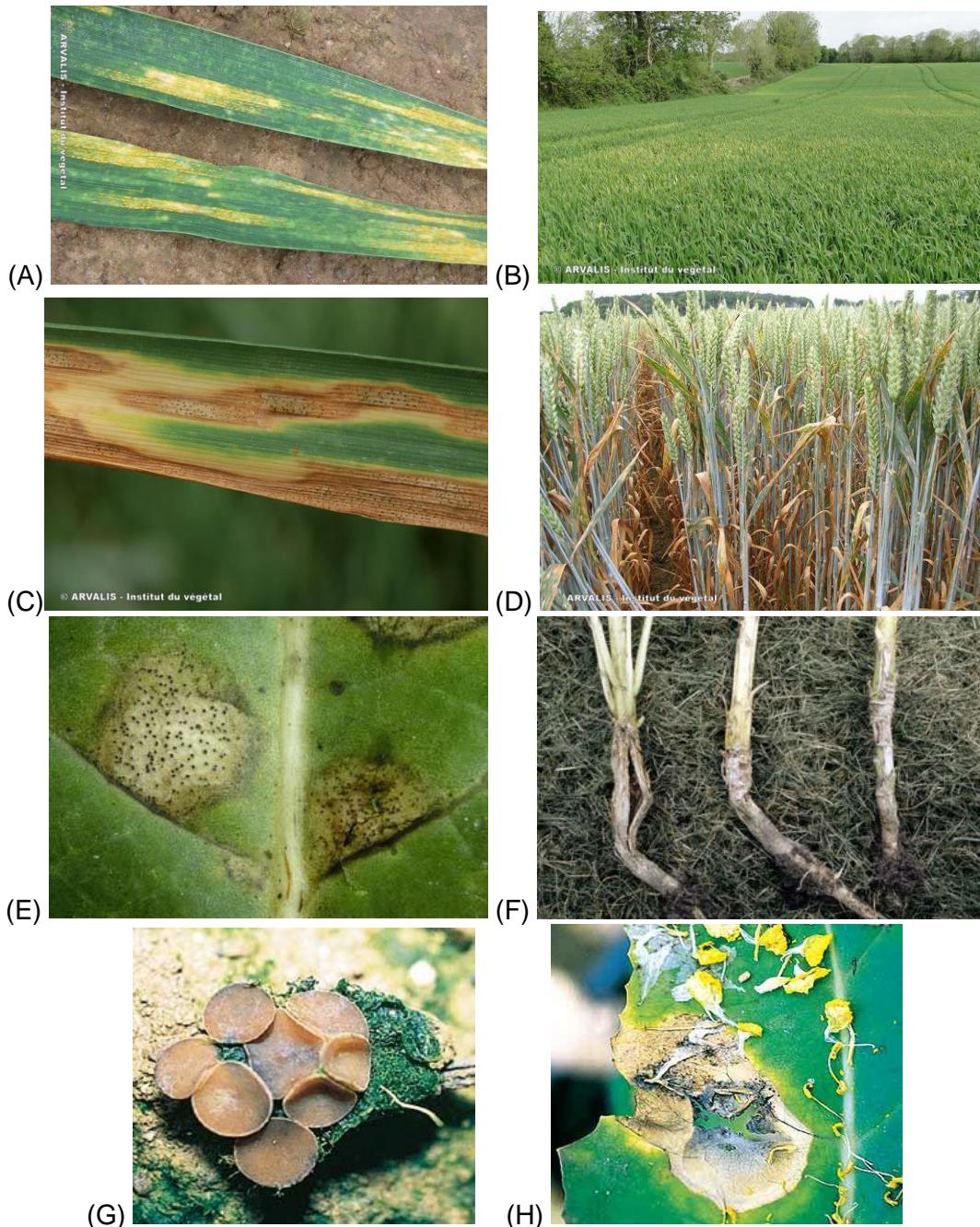


Figure 1 : Principaux symptômes des quatre maladies étudiées.

Rouille jaune : (A) Pustules jaunes alignées entre les nervures provoquées par la rouille jaune. (B) Foyers de rouille jaune, de petite à moyenne surface, jaunes de loin et nettement délimités.

Septoriose : (C) Nécroses provoquées par *S. tritici*, avec organes de fructification du champignon, les pycnidies (points noirs). (D) Pieds touchés par la septoriose.

Phoma : (E) Infections primaires de phoma sur feuilles. (F) Nécroses sur collet pouvant entraîner la section du pivot à la floraison.

Sclerotinia : (G) Apothécies, formées à partir des sclérotes, émettrices des spores responsables des contaminations de sclerotinia. (H) Pourriture spécifique se développant à partir d'un pétalement collé sur le limbe. (Source : Terres Inovia et ARVALIS - Institut du Végétal)

Matériel et méthodes

L'effet des éléments paysagers sur la pression exercée par les maladies est aujourd'hui très peu connu (Plantegenest et al., 2007). Afin d'estimer au mieux cet effet et de juger de sa robustesse il a été choisi de recouper des informations issues (i) de la littérature, (ii) de l'expérience des experts, (iii) des réseaux d'épidémiô-surveilance et de systèmes d'information géographique nationaux (figure 2).

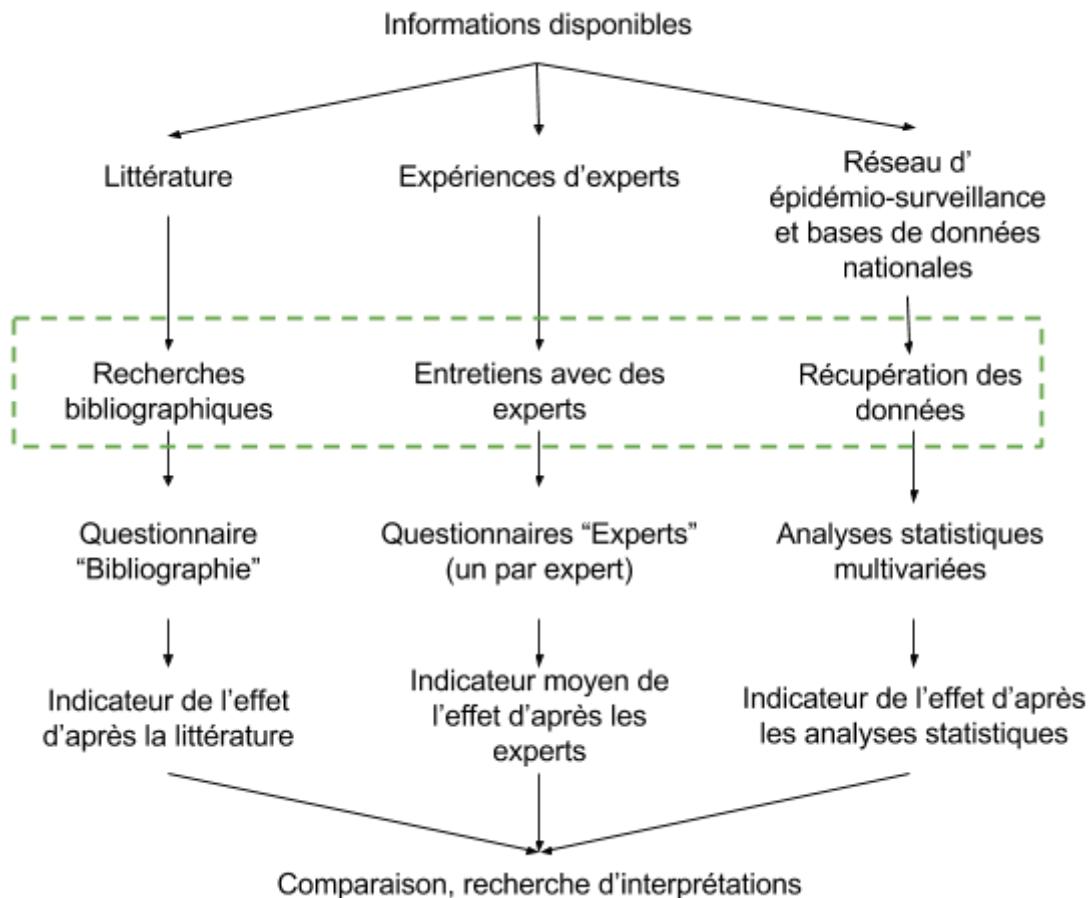


Figure 2 : Schéma explicatif des différentes démarches effectuées pour collecter (cadre en pointillés) et permettre la comparaison des connaissances issues de la littérature, de l'expérience des experts et des bases de données nationales.

Un cadre d'analyse et une structuration de l'information communs à ces trois différentes connaissances ont été définis pour permettre leur comparaison par la suite. Dans ce but, un outil de collecte et de structuration des connaissances issues de la bibliographie et des entretiens avec les experts a été mis en place collectivement en amont du stage.

1. Le questionnaire, un outil commun de collecte de l'information

Dans un premier temps, les pratiques agricoles, les éléments semi-naturels, les éléments d'assoulement et les caractéristiques des parcelles pouvant avoir un impact sur les maladies étudiées ont été listés par le comité de pilotage du stage (tableau 1). A partir de cette liste un questionnaire numérique en deux temps a été élaboré. Dans une première partie, l'effet de chaque facteur sur la pression exercée par les bioagresseurs est étudié à l'échelle de la parcelle. Par exemple, l'effet du labour dans une parcelle sur la rouille jaune dans cette même parcelle est explicité. Ensuite, l'effet de chaque facteur sur la pression exercée par les bioagresseurs est étudié à l'échelle supra-parcellaire, à quatre échelles paysagères différentes : échelle des parcelles voisines (200 mètres), échelle de l'exploitation agricole (1 000 mètres),

échelle de la commune (5 000 mètres) et échelle du canton (10 000 mètres), ce qui permet de voir l'évolution de l'effet dans le paysage. Par exemple, dans une parcelle de blé, l'effet sur la rouille jaune du labour dans les parcelles à 200, 1 000, 5 000 puis 10 000 mètres est explicité (tableau 1).

Tableau 1 : Liste des variables étudiées à travers le questionnaire selon l'échelle considérée.

	Echelle parcellaire	Echelle supra-parcellaire
Pratiques agricoles	Pratiques agricoles annuelles : Labour, Choix variétal, Mélanges variétaux, Lutte phytosanitaire, Fertilisation azotée, Densité de semis, Date de semis, Traitement de semences, Lutte biologique, Irrigation et Déchaumage dans la parcelle	Pratiques agricoles annuelles : Labour, Choix variétal, Lutte phytosanitaire, Fertilisation azotée, Densité de semis, Date de semis, Traitement de semences, Lutte biologique, Irrigation et Déchaumage dans les parcelles autour de la parcelle (à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres)
	Pratiques agricoles pluriannuelles : Fréquence de retour de la culture Précédent Diversité dans la rotation Associations de cultures dans la parcelle	Pratiques agricoles pluriannuelles : ∅
Eléments semi-naturels	∅	Surface de bois Surface de haies Présence de bandes enherbées Présence de jardins/parcs Présence de cours d'eau autour de la parcelle (à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres)
Assolement	∅	Surface de la culture à l'année n Surface de la culture à l'année n-1 Surface de prairies/jachères Diversité cultivée dans les parcelles autour de la parcelle (à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres)
Caractéristiques de la parcelle	Parcelle en fond de vallée Parcelle en coteau Précipitations Superficie dans la parcelle	Superficie des parcelles autour de la parcelle (à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres)

Dans le questionnaire, l'effet de chaque variable sur la pression des bioagresseurs est tout d'abord décrit qualitativement, à travers la description des mécanismes entrant dans la relation. Cette description est réalisée dans une case dédiée et peut-être plus ou moins détaillée selon la source d'information élicitée (figure 3). Dans un second temps, la relation est décrite quantitativement, grâce à la méthode de la roulette de Morris et al. (2014) sous la forme d'un graphique de probabilités (figure 3).

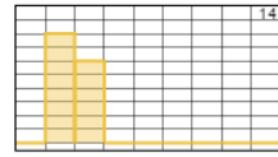
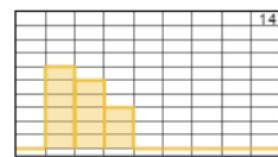
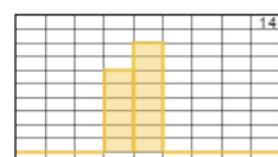
Nom de la variable	Description qualitative	Description quantitative
Diversité variétale - 200m	[1.-] L'agencement des variétés a un effet majeur sur la maladie. Plus il y a de diversité, moins il y a de la maladie, selon les pratiques agronomiques dans le paysage (labour).	
Diversité variétale - 1km		
Diversité variétale - 5km		
Diversité variétale - 10km		

Figure 3 : Extrait d'un questionnaire d'expert ; description qualitative et quantitative de l'effet de la diversité variétale sur le phoma de 200 à 10 000 mètres autour d'une parcelle.

Ce graphique de probabilités consiste en une grille de 9 colonnes hautes de 10 cases chacune. Chaque colonne représente une corrélation attribuée à une relation linéaire (relation positive, négative, nulle). L'expert interrogé est invité à attribuer un total de 14 puces entre les colonnes. La probabilité d'observer une certaine relation est interprétée comme la proportion de puces attribuées à ladite représentation (figure 4).

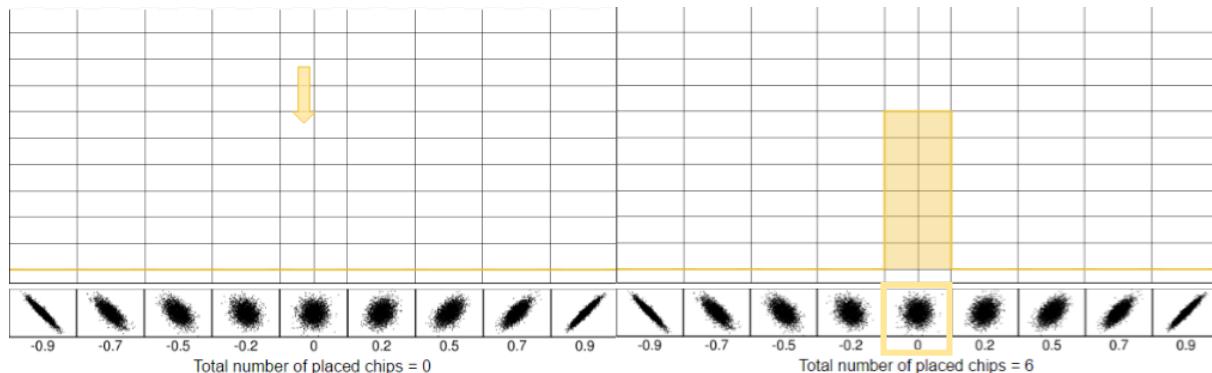


Figure 4 : Description quantitative de l'effet d'un facteur sur la pression maladie dans une parcelle. En abscisse, les différentes formes théoriques que l'on peut attribuer à la relation entre le facteur expliqué et la pression de maladie dans la parcelle. En ordonnée, la probabilité d'observer chaque forme théorique. Dans cet exemple, il y a 100 % de chance (six cases sur six cases) de n'observer aucun effet du facteur expliqué sur la pression maladie (encadré orange).

Selon le placement des puces dans ce diagramme de probabilités, l'outil permet de visualiser la force, le sens de la relation mais aussi permet de traduire l'incertitude de la source d'information interrogée (expert ou littérature) vis-à-vis de cette relation (figure 5).

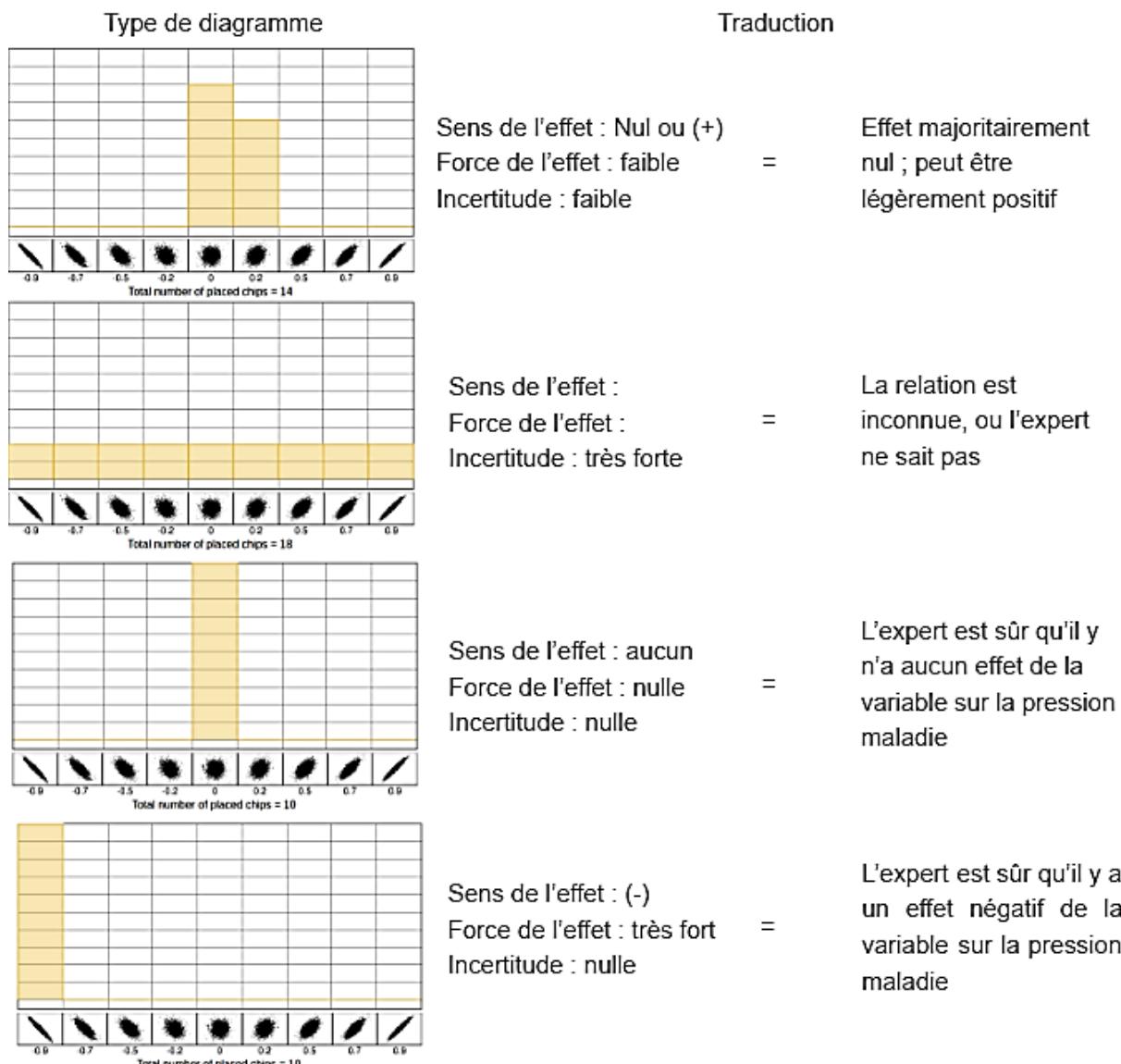


Figure 5 : Cas de figures possibles dans les questionnaires et traduction des diagrammes de probabilités correspondants.

Ce questionnaire, disponible sur un serveur et utilisable par plusieurs personnes simultanément, a été utilisé pour la collecte et la formalisation des informations issues de la bibliographie et de l'expérience des experts.

2. Etude systématique de la littérature

Les recherches bibliographiques ont été réalisées à travers l'étude systématique de la littérature concernant chaque maladie. Afin de déployer le même effort de recherche pour chacune d'entre elles, une série de requêtes standardisées (annexe 1), est utilisée. Ces requêtes sont faites sur *Google Scholar®*, moteur de recherche permettant d'avoir accès non seulement aux articles scientifiques mais aussi aux rapports et documents techniques disponibles sur les sites d'institutions académiques et gouvernementales (littérature grise). Une sélection d'articles est effectuée résumé sur les trois premières pages de résultats d'après leur titre et d'après leur (tableau 2 et annexe 2).

Tableau 2 : Nombre d'articles sélectionnés pour remplir les questionnaires "bibliographie".

Bioagresseur	Nombre d'articles sélectionnés
Rouille Jaune	50
Septoriose	90
Phoma	48
Sclerotinia	60

Pour chaque maladie, un questionnaire spécifique à la bibliographie a été rempli grâce aux articles sélectionnés. Une recherche complémentaire a été effectuée en utilisant une liste standardisée complémentaire si le questionnaire n'était pas complet. A l'issue de chaque questionnaire "bibliographie", un indicateur du sens de l'effet de chaque facteur sur chaque maladie est calculé de la façon suivante :

$$f_{bM} = \frac{\sum_{i=1}^9 (n_i * c_i)}{n} \quad (1)$$

Avec

f_{bM} : Sens de l'effet du facteur f sur la maladie M d'après la bibliographie

n : Le nombre total de cases cochées

n_i : Le nombre de cases cochées pour la colonne i (i allant de 1 à 9)

c_i : Le coefficient correspondant à la colonne i tel qu'indiqué en abscisse du diagramme de probabilités.

3. Elicitation des connaissances expertes

La deuxième source d'informations mobilisée pour cette étude est le jugement de spécialistes des différentes maladies étudiées. L'utilisation du jugement des experts permet de prendre en compte des acquis et des résultats des recherches dans les domaines où l'expérimentation est difficile, comme dans la prédiction de risques d'accidents nucléaires (Ortiz et al., 1991 ; Morris et al., 2014).

Dans le cadre du stage, des chercheurs, des responsables d'essais nationaux ou des ingénieurs régionaux de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), de Terres Inovia, d'ARVALIS - Institut du Végétal, du Centre de coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) et du Ministère de l'Agriculture ont été contactés. Neuf d'entre eux ont accepté de participer à un entretien individuel, pendant lesquels nous nous sommes servis du questionnaire comme trame (tableau 3).

Certains experts ont été interrogés sur deux maladies différentes. La plupart des entretiens a été réalisée à distance, car le questionnaire est accessible simultanément par deux personnes sur internet. Suite à l'entretien, les questionnaires ont été mis en forme puis envoyés à chaque expert interrogé pour validation (annexe 3 et 4).

Tableau 3 : Nom et organisme de rattachement des experts rencontrés pour chaque maladie.

Maladie	Experts rencontrés	Identifiant	Institut
Rouille Jaune	Jean-Yves Maufras Eric Masson Gilles Couleaud	RJ1 RJ2 RJ3	ARVALIS - Institut du Végétal ARVALIS - Institut du Végétal ARVALIS - Institut du Végétal
Septoriose	Jean-Yves Maufras Marc Delos Frédéric Suffert	SP1 SP2 SP3	ARVALIS - Institut du Végétal Ministère de l'Agriculture INRA
Phoma	Annette Penaud Laure Hossard Jean-Noel Aubertot	PH1 PH2 PH3	Terres Inovia CIRAD INRA
Sclerotinia	Annette Penaud Marie-Hélène Jeuffroy	SC1 SC2	Terres Inovia INRA

Une fois tous les questionnaires remplis par les experts de chaque maladie, un indicateur du sens de l'effet de chaque facteur sur chaque maladie est calculé pour l'estimation de chaque expert (équation 1). Ensuite, la moyenne de ces indicateurs est calculée par facteur pour chaque maladie. Cet indicateur, appelé f_{eM} représente le sens de l'effet d'un facteur sur une maladie d'après les experts.

La liste des variables ayant changé au cours du stage, le nombre de variables étudiées a augmenté après que certains entretiens aient été menés. Ainsi certains experts n'ont pas estimé l'effet de toutes les variables, ce qui explique que dans certains résultats manquent.

4. Analyses statistiques

L'étude s'est également appuyée sur des analyses statistiques multivariées réalisées sur trois bases de données nationales et une classification régionale mise en place par ARVALIS - Institut du Végétal. La mise en place de ces analyses est résumée par la figure 6 et explicitée par la suite.

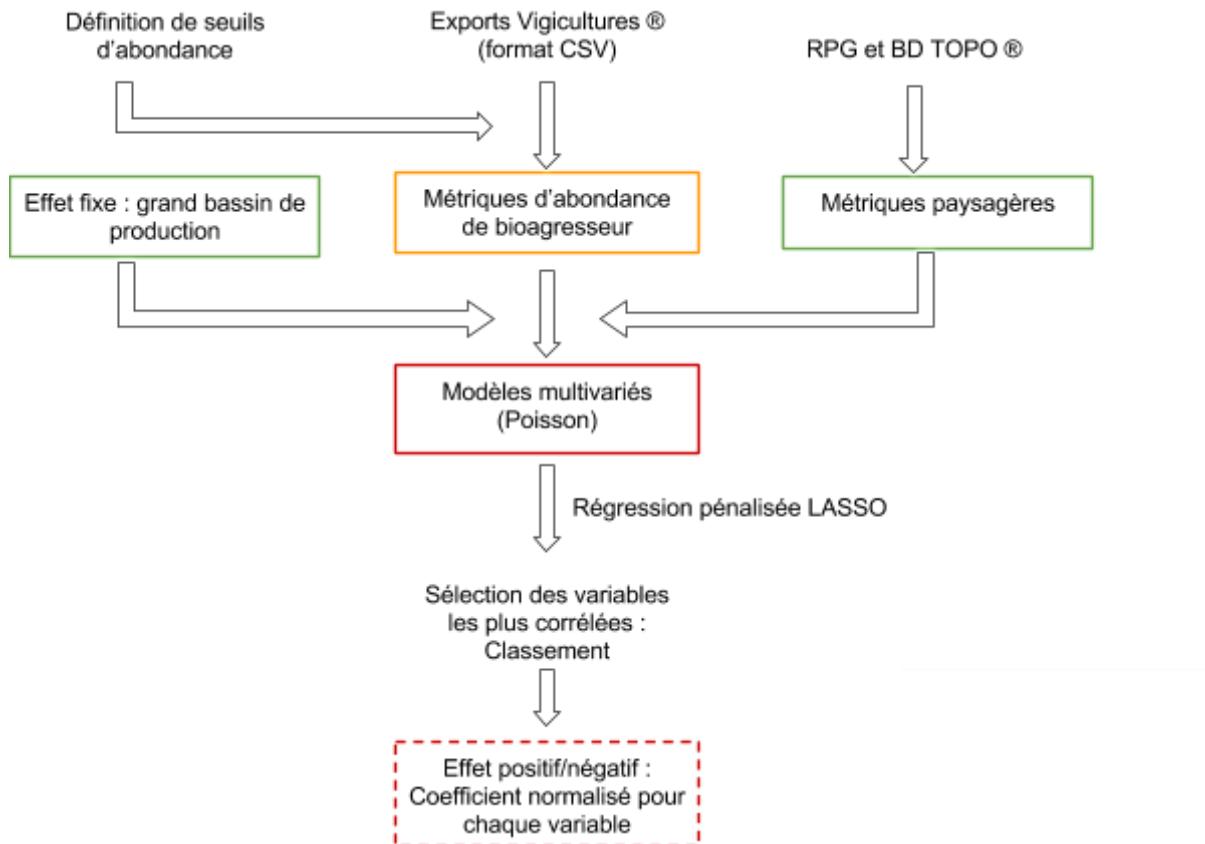


Figure 6 : Schéma explicatif des analyses statistiques multivariées réalisées dans le cadre de cette étude.

4.1. Description des bases de données utilisées pour les analyses statistiques

4.1.1. Base de données épidémiologiques Vigicultures ®

Issue d'une collaboration entre les instituts techniques agricoles français et les acteurs locaux, la base de données Vigicultures ® est constituée des observations réalisées pour la rédaction des Bulletins de Santé du Végétal (BSV) dans 17 des 21 régions françaises (Sine et al., 2010). Elle a été conçue pour répondre à trois objectifs : "(i) surveiller et identifier les bioagresseurs en temps réel en partageant les données entre observateurs, (ii) évaluer les risques pour les cultures, contribuer à l'alerte des opérateurs de terrain et des agriculteurs pour (iii) cibler précisément les interventions de protection des cultures" (Simonneau, 2009). Elle est composée d'observations hebdomadaires sur l'état sanitaire des cultures (stades de développement, observations des ravageurs et maladies, présence de symptômes) suivant des protocoles d'observations normalisés pour tout le réseau (annexe 5). La base est également constituée d'informations sur les caractéristiques pédologiques et les pratiques culturales des parcelles observées.

Bien que ces données soient collectées par le même réseau, les renseignements concernant les pratiques agricoles ne sont pas les mêmes selon que la parcelle est cultivée en blé tendre ou en colza (voir annexes 5, 6, 7 et 8). Cette différence a nous a contraint d'écartier du jeu de données les informations sur les pratiques culturales des parcelles observées. L'utilisation ou non de produits phytosanitaires est également une information que nous n'avons pas pu exploiter : elle n'est disponible qu'à partir de 2014. Par manque de temps et dû aux difficultés de récupération de ces données, le type de sol des parcelles n'a pas non plus été pris en compte. Les données Vigicultures ® sont disponibles de la campagne 2009 à la campagne 2016 pour l'ensemble des régions françaises excepté l'Alsace, les Pays de la Loire et la Bretagne, qui ont leur propre système d'information nommé VégéObs ®. Pour ce stage, des

conventions entre l'INRA, ARVALIS - Institut du Végétal et Terres Inovia ont été mises en place afin de garantir l'accès aux données depuis le site de Vigicultures ® pour toutes les cultures et pour toutes les régions du réseau. Cependant, seules les données concernant les parcelles géoréférencées de blé et de colza durant les campagnes 2009 à 2014 ont été exploitées pour cette étude, dates pour lesquelles le Registre Parcellaire Graphique était disponible à la date de l'étude.

Le géoréférencement des parcelles du réseau est une donnée indispensable pour notre étude, car c'est à partir de cette information que les variables explicatives sont calculées. Chaque parcelle est localisée par les observateurs du réseau grâce à un système de puce à déplacer sur une carte (voir annexe). Si cette puce n'est pas déplacée, alors les coordonnées de la parcelle sont remplacées par celles du centre de la commune déclarée par l'observateur. Les parcelles appartenant à cette catégorie, représentant 37 % des parcelles Vigicultures ® de blé et de colza, ont été retirées du jeu de données (figure 7).

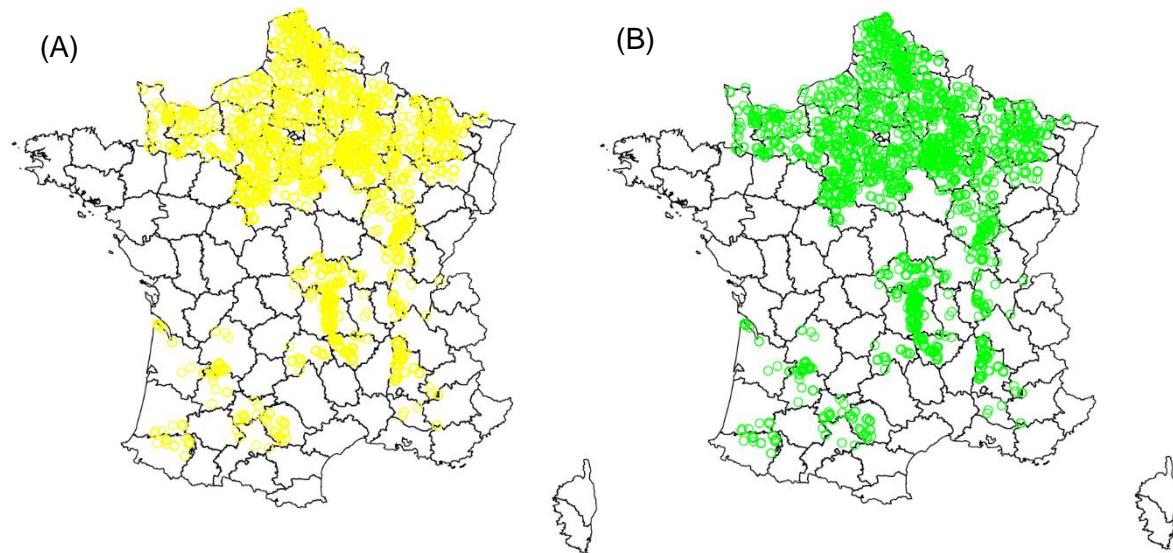


Figure 7 : Localisation (A) des parcelles de colza ($n = 2216$) et (B) localisation des parcelles de blé ($n = 2653$) du réseau Vigicultures ® utilisées pour les analyses (parcelles géo référencées des campagnes 2009 à 2014).

4.1.2. *Registre Parcellaire Graphique*

Le Registre Parcellaire Graphique (RPG) est un système d'information géographique administré et utilisé par l'Agence de Services et de Paiement (ASP) pour verser les aides publiques aux agriculteurs dans le cadre de la politique agricole commune européenne. Cet outil, mis à jour chaque année, permet la localisation et l'identification des îlots agricoles en France. Il est constitué à partir du dossier de déclaration de surfaces déposé chaque année par les agriculteurs. Ces derniers localisent leurs îlots de cultures, dessinent leur contour sur le fond photographique de la BD ORTHO ® de l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN) et définissent la proportion des différentes cultures qui y sont cultivées. Il existe différents niveaux d'informations lors de la mise à disposition du RPG. A chaque niveau, de nouvelles données complètent l'information du niveau précédent (voir annexe 9). Les RPG de niveaux 1 et 2 sont disponibles pour le grand public et sont constitués des contours des îlots « anonymisés » du RPG, avec l'indication de la culture majoritaire de l'îlot. Dans le cadre de l'étude, la proportion des différentes cultures dans chaque îlot est nécessaire (annexe 10), une convention ASP-INRA en cours nous a permis d'obtenir ces informations via le RPG de niveau 4 de 2009 à 2014. Les données 2015 ne sont pas encore disponibles et n'ont pas pu être obtenues pour le stage car l'information est disponible avec un délai d'un an après la fin de chaque campagne. Cette base de données constitue donc une description à grande échelle et régulièrement mise à jour d'une grande majorité des terres agricoles en grandes cultures.

Ces données brutes, en format vectoriel, sont encodées en fichiers au format *Shapefile*. La géométrie des îlots est en Latitude/Longitude dans le système de projection Lambert 93.

4.1.3. BD TOPO ®

La BD TOPO ® est la composante topographique du Référentiel géographique à Grande Echelle (RGE®) de précision métrique produit par l'IGN. Cette base de données est utilisée dans le cadre d'aménagement du territoire, d'environnement ou d'urbanisme. Elle est le socle nécessaire au fonctionnement des systèmes d'information des collectivités locales de la commune à la région. La BD TOPO ® est aussi un élément indispensable à la conception, au fonctionnement et à l'évaluation de nombreux services pour ces collectivités (IGN, 2011). Seule la version 2012 de la BD TOPO ® a été utilisée pour les analyses, car nous avons fait le postulat que les éléments semi-naturels n'ont pas beaucoup changé autour de cette année. Les données de la BD TOPO ® ne sont pas accessibles gratuitement au grand public. Ainsi, une convention a été mise en place entre l'Unité Mixte de Recherche (UMR) d'Agronomie de l'INRA et l'IGN. Cette convention stipule que l'utilisation des données de la BD TOPO ® a pour but la recherche scientifique publique, ce qui a permis d'y avoir accès gratuitement.

4.2. Calcul des variables à expliquer : les métriques d'abondance de bioagresseurs

Initialement, les données Vigicultures ® sont utilisées pour la mise en place des BSV et pour des modèles de prédictions. Elles se présentent sous la forme d'observations réalisées toutes les semaines sur les parcelles du réseau. Si ces données avaient été utilisées telles quelles pour les analyses statistiques, l'individu statistique aurait été l'observation hebdomadaire réalisée par les observateurs Vigicultures ®. Afin de traduire la pression exercée par les maladies sur une parcelle au cours d'une campagne, il a été décidé de calculer des métriques d'abondance. Ces métriques consistent à compter le nombre de fois où les observations dépassent un certain seuil. Pour les mettre en place, une variable pertinente d'abondance est définie en accord avec la bibliographie et avec les experts parmi les différentes observations réalisées pour chaque maladie (tableau 4). De la même manière un seuil d'abondance, traduisant une présence assez faible mais préoccupante de la maladie, est établi avec les experts.

Tableau 4 : Variable d'abondance sélectionnée pour chaque bioagresseur, seuils d'abondance définis à partir des dires d'experts, de la bibliographie et de la disponibilité des données de 2009 à 2014, nombre d'observations réalisées sur le terrain et nombre de parcelles Vigicultures ® utilisées pour les analyses.

Maladie	Variable observée	Seuil d'abondance	Nombre d'observations	Nombre de parcelles
Rouille Jaune	Pourcentage de plantes dont la F1, F2 et/ou F3 présente au moins une pustule de rouille jaune entre les stades Z31 et Z39	10 %	6553	2653
Septoriose	Pourcentage de plantes dont la F2 est touchée par la septoriose entre les stades Z32 et Z39	10%	6552	
Phoma	Pourcentage de plantes présentant des macules	1 %	5977	2216
Sclerotinia	Pourcentage de plantes avec présence de sclerotinia sur hampes principales et secondaires au stade G1	10 %	5977	

Par exemple, pour la rouille jaune, on considère que si un observateur note que plus de 10 % de plantes dont la F1, F2 et/ou F3 présentent au moins une pustule de rouille jaune, alors le champignon est suffisamment présent pour causer des dégâts dans la parcelle. Ces quatre métriques d'abondance de bioagresseur ont été définies comme les variables à expliquer de nos analyses statistiques. Leur distribution présente une forte proportion de 0, signifiant qu'une grande partie des observations réalisées sur le terrain ne dépassent pas les seuils définis (figure 8).

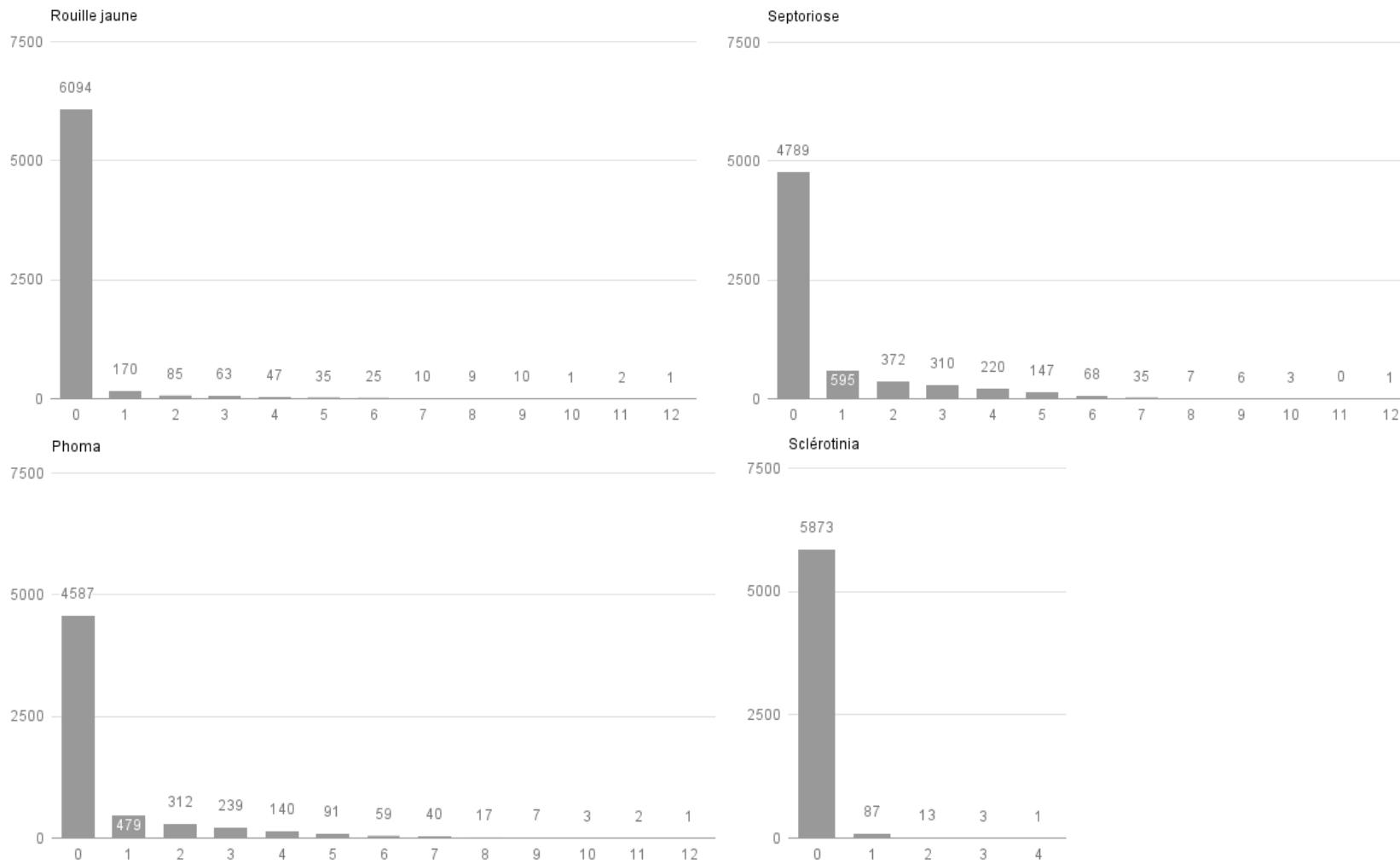


Figure 8 : Distribution des métriques d'abondance pour chaque maladie. Ces graphiques représentent la part de métriques d'abondance qui dépassent un certain nombre de fois (1, 2, 3 ou 4 fois etc.) le seuil d'abondance défini au préalable avec les experts et la littérature est dépassé par les notations effectuées pour la base Vigicultures ® pour chaque maladie. Sur la totalité des observations concernant la rouille jaune, 6094 d'entre elles ne dépassent pas le seuil d'abondance défini en accord avec les recherches bibliographiques et les experts, 170 le dépassent une fois, 85 deux fois etc. La première colonne de chaque graphique représente le nombre d'observations ne dépassant pas le seuil choisi.

4.3. Calcul des variables explicatives : les métriques paysagères

Afin d'expliquer l'effet du paysage sur l'abondance des maladies étudiées, des métriques paysagères ont été calculées à partir des données contenues dans le RPG et la BD TOPO ®. Ces métriques représentent la composition du paysage 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres autour des points d'observation Vigicultures ® (figure 9).



Figure 9 : Exemple de tampon utilisé pour le calcul des métriques paysagères issues de la BD TOPO ® et du RPG. d peut être égal à 200, 1 000, 5 000 ou 10 000 mètres. Ici nous avons utilisé les aires de l'un ou l'autre des éléments dans le buffer.

4.3.1. Assolement agricole

Les métriques donnant des indications sur l'assolement autour des parcelles Vigicultures ® ont été calculées à partir du RPG. Tous les îlots concernant le blé tendre d'hiver et le colza, correspondant respectivement aux groupes cultureaux 1 et 5 dans le RPG (annexe 10) ont été utilisé pour calculer :

- la surface en mètres carrés de la culture concernée (blé tendre ou colza) l'année de la campagne du point Vigicultures ®
- la surface en mètres carrés du groupe de culture concerné l'année précédant la campagne du point Vigicultures ®

Certaines observations Vigicultures ® ont été réalisées dans des parcelles de blé tendre d'hiver et de colza étant destinées aux cultures énergétiques (groupe cultural 28) ou cultivées en tant que gels industriels (groupe cultural 12). Mais ces parcelles ne représentent qu'un faible pourcentage des données. Les calculs de surface en colza ou blé autour des parcelles n'incluent pas ces surfaces. Par ailleurs, en étudiant la distance entre les parcelles Vigicultures ®, dont le géo-référencement est effectué par les observateurs, et les parcelles du RPG de même culture les plus proche nous avons pu mesurer la cohérence de ces deux jeux de données. La grande majorité (~80%) des parcelles géo-référencées dans Vigicultures ® correspondent bien à des îlots comportant la culture d'après le RPG. L'identification de la base de données fautive étant difficile nous avons gardé l'ensemble des données géo-référencées de Vigicultures ®.

Tableau 5: Distances minimales entre une parcelle Vigicultures ® et un îlot déclaré de la même culture dans le RPG. Les parcelles Vigicultures ® ont été considérées comme étant en blé uniquement si les îlots RPG présentaient du blé (idem pour le colza). Les données correspondant aux parcelles en gras ont été utilisées pour nos analyses statistiques. Les parcelles en italique sont plus ou moins éloignées d'îlots contenant du blé tendre ou du colza d'après le RPG. Les données restantes correspondent aux données qui n'ont pas été géo-référencées. Elles ont été écartées du jeu de données.

Pourcentage de parcelles Vigicultures ® à :	Moyenne
0 m des cultures (blé/colza)	47%
0 m des cultures énergétiques	2%
0 m des gels industriels	0%
<i>0-20 m</i>	<i>2%</i>
<i>20-50 m</i>	<i>2%</i>
<i>50-200 m</i>	<i>6%</i>
<i>200-1000 m</i>	<i>3%</i>
<i>>1000 m</i>	<i>0%</i>
Non géo-référencée	38%

Les îlots correspondant aux prairies temporaires et aux prairies permanentes, correspondant aux groupes cultureaux 18 et 19, nous ont permis de calculer la surface en mètres carrés de prairies permanentes et de prairies temporaires, regroupées en une catégorie "Prairies".

4.3.2. Facteurs "éléments semi-naturels"

La BD TOPO ® est une base de données constituée d'objets représentant chaque élément du paysage. La nature de ces objets est précisée en deux temps. Tout d'abord, ils sont structurés en thèmes, puis séparés en plusieurs classes, dont la définition est détaillée par l'IGN (annexe 11). Ainsi, le thème "Végétation arborée" englobe en tout 610 classes, telles que "Zones arborées", "Forêt fermée de feuillus", "Forêt fermée mixte", "Forêt fermée de conifères", "Forêts ouvertes", "Bois", "Haies" etc. Afin de réduire le nombre de classes, nous avons effectué certains regroupements entre classes similaires :

- la catégorie "Bois" regroupe les classes "Zones arborées", "Forêt fermée de feuillus", "Forêt fermée mixte", "Forêt fermée de conifères", "Forêts ouvertes", "Bois" la catégorie "Haies" est uniquement composée des "Haies"
- la catégorie "Bois traités" regroupe les classes "Vergers" et "Peupleraies", autrement dit les zones arborées dont la gestion est supposée différente de celle des bois (traitements phytosanitaires, sélection de variétés/espèces...)
- la catégorie "Landes" correspond à la classe "Landes ligneuses"

Ainsi, la surface de chaque catégorie a été calculée à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres autour des parcelles Vigicultures ®.

Par ailleurs les classes prairies permanentes et prairies temporaires du RPG ont été utilisées pour quantifier l'aire de prairies autour des points Vigicultures.

Au final, les trois sources d'informations mobilisées pendant ce stage ont en commun l'étude de l'effet de :

- La surface de bois (à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres autour d'une parcelle)
- La surface de haies (à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres autour d'une parcelle)
- La surface de la culture concernée (blé ou colza) cultivée dans le paysage (à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres autour d'une parcelle)

- La surface de la culture concernée cultivée l'année précédente (à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres autour d'une parcelle)
- La surface de prairies (à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres autour d'une parcelle)

5. Contexte pédoclimatique : prise en compte de la grande région de production

Les pathogènes sont des organismes dépendants des conditions climatiques. Ainsi, il a été choisi d'intégrer aux analyses le contexte pédoclimatique de chaque point dans les analyses statistiques.

Afin de caractériser les différents types de milieux de production français par les facteurs qui limitent les rendements du blé tendre, huit grandes régions production ont été définies par Lorgeou et al., 2012, d'ARVALIS - Institut du Végétal (figure 10).

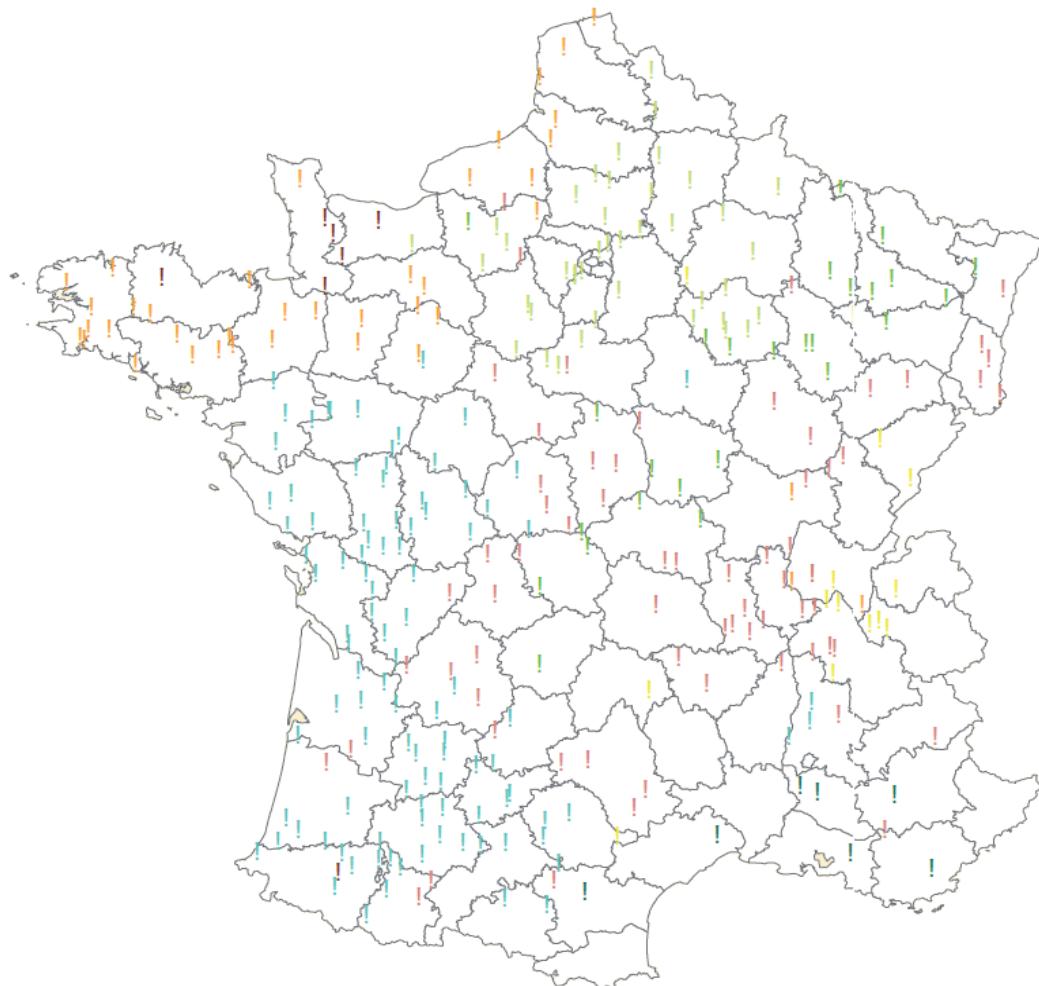


Figure 10 : Cartographie de huit grands types d'environnements de production (Lorgeou et al., 2012). A partir de cette classification, une liste de 10 régions agro-climatique a été définie par le comité de pilotage : Bassin Parisien île-de-France (vert), Est Sec (orange), Centre Est (rouge), Sud du Bassin Parisien (orange), Provence (vert), Normandie Nord Bordure maritime (orange), Bretagne (rouge), Est Humide (bleu), Poitou Charente Façade atlantique (vert), Sud-Ouest (vert)

Ces classes prennent en compte les facteurs biotiques et les facteurs abiotiques, tels que le manque d'eau, les excès d'eau, le froid, les excès thermiques et les faibles rayonnements, facteur très limitant du rendement en blé tendre. Comme notre étude se déroule dans un contexte de grandes cultures, l'hypothèse que ce zonage était aussi valable pour les autres cultures a été faite. Ces classes ont été prises en compte dans nos régressions afin de

représenter l'effet du contexte pédoclimatique dans lequel les observations Vigicultures® ont été effectuées

Certaines de ces régions agro-climatiques n'ont que très peu de points. Elles correspondent largement aux régions administratives pour lesquels le BSV n'utilise pas Vigicultures® (figure 11). Ainsi, les points Vigicultures® des régions Bretagne, Sud-Bassin Parisien, Poitou Façade Maritime et Est humide ont été retirés du jeu de données.

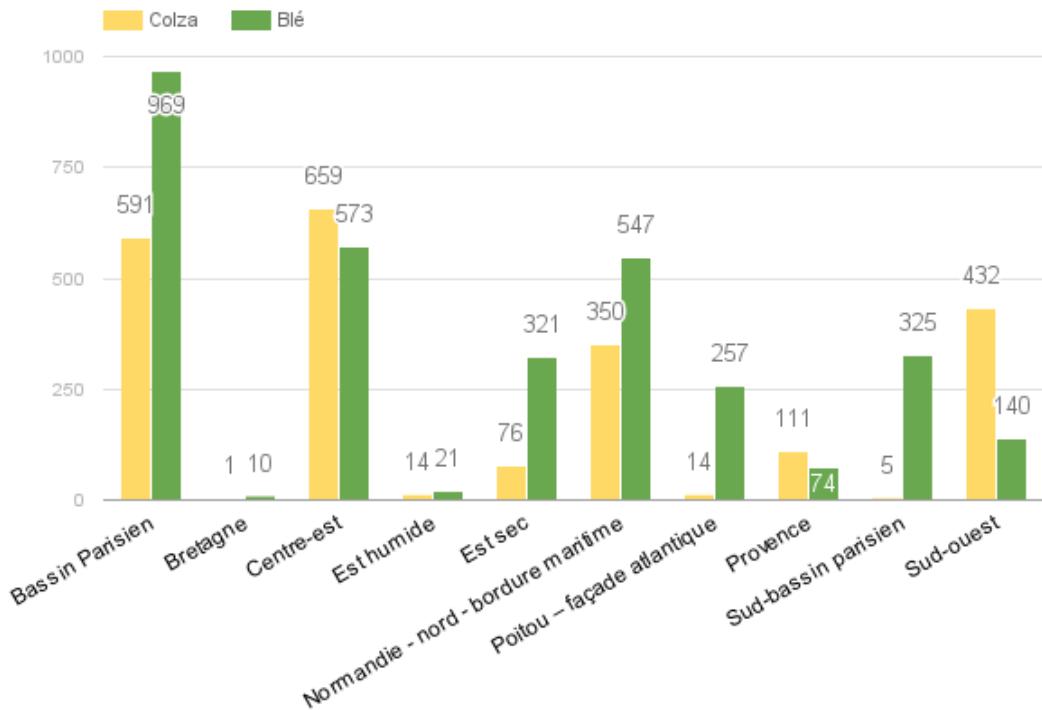


Figure 11 : Distribution des métriques d'abondance de bioagresseur en fonction de la culture et de la région.

Par ailleurs, une région se détache des autres en termes de paysage. Il s'agit de la Provence, qui présente beaucoup plus d'éléments semi-naturels que les autres régions (tableau 6).

Tableau 6 : Pourcentage moyen occupé par chaque élément paysager (cultures et éléments semi-naturels) autour de chaque point Vigicultures® pour chaque grand bassin de production (classification ARVALIS - Institut du Végétal) dans un rayon de 10 kilomètres

Rouge = Région avec le pourcentage le plus haut

Vert = Région avec le pourcentage le plus bas

Grande Région	Blé	Blé (n-1)	Colza	Colza (n-1)	Bois	Bois traités	Haies	Landes	Prairies
Bassin Parisien - IDF	25,82	25,56	11,59	11,3	19,95	0,63	0,37	0,09	4,35
Centre-est	14,57	14,83	8,63	8,79	29,84	0,46	0,73	0,06	19,05
Est sec	13,65	13,64	4,52	4,44	23,95	0,36	1,11	0,07	18,63
Normandie	23,63	23,25	6,2	5,9	13,87	0,23	0,55	0,03	19,3
Provence	8,38	8,34	0,84	0,8	29,62	5,03	2	1,28	4,73
Sud-ouest	12,71	11,86	2,32	2,37	22,09	0,1	0,56	0,21	10,56

Les données correspondant à cette région ont donc également été écartées du jeu de données, pour éviter une partie des effets confondants pouvant émerger dans les résultats des analyses.

Pour résumer, les variables à expliquer de nos analyses statistiques sont des métriques d'abondance de maladie dans les parcelles Vigicultures ®. Ces variables traduisent la sensibilité de chaque parcelle face aux maladies et la pression exercée par chacune d'elles sur les parcelles. L'effet du paysage sur la rouille jaune, la septoriose, le sclerotinia et le phoma pourrait être en partie expliqué par la composition du paysage, à savoir par l'assolement des parcelles avoisinantes et par la présence plus ou moins forte d'éléments semi-naturels. Les conditions climatiques sont également des paramètres à prendre en compte pour ces organismes, très dépendants de la température et de l'hygrométrie. Afin de traduire ces paramètres, la région agro-climatique de chaque parcelle est prise en compte comme variable factorielle dans nos modèles

6. Choix des modèles

Les métriques d'abondance de maladie s'apparentent à des comptages, car on comptabilise le nombre de fois où un certain seuil d'abondance est dépassé lors des notations Vigicultures ®, nous avons donc utilisé une loi de Poisson pour les modéliser.

Des modèles multivariés ont permis d'étudier l'effet de chaque métrique paysagère en prenant en compte les autres métriques et l'effet régional (figure 12).

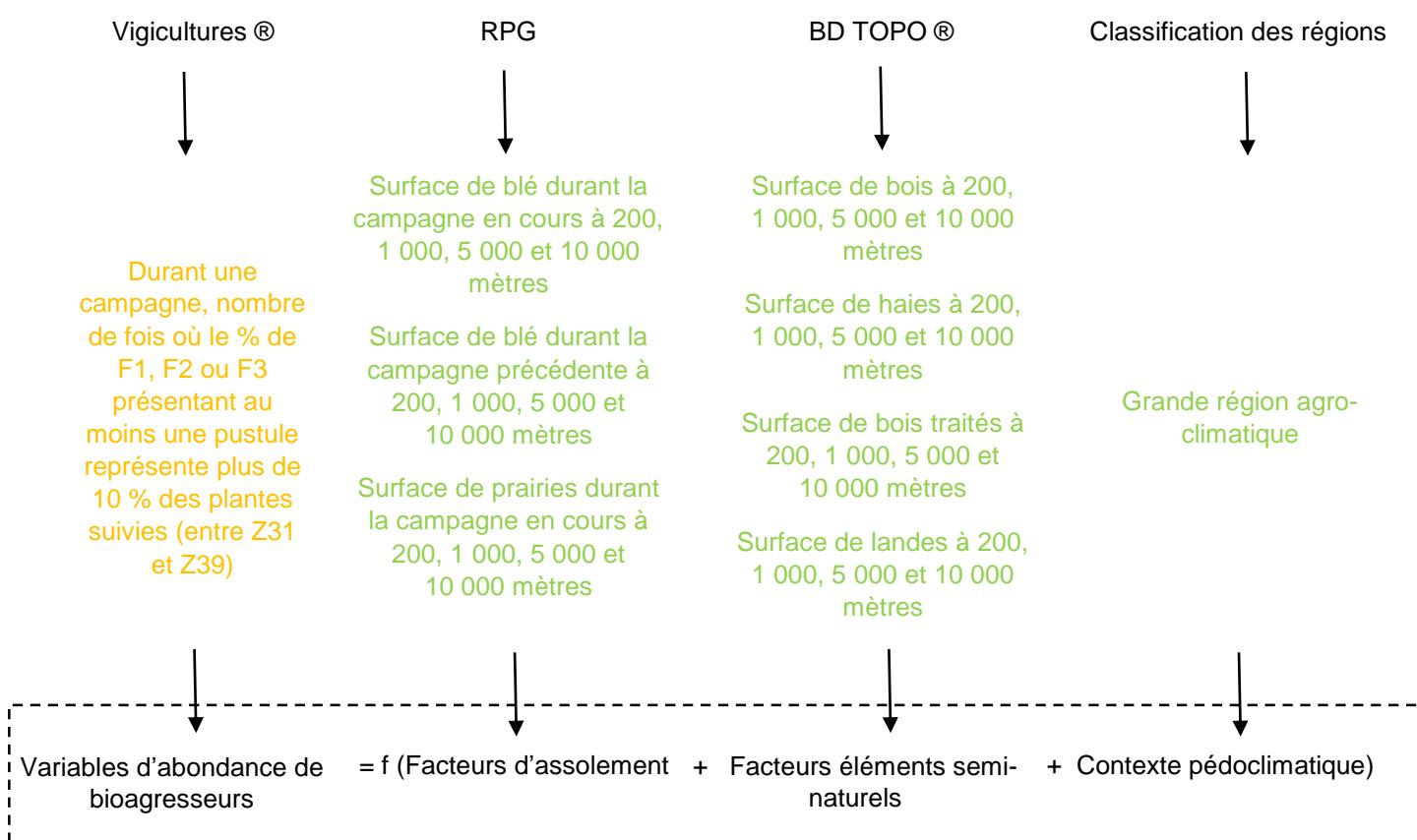


Figure 12 : Schéma explicatif des variables à expliquer pour la rouille jaune (en orange) et des variables explicatives (en vert) entrant dans les analyses statistiques et de la base de données ou de la classification à partir de laquelle chaque variable est calculée. La variable explicative est différente pour chaque maladie.

Cependant, les résultats issus de ces modèles étaient faussés par la forte colinéarité entre certaines variables, comme par exemple la surface de blé à 5 000 mètres et à 10 000 mètres

(annexe 12). Afin de sélectionner les variables les plus explicatives nous avons ensuite appliqué la régression pénalisée Lasso aux modèles multivariés.

Cette méthode intègre un paramètre λ dans la régression, afin de contrôler la puissance de régularisation. Plus λ est proche de zéro, plus la sélection de variables pertinentes pour les modèles est sévère, et seules celles qui auront un impact très significatif dans la relation seront prises en compte. Selon la valeur de λ , le nombre de variables sélectionnées pour le modèle sera différent. Dans notre cas, la valeur de λ choisie est celle pour laquelle le risque d'erreur lors des prédictions est minimisé (choix pour chaque modèle par validation croisée).

Les variables les plus pertinentes dans la relation ont été fournies par la régression Lasso. Pour ces variables, le coefficient estimé pour chaque variable a été utilisé afin d'estimer le sens de l'effet de l'assoulement des parcelles voisines et de la présence plus ou moins forte d'éléments semi-naturels sur la pression exercée par les maladies de grandes cultures dans le paysage. Afin de permettre la comparaison des coefficients entre eux, les variables ont été normalisées avant modélisation.

Résultats

Pour chaque maladie, l'effet de plusieurs facteurs a été étudié auprès des experts, à l'aide de recherches bibliographiques et d'analyses statistiques. Cependant, tous les facteurs n'ont pas été étudiés par les experts, la littérature et les statistiques (tableau 7).

Tableau 7 : Sources d'informations étudiant l'impact des différentes catégories de facteurs paysagers, à l'échelle parcellaire et supra-parcellaire.

	Echelle parcellaire	Echelle supra-parcellaire
Pratiques agricoles	Bibliographie Experts	Bibliographie Experts
Caractéristiques de la parcelle	Bibliographie Experts	Bibliographie Experts
Eléments semi-naturels	∅	Bibliographie Experts Statistiques
Assolement	Bibliographie Experts	Bibliographie Experts Statistiques

Au final, la comparaison entre les trois sources d'informations est effectuée sur 20 variables explicatives :

- La surface de blé durant la campagne en cours à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres
- La surface de blé durant la campagne précédente à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres
- La surface en prairies à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres
- La surface de bois à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres
- La surface de haies à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres

Chaque facteur peut avoir un impact favorable (+), défavorable (-) ou inexistant (0) sur certaines maladies, selon les caractéristiques de chacune d'entre elles. La démarche pour obtenir les résultats est la même pour tous les organismes étudiés, ainsi nous présenterons de façon plus détaillée les résultats pour la rouille jaune du blé. Les résultats pour les autres maladies se trouvent dans les figures suivantes et en annexe de ce rapport. Par manque de données, l'impact des pratiques agricoles autres que l'assolement n'a pas pu être analysé statistiquement.

Les connaissances issues de la littérature et des entretiens avec les experts concernant l'effet des facteurs étudiés sur la rouille jaune à l'échelle parcellaire et supra-parcellaire sont tout d'abord présentées. Les résultats tirés des trois différentes sources d'informations concernant l'impact des éléments semi-naturels et de l'assolement sont ensuite décrits.

1. Impact des pratiques agricoles et des caractéristiques de la parcelle sur la rouille jaune

1.1. Résultats obtenus d'après les recherches bibliographiques

1.1.1. Echelle parcellaire

A l'échelle de la parcelle, de nombreuses sources indiquent que le choix variétal et la lutte phytosanitaire restent les leviers d'actions principaux contre la rouille jaune (Gladders et al., 2007 ; Chen, 2005). La bibliographie met également en avant que les précipitations élevées

favorisent le risque d'infection par la rouille jaune. En effet, une forte humidité favorise la germination des spores sur les feuilles, et donc l'infection de la plante (Rapilly 1979, cité par Chen, 2005). De même, un semis précoce (septembre) peut favoriser les épidémies de rouille jaune (Polley et Thomas, 1991 ; cités par Gladders et al., 2007). Par contre, les mélanges variétaux peuvent limiter le développement de la rouille jaune (Akanda et Mundt, 1996 ; Chen, 2007) mais les rendements restent peu stables (Mundt et al., 2011). Le couvert étant plus hétérogène, le pathogène rencontrera plus de difficultés à contaminer toute la parcelle. Le labour avant le semis pourrait aussi participer à la lutte contre la rouille jaune en étant effectué au bon moment pour limiter les repousses (BASF, 2016 ; Singh et al., 2002) et les adventices (Cook et Yarhm, 2006). La maladie peut en effet survivre sur ces repousses et sur les adventices durant l'interculture, lui permettant de persister dans le paysage entre deux campagnes. Enfin, réduire la quantité d'azote fourni à la plante peut limiter le développement de la rouille (Olesen et al., 2003a,b; Huber & Watson, 1974; Ash & Brown, 1991 ; cités par Neumann et al., 2004). Ces éléments suggèrent ainsi que certaines pratiques comme la date de semis, les mélanges variétaux et le labour peuvent participer à la régulation de la maladie. Cependant, ces effets sont jugés minimes en comparaison de ceux de la lutte phytosanitaire, du choix variétal et du climat (annexe 13).

Concernant l'impact de la topographie de la parcelle sur la rouille jaune, il est possible de faire l'hypothèse que certaines configurations de parcelle peuvent conduire à des effets microclimatiques favorisant ou défavorisant la rouille jaune. Des températures fraîches favorisent les épidémies de rouille jaune (optimum de température à 11°C) et permettent la formation de rosée durant la nuit, ce qui est un facteur favorable au développement du pathogène (Rapilly 1979, cité par Chen, 2005). Ainsi, nous pouvons supposer que les parcelles en fond de vallée, moins exposées au soleil et au vent peuvent favoriser la maladie. Certaines études montrent que les épidémies de rouille jaune sont plus fortes sur les parcelles expérimentales de grande taille, car ces dernières peuvent contenir de plus grandes proportions de spores (Paysour & Fry, 1983; Bowen et al., 1984; Mundt et al., 1996 ; cités par Sackett et Mundt, 2009). Elles sont contredites par d'autres études qui montrent que sur des parcelles agricoles, cet effet disparaît avec l'augmentation de la taille des parcelles (Sackett et Mundt, 2009). Van der Planck (1948, 1949, 1960 ; cité par Sackett et Mundt, 2009) montre même qu'à l'échelle régionale, de grandes parcelles permettrait de gêner la propagation de la maladie entre les champs. Là encore, l'interprétation de la bibliographie suggère des effets très faibles (annexe 13).

1.1.2. *Echelle supra-parcellaire*

Au contraire de l'échelle parcellaire, l'effet des différents facteurs agronomique à l'échelle paysagère est très peu documenté dans la littérature. Cependant, des hypothèses peuvent être tirées des connaissances à l'échelle de la parcelle. D'après Singh et al. (2002), le labour, couplé d'un herbicide, est un bon moyen de réduire l'inoculum présent dans la parcelle en supprimant les hôtes intermédiaires potentiels du champignon durant l'interculture. Sachant cela, nous supposons que le labour des parcelles environnantes à 200 et 1 000 mètres peut participer à la réduction de l'inoculum dans le paysage. De même, si toutes les parcelles aux alentours sont traitées, le risque de contamination entre les parcelles de blé est supposé diminuer, à toutes échelles. Le choix variétal des parcelles avoisinantes est également un facteur important dans la propagation de la maladie dans le paysage. Mundt et al. (2011) signalent notamment qu'une augmentation de la surface cultivée avec des variétés de blé sensibles à la rouille jaune favorise la propagation de la maladie, tandis que la culture d'un plus grand nombre de variétés de blé et d'une plus forte diversité d'espèces dans le paysage pourrait freiner cette propagation (Mundt et al., 2002 ; cités par Mundt et al., 2011). En dehors de ces trois leviers agronomiques, nous n'attendons pas d'effet des autres facteurs sur la rouille jaune (annexe 17).

1.2. Résultats obtenus auprès des experts

1.2.1. Echelle parcellaire

Dans le cadre de ce stage, trois experts d'ARVALIS - Institut du Végétal ont été interrogés sur la rouille jaune lors d'entretiens individuels et sans confrontation entre les experts. Le sens de l'effet de différents facteurs à l'échelle de la parcelle et du paysage a été résumé dans le tableau suivant. La force de chaque effet peut être visualisée dans les questionnaires réalisés avec les experts, en annexe 13 de ce rapport.

Tableau 8 : Sens de l'effet de différents facteurs à l'échelle de la parcelle d'après les experts interrogés dans le cadre du stage. (0) : Pas d'effet du facteur ; (+) Effet positif du facteur sur la pression exercée par les bioagresseurs ; (-) Effet négatif du facteur sur la pression exercée par les bioagresseurs. Les cases remplies avec "+/-" représentent un effet bimodal du facteur correspondant. Les cases grisées signifient que l'expert n'a pas pu répondre à la question lors de l'entretien.

Echelle parcellaire	Rouille jaune			Septoriose			Phoma			Sclerotinia		
	Facteur	RJ1	RJ2	RJ3	SP1	SP2	SP3	PH1	PH2	PH3	SC1	SC2
Fréquence de retour de la culture	+	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Précédent particulier	0	0	0	0	+	+	0	0	0	+	+	+
Labour/enfouissement des résidus	0	0	0	+	-	-	+	+	+	-	-	-
Choix variétal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Diversité dans la rotation	0	0	0	0	-	-	0	0	+	+	0	0
Parcelle en fond vallée	+	0	+	+	+	-	0	0	+	-	0	0
Parcelle en coteau	-	0	+	-	-	+	0	0	+	-	0	0
Lutte phytosanitaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fertilisation azotée importante	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Densité de semis élevée	+	+	+	+	-	+	0	+	+	-	+	+
Date de semis précoce	+/-	+	-	-	+	+	+	-	+	0	0	0
Traitement des semences		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lutte biologique		0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
Précipitations élevées		-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Irrigation	0	0	+	+	+	+	0					+
Travail modéré du sol	0	0	0	-	-	-	-	+	-	-	-	0
Mélanges variétaux		-	-		-	0		-	0			0
Associations		+	0		-	0		0	0			0
Superficie de la parcelle		0	+		-	0	-	0	-			0

Cette méthode nous permet de voir que dans certains cas, des discordances entre tous les experts pour une même maladie peuvent être observées. Concernant l'effet des pratiques agricoles sur la rouille jaune à l'échelle de la parcelle, les avis des trois experts s'opposent dans 11 % des cas, si on ne comptabilise pas les facteurs pour lesquels nous n'avons que l'avis de 2 experts. Si nous les prenons en compte, les avis des trois experts s'opposent dans 25 % des cas. Dans 15 % des cas, l'avis de deux experts s'oppose à celui du troisième. Dans l'impossibilité de trancher entre les experts, les accords et les désaccords entre experts interrogés sont présentés. Dans les cas où l'avis de deux experts a été collecté, leurs seuls avis ont été pris en compte.

Indépendamment, tous les experts indiquent qu'une fertilisation azotée et une densité de semis plus importantes augmentent la sensibilité de la culture face à la rouille jaune ; en effet, plus le couvert sera dense et nourri, plus il sera sensible à la rouille jaune. Ces deux effets sont néanmoins très faibles pour les experts, en comparaison du choix de la variété et de l'utilisation de produits phytosanitaires, qui sont d'après eux les leviers les plus efficaces contre la maladie (annexe 13). Les experts sont d'accords sur le fait que le précédent, le labour, la diversité dans la rotation, le traitement de semences, la lutte biologique et le travail modéré du sol n'ont aucun impact sur la maladie.

Concernant les autres facteurs, l'avis des experts divergent. Pour l'expert RJ1, une parcelle sur laquelle du blé est fréquemment cultivé a plus de risque d'être contaminée par la rouille jaune, malgré le fait que les chances d'infections restent fortes même en cas de faible retour du blé dans la rotation. Les deux autres experts jugent quant à eux que ce risque est égal, que la parcelle soit en monoculture de blé ou non.

L'effet de la topographie de la parcelle est également source de controverse entre les experts. En effet, l'impact de ce facteur est très peu connu des experts, qui sont alors incertains et peuvent répondre de façon différente. Ce facteur peut influencer l'hygrométrie de la parcelle, paramètre essentiel pour l'infection des plantes par le champignon. Pour l'expert RJ1, une parcelle en fond de vallée sera plus sensible à la rouille jaune qu'une parcelle en coteau, qui sera plus sec et donc moins favorable à l'infection. Selon l'expert RJ3, les parcelles en coteau peuvent néanmoins être plus froides, ce qui peut favoriser la formation de rosée. La rosée est un des vecteurs principaux de l'infection par le champignon, ce qui rend ces parcelles en coteau tout aussi favorables à la rouille jaune. Les deux experts estiment que l'effet de la topographie de la parcelle sur la maladie dépend d'autres facteurs, comme l'orientation de la parcelle, tandis que l'expert RJ3 estime qu'une parcelle en coteau a autant de chance d'être touchée par la maladie qu'une parcelle en fond de vallée. Logiquement, ces différences qualitatives se traduisent quantitativement par des diagrammes de probabilités des experts centrés sur 0 pour RJ2 et RJ3 mais fortement positif ou négatif pour RJ1 (annexe 13).

La date de semis de la culture peut avoir un effet négatif ou un effet positif selon l'expert interrogé. Un semis précoce peut être attaqué plus férolement par la maladie, mais cela peut être aussi le cas pour les semis tardifs selon la parcelle et l'année. Selon l'expert RJ1, si l'inoculum est omniprésent autour de la parcelle, alors les semis les plus précoce peuvent être contaminés très rapidement, et peuvent eux-mêmes servir de source d'inoculum pour les semis tardifs. Le diagramme de probabilité associé à cette estimation montre un effet bimodal de la date de semis (annexe 13). L'expert RJ2 estime que les conditions climatiques sont plus douces et plus favorables à la rouille jaune lors d'un semis précoce. De plus, le blé semé plus tôt verra son cycle végétatif s'allonger, ce qui signifie que si la rouille jaune attaque la culture, elle aura le temps de générer plus de spores et de potentiellement contaminer plus de plantes. Cependant, cet effet est estimé peu visible d'après le diagramme rempli par l'expert RJ2 (annexe 13). Pour l'expert RJ3, les gènes de résistances des variétés tolérantes s'activent lorsque la plante atteint l'âge adulte ; cette particularité signifie que plus les plantes seront jeunes lors de l'arrivée de la maladie, plus elles y seront sensibles. Le risque d'être contaminé est ainsi autant voire plus fort pour une culture semée tardivement que pour un semis précoce, selon l'expert RJ3. Cet effet est beaucoup plus fort d'après l'expert (annexe 13).

Les experts sont également incertains concernant l'irrigation de la culture. D'après les experts RJ1 et RJ2, l'irrigation des parcelles de blé intervient en juin, après la période de sensibilité de la culture face à la rouille jaune. Pour l'expert RJ3, l'irrigation favorise la formation de rosée sur les plantes et augmente l'hygrométrie de la parcelle, ce qui favorise l'infection des plantes par le champignon.

Comme les mélanges variétaux, les associations de cultures pourraient défavoriser la propagation de la maladie d'après l'expert RJ2.

Concernant l'effet de la superficie de la parcelle, l'expert RJ3 constate que la maladie est plus difficilement détectable dans les très grandes parcelles que dans les petites.

1.2.2. Echelle supra-parcellaire

Le sens de l'effet de différents facteurs dans le paysage a été résumé dans le tableau 9. La force de chaque effet peut être visualisée dans les questionnaires réalisés avec les experts, en annexe 17 de ce rapport.

Tableau 9 : Sens de l'effet de différents facteurs et éléments paysagers à l'échelle supra-parcellaire d'après les experts interrogés dans le cadre du stage. Résultats par facteur, résumés pour les quatre échelles (200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres). Les résultats par facteur et par échelle se trouvent en annexe. (0) : Pas d'effet du facteur ; (+) Effet positif du facteur sur la pression exercée par les bioagresseurs ; (-) Effet négatif du facteur sur la pression exercée par les bioagresseurs. Les cases remplies avec “+/-” représentent un effet bimodal du facteur correspondant. Les cases grisées signifient que l'expert n'a pas pu répondre à la question lors de l'entretien.

Echelle supra-parcellaire	Rouille jaune			Septoriose			Phoma			Sclerotinia	
	RJ1	RJ2	RJ3	SP1	SP2	SP3	PH1	PH2	PH3	SC1	SC2
Fréquence de retour de la culture dans les parcelles voisines	+	+	+	+	0	0	0	0	0	+	+
Précédent particulier dans les parcelles voisines	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Labour/enfouissement des résidus dans les parcelles voisines	0	0	0	+	-	-	+	+	+	-	-
Superficie élevée des parcelles voisines	0	0	-	+	-	0	+	+	-	0	0
Diversité cultivée en général des parcelles voisines	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
Lutte phytosanitaire des parcelles voisines	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Présence de cours d'eau dans les environs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diversité variétale des parcelles voisines	-	-	-	0	-	-	-	-	0	0	0
Lutte biologique dans les parcelles voisines	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0
Date de semis des parcelles voisines	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0
Fertilisation azotée des parcelles voisines	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0
Travail modéré du sol dans les parcelles voisines	0	0	-	-	-	-	+	0	-	0	0
Densité de semis des parcelles voisines	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0
Diversité spécifique des parcelles voisines	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0

A l'échelle du paysage, les experts n'attendent aucun effet des pratiques agricoles et des caractéristiques des parcelles à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres, à part concernant le choix variétal et la lutte phytosanitaire. En effet, la résistance des variétés cultivées dans le paysage est un paramètre très important dans la propagation de la maladie d'après les experts. Plus le nombre de variétés cultivées dans le paysage augmente et plus le nombre de variétés résistantes augmente, plus la propagation de la maladie sera difficile dans le paysage. De même, l'intensité de traitements phytosanitaire dans le paysage peut réduire la quantité d'inoculum dans le paysage. Certains experts estiment d'autre part que l'absence de traitement contre la rouille jaune peut favoriser la création de réservoir d'inoculum pour les

parcelles environnantes. Les experts n'accordent pas de poids à l'enfouissement des résidus de culture et des repousses dans l'environnement de la parcelle.

1.3. Résultats obtenus d'après les analyses statistiques

Par manque de données, les analyses statistiques n'ont pas pu être effectuées pour ces facteurs de pratiques et topographiques, limitant l'analyse aux deux premières sources d'informations.

2. Impact de l'assolement et des éléments semi-naturels sur la rouille jaune dans le paysage

Les résultats concernant l'assolement des parcelles et la présence d'éléments semi-naturels à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres ont pu être résumés dans le tableau 10 et en annexe 17.

Tableau 10 : Estimation du sens de l'effet des facteurs paysagers sur la pression exercée par 4 maladies de grande cultures sur une parcelle de blé ou de colza par la bibliographie (B), les experts (E) et les analyses statistiques (S). Pour la bibliographie et les experts, les fbM et feM (équation 1). Les résultats des régressions pénalisées ont également été utilisés. (0) : Pas d'effet du facteur ; (+) Effet positif du facteur sur la pression exercée par les bioagresseurs ; (-) Effet négatif du facteur sur la pression exercée par les bioagresseurs. Les cases grisées correspondent aux variables qui n'ont pas pu être étudiées par l'élicitation de la littérature et des experts.

	Rouille Jaune			Septoriose			Phoma			Sclerotinia		
	B	E	S	B	E	S	B	E	S	B	E	S
Éléments paysagers												
Bois à 200 m	-	+	0	0	-	-	0	-	0	0	+	0
Bois à 1000 m	0	0	0	0	0	0	0	-	+	0	+	-
Bois à 5000 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	-
Bois à 10000 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+
Haies à 200 m	-	+	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0
Haies à 1000 m	0	0	0	0	0	0	0	-	+	0	0	0
Haies à 5000 m	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Haies à 10000 m	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	-
Bois traités à 200 m			0			-			0			0
Bois traités à 1000 m			+			+			0			0
Bois traités à 5000 m			0			+			0			0
Bois traités à 10000 m			0			0			0			-
Landes à 200 m			0			0			0			0
Landes à 1000 m			+			+			0			0
Landes à 5000 m			0			0			0			0
Landes à 10000 m			0			0			0			0
Prairies à 200 m	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	+	-
Prairies à 1000 m	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0
Prairies à 5000 m	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0
Prairies à 10000 m	0	0	0	0	0	+	0	0	-	0	0	0
Surface blé/colza (année n-1) 200 m	+	+	0	+	+	0	+	+	-	+	+	+
Surface blé/colza (année n-1) 1000 m	+	+	0	+	+	0	+	+	0	+	+	+
Surface blé/colza (année n-1) 5000 m	+	+	0	+	+	0	+	+	0	+	+	0
Surface blé/colza (année n-1) 10000 m	+	+	+	0	+	-	+	+	0	0	0	0
Surface blé/colza (année n) à 200 m	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Surface blé/colza (année n) à 1000 m	+	+	0	+	+	0	+	0	0	+	+	0
Surface blé/colza (année n) à 5000 m	+	+	0	+	+	0	+	0	0	+	+	0
Surface blé/colza (année n) à 10000 m	+	+	0	0	+	0	0	0	+	+	0	0

2.1. Résultats obtenus d'après les recherches bibliographiques

Les effets des différents facteurs paysagers sur la rouille jaune à l'échelle paysagère sont très peu étudiés et documentés dans la littérature. Nous nous sommes basés sur les connaissances établies sur la capacité de dispersion de la maladie et sur les effets connus à l'échelle parcellaire pour formuler des hypothèses afin de remplir le questionnaire bibliographie.

La rouille jaune est une maladie pouvant se disperser sur de plus ou moins grandes distances selon les conditions climatiques, notamment le vent et la pluie. Grâce à leurs capacités aérodynamiques, les spores de rouille jaune peuvent se déplacer et se poser dans un rayon d'une centaine de mètres autour du foyer (Soubeyrand et al., 2007) tandis que certains peuvent voler sur plusieurs kilomètres (Zadocks, 1961).

Dans leur étude, Soubeyrand et al. (2007) ont déterminé que plus de 25 % des souches prélevées autour de leur foyer initial provenaient d'un autre foyer que celui-ci. Ainsi, la présence de champs de variétés de blé sensibles à la rouille jaune dans les alentours influence la propagation de la maladie (Cowger et al. 1995 ; cités par Mundt et al., 2011) et les épidémies de rouille jaune d'une région peuvent être corrélées à celles d'autres régions (Yang et Zeng, 1992). Cependant, la culture d'une grande variété de génotype et de mélanges d'espèces pourrait défavoriser la propagation de telles maladies (Mundt, 2002 ; cité par Mundt et al., 2011). Nous pouvons penser que les parcelles de blé se trouvant à portée de ces spores risquent d'être contaminées par la rouille jaune, ce risque étant plus important si la variété cultivée est sensible à la maladie. Ainsi, je fais l'hypothèse que l'augmentation de la surface cultivée en blé dans un paysage augmente le risque de contamination d'une parcelle de blé par la rouille jaune.

Parallèlement, la maladie ne peut survivre dans le paysage que par l'intermédiaire de repousses ou d'hôtes secondaire ou accessoires durant l'interculture (Kolmer et al., 2009 ; Tollenaar et Houston, 1966 ; Cook et Yarhm, 2006 ; Shaner et Powelson, 1972). Ainsi, la présence de parcelles sur lesquelles du blé a été infecté dans les environs peut légèrement favoriser la survie et la propagation de la maladie dans la parcelle considérée, si ces repousses ou hôtes intermédiaires ont été infectés et non éliminés. La présence de blé durant la campagne précédente peut signifier que la maladie est déjà présente dans le paysage lors du semis du blé pour la campagne présente. Une augmentation de la surface cultivée en blé l'année précédente peut donc également être un facteur de risque. Selon certaines études, les adventices à proximité des parcelles de blé (Cook et Yarhm, 2006) et présentes dans les prairies (Shaner et Powelson, 1972) peuvent aussi représenter de potentielles sources d'inoculum pour les cultures sensibles à proximité. Ainsi, nous avons fait l'hypothèse que la surface de prairie dans 200 et 1 000 kilomètres autour de la parcelle pouvait représenter un risque de contamination de rouille jaune. Au contraire, certains éléments du paysage comme les haies ou les bois, s'ils sont assez hauts et denses, peuvent être un obstacle pour les rafales de vent. Cet effet brise-vent pourrait éventuellement contribuer à la diminution de la propagation des spores dans le paysage. Cet effet, hypothétique, est attendu dans les 200 mètres autour des parcelles seulement.

2.2. Résultats obtenus auprès des experts

Ne pouvant pas trancher en faveur d'un expert ou l'autre, nous avons donc choisi de garder toutes les estimations des experts et d'étudier le sens moyen de l'effet de chaque facteur sur chaque maladie (f_{eM}). Cependant, il est important de noter que les experts interrogés pour la rouille jaune mais aussi pour les autres maladies étaient peu sûrs de leurs estimations. En effet, l'effet des facteurs étudiés n'est pas totalement explicité dans la littérature et leur impact n'est pas pris en compte lors des suivis des experts. De plus, le fait d'estimer ces effets à 200, 1 000, 5 000 et 10 000 mètres s'est révélé difficile, ce qui a pu être la source d'incertitudes face au questionnaire.

A l'échelle du paysage, les experts estiment que plus la surface de blé est importante dans les environs durant l'année en cours et l'année précédente, plus le risque de contamination par la rouille jaune sera fort. En effet, la probabilité que les spores de rouille jaune produites dans une parcelle de blé se posent dans un autre champ de blé serait augmentée, favorisant la multiplication de l'inoculum dans les environs. Ces risques seraient d'autant plus forts selon la

sensibilité des variétés cultivées dans le paysage et selon l'éloignement d'une parcelle saine à une parcelle contaminée. Ainsi, l'impact de la surface de blé cultivée durant l'année en cours ou durant l'année précédente est jugé plus défavorable si l'on considère les parcelles se trouvant dans les 200 mètres que si l'on considère celles se trouvant dans 1 000, 5 000 et 10 000 mètres.

Au contraire des éléments d'assolement, aucun effet n'est attendu des éléments semi-naturels sauf des haies et des bois. En projetant une ombre portée sur un champ de blé, ces éléments semi-naturels peuvent ainsi favoriser la formation de rosée, qui est un facteur crucial et très favorable pour l'infection de la plante par la rouille jaune. Ces effets ne sont mentionnés que par certains des experts interrogés et ne seraient significatifs que de manière très locale ; pour les autres, aucun effet significatif de ces structures paysagères n'est attendu.

2.3. Résultats obtenus d'après les analyses statistiques

La régression pénalisée ne révèle presque aucun effet des éléments paysagers sur la rouille jaune. La surface de précédent blé dans les 10 000 mètres et les haies à 5000 mètres ont un impact significatif sur la maladie. Les analyses montrent aussi que les bois traités et la lande à 1 000 mètres favoriseraient la maladie (annexe 18).

3. Synthèse par maladie

3.1. Rouille jaune

Ainsi, la littérature et les experts sont en accords sur de nombreux points, notamment sur le fait que parmi toutes les pratiques agronomiques étudiées dans le cadre de cette étude, la culture de variétés résistantes et l'application de produits phytosanitaires sont significativement efficaces pour lutter contre la rouille jaune à l'échelle parcellaire et supra-parcellaire. D'autres facteurs de risques sont mis en évidence par les experts et par les recherches bibliographiques, comme l'augmentation de la fertilisation azotée et la précocité de la date de semis, qui jouent de façon assez minime sur la sensibilité de la culture face à la maladie.

A l'échelle du paysage, les experts estiment que les autres pratiques agronomiques ne jouent également pas de rôle majeur sur la maladie tandis que le labour pourrait avoir un impact sur la maladie d'après les connaissances établies par les recherches bibliographiques à l'échelle parcellaire. D'autre part, l'élicitation des experts et l'étude de la bibliographie suggèrent que la surface de blé cultivé à l'année n et à l'année n-1 influence de façon significative le risque d'avoir de la rouille jaune. Cependant, les analyses statistiques ne confirment pas cette hypothèse et ne révèlent aucun effet significatif de ces variables sur l'abondance de rouille jaune, à part concernant la surface de précédent blé à 10 000 mètres. Parallèlement, l'avis des experts et la bibliographie s'opposent concernant l'effet des éléments semi-naturels sur la rouille jaune. Les experts estiment que les bois et les haies peuvent favoriser très localement la formation de rosée et le développement de la maladie. D'après les informations obtenues dans la littérature sur la dispersion de la rouille jaune, un effet brise-vent des bois et des haies et un effet positif des prairies est attendu. Les résultats issus de ces analyses montrent un effet négatif des haies à 5 000 mètres et un effet positif des landes et des bois traités à 1 000 mètres.

3.2. Septoriose

La septoriose est une des maladies majeures du blé. Elle est causée par deux champignons, mais en France, *S. triciti* est le pathogène majoritaire sur le blé tendre (Arvalis Fiche Maladie). Le cycle de développement des deux pathogènes est réalisé grâce à deux types de spores :

les spores sexuelles (les ascospores) et les spores asexuelles (les pycnidiospores). D'après Sanderson et Hampton (1978), les deux stades sexuels des deux pathogènes se développent sur les chaumes de blé. Les débris de blé infectés par *S. tritici* sont donc une source importante d'inoculum primaire pour le pathogène (Wenham 1959 ; Shipton et al. 1971 ; cités par Sanderson et Hampton, 1978). Eyal (1987) note que si les conditions météorologiques sont défavorables pour le développement du stade sexuel (absence de pluie pendant l'été et fortes températures) et que les débris restent intacts pendant une longue période, les pycnidies du stade asexuel deviennent la source d'inoculum primaire.

L'interprétation de la littérature suggère que les leviers agronomiques majeurs de contrôle de la maladie sont le choix de variétés résistantes et l'utilisation de produits phytosanitaires (Palmer et Skinner, 2002 ; cités par Duvivier, 2015). En dehors de ces deux pratiques, les techniques de travail du sol diminuant la quantité de résidus présents en surface comme le labour contribuent à la réduction de l'inoculum présent dans la parcelle (Sanderson et Hampton, 1978). De la même manière, les experts interrogés estiment que le choix variétal et la lutte phytosanitaire sont les deux leviers déterminants pour lutter contre la septoriose à l'échelle de la parcelle (tableau 6). Au contraire, un retour fréquent du blé et la présence de résidus de blé de la campagne précédente dans une parcelle et dans le paysage augmentent le risque de développement du pathogène et de contamination. Ils attendent également un effet négatif du labour et du déchaumage, qui contribuent à la réduction de l'inoculum dans la parcelle et dans le paysage, réduisant le risque de contamination entre les parcelles voisines.

A l'issue de l'élicitation de la littérature, aucun effet du paysage pouvant défavoriser ou favoriser la maladie est explicité. Des connaissances concernant sa dispersion et sa biologie permettent néanmoins de tirer certaines conclusions. Produits de façon continue tout au long de la campagne, les ascospores peuvent se disséminer sur de plus ou moins longues distances grâce au vent (Hunter et al, 1999). Une fois la plante infectée par le champignon, les pycnidiospores "grimpent" de feuilles en feuilles grâce aux éclaboussures provoquées par les gouttes de pluies sur les feuilles les plus basses et les débris végétaux (Eyal, 1999). La dispersion verticale de pycnidiospores est la forme de dispersion majoritaire dans les épidémies de septoriose (Shaw, 1987, 1999; Fitt, 1989; Shaw & Royle, 1993 ; cités par Duvivier, 2015).

Les ascospores peuvent potentiellement menacer de nouveaux champs par leur mobilité (Zhan et al. 1998 ; Eyal, 1987). Ainsi, l'hypothèse que l'augmentation de la surface de blé cultivé durant la campagne augmente le risque de maladie est formulée. Cependant, les régressions pénalisées mettent en évidence un lien négatif entre une forte surface de blé dans les 10 000 mètres et l'abondance de maladie. Les experts sont partagés sur l'effet de ce facteur dans le paysage.

Les résidus de blé infectés sont également une source d'inoculum (Wenham 1959; Shipton et al. 1971 ; cités par Sanderson et Hampton, 1978). L'étude de la bibliographie suggère donc que l'abondance de blé cultivé durant l'année précédente favoriserait donc la maladie. D'après l'élicitation des experts, la présence de précédent blé dans les 200 et 1000 mètres favoriserait la présence de résidus de blé et la maladie. Ces hypothèses sont soutenues par les résultats issus de la régression pénalisée, qui montrent qu'une forte surface de blé cultivée l'année précédente à 200 mètres favorise significativement la septoriose (tableau 8).

L'estimation de l'effet de la superficie des parcelles soulève des désaccords entre les experts.

La septoriose touche le blé, l'orge, mais aussi un grand nombre de graminées sauvages. Si ces adventices ne peuvent servir d'hôtes intermédiaires pour la septoriose car elles dépérissent à la fin de l'été (Zadoks et Bouwman, 1985 ; cités par Suffert et al., 2011), elles pourraient néanmoins être le support de la reproduction sexuelle du pathogène et ainsi

contribuer à la production d'ascospores et de pycnidiospores (Suffert et al., 2011). Les repousses de blé permettraient à la septoriose de survivre pendant la période d'interculture et pourraient servir de source d'inoculum pour la culture de blé suivante (Wenham, 1959 et Weber, 1992 ; cités par Suffert et al., 2011).

Ces hypothèses nous font supposer que les éléments semi-naturels composés de nombreuses graminées sur la maladie comme les prairies et les bandes enherbées auraient un impact positif sur la survie de la septoriose dans le paysage. Les experts s'accordent à dire que leur abondance dans le paysage n'influence pas du tout la pression exercée par la septoriose. Les analyses statistiques révèlent au contraire un effet négatif des bois à 200 mètres et un effet bénéfique des haies et des prairies à 10 000 mètres. Concernant les bois traités, les analyses montrent un effet négatif sur la maladie à 200 mètres, mais un effet positif à 1 000 et 5 000 mètres. De plus, un effet positif des landes est également observé à 1 000 mètres.

3.3. Phoma

A l'échelle de la parcelle, certaines pratiques peuvent participer efficacement à la régulation du phoma. La lutte génétique est aujourd'hui un des moyens les plus efficaces pour lutter contre la maladie. Cependant, il contourne les résistances des plantes qu'il attaque (Stonard et al., 2009) et si la résistance est utilisée trop massivement, elle devient inefficace (Sprague et al., 2006, cités par Fitt et al., 2008). Pour préserver l'efficacité des résistances spécifiques utiles, il faut alterner des variétés très peu sensibles et des variétés résistantes, en raisonnant par rapport aux variétés présentes dans les parcelles voisines l'année précédente (Aubertot et al., 2006). L'utilisation de produits phytosanitaires contribue également à la réduction des pertes de rendement chez les variétés susceptibles au phoma (Kutcher et al., 2008, cités par Kutcher et al., 2011). L'enfouissement par le labour traditionnel, combiné d'un broyage et/ou d'un traitement chimique, des résidus infectés défavorise la survie des pathogènes causant le phoma (Turkington et al., 2000; West et al., 2001; Schneider et al., 2006). En effet, ces champignons effectuent leur développement sur les résidus infectés de la culture de colza précédente (Gabrielson, 1983 ; Lacoste, 1963 ; Williams, 1992, cités par Hossard, 2012). Au contraire, laisser laisser ces résidus ou les ramener à la surface par le labour lors de la saison suivante peut favoriser la maladie (Salam et al., 2003, cités par Kaczmarek et Jędryczka, 2011 ; Huang et al. 2003a ; West et al., 2002a, cités par Stonard et al., 2009). Aubertot et al. (2006) mentionne également que l'adaptation de la date de semis de la culture, des apports azotés et des traitements phytosanitaires permet de réduire la sensibilité de la parcelle et le risque de concordance entre le stade sensible de la culture et les pics de libération d'ascospores.

Ces derniers peuvent se disperser sur des distances plus ou moins importantes selon les sources (Guo, X.W., and W.G.D. Fernando. 2005 ; cités par Kutcher et al., 2011 ; Marcroft, S.J., S.J. Sprague, S.J. Pymer, P.A. Salisbury, and B.J. Howlett. 2004 cités par Kutcher et al., 2011). Cela nous permet de conclure que la présence de précédent colza dans les environs est un premier facteur de risque d'après la bibliographie. Cet impact est également attendu par les experts, qui considèrent que la surface cultivée en colza pendant la campagne précédente est un élément important pour la propagation et le développement du phoma. Au contraire, les analyses statistiques montrent un lien négatif entre la pression exercée par le phoma et la surface de colza en précédent à 10 000 mètres.

Certaines sources montrent aussi que la présence de colza dans le paysage peut favoriser la propagation de la maladie ; les régions où il y a plus de colza sont plus exposées à la maladie (Stonard et al., 2009). Les régressions pénalisées montrent également qu'une augmentation de la surface cultivée en colza à 200 et 10 000 mètres d'une parcelle présenterait un risque pour la culture. Les experts n'attendent au contraire aucun effet de la surface cultivée en colza durant la campagne.

Concernant les éléments semi-naturels, leur rôle dans la dispersion et le développement du phoma reste encore inconnu aujourd'hui (Plantegenest et al., 2007). Cependant, au vu des capacités de dispersion du phoma, certains experts estiment également que les éléments semi-naturels tels que les bois et les haies, dans un rayon de 1 000 mètres autour d'une parcelle, peuvent jouer un rôle bénéfique pour les cultures par leur effet brise-vent en retenant une partie des ascospores arrivant dans la parcelle. Ces effets sont contredits par les régressions pénalisées, qui montrent un effet significativement positif des haies et des bois à 1 000 mètres pour le développement de la maladie.

De plus, les analyses révèlent une corrélation négative entre l'abondance de phoma et la présence de prairies à 10 000 mètres, effet inattendu par les experts et la littérature.

3.4. Sclerotinia

Le sclerotinia est présent sur un grand nombre de plantes hôtes différentes, dont le colza d'hiver, le tournesol, le soja, les lentilles etc. (Boland et Hall, 1994 ; cités par Bolton et al., 2006). La principale source d'inoculum du sclerotinia sont les sclérotes, structures de conservation pouvant survivre au moins 3 ans dans le sol (Tu, 1988 ; cité par Fernando et al., 2004) selon le type de sol et la profondeur à laquelle elles se trouvent (Gulya et al., 1997). Ces sclérotes peuvent germer sous forme d'apothécies, qui produiront par la suite des ascospores (Bardin and Huang, 2001; Le Tourneau, 1979 ; cités par Bolton et al., 2006). La plupart des dégâts sont causés par l'infection de la plante par les ascospores (Abawi and Grogan, 1979; Schwartz and Steadman, 1978; Steadman, 1979 ; cité par Bolton et al., 2006). Ces derniers sont libérés selon l'humidité et les perturbations physiques que peuvent subir les apothécies (Hartill and Underhill, 1976 ; cités par Bolton et al., 2006).

Après libération par les asques, la majorité des ascospores sont déposés dans le champs dans lequel ils ont été produits (Wegulo et al., 2000 ; cités par Bolton et al., 2006) jusqu'à 100 (Ben-Yephet and Bitton 1985; Steadman 1983 ; cités par McLaren et al., 2004) et 150 m (Stelfox et al., 1978 ; cités par McLaren et al., 2004) de la source de production. Kohli et al. (1996) supposent que la libération des ascospores se fait dans une zone assez large et de forme relativement circulaire lorsqu'il n'y a pas de turbulences aériennes. Certains peuvent se déposer plus loin grâce aux courants d'air (Li et al., 1994 ; cités par Bolton et al., 2006). Grâce au vent, les ascospores peuvent se disperser sur plusieurs kilomètres (Abawi and Grogan 1979 ; cités par McLaren et al., 2004 ; Williams and Stelfox, 1979). Cependant, Carbone et al (2001) ont montré par étude des populations et des espèces de sclerotinia que leur dispersion se faisait difficilement à l'échelle continentale.

Certaines études montrent que les ascospores peuvent être une source d'inoculum pour les parcelles environnantes (Gugel and Morrall 1986; Morrall and Dueck 1982; Williams 1981; Williams and Stelfox 1979 ; cités par McLaren et al., 2004). *A contrario*, Nordin et al. (1992 ; cités par McLaren et al., 2004) n'ont trouvé aucune preuve comme quoi les ascospores d'une parcelle contribuent à l'infection des parcelles voisines. Entre deux régions, l'importance des sources exogènes et endogènes d'inoculum peuvent être expliquées par des différences du paysage, de la distribution des cultures et des rotations (McDonalds et Boland, 2004).

D'après l'interprétation de ces articles, la surface de colza à l'année n et n-1 peuvent présenter des risques. La maladie pouvant se développer sur de nombreuses plantes hôtes (Boland et Hall, 1994 ; cités par Bolton et al., 2006), les prairies peuvent également présenter un potentiel réservoir de ces plantes et de sclérotes. Mais leur impact serait limité et très local. Aucun effet des autres éléments semi-naturels n'est attendu. A l'échelle de la parcelle, le meilleur moyen contre Sclerotinia est la lutte fongicide (Terres Inovia). Les autres pratiques agronomiques auraient quant à elles une efficacité très limitée face aux problèmes causés par la maladie.

D'après Bardin et Huang (2000), certaines techniques agricoles peuvent contribuer à diminuer l'épidémie de sclerotinia, mais aucune ne contrôle efficacement seule la maladie. Ne pas planter sur un sol infesté et éviter l'accumulation de sclérotes dans le sol sont les deux moyens les plus efficaces afin de contrôler les épidémies de sclerotinia (Lu, 2003).

Le ressenti des experts est comparable à celui de la littérature concernant l'effet des pratiques agricoles à la parcelle. Les traitements phytosanitaires restent le moyen le plus efficace pour réguler la maladie, avec le retour de la culture et des autres cultures hôtes dans la parcelle. Ils estiment que la présence de colza dans les environs à l'année n et n-1 peut être favorable pour le sclerotinia, mais ces deux facteurs de risques sont moyennement important. Les bois et les prairies pourraient avoir un effet négatif (l'augmentation de la surface de bois et de prairies traduirait une diminution de la surface de colza) ou positif (ils peuvent abriter des hôtes secondaires du pathogène) selon leur position par rapport à la parcelle. Néanmoins, dans tous les cas ces effets restent très faibles et très peu probables d'après les experts.

Les analyses statistiques révèlent un effet favorisant le sclerotinia de la surface cultivée en colza à l'année n et n-1 mais dans les environs proches de la parcelle (200 - 1 000 mètres). Elles montrent aussi des effets négatifs des haies à 10 000 mètres, des bois à 1 000 et 5 000 mètres et des prairies à 200 mètres. A 10 000 mètres, les bois auraient un effet positif sur la maladie, quand les bois traités auraient un effet négatif.

Alors que les experts et la bibliographie attendaient peu d'effet des facteurs étudiés sur le sclerotinia, qui est une maladie ayant des capacités de dispersion limitées, les analyses statistiques révèlent des corrélations entre l'abondance de ce pathogène et les éléments semi-naturels et l'assolement à des échelles plus ou moins locales.

4. Synthèse globale

D'après l'élicitation des connaissances expertes et de l'étude de la bibliographie, les leviers agronomiques permettant de réguler l'abondance de bioagresseurs à l'échelle parcellaire sont la lutte phytosanitaire et la lutte variétale. Ces deux sources d'informations mettent en avant l'impact d'autres pratiques agronomiques sur la sensibilité des cultures, comme la date de semis et la fertilisation azotée, ou sur la quantité d'inoculum, comme le travail du sol. Néanmoins, leur effet sur la pression des bioagresseurs est considéré plus faible que celui des produits phytosanitaires ou que celui du choix variétal.

A l'échelle supra-parcellaire, les avis d'experts et l'étude de la bibliographie suggèrent que l'augmentation d'une culture dans le paysage, l'année même ou l'année précédente, augmente la pression exercée par les bioagresseurs. L'effet de ces facteurs décroît avec la distance d'après ces deux sources d'informations. Par ailleurs, les experts et la bibliographie attendent un effet local des bois, des haies, des bandes enherbées et des prairies dans certains cas. Chaque maladie est plus ou moins impactée par certains éléments semi-naturels, en fonction de son cycle de vie et de ses capacités de dispersion. L'effet des éléments semi-naturels est malgré tout considéré comme nettement moins fort que celui de l'assolement.

Cependant, ces résultats ne sont pas vérifiés par ceux issus des régressions pénalisées. D'après les analyses statistiques, l'effet de l'assolement n'est pas systématiquement significatif. S'il existe il est prédit à une échelle plus importante, tandis que les experts et la littérature attendent un effet décroissant avec la distance pour l'assolement ou un effet très local pour les éléments semi-naturels.

Par ailleurs, certains bioagresseurs réagissent de façons différentes à la présence plus ou moins forte des éléments semi-naturels. Une corrélation positive entre bois à 1000 mètres et phoma est observée ainsi qu'à 10 000 mètres pour le sclerotinia. Par ailleurs, un lien positif entre les haies et l'abondance de septoriose a observé à 10 000 mètres. Concernant les haies, les corrélations sont différentes selon la maladie et selon l'échelle. Ainsi, pour la rouille jaune,

elles ont un effet négatif à 5 000 mètres. Les bois traités et les landes semblent être favorables pour les maladies du blé dans les 1 000 mètres autour des parcelles Vigicultures ®. Pour les landes, leur effet positif sur ces maladies. Un impact négatif des bois traités est observé pour le sclerotinia à 5 000 mètres.

Ces corrélations, assez faibles mais des fois surprenantes, peuvent suggérer des effets confondants dus à la région agro-climatique dans laquelle se trouvent les parcelles. Elles peuvent signifier qu'il existe des liens, insoupçonnés de la littérature et des experts, que l'on ne verrait qu'à l'échelle paysagère. Néanmoins, cette hypothèse est peu probable car la plupart des corrélations sont incohérentes entre elles. Cependant, la certitude de ces sources d'informations vis-à-vis des effets qu'ils doivent estimer est moins forte lorsque cette estimation doit se faire à l'échelle du paysage. Elle s'observe dans les résultats des questionnaires d'experts, dans lesquels les divergences entre les experts et entre experts et littérature sont plus nombreuses.

Un résumé de ces constats globaux est proposé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11 : Synthèse de l'effet de chaque type de facteur à l'échelle parcellaire et supra-parcellaire sur les quatre maladies de grandes cultures étudiées.

	Echelle parcellaire	Echelle supra-parcellaire
Pratiques agricoles	Choix variétal et lutte phytosanitaire ont un rôle prédominant dans la régulation Pour les autres : impact variable	Impact faible, peu connu
Caractéristiques de la parcelle	Controverse dans B et entre les E Des effets microclimatiques supposés	Impact faible, peu connu
Eléments semi-naturels	∅	Impact faible, peu connu B, E et S incohérents
Assolement	Fort effet attendu par la B Controverse entre les E	Oppositions entre B-E et S B-E : Impact décroissant d'une augmentation de la surface cultivée en blé et en colza (année n et n-1) S : Aucun effet, sauf à 10 000 mètres

Ces interprétations soulèvent des interrogations concernant la cohérence entre les trois sources d'informations mobilisées pendant ce stage.

5. Cohérence entre les sources d'informations

Le tableau 10 nous permet de voir que les résultats issus des recherches bibliographiques et des entretiens d'experts semblent s'opposer aux résultats des analyses statistiques. Nous avons tout d'abord comparé les résultats issus des recherches bibliographiques et de l'élicitation d'experts, afin de vérifier si ces résultats allaient dans le même sens ou non.

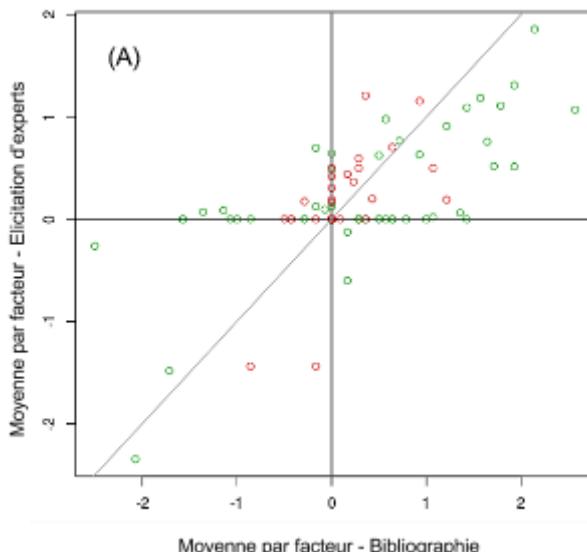


Figure 13: Relation entre fbM et des feM pour chaque facteur d'assolement ou élément semi-naturel dans le paysage à une échelle donnée (par exemple : Surface de bois dans les 200 mètres). ● Influence des facteurs paysagers dans les 200 et 1 000 mètres et ● dans les 5 000 et 10 000 mètres (coefficient estimé > 0 et $p.value < 0.05$)

L'estimation de l'effet des facteurs paysagers semble aller dans le même sens pour la bibliographie et les experts. Le coefficient de la corrélation entre les moyennes Bibliographie et les Experts est positif et la $p.value$ significative ($p.value = 2.44e-14$), ce qui suggère que l'échelle des effets est bien appréhendée de la même manière par les experts que lors de l'élicitation de la bibliographie. Nous pouvons observer sur ce graphique que les points verts sont moins centrés sur 0 que les points rouges ; les deux sources d'informations estiment que les effets sont plus visibles dans un environnement proche (dans les 200 et 1 000 mètres). Malgré cela, il y a des discordances entre ces deux approches. Les experts semblent estimer l'absence d'effet ($y = 0$) plus souvent que la bibliographie ($x = 0$) et pour quelques facteurs, le sens de l'effet est différent selon la source d'informations considérée.

La cohérence entre la littérature et les avis des experts nous permet de les regrouper et de les confronter avec les analyses statistiques univariées, à l'aide d'une régression linéaire opposant la moyenne des fbM et des feM (équation 1) de chaque facteur au coefficient des modèles multivariés. Cette régression n'a montré aucun lien entre d'une part les résultats issus de la littérature et des experts et d'autre part les résultats des analyses statistiques. Par contre, le test de rangs de Wilcoxon est significatif pour les coefficients estimés par les régressions pénalisées Lasso. Si la bibliographie et les experts ont une estimation similaire des effets des facteurs étudiés malgré quelques discordances, les analyses statistiques ne sont pas particulièrement cohérentes avec ces estimations, mais elles ne sont pas non plus *ad hoc*.

6. Effet de la région

L'effet de la région dans laquelle se trouve la parcelle peut également influencer la pression exercée par la maladie. En nous appuyant sur les modèles multivariés, nous comparons le comportement des maladies dans les différentes régions définies au préalable par rapport à celui en Île de France (IDF) (tableau 12).

Tableau 12 : Région pour lesquelles la présence des quatre maladies est forte ou faible, d'après les modèles multivariés ($p.value < 0.05$).

	Rouille Jaune	Septoriose	Phoma	Sclerotinia
Présence plus faible que l'IDF	Centre Est Est Sec Sud-Ouest	Est Sec Sud-Ouest	Sud-Ouest	Est Sec
Présence plus forte que l'IDF	Normandie	Normandie Centre Est	Centre Est Normandie	Normandie

La Normandie et le Centre Est sont les deux régions pour lesquelles les maladies sont le plus présentes, au contraire du Sud-Ouest et de l'Est Sec.

Discussion

Les cycles et comportements des bioagresseurs (ravageurs et maladies) choisis pour cette étude semblaient suffisamment connus et suffisamment différents pour servir de "témoins" pour les méthodes d'élicitation de la littérature et des experts et la méthode de traitement statistique mises en œuvre. Plusieurs constats généraux sont tirés des recherches bibliographiques, de l'élicitation des connaissances expertes et de l'analyse de données nationales.

A l'échelle de la parcelle, la littérature et les experts s'accordent à dire que les leviers agronomiques les plus efficaces pour lutter contre les quatre maladies de grandes cultures choisies sont les traitements phytosanitaires et le choix variétal, sauf pour le sclerotinia. D'autres pratiques peuvent également impacter la santé et la sensibilité de la plante, facilitant l'infection des plantes par les pathogènes. C'est le cas de la fertilisation azotée, du travail du sol ou encore de la densité de semis. Ces points, bien connus de la communauté scientifique comme des praticiens, permettent de valider la qualité de l'élicitation des experts telle que conduite dans cette étude.

A l'échelle supra-parcellaire, l'élicitation des connaissances expertes et l'étude de la bibliographie suggèrent très peu d'effet des facteurs paysagers étudiés. Les pratiques agricoles de chaque parcelle jouant un rôle très important dans la régulation des maladies, il est estimé que l'effet de l'assolement environnant et des éléments semi-naturels reste limité. Parmi les facteurs à l'échelle paysagère, l'élicitation des connaissances expertes et l'étude de la bibliographie suggèrent un effet plus fort de l'assolement environnant que des éléments semi-naturels. D'après eux, l'impact de l'assolement serait plus visible sur l'abondance de maladies pouvant se disperser sur de grandes distances, comme la rouille jaune et le phoma, alors qu'il serait limité sur des maladies ayant des capacités de dispersion plus faibles, comme le sclerotinia et la septoriose. Ces hypothèses rejoignent nos postulats de départs, qui supposaient que la composition du paysage pourrait avoir une influence différente selon les maladies de grandes cultures, dépendante de leur cycle de développement et de leurs capacités de dispersion. *A contrario*, nos analyses statistiques ne montrent au contraire que très peu d'effet de l'assolement environnant. De plus, d'après l'élicitation des connaissances expertes et de la bibliographie, l'impact de l'assolement devrait diminuer avec la distance alors que les corrélations les plus pertinentes sont observées à des échelles plus importantes (5 000 ou 10 000 mètres) d'après les régressions pénalisées.

Par ailleurs, l'élicitation des experts et l'étude de la littérature suggèrent différents impacts des éléments semi-naturels selon la maladie considérée. Ces effets, quand ils existent, sont toujours attendus à proximité de la parcelle (à 200 mètres). Au contraire, les analyses statistiques révèlent des corrélations entre la présence d'éléments semi-naturels et l'abondance de maladies à des échelles plus ou moins importantes. Ces corrélations ne sont pas attendues suite à l'élicitation des experts et de la bibliographie et ne montrent pas de réponses différentes selon le bioagresseur considéré.

Certaines corrélations révélées par les régressions pénalisées pourraient être expliquées par des mécanismes explicités par les experts ou par la littérature. Cependant, ces justifications ne sont pas nécessairement cohérentes avec le reste des résultats des analyses statistiques. Par exemple, il est possible de trouver une explication à la corrélation positive entre l'augmentation de la surface de landes et l'abondance de rouille jaune à 10 000 mètres. Les landes, élément du paysage non entretenu par l'homme, sont constituées en majeure partie de plantes ligneuses et semi-ligneuses ne dépassant pas cinq mètres (IGN, 2011) mais pourraient également abriter de nombreuses adventices que *P. striiformis* peut infecter (Arthur, 1962 ; Cooke, 1940 ; Fischer et al., 1941 ; Humphrey et al., 1924 ; Hungerford, 1923 ; Hungerford et al., 1923 ; Miller et al., 1960 ; Newton and Johnson, 1936 ; Sanford, and Broadfoot, 1932 ; cités par Tollenaar et Houston, 1966). Ces dernières pourraient servir de source d'inoculum pour les cultures y étant sensibles (Cook et Yarhm, 2006) ou participer

activement à l'émergence de gènes résistants chez *P. striiformis* (Singh et al, 2002). Cette explication est néanmoins peu plausible car aucun lien entre l'augmentation de la surface de prairie, elle-même particulièrement riche en graminées, et l'abondance de rouille jaune n'a été révélé par les analyses.

Ces corrélations peuvent également être dues à des effets confondants de facteurs n'ayant pas été pris en compte dans la relation. Par exemple, pour le lien entre la lande et l'abondance de rouille jaune, il est possible qu'une augmentation de la surface de landes dans les 10 000 mètres soit associée aux zones littorales. Ces zones d'interface, de transition, entre milieux terrestres et milieux aquatiques, comme les bordures de mer peuvent être le siège de zones humides (Barnaud, 1991 ; cité par Baptist et al., 2012). Ces régions pouvant présenter une hygrométrie assez forte, cela peut favoriser l'infection de la plante et le développement du pathogène (Rapilly 1979, cité par Chen, 2005).

Par ailleurs, l'effet du paysage peut être gommé par celui d'autres facteurs ayant plus de poids sur le développement des pathogènes, comme la lutte phytosanitaire. En effet, l'utilisation de fongicides permet de réduire significativement l'impact de la rouille jaune sur les cultures (Gladders et al., 2007) et de réduire les pertes de rendement qui y sont liées (Chen, 2005). Cela peut expliquer le fait que les métriques d'abondance calculées dans cette étude ne dépassent pas souvent le seuil d'abondance défini avec les experts et la littérature puisque l'objectif est d'éviter ces dépassements. L'effet du paysage peut alors être invisible dans les corrélations. Ainsi le lien entre abondances et élément paysager bien que réel ne seraient pas causaux : diminuer la présence de landes n'aurait aucun impact sur la présence de maladies. Pour identifier de telles relations il serait utile d'analyser la répartition géographique des landes par rapport aux climats et micro-climats.

A partir de ces résultats, il est difficile de mettre en évidence un effet concret du paysage sur la pression exercée par les maladies de grandes cultures. Les résultats des analyses statistiques ne concordent pas avec les différentes réponses des maladies face au paysage que nous avions pressenties, et qui étaient attendues par les experts et la bibliographie. Ces divergences entre les différentes sources d'informations peuvent être liées aux méthodes mises en œuvre pour cette étude.

Traditionnellement, une étude se base sur une ou plusieurs méthodes adaptées aux données et à la problématique, grâce auxquelles des résultats sont produits et analysés. Dans notre cas, le but est "d'explorer", de mettre en lumière des effets encore très peu connus de la communauté scientifique à une échelle inhabituelle pour une telle étude, le territoire français. Cette démarche exploratoire s'appuie sur des sources d'informations concurrentes qui sont la bibliographie, l'avis des experts et les analyses statistiques, car il est difficile *a priori* de savoir quelle est la plus adaptée pour cette étude. De plus, il est également difficile de savoir quelle(s) est(sont) celle(s) qui représentent le mieux la réalité en cas de résultats divergents comme c'est le cas dans nos résultats.

Lors des entretiens, les experts se sont montrés plus certains de leurs estimations des effets à l'échelle parcellaire que celle des effets à l'échelle supra-parcelle. Plusieurs ingénieurs régionaux interrogés ont expliqué durant leur entretien qu'ils ne constataient et n'observaient pas ces phénomènes sur le terrain et qu'il leur était difficile d'estimer l'impact de tels facteurs à différents niveaux de paysage d'après leur expertise de terrain. Ainsi, pour estimer l'effet des éléments paysagers sur la pression des maladies à l'échelle du paysage, ils s'appuient sur des connaissances souvent établies à l'échelle de la parcelle et des connaissances acquises dans la littérature dans laquelle l'effet du paysage sur les maladies est très peu explicité (Plantegenest et al., 2007). Cela explique pourquoi il est difficile pour les experts et d'après l'élicitation de la bibliographie, d'appréhender les effets à l'échelle supra-parcellaire. Il est donc intéressant de se poser la question de la limite entre notre élicitation de la bibliographie et de l'élicitation des experts, dont l'expertise semble au moins en partie construite sur la littérature, par manque de constats sur le terrain. Le témoignage des spécialistes interrogés pourrait être

complété par celui de praticiens, des agriculteurs ou des techniciens de Chambre d'Agriculture, pouvant apporter de nouvelles informations.

La méthode d'élicitation d'experts mise en place pour ce travail permet de collecter des informations individuelles, qui sont utilisées et juxtaposées entre elles pour l'étude sans concertation entre spécialiste. Le choix d'avoir conduit les entretiens individuellement peut être à l'origine des divergences observées entre les experts. En effet, Shaw (1932) montre que les conclusions issues d'un groupe d'experts sont au moins aussi proches voire supérieures de celles tirées par un expert seul. De plus, Steiner (1972) observe que lorsque des désaccords surviennent, l'interaction et le partage d'expertise lors d'entretiens de groupe conduit souvent à leur résolution. Une concertation aurait pu permettre d'harmoniser les réponses et de réduire les divergences entre avis d'experts pour une même maladie. Le choix de ne pas confronter les spécialistes les uns aux autres est lié au fait qu'il peut y avoir des problèmes de dominance dans une dynamique de groupe et ce, non en raison de la pertinence de la connaissance mais de la personnalité des participants (Hoffman, 1961 ; cité par Hackmann et Morris, 1975). Dans un entretien individuel, l'expression de chaque point de vue est entière et libre (Knol et al., 2010).

Par ailleurs, assez peu d'experts ont été interrogés pour cette étude, ce qui pourrait limiter la représentativité des résultats issus des questionnaires. Néanmoins, le domaine pour lequel les experts sélectionnés ont été interrogés est la connaissance du cycle de développement et des capacités de dispersion de quatre maladies différentes, ce qui représente quatre domaines de compétence distincts. McGraw et Seale (1987a) conseillent dans ce cas de ne se baser sur le savoir d'un seul expert par domaine. Par sécurité, il a été choisi d'interroger au moins trois spécialistes nationaux, objectif non atteint dans certains cas (deux experts pour le sclerotinia).

Les analyses statistiques s'opposent de nombreuses fois aux experts à la littérature, et aux postulats définis pour ce travail. Si nous sommes cohérents avec nos hypothèses de départ, les conclusions des études statistiques, telles que faites pour ce travail, ne sont pas validées. En effet, la mise en place des méthodes de traitements statistiques a dû faire face à différentes limites, liées aux jeux de données utilisées, aux facteurs pris en compte dans les modèles et au choix de ces modèles.

Tout d'abord, les données Vigicultures ® (Sine et al., 2010), les données du RPG (Cantelaube et Carles, 2014) et les données de la BD TOPO ® (IGN, 2011) ont été collectées et structurées dans un but différent de celui de faire de la recherche et des analyses statistiques. Par exemple, les données du RPG sont indiquées par îlots et non par parcelles, ce qui implique une perte d'information lorsque les autres données sont obtenues à l'échelle de la parcelle. Par ailleurs les regroupements réalisés lors du prétraitement des données peuvent avoir été trop simplificateur. Dans le cas de la BD TOPO ®, le regroupement de différentes classes comme "Peupleraie" et "Vergers" est contestable, cependant leur faible présence sur le territoire rendrait d'autant plus difficile une analyse sans regroupement. Concernant les données Vigicultures ®, toutes les parcelles n'étaient pas géolocalisées, ce qui a conduit à écarter 37 % du jeu de données. La localisation du reste des parcelles Vigicultures ® n'est pas totalement assurée, ce qui a pu fausser les résultats.

De plus, le choix et l'absence de certains facteurs dans les modèles statistiques sont à l'origine d'autres limites de notre méthode. L'effet des régions agro-climatiques a été pris en compte dans les analyses afin de traduire l'impact du complexe pédoclimatique de la parcelle. La traduction d'un effet continu comme le climat par une variable discontinue comme cette classification pourrait aussi être trop simplificateur, en comparaison d'autres études (Chan et al., 2005).

Les effets du climat de chaque année, du type de sols et des traitements phytosanitaires n'ont pas pu être pris en compte dans cette étude, ce qui représente une limite importante. En effet, la force des épidémies est, pour les quatre maladies, très liée aux conditions climatiques

(Chen, 2005 ; Cordo et al., 1998 ; West et al., 2001 ; Bolton et al., 2006). Les produits phytosanitaires restent aujourd’hui les outils principaux d’une lutte efficace contre les maladies de grandes cultures (Wilson et Tusdel, 2001 ; Aubertot et al., 2006) avec la culture de variétés résistantes (Gladders et al., 2007, Aubertot et al., 2006), qui n’ont pas non plus été prises en compte dans les modèles. L’effet des facteurs paysagers étudiés sur la pression des bioagresseurs est potentiellement beaucoup moins fort que celui de la lutte phytosanitaire ou variétale. Ceci est particulièrement problématique car les agriculteurs sont susceptibles d’adapter leurs choix variétaux et phytosanitaires au risque de maladies. Etant donné les effets relatifs de ces pratiques et du paysage tels qu’estimés par les experts, les effets paysagers pourraient ainsi être effacés par les pratiques agronomiques. Les pratiques pouvant être ajustées pour maintenir une pression de maladies constante, il pourrait être plus pertinent de regarder les variations de pratiques en fonction du paysage, qui révéleraient en creux les risques et bénéfices liés au paysage (e.g. l’augmentation de la surface de colza chez Schott et al., 2010 ou de blé chez Meynard et Girardin, 1992).

Le choix des analyses statistiques et des modèles étudiés peut aussi être une source de biais dans les résultats. Le choix du modèle de Poisson est pertinent pour les comptages. Cependant, au vu de la distribution des métriques d’abondance (figure 8), il est possible que d’autres modèles soient plus adaptés (Ridout et al., 1998). Cependant, le package R utilisé pour les analyses et pour les régression pénalisées ne permet pas à l’heure actuelle de traiter d’autres distribution que celle de Poisson (Sill et al., 2013), car le Lasso est aujourd’hui un front de science.

L’étude des résultats aujourd’hui se limite au sens de l’effet de chaque variable sur la pression exercée par les bioagresseurs. Cette méthode augmente le risque de travailler sur des artefacts. La taille de ces effets et leur incertitude devrait être prise en compte dans les prochaines analyses afin de mieux comprendre l’effet des facteurs étudiés, pour aboutir à des éléments de réflexion pour la gestion du paysage.

Il est difficile de conclure à des profils clairs par maladie et encore moins à des types de paysages inducteurs ou suppresseurs pour l’ensemble des maladies. Les résultats issus des analyses statistiques comme de l’élicitation des experts et de la littérature ne permettent pas de mettre en évidence un effet flagrant de l’échelle paysage, même sur des maladies à dispersion importante. D’une part, cet effet est plus difficile à apprécier par les connaissances expertes et la littérature que les effets à la parcelle. En effet, il s’agit de phénomènes encore peu connus, peu référencés dans la littérature, difficilement accessibles à l’observation à l’échelle humaine et dans lesquels rentre en jeu une combinaison difficile à interpréter de nombreux effets. D’autre part, la méthode de traitements statistiques mise en place reste perfectible à différents niveaux. En tout état de cause, les apports ou nuisances amenées par les éléments paysagers semblent efficacement gommées par les pratiques actuelles, lorsque les indicateurs étudiés sont des dépassements de seuils.

D’autres indicateurs de pression de bioagresseurs pourraient être utilisés afin d’éviter ce lissage. Les indicateurs de précocité de symptômes peuvent notamment être utilisés pour les maladies comme la rouille jaune où la précocité de l’épidémie est synonyme de gravité. Les agriculteurs adaptant leurs pratiques à la pression bioagresseurs pour la maintenir constante et basse, il pourrait également être intéressant d’étudier l’effort fourni par les agriculteurs pour y parvenir. La quantité de produits phytosanitaires ou le nombre de traitements peuvent alors traduire cet effort. Ces deux indicateurs peuvent être calculés à partir de données accessibles au grand public, comme la base Vigicultures ® pour l’indice de précocité ou l’Observatoire des Ventes de Produits Phytosanitaires (base sur la vente des produits phytosanitaires gérée par l’Office National de L’eau et des Milieux Aquatiques) pour l’effort de traitement. Cependant, il est aujourd’hui difficile d’avoir accès à cette dernière base, qui est en théorie légalement libre d’accès pour le grand public.

Conclusion

Les résultats tirés de cette étude ne nous permettent pas à l'heure actuelle de définir un paysage suppresseur ou au contraire à risque de bioagresseurs rien qu'à sa composition en grandes cultures et en éléments semi-naturels. Cependant, une grande incertitude demeure sur les compensations entre pratiques culturelles et effets paysagers. De plus, l'analyse de ces grands jeux de données fait apparaître des associations significatives encore mal comprises ce qui ouvre de nouvelles voies d'interrogations et de recherche. En tout état de cause, nous avons montré que croiser les approches d'élicitation et de statistiques à grande échelle permet d'informer l'un par l'autre. D'une part, la connaissance des cycles de développement et des capacités de dispersion des pathogènes est assez bien référencée dans la littérature et les experts les connaissent également. D'autre part, les analyses statistiques, prenant en compte de nouveaux facteurs, permettent de mettre en valeur des effets pas forcément attendus de ces points.

Liste des références bibliographiques

- Akanda, S.I., et Mundt, C.C.**, 1996. Effect of Two-Component Wheat Cultivar Mixtures on Stripe Rust Severity. *Phytopathology*, volume 86, n° 4. p. 347-353
- ARVALIS - Institut du Végétal**, 2013. Rouille jaune - Maladie sur Blé tendre, blé dur, triticale, ARVALIS Résultats 2013 /n Les Fiches Accidents - ARVALIS-infos.fr [en ligne]. Date de consultation : 03/09/2016. Disponible sur : <<http://www.fiches.arvalis-infos.fr>>
- Aubertot, J.-N., Barbier, J.-M., Carpentier, A., Gril, J.-J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Voltz, M., et Savini, I.**, 2005. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Rapport de l'expertise réalisée par l'INRA et le Cemagref à la demande du Ministère de l'agriculture et de la pêche (MAP) et du Ministère de l'environnement et du développement durable (MEDD), décembre,
- Aubertot, J.N., West, J.S., Bousset-Vaslin, L., Salam, M.U., Barbetti, M.J., et Diggle, A.J.**, 2006a. Improved resistance management for durable disease control: A case study of phoma stem canker of oilseed rape (*Brassica napus*). In Fitt, B.D.L., Evans, N., Howlett, B.J., Cooke, B.M. (Eds.). Sustainable strategies for managing *Brassica napus* (oilseed rape) resistance to *Leptosphaeria maculans* (phoma stem canker). p. 91-106.
- Aubertot, J.N., West, J.S., Bousset-Vaslin, L., Salam, M.U., Barbetti, M.J., et Diggle, A.J.**, 2006b. Improved resistance management for durable disease control: A case study of phoma stem canker of oilseed rape (*Brassica napus*). In Fitt, B.D.L., Evans, N., Howlett, B.J., Cooke, B.M. (Eds.). Sustainable strategies for managing *Brassica napus* (oilseed rape) resistance to *Leptosphaeria maculans* (phoma stem canker). p. 91-106.
- Baptist, F., Cotillon, S., Cornet, J., Dubois, A., Farhner, G., Pelegrin, O., Disca, T., Poinsot, C., et Lecki, S.**, 2012. Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes - Etude sur les zones humides. Date de consultation : 06/09/2016. Disponible sur : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Etude_sur_les_zones_humides.pdf>.
- Bianchi, F.J.J., Booij, C.J., et Tscharntke, T.**, 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, volume 273, n° 1595. p. 1715-1727
- Bolton, M.D., Thomma, B.P.H.J., et Nelson, B.D.**, 2006. Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen. *Molecular Plant Pathology*, volume 7, n° 1. p. 1-16
- Cantelaube, P., et Carles, M.**, 2014. Le registre parcellaire graphique: des données géographiques pour décrire la couverture du sol agricole. *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, p. 58-64
- Carbone, I., et Kohn, L.M.**, 2001. A microbial population–species interface: nested cladistic and coalescent inference with multilocus data. *Molecular Ecology*, volume 10, n° 4. p. 947–964
- Chan, K.-S., Mysterud, A., Øritsland, N.A., Severinsen, T., et Stenseth, N.C.**, 2005. Continuous and discrete extreme climatic events affecting the dynamics of a high-arctic reindeer population. *Oecologia*, volume 145, n° 4. p. 556-563
- Chen, X.M.**, 2005. Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, volume 27, n° 3. p. 314–337
- Chen, X.M.**, 2007. Challenges and solutions for stripe rust control in the United States. *Australian Journal of Agricultural Research*, volume 58, n° 6. p. 648
- Cook, R.J., et Yarhm, D.J.**, 2006. Epidemiology in sustainable systems. In *The Epidemiology of Plant Diseases*. p. 309–334.

- Duvivier, M., et others**, 2015. Distribution of the airborne inoculum of wheat leaf rust and septoria tritici blotch: impact on epidemics in wheat fields and implications for integrated pest management. UCL.
- Eyal, Z.**, 1987. The Septoria Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management. CIMMYT : 56 p. ISBN 978-968-6127-06-5.
- Eyal, Z.**, 1999. The Septoria tritici and Stagonospora nodorum blotch diseases of wheat. European Journal of Plant Pathology, volume 105, n° 7. p. 629–641
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G.M., et Martin, J.-L.**, 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes: Heterogeneity and biodiversity. Ecology Letters, volume 14, n° 2. p. 101-112
- Fiche repère BASF**, 2015. Rouille jaune : mieux la connaitre pour mieux contrôler. Disponible sur : <http://www.agro.bASF.fr/agroportal/fr/media/migrated/fr/pdf_1/cereales_4/rouille-jaune-fiche-reperes.pdf>.
- Fitt, B.D.L., Hu, B.C., Li, Z.Q., Liu, S.Y., Lange, R.M., Kharbanda, P.D., Butterworth, M.H., et White, R.P.**, 2008. Strategies to prevent spread of *Leptosphaeria maculans* (phoma stem canker) onto oilseed rape crops in China; costs and benefits. Plant Pathology, volume 57, n° 4. p. 652-664
- Frearson, D.J.T., Ferguson, A.W., Campbell, J.M., et Williams, I.H.**, 2005. The spatial dynamics of pollen beetles in relation to inflorescence growth stage of oilseed rape: implications for trap crop strategies. Entomologia Experimentalis et Applicata, volume 116, n° 1. p. 21-29
- Ginkel, M. van, MacNab, A., et Krupinsky, J.**, 1999. Septoria and Stagonospora Diseases of Cereals: a Compilation of Global Research; Proceedings of the Fifth International Septoria Workshop, September 20-24, 1999, CIMMYT, Mexico. CIMMYT [u.a.], Mexico : 186 p. ISBN 978-970-648-035-4.
- Gladders, P., Langton, S.D., Barrie, I.A., Hardwick, N.V., Taylor, M.C., et Paveley, N.D.**, 2007. The importance of weather and agronomic factors for the overwinter survival of yellow rust (*Puccinia striiformis*) and subsequent disease risk in commercial wheat crops in England. Annals of Applied Biology, volume 150, n° 3. p. 371-382
- de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., et Willemen, L.**, 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological Complexity, volume 7, n° 3. p. 260-272
- Hackman, J.R., et Morris, C.G.**, 1975. Group Tasks, Group Interaction Process, and Group Performance Effectiveness: A Review and Proposed Integration1. In Berkowitz, L. (Ed.). Advances in Experimental Social Psychology. p. 45-99.
- Hanson, H.I., Smith, H.G., et Hedlund, K.**, 2015. Agricultural management reduces emergence of pollen beetle parasitoids. Agriculture, Ecosystems & Environment, volume 205, p. 9-14
- Hoffman, L.R.**, 1961. Conditions for Creative Problem Solving. The Journal of Psychology, volume 52, n° 2. p. 429-444
- Hunt, T.E., Higley, L.G., Witkowski, J.F., Young, L.J., et Hellmich, R.L.**, 2001. Dispersal of adult European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) within and proximal to irrigated and non-irrigated corn. Journal of Economic Entomology, volume 94, n° 6. p. 1369–1377
- Hunter, T., Coker, R.R., et Royle, D.J.**, 1999. The teleomorph stage, *Mycosphaerella graminicola*, in epidemics of septoria tritici blotch on winter wheat in the UK. Plant Pathology, volume 48, n° 1. p. 51–57

- Institut Géographique National**, 2011. BD TOPO (R) : Descriptif de contenu. Date de consultation : 09/04/2016. Disponible sur : [<http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_BDTOPO_2_1.pdf>](http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_BDTOPO_2_1.pdf).
- Knol, A.B., Slottje, P., van der Sluijs, J.P., et Lebret, E.**, 2010. The use of expert elicitation in environmental health impact assessment: a seven step procedure. *Environmental Health*, volume 9, p. 19
- Kohli, Y., Brunner, L.J., Yoell, H., Milgroom, M.G., Anderson, J.B., Morrall, R. a. A., et Kohn, L.M.**, 1995. Clonal dispersal and spatial mixing in populations of the plant pathogenic fungus, *Sclerotinia sclerotiorum*. *Molecular Ecology*, volume 4, n° 1. p. 69-77
- Kutcher, H.R., Fernando, W.G.D., Turkington, T.K., et McLaren, D.L.**, 2011. Best management practices for blackleg disease of canola. *Prairie Soils Crops*, volume 4, p. 122–134
- Les bioagresseurs | Ecophyto, [en ligne]. Date de consultation : 07/09/2016. Disponible sur : [<http://arboriculture.ecophytopic.fr/arbo/surveillance/les-bioagresseurs>](http://arboriculture.ecophytopic.fr/arbo/surveillance/les-bioagresseurs)
- Lexiques, [en ligne]. Date de consultation : 07/09/2016. Disponible sur : [<http://www.portail-ie.fr/lexiques/read/79>](http://www.portail-ie.fr/lexiques/read/79)
- Lorgeou, J., Piraux, F., Picard, A., ARVALIS - Institut du Végétal, et Noël, V.**, 2012. Les grands contextes de production du blé tendre caractérisés par leurs stress. Perspective agricole, n° 389. p. 22-24
- Lu, G.**, 2003. Engineering *Sclerotinia sclerotiorum* resistance in oilseed crops. *African Journal of Biotechnology*, volume 2, n° 12. p. 509–516
- McGraw, K.L., et Seale, M.R.**, Knowledge elicitation with multiple experts: considerations and techniques. *Artificial Intelligence Review*, volume 2, n° 1. p. 31-44
- McLaren, D.L., Conner, R.L., Kutcher, H.R., Platford, R.G., Lamb, J.L., et Lamey, H.A.**, 2004. Predicting diseases caused by *Sclerotinia sclerotiorum* on canola and bean — a western Canadian perspective. *Canadian Journal of Plant Pathology*, volume 26, n° 4. p. 489-497
- Meynard, J.-M., et Girardin, P.**, 1991. Produire autrement. *Courrier de la Cellule Environnement INRA*, volume 15, n° 15. p. 1–19
- Morris, D.E., Oakley, J.E., et Crowe, J.A.**, 2014. A web-based tool for eliciting probability distributions from experts. *Environmental Modelling & Software*, volume 52, p. 1-4
- Mundt, C.C., Sackett, K.E., et Wallace, L.D.**, 2011. Landscape heterogeneity and disease spread: experimental approaches with a plant pathogen. *Ecological Applications*, volume 21, n° 2. p. 321–328
- Neumann, S., Paveley, N.D., Beed, F.D., et Sylvester-Bradley, R.**, 2004. Nitrogen per unit leaf area affects the upper asymptote of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* epidemics in winter wheat. *Plant pathology*, volume 53, n° 6. p. 725–732
- Ortiz, N.R., Wheeler, T.A., Breeding, R.J., Hora, S., Meyer, M.A., et Keeney, R.L.**, 1991. Use of expert judgment in NUREG-1150. *Nuclear Engineering and Design*, volume 126, n° 3. p. 313-331
- Plantegenest, M., Le May, C., et Fabre, F.**, 2007. Landscape epidemiology of plant diseases. *Journal of The Royal Society Interface*, volume 4, n° 16. p. 963-972
- Research on biology and control of *Sclerotinia* diseases in Canada1: *Canadian Journal of Plant Pathology*: Vol 23, No 1, [en ligne]. Date de consultation : 06/09/2016. Disponible sur : [<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07060660109506914>](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07060660109506914)

- Ridout, M., Demétrio, C.G., et Hinde, J.**, 1998. Models for count data with many zeros. *In* 1998, p. 179–192.
- Rusch, A.**, 2010. Analyse des déterminants des attaques de *Meligethes aeneus* (Coleoptera, Nitidulidae) et de sa régulation biologique à l'échelle d'un paysage agricole: contribution à l'amélioration de la protection intégrée du colza. AgroParisTech.
- Sackett, K.E., et Mundt, C.C.**, 2009. Effect of plot geometry on epidemic velocity of wheat yellow rust. *Plant Pathology*, volume 58, n° 2. p. 370-377
- Sanderson, F.R., et Hampton, J.G.**, 1978. Role of the perfect states in the epidemiology of the common *Septoria* diseases of wheat. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, volume 21, n° 2. p. 277-281
- Schneider, O., Roger-Estrade, J., Aubertot, J.-N., et Doré, T.**, 2006. Effect of seeders and tillage equipment on vertical distribution of oilseed rape stubble. *Soil and Tillage Research*, volume 85, n° 1-2. p. 115-122
- Schott, C., Mignolet, C., et Meynard, J.-M.**, 2010. Les oléoprotéagineux dans les systèmes de culture : évolution des assolements et des successions culturales depuis les années 1970 dans le bassin de la Seine. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, volume 17, n° 5. p. 276-291
- Shaner, G., et Powelson, R.L.**, 1973. The oversummering and dispersal of inoculum of *Puccinia striiformis* in Oregon. *Phytopathology*, volume 63, p. 13–17
- Shaw, M.E.**, 1932. A Comparison of Individuals and Small Groups in the Rational Solution of Complex Problems. *The American Journal of Psychology*, volume 44, n° 3. p. 491-504
- Shaw, M.W., et Royle, D.J.**, 1993. Factors determining the severity of epidemics of *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) on winter wheat in the UK. *Plant Pathology*, volume 42, n° 6. p. 882-899
- Sill, M., Hielscher, T., Zucknick, M., Becker, N., et Sill, M.M.**, 2013. Package ‘c060’. Date de consultation : 07/09/2016. Disponible sur : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.477.2344&rep=rep1&type=pdf>
- Simonneau, D., Taupin, P., Couleaud, G., Maufras, J.-Y., Robin, N., et Vacher, C.**, 2015. Vigicultures (R) Mode opératoire observations Blés. Date de consultation : 09/04/2016. Disponible sur : http://www.vigicultures.fr/files/pdf/Vigicultures_bles_v13a_31aout15.pdf.
- Sine, M., Morin, E., Simonneau, D., Brochard, M., De Cosnac, G., et Escriou, H.**, 2010. VIGICULTURES—An early warning system for crop pest management. *In* 2010, p. 26–29.
- Singh, R.P., Huerta-Espino, J., et Roelfs, A.P.**, 2002. The wheat rusts. *In* BREAD WHEAT - Improvement and Production. 2002, Rome.
- Skupinski, G., BinhTran, D., et Weber, C.**, 2009. Les images satellites Spot multi-dates et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et suburbain – Le cas de la basse vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France). *Cybergeo : European Journal of Geography*, Date de consultation : 07/09/2016. Disponible sur : <https://cybergeo.revues.org/21995>
- Soubeyrand, S., Enjalbert, J., Sanchez, A., et Sache, I.**, 2007. Anisotropy, in density and in distance, of the dispersal of yellow rust of wheat: experiments in large field plots and estimation. *Phytopathology*, volume 97, n° 10. p. 1315–1324
- Steiner, I.D.**, 1972. Group Processes and Productivity. Academic Press : 224 p. ISBN 978-0-12-665350-2.
- Stonard, J.F., Latunde-Dada, A.O., Huang, Y.-J., West, J.S., Evans, N., et Fitt, B.D.L.**, 2010. Geographic variation in severity of *phoma* stem canker and *Leptosphaeria maculans*/ L.

biglobosa populations on UK winter oilseed rape (*Brassica napus*). European Journal of Plant Pathology, volume 126, n° 1. p. 97-109

Suffert, F., Sache, I., et Lannou, C., 2011. Early stages of septoria tritici blotch epidemics of winter wheat: build-up, overseasoning, and release of primary inoculum: Primary inoculum of *Mycosphaerella graminicola*. Plant Pathology, volume 60, n° 2. p. 166-177

Terres Inovia, Phoma : biologie et symptômes - Terres Inovia - Oléagineux, protéagineux et chanvre [en ligne]. Date de consultation : 03/09/2016a. Disponible sur : <http://www.terresinovia.fr/colza/cultiver-du-colza/maladies/phoma/biologie-et-symptomes/>

Terres Inovia, Sclerotinia : biologie et symptômes - Terres Inovia - Oléagineux, protéagineux et chanvre [en ligne]. Date de consultation : 03/09/2016b. Disponible sur : <http://www.terresinovia.fr/colza/cultiver-du-colza/maladies/sclerotinia/biologie-et-symptomes/>

Thies, C., 1999. Landscape Structure and Biological Control in Agroecosystems. Science, volume 285, n° 5429. p. 893-895

Tollenaar, H., et Houston, B.R., 1967. A Study on the Epidemiology of Stripe Rust, *Puccinia Striiformis* West., in California. Canadian Journal of Botany, volume 45, n° 3. p. 291-307

Tscharntke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., et Thies, C., 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. Ecology Letters, volume 8, n° 8. p. 857-874

Turkington, T.K., Clayton, G.W., et Woods, D.L., 2000. The impact of soil incorporation of canola residues and stubble application of chemicals on decomposition and inoculum production by *Leptosphaeha maculans*. Canadian Journal of Plant Pathology, volume 22, n° 2. p. 155-159

West, J.S., Balesdent, M.-H., Rouxel, T., Narcy, J.P., Huang, Y.-J., Roux, J., Steed, J.M., Fitt, B.D., et Schmit, J., 2002. Colonization of winter oilseed rape tissues by A/Tox+ and B/Tox0Leptosphaeria maculans (phoma stem canker) in France and England. Plant Pathology, volume 51, n° 3. p. 311–321

West, J.S., Kharbanda, P.D., Barbetti, M.J., et Fitt, B.D., 2001. Epidemiology and management of *Leptosphaeria maculans* (phoma stem canker) on oilseed rape in Australia, Canada and Europe. Plant Pathology, volume 50, n° 1. p. 10–27

Wilson, C., et Tisdell, C., 2001. Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. Ecological Economics, volume 39, n° 3. p. 449-462

Yang, X.B., et Zeng, S.M., 1992. Detecting Patterns of Wheat Stripe Rust Pandemics in Time and Space. Phytopathology, volume 82, n° 5. p. 371-376

Zadoks, J.C., 1961. Yellow rust on wheat studies in epidemiology and physiologic specialization. European Journal of Plant Pathology, volume 67, n° 3. p. 69–256

Zhan, J., Mundt, C.C., et McDonald, B.A., 1998. Measuring immigration and sexual reproduction in field populations of *Mycosphaerella graminicola*. Phytopathology, volume 88, n° 12. p. 1330–1337

Annexes

Annexe 1 : Procédure d'étude systématique de la bibliographie et liste des requêtes utilisées lors des recherches dans Google Scholar®

Procédure :

- Séparation requêtes paysage et requête parcelles
- Réaliser les requêtes de la liste courte en priorité puis de la liste complète en complément sur internet sur le site scholar.google.com
- Pour chaque requête, parcourir les trois premières pages des résultats de la recherche et sélectionner tous les articles dont le titre se rapproche de ce que l'on cherche
- Lire l'*abstract* de chaque article sélectionné et souligner les mots-clés.
- Si *abstract* en adéquation avec la thématique recherchée, sélection de l'article pour les questionnaires.
- Lire totalement les articles sélectionnés d'après l'*abstract* et remplir le questionnaire

Liste prioritaire (avec xx : nom du bioagresseur)

1. Informations générales
 - xx life cycle
 - xx dispersal
 - xx predators OR parasites OR biocontrol
2. Aspect modélisation
 - xx dispersal cost
 - xx multi-scale (upscaling / downscaling)
 - xx spatio-temporal (dynamic OR model)
 - xx (spatial OR explicit OR population OR individual) model

Liste complémentaire (avec xx : nom du bioagresseur)

3. Vision agronomique
 - xx ecosystem services
 - xx agroecology
 - xx (previous OR preceding) crop (effet précédent)
 - xx cropping system
 - xx delay of return (vérifier le terme)
 - xx crop management
 - xx (field OR plot) size
 - xx burying (effet du travail du sol)
 - xx ploughing
 - xx till*
 - xx (hygrometry OR temperature)
 - xx crop diversity
 - xx crop rotation
 - xx (auxiliaries OR allies OR enemy)
 - xx pest (management OR control) -> info générale pour l'agronomie
 - xx (crop OR variety)
 - xx nitrogen fertilization OR N-Fertilization
 - xx sowing density

xx seed treatment
xx (fallow OR set aside)
xx (garden OR city parks)

4. Vision écologique
 - xx Integrated pest (management OR control)
 - xx biocontrol
 - xx landscape connectivity
 - xx fragmentation
 - xx resources concentration
 - xx landscape composition
 - xx landscape structure
5. Eléments semi-naturels
 - xx woodland
 - xx (hedgerow OR hedge)
 - xx grassland
 - xx grass strips
 - xx crops mosaic
 - xx *topography (coteau/plateau)*

Annexe 2 : Liste des articles sélectionnés d'après leur titre pour compléter les questionnaires bibliographie.

Rouille jaune :

- Century-Old Mystery of *Puccinia striiformis* Life History Solved with the Identification of *Berberis* as an Alternate Host (Yue Jin, Les J. Szabo, and Martin Carson, 2010)
- Diversity of *Puccinia striiformis* on Cereals and Grasses (Mogens S. Hovmöller, Chris K. Sørensen, Stephanie Walter, and Annemarie F. Justesen, 2011)
- Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat (Chen, 2005)
- The recent history of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* in Denmark as revealed by disease incidence and AFLP markers (A. F. Justesen, C. J. Ridout and M. S. Hovmöller)
- Role of *Berberis* spp. as alternate hosts in generating new races of *Puccinia graminis* and *P. striiformis* (Jin, 2010)
- Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management (Roelfs, 1992)
- Ultrastructure of rust Fungi (Health, 2012)
- A STUDY ON THE EPIDEMIOLOGY OF STRIPE RUST, PUCCINIA STRIIFORMIS WEST., IN CALIFORNIA (H. Tollenaar, Byron R. Houston, 1967)
- Stripe rust (*Puccinia striiformis*), a new disease of wheat in New Zealand (Beresford, 1982)
- Global status of stripe rust: a review of historical and current threats (Colin R. Wellings, 2011)
- Race Dynamics, Diversity, and Virulence Evolution in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the Causal Agent of Wheat Stripe Rust in China from 2003 to 2007 (Chen and al., 2010)
- The Rust Fungi (Kolmer et al., 2009)
- Taxonomic study of stripe rust, *Puccinia striiformis* sensu lato, based on molecular and morphological evidence (Liu and Hambleton, 2010)
- The wheat rusts (R.P. Singh, J. Huerta-Espino, A.P. Roelfs, 2002)
- YELLOW RUST ON WHEAT IN EPIDEMIOLOGY AND PHYSIOLOGIC SPECIALIZATION (J. C. ZADOKS, 1961)
- Clonality and long-distance migration of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* in north-west Europe (M. S. Hovmöller, A. F. Justesen and J. K. M. Brown, 2002)
- Short-distance dispersal of wheat rust spores (Sache, 2000)
- The Oversummering and Dispersal of Inoculum of *Puccinia striiformis* in Oregon (Shaner et Powelson, 1972)
- Detecting Patterns of Wheat Stripe Rust Pandemics in Time and Space (Yang et Zeng, 1992)
- Use of a spectrum model and satellite cloud data in the simulation of wheat stripe rust (*Puccinia striiformis*) dispersal across the Tasman Sea in 1980 (Kim and Beresford, 2008)
- THE DEVELOPMENT OF A SEQUENTIAL SAMPLING PLAN FOR MANAGEMENT OF STRIPE RUST (PUCCINIA STRIIFORMIS WEST.) IN WINTER WHEAT (TRITICUM AESTIVUM L.) (Cole, 1985)
- Spatial genetic diversity and interregional spread of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Northwest China (Ninghai Lu & Jianfeng Wang & Xianming Chen & Gangming Zhan & Changqing Chen & Lili Huang & Zhensheng Kang, 2011)
- Genetic evidence of local adaptation of wheat yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) within France (Enjalbert et al., 2005)
- Long-Distance Spread and Interregional Epidemics of Wheat Stripe Rust in China (Zeng and Luo, 2006)
- Systems analysis of wheat stripe rust epidemics in China (Zeng and Luo, 2007)

- Growth of *Verticillium lecanii* in Pustules of Stripe rust (*Puccinia striiformis*) (Mendgen, Kurt, 1981)
- Identifying and Mapping Stripe Rust in Winter Wheat using Multi-temporal Airborne Hyperspectral Images (LIN-SHENG HUANG; JIN-LING ZHAO; DONG-YAN ZHANG; LIN YUAN; YING-YING DONG; JING-CHENG ZHANG, 2012)
- Predicting epidemics of yellow rust (*Puccinia striiformis*) on the upper canopy of wheat from disease observations on lower leaves (C. S. Young, N. D. Paveley, T. B. Vaughan, J. M. Thomas and K. D. Lockley, 2003)
- Effect of plot geometry on epidemic velocity of wheat yellow rust (K. E. Sackett* and C. C. Mundt, 2009)
- A Case Study on Forewarning of Yellow Rust Affected Areas on Wheat Crop Using Satellite Data (Dutta et al., 2014)
- Detecting Patterns of Wheat Stripe Rust Pandemics in Time and Space (Yang and Zeng, 1992)
- Inferring the contribution of sexual reproduction, migration and off-season survival to the temporal maintenance of microbial populations: a case study on the wheat fungal pathogen *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* (Sajid Ali, Pierre Gladieux, Hidayatur Rahman, Muhammad S. Saqib, Muhammad Fiaz, Habib Ahmad, Marc Leconte, Angélique Gautier, Annemarie F. Justesen, Mogens S. Hovmöller, Jérôme Enjalbert, Claude de Vallavieille-Pope, 2014)
- Simulation of wheat stripe rust (*Puccinia striiformis* West.) using EPIDEMIC, a flexible plant disease simulator (Shrum R, 1975)
- Anisotropy, in density and in distance, of the dispersal of yellow rust of wheat: experiments in large field plots and estimation. (Soubeyrand S, Enjalbert J, Sanchez A, Sache I, 2007)
- The relation between the size of fields and the spread of diseases into them. (van der Plank JE, 1948)
- The relation between the size of fields and the spread of diseases into them. Part II. Diseases caused by fungi with air-borne spores with a note on horizons of infection (van der Plank JE, 1949).
- Plant Disease Severity in High-Input Compared to Reduced-Input and Organic Farming Systems (Van Bruggen, 1995)
- Nitrogen per unit leaf area affects the upper asymptote of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* epidemics in winter wheat (S. Neumann, N. D. Paveley, F. D. Beed and R. Sylvester-Bradley, 2004)
- Major Cultural Practices and Their Effect on Crop Disease (Josef Palti, 1981) [livre sous Google Scholar]
- Challenges and solutions for stripe rust control in the United States (X. M. Chen, 2007)
- Path coefficient analysis of the effects of stripe rust and cultivar mixtures on yield and yield components of winter wheat (S. I. Akanda, C. C. Mundt, 1997)
- Effects of two-component wheat cultivar mixtures on stripe rust severity (AKANDA S. I. (1) ; MUNDT C. C., 1996)
- The relationship between wheat yield and stripe rust as affected by length of epidemic and temperature at the grain development stage of crop growth (G. M. MURRAY, P. J. ELLISON, A. WATSON and B. R. CULLIS, 2007)
- The importance of weather and agronomic factors for the overwinter survival of yellow rust (*Puccinia striiformis*) and subsequent disease risk in commercial wheat crops in England (P. Gladders, S.D. Langton, I.A. Barrie, N.V. Hardwick, M.C. Taylor & N.D. Paveley, 2007)
- Factors affecting diseases of winter wheat in England and Wales, 1989±98 (Hardwick et al., 2001)
- Challenges and solutions for stripe rust control in the United States (Chen, 2007)
- Landscape heterogeneity and disease spread: experimental approaches with a plant pathogen (Mundt et al., 2011)

- Long-distance dispersal and its influence on adaptation to host resistance in a heterogeneous landscape (Wingen et al., 2013)
- Landscape Epidemiology of Emerging Infectious Diseases in Natural and Human-Altered Ecosystems (Meentemeyer et al., 2012)
- Fiche rouille jaune (BASF, 2016)
- Epidemiology in sustainable systems (Cook et Yarhm, 2006)

Septoriose :

- Coupling a 3-D virtual wheat (*Triticum aestivum*) plant model with a *Septoria tritici* epidemic model (Septo3-D): a new approach to investigate plant-pathogen interactions (Robert C, Fournier C, Andrieu B, Ney B. 2008)
- Quantification of the effects of *Septoria tritici* blotch on wheat leaf gas exchange with respect to lesion age, leaf number, and leaf nitrogen status. (Robert C, Bancal M-O, Lannou C, Ney B. 2006)
- Wheat leaf rust uredospore production on adult plants: influence of leaf nitrogen content and *Septoria tritici* blotch. (Robert C, Bancal M-O, Lannou C. 2004.)
- Construction d'un modèle (episept) permettant la simulation d'une épidémie de *Septoria nodorum* BERK. sur blé. (Rapilly F, Jolivet E. 1976)
- Modelling the effect of wheat canopy architecture as affected by sowing density on *Septoria tritici* epidemics using a coupled epidemic-virtual plant model. (Baccar R, Fournier C, DornbuschT, Andrieu B, Gouache D, Robert C. 2011.)
- Ecology and Population BiologyMeasuring Immigration and Sexual Reproductionin Field Populations of *Mycosphaerella graminicola* (J. Zhan, C. C. Mundt, and B. A. McDonald, 1998)
- The *Septoria tritici* and *Stagonospora nodorum* blotch diseases of wheat (Eyal, 1999)
- Role of hydrogen peroxide during the interaction between the hemibiotrophic fungal pathogen *Septoria tritici* and wheat (NP Shetty et al, 2007)
- *Stagonospora nodorum*: cause of stagonospora nodorum blotch of wheat (PS Solomon, 2006)
- The common *Septoria* diseases of wheat (WA Shipton, 1971)
- The *Septoria* diseases of wheat: concepts and methods of disease management (Z Eyal, 1987)
- The population genetics of *Septoria tritici* (teleomorph *Mycosphaerella graminicola*) (BA McDonald et al, 1994)
- A review of *Septoria* diseases of wheat and barley (JE King et al, 1983)
- Genetic variability in nuclear DNA in field populations of *Stagonospora nodorum* (BA McDonald et al., 1994)
- Effect of temperature on latent period of septoria leaf blotch on winter wheat under outdoor conditions (DJ Lovell et al., 2004)
- *Stagonospora nodorum*: from pathology to genomics and host resistance (RP Oliver et al, 2012)
- Factors associated with global occurrences of *Septoria nodorum* blotch and *Septoria tritici* blotch of wheat. (S Leath et al, 1993)
- Patterns of development of *Septoria nodorum* and *S. tritici* in some winter wheat crops in Western Europe, 1981-83 (DJ ROVLE et al, 1986)
- Role of the perfect states in the epidemiology of the common *Septoria* diseases of wheat (FR Sanderson et al, 1978)
- Research note: varietal resistance as a factor contributing to the increased importance of *Septoria tritici* Rob. and Desm. in the UK wheat crop. (RA Bayles, 1991)
- Early stages of *septoria tritici* blotch epidemics of winter wheat: build-up, overseasoning, and release of primary inoculum (F Suffert et al, 2011)
- Factors determining the severity of epidemics of *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) on winter wheat in the UK (Caten and Newton, 2001)

- Factors determining the severity of epidemics of *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) on winter wheat in the UK (M. W. SHAW2 and D. J. ROYLE1, 1993)
- The teleomorph stage, *Mycosphaerella graminicola*, in epidemics of *septoria tritici* blotch on winter wheat in the UK (T Hunter et al., 1999)
- Fiche maladie APS net
- Biology of the *Septoria/Stagonospora* pathogens: An overview (AL Scharen, 1999)
- Distribution of mating type alleles in the wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola* over spatial scales from lesions to continents (J. Zhan et al, 2002)
- Isolation and Characterization of the Mating-Type Idiomorphs from the Wheat *Septoria Leaf Blotch Fungus* *Mycosphaerella graminicola* (Cees Waalwijk et al, 2001)
- Association of hydrogen peroxide with restriction of *Septoria tritici* in resistant wheat (N.P. Shetty et al., 2003)
- Endophytic Fungi in Four Winter Wheat Cultivars (*Triticum aestivum L.*) Differing in Resistance Against *Stagonospora nodorum* (Berk.) Cast. & Germ. =*Septoria nodorum* (Berk.) Berk. (Sieber et al., 2008)
- Selective Influence of Wheat Cultivars etc. (Ahmed et al., 1996)
- Studies on dispersal of *Septoria tritici* pycnidiospores in wheat–clover intercrops (FJ Bannon & Cook, 1998)
- Airborne inoculum as a major source of *Septoria tritici* (*Mycosphaerella graminicola*) infections in winter wheat crops in the UK (MW Shaw, DJ Royle, 1989)
- Dispersal of *Septoria nodorum* spores and spread of glume blotch of wheat in the field (E Griffiths, HC Ao, 1976)
- Spore dispersal of leaf blotch pathogens of wheat (*Mycosphaerella graminicola* and *Septoria tritici*) (CA Cordo et al, 1998)
- Gene flow and sexual reproduction in the wheat glume blotch pathogen *Phaeosphaeria nodorum* (anamorph *Stagonospora nodorum*) (SM Keller et al., 1996)
- Initiation of *Septoria nodorum* blotch epidemics in winter wheat by seedborne *Stagonospora nodorum* (D Shah et al., 1995)
- Genotypic diversity of the wheat leaf blotch pathogen *Mycosphaerella graminicola* (anamorph) *Septoria tritici* in Germany (F Schnieder et al, 2000)
- Weather and epidemics of *Septoria* leaf blotch of wheat (G Shaner et al, 1976)
- Straw-borne Inoculum of *Septoria nodorum* and *S. tritici* in relation to Incidence of Disease on Wheat Plants (JI Holmes et al. 1975)
- Back to basics and beyond: increasing the level of resistance to *Septoria tritici* blotch in wheat (Stephen B. Goodwin, 2007)
- Dothideomycete–Plant Interactions Illuminated by Genome Sequencing and EST Analysis of the Wheat Pathogen *Stagonospora nodorum* (James K. Hane et al., 2007)
- Occurrence of *Mycosphaerella graminicola*, teleomorph of *Septoria tritici*, on wheat debris in the UK (P. R. SCOTT et al., 1988)
- Influence of plant growth and structure on the risk of epidemics etc. (Lovell et al., 2000)
- Position of inoculum in the canopy affects the risk of *septoria tritici* blotch epidemics in winter wheat (Lovell et al., 2004)
- Historical perspective on biological control of postharvest diseases-past, present, and future (CL Wilson et al., 2010)
- *Septoria* on cereals: a study of pathosystems (MC Heath, 2000)
- Biological Control of Wheat Diseasesz (Sivastisparam) → google book
- Potential for biological control of plant diseases on the phylloplane (JP Blakeman, 1982)
- Fungal competition (C. A. Shearer, 1995)
- Suppression of *Septoria tritici* blotch and leaf rust of wheat by recombinant cyanide-producing strains of *Pseudomonas putida* (MA Flaishman et al., 1996)
- *Bacillus megaterium* shows potential for the biocontrol of *septoria tritici* blotch of wheat (S Kildea et al., 2008)

- Evaluation of *Trichoderma harzianum* and *Gliocladium roseum* in controlling leaf blotch of wheat (*Septoria tritici*) under in vitro and greenhouse conditions (A. Perelló, C. Mónaco and C. Cordo, 1997)
- Assessment of interactions between cultivated and wild wheats and *Septoria tritici*. (M Yechilevich-Auster, 1983)
- *Trichoderma* spp. as elicitors of wheat plant defense responses against *Septoria tritici* (CA Cordo, CI Monaco, CI Segarra, 2007)
- Identification of new sources of resistance to tan spot, *Stagonospora nodorum* blotch, and *Septoria tritici* blotch of wheat (PK Singh et al, 2006)
- The reaction of wheat genotypes to *Septoria tritici* (T Brokenshire, 1976)
- Alternative respiration: a biochemical mechanism of resistance to azoxystrobin (ICIA 5504) in *Septoria tritici* (BN Ziogas et al, 1997)
- Competition between *Pyrenophora tritici-repentis* and *Septoria nodorum* in the wheat leaf as measured with de Wit replacement series (SR Adey et al, 1990)
- The histology of processes associated with the infection of resistant and susceptible wheat cultivars with *Septoria tritici* (L. COHEN and Z. EYAL, 1993)
- INFECTION OF GRASSES BY SEPTORIA NODORUM AND S. TRITICI (JILL R. WILLIAMS AND D. GARETH JONES, 1973)
- Avirulence in the Wheat *Septoria tritici* Leaf Blotch Fungus *Mycosphaerella graminicola* Is Controlled by a Single Locus (Gert H. J. Kema, Els C. P. Verstappen, and Cees Waalwijk, 2000)
- Sources of resistance in wheat to speckled leaf blotch caused by *Septoria tritici* (A. A. Rosielle, 1972)
- Polymerase Chain Reaction Assays etc (Beck et Ligon, 1994)
- The population dynamics of disease on short and long time-scales (M. W. Shaw, 2013)
- Modeling of Relationships Between Weather and *Septoria tritici* Epidemics on Winter Wheat: A Critical Approach (S. Pietravalle, M. W. Shaw, S. R. Parker, and F. van den Bosch, 2003)
- The *Septoria/Stagonospora* blotch diseases of wheat: past, present, and future (Z Eyal, 1999)
- Wheat seed infection by *Septoria tritici* (T Brokenshire, 1975)
- Deviation from the regression of infection on heading and height as a measure of Resistance to *S. tritici* Blotch in wheat (Beunigen and Kohli, 1990)
- Real-time PCR quantification and spatio-temporal distribution of airborne inoculum of *Mycosphaerella graminicola* in Belgium (M Duvivier et al., 2013)
- Analysis of disease progress as a basis for evaluating disease management practices (MJ Jeger et al, 2004)
- Comparative pathogenicity of sexual and asexual spores of *Zymoseptoria tritici* (*septoria tritici* blotch) on wheat leaves (D Morais et al. 2015)
- Fungal communities associated with durum wheat production system: a characterization by growth stage, plant organ and preceding crop (V Vujanovic et al. 2012)
- Is the onset of *septoria tritici* blotch epidemics related to the local pool of ascospores? (D Morais et al, 2016)
- Modelling and mapping potential epidemics of wheat diseases—examples on leaf rust and *Septoria tritici* blotch using EPIWHEAT (S Savary et al, 2016)
- Measurements of spatial patterns of disease in winter wheat crops and the implications for sampling (SR Parker et al, 1997)
- Distribution of the airborne inoculum of wheat leaf rust and *septoria tritici* blotch: impact on epidemics in wheat fields and implications for integrated pest management (M Duvivier - 2015)
- Disease severity assessment in epidemiological studies: accuracy and reliability of visual estimates of *Septoria* leaf blotch (SLB) in winter wheat. (M El Jarroudi et al., 2014)

- The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars (MJ Jeger et al. 2001)
- A generic model of interactions between FSPM, foliar pathogens and microclimate (G Garin et al., 2013)
- Plant architecture, its diversity and manipulation in agronomic conditions, in relation with pest and pathogen attacks (E Costes et al., 2013)
- Scale effects in biodiversity and biological control: methods and statistical analysis (C Scherber et al., 2012)
- Yield reduction in wheat in relation to leaf disease from yellow (tan) spot and Septoria nodorum blotch (JS Bhathal et al., 2003)
- The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens (WW Bockus et al., 1998)
- Effects of crop rotations and fertilizer management on leaf spotting diseases of spring wheat in southwestern Saskatchewan (MR Fernandez et al., 1998)
- Influence of agronomic practices on canopy microclimate and Septoria development in no-till winter wheat produced in the Parkland region of Saskatchewan (DK Tompkins et al, 1993)
- Long-term relationships between environment and abundance in wheat of Phaeosphaeria nodorum and Mycosphaerella graminicola (M. W. Shaw, S. J. Bearchell, B. D. L. Fitt, B. A. Fraaije, 2007)
- A Gene-for-Gene Relationship Between Wheat and Mycosphaerella graminicola, the Septoria Tritici Blotch Pathogen (Bradling et al., 2002)
- Influence of nitrogen supply on the susceptibility of wheat to Septoria tritici (Simon et al., 2003)
- Influence of Tillage Systems on Disease Intensity and Spatial Pattern of Septoria Leaf Blotch (Schuh, 1990)

Phoma :

- Epidemiology of blackleg of oilseed rape (Hall R 1992)
- Biology of Leptosphaeria maculans (Paul H. Williams, 1992)
- Studies on Phoma lingam (Tode ex Fr.) Desm. and the dry rot on oil seed rape, *Brassica napus* (L.) var. *oleifera* Metzger (Ndimande, B., 1976) : cab
- Epidemiology and management of Leptosphaeria maculans (phoma stem canker) on oilseed rape in Australia, Canada and Europe (J. S. West, P. D. Kharbanda, M. J. Barbetti and B. D. L. Fitt, 2001)
- Altered distribution and life cycles of major pathogens in Europe (Evans, N.; Gladders, P.; Fitt, B. D. L.; Tiedemann, A. V., 2009)
- Epidemiology of Leptosphaeria maculans in relation to forecasting stem canker severity on winter oilseed rape in the UK (J. S. WEST, J. E. BIDDULPH, B. D. L. FITT and P. GLADDERS, 1999)
- Observations on the epidemiology of Leptosphaeria maculans stem canker in winter oilseed rape (P. GLADDERS and T. M. MUSA, 2007) : Wiley Library
- CHARACTERIZATION OF TWO COEXISTING PATHOGEN POPULATIONS OF Leptosphaeria spp., THE CAUSE OF STEM CANKER OF BRASSICAS (Joanna Kaczmarek, Małgorzata Jędryczka, 2011)
- Colonization of winter oilseed rape tissues by A/Tox+ and B/Tox0 Leptosphaeria maculans (phoma stem canker) in France and England (J. S. West, J. M. Steed, M.-H. Balesdent, B. D. L. Fitt, T. Rouxel and J. Schmit, 2002)
- World-wide importance of phoma stem canker (Leptosphaeria maculans and *L. biglobosa*) on oilseed rape (*Brassica napus*) (Fitt et al, 2005)
- Strategies to prevent spread of Leptosphaeria maculans (phoma stem canker) onto oilseed rape crops in China; costs and benefits (B. D. L. Fitt B. C. Hu, Z. Q. Li, S. Y. Liu, R. M. Lange, P. D. Kharbanda, M. H. Butterworth and R. P. White, 2008)
- Population dynamics and dispersal of Leptosphaeria maculans (blackleg of canola) (J. S. West, B. D. L. Fitt, 2005)

- Geographic variation in severity of phoma stem canker and *Leptosphaeria maculans*/ *L. biglobosa* populations on UK winter oilseed rape (*Brassica napus*) (Jenna F. Stonard & Akinwunmi O. Latunde-Dada & Yong-Ju Huang & Jonathan S. West & Neal Evans & Bruce D. L. Fitt, 2009)
- Splash dispersal of *Leptosphaeria maculans* pycnidiospores and the spread of blackleg on oilseed rape (R. Travadon, L. Bousset, S. Saint-Jean, H. Brun and I. Sache, 2007)
- Effect of climate change on sporulation of the teleomorphs of *Leptosphaeria* species causing stem canker of brassicas (Joanna Kaczmarek, Andrzej Kedziora, Andrzej Brachaczek Akinwunmi, Latunde-Dada, Sylwia Dakowska, Grzegorz Karg Małgorzata Jedryczka, 2015)
- First Report of the Natural Occurrence of the Teleomorph of *Leptosphaeria maculans* on Oilseed Rape and Airborne Dispersal of Ascospores in Hungary (D. Magyar, T. Barasits, G. Fischl and W. G. D. Fernando, 2006)
- *Paenibacillus polymyxa* produces fusaridin-type antifungal antibiotics active against *Leptosphaeria maculans*, the causative agent of blackleg disease of canola (Beatty and Jensen, 2002)
- BIOCONTROL OF LEPTOSPHAERIA MACULANS AND OTHER PATHOGENS OF CANOLA WITH PAENIBACILLUS POLYMYXA PKB1 (Kharbanda et al)
- Biological control of *Leptosphaeria maculans* (anamorph *Phoma lingam*) causal agent of blackleg/canker on oil seed rape by *Cyanthus striatus*, a bird's nest fungus. (Maksymiak, M. S.; Hall, A. M., 2000)
- Preliminary phenotypic and molecular screening for potential bacterial biocontrol agents of *Leptosphaeria maculans*, the blackleg pathogen of canola (RAJESH RAMARATHNAM & W. G. DILANTHA FERNANDO, 2005)
- The role of antibiosis and induced systemic resistance, mediated by strains of *Pseudomonas chlororaphis*, *Bacillus cereus* and *B. amyloliquefaciens*, in controlling blackleg disease of canola (Rajesh Ramarathnam, W. G. Dilantha Fernando and Teresa de Kievit, 2010)
- Effect of seed priming with *Serratia plymuthica* and *Pseudomonas chlororaphis* to control *Leptosphaeria maculans* in different oilseed rape cultivars (Ruba Abuamsha, Mazen Salman and Ralf-Udo Ehlers, 2011)
- A participatory approach to design spatial scenarios of cropping systems and assess their effects on phoma stem canker management at a regional scale (Hossard et al, 2013)
- Meta-modelling of the impacts of regional cropping system scenarios for phoma stem canker control (L. Hossard, V. Souchere, E. Pelzer, X. Pinochet, , M.H. Jeuffroy, 2015)
- Linking cropping system mosaics to disease resistance durability (Hossard, Marie Gosme, Véronique Souchère, Marie-Hélène Jeuffroy, 2015)
- Transmission of *Leptosphaeria maculans* from a cropping season to the following one (L. Bousset, S. Jumel, V. Garreta, H. Picault and S. Soubeyrand, 2015)
- SPATIAL SPREAD OF BLACKLEG IN CANOLA - A REGIONAL SCALE SIMULATION MODEL (Moin U. Salam, Jean Galloway, Ravjit K. Khangura, Art J. Diggle, William J. MacLeod, and Martin J. Barbetti)
- Dispersal of foliar plant pathogens: mechanisms, gradients and spatial patterns (McCartney, Fitt and West, 2006)
- *Leptosphaeria* spp., phoma stem canker and potential spread of *L. maculans* on oilseed rape crops in China (X. Zhang, R. P. White, E. Demir, M. Jedryczka, R. M. Lange, M. Islam, Z. Q. Li, Y. J. Huang, A. M. Hall, G. Zhou, Z. Wang, X. Cai, P. Skelsey and B. D. L. Fitt, 2013)
- Modelling the wind-assisted dispersal of invasive fungal pathogens (Savage, 2012)
- Range and severity of a plant disease increased by global warming (Neal Evans, Andreas Baierl, Mikhail A Semenov, Peter Gladders, Bruce D.L Fitt, 2008)

- Modelling the effects of cropping systems and their spatial distribution on phoma stem canker on Winter OilSeed Rape and the adaptation of fungal pathogen populations responsible for the disease (*Leptosphaeria maculans*) to cultivar resistances (Lô-Pelzer, 2008)
- SIPPOM-WOSR: A Simulator for Integrated Pathogen POpulation Management of phoma stem canker on Winter OilSeed Rape ; I. Description of the model (Lô-Pelzer, E., Aubertot, J.N., Bousset, L., Salam, M.U., Jeuffroy, M.H, 2008)
- SIPPOM-WOSR: A Simulator for Integrated Pathogen POpulation Management of phoma stem canker on Winter OilSeed Rape ; II. Analyse of sensitivity (Lô-Pelzer, E, Aubertot, J.N., Bousset, L., Salam, M.U., Jeuffroy, M.H., 2008)
- The impact of soil incorporation of canola residues and stubble application of chemicals on decomposition and inoculum production by *Leptosphaeria maculans* (Turkington TK, Clayton GW, Klein-Gebbinck H, Woods DL 2000)
- Effect of seeders and tillage equipment on vertical distribution of oilseed rape stubble (Schneider O, Roger-Estrade J, Aubertot J-N, Doré T 2006)
- Effect of Climate Change on Sporulation of the Teleomorphs of *Leptosphaeria* Species Causing Stem Canker of Brassicas (Kaczmarek, Joanna, Andrzej Kedziora, Andrzej Brachaczek, Akinwunmi O. Latunde-Dada, Sylwia Dakowska, Grzegorz Karg, and Małgorzata Jedryczka. 2015)
- The effects of sowing date and nitrogen availability during vegetative stages on *Leptosphaeria maculans* development on winter oilseed rape (Aubertot J-N, Pinochet X, Doré T 2004)
- SimCanker: a simulation model for containing phoma stem canker of oilseed rape through cultural practices (Aubertot et al., 2016)
- Dissemination of information about management strategies and changes in farming practices for the exploitation of resistance to *Leptosphaeria maculans* (phoma stem canker) in oilseed rape cultivars (Gladders et al., 2005)
- Best Management Practices for Blackleg Disease of Canola (Kutcher et al, 2011)
- Improved resistance management for durable disease control: A case study of phoma stem canker of oilseed rape (*Brassica napus*) (Aubertot et al., 2006)
- Black leg (*Leptosphaeria maculans* (Desm.) Ces. et de Not.) of rapeseed in Victoria: crop losses and factors which affect disease severity (DC McGee and RW Emmet, 1977)
- Black leg (*Leptosphaeria maculans* (Desm.) Ces. de Not.) of rapeseed in Victoria: sources of infection and relationships between inoculum, environmental factors and disease severity (DC McGee, 1977)
- Agroecosystem management and biotic interactions: a review (Safia Médiène, Muriel Valantin-Morison, Jean-Pierre Sarthou, Stéphane de Tourdonnet, Marie Gosme, Michel Bertrand, Jean Roger-Estrade, Jean-Noël Aubertot, Adrien Rusch, Natacha Motisi, Céline Pelosi, Thierry Doré, 2011)
- Landscape epidemiology of plant diseases (Plantegenest et al., 2007)
- Linking cropping system mosaics to disease resistance durability (Laure Hossard, Marie Gosme, Véronique Souchère, Marie-Hélène Jeuffroy, 2015)

Sclerotinia :

- *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen (**MELVIN D. BOLTON1, BART P. H. J. THOMMA AND BERLIN D. NELSON, 2006**)
- Dispersal of ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum* in relation to *Sclerotinia* stem rot of rapeseed. (Williams, J. R.; Stelfox, D., 1979)
- Population structure of *Sclerotinia sclerotiorum* in an Australian canola field at flowering and stem-infection stages of the disease cycle (Adrienne C. Sexton,a Athol R. Whitten,a Barbara J. Howlett, 2007)

- AIRBORNE ASCOSPORE CONCENTRATION AND THE INFECTION OF OILSEED RAPE AND SUNFLOWERS BY SCLEROTINIA SCLEROTIORUM (**H A McCartney, M E Lacey, Q Li and A Heran, ,**)
- Population genetic structure of *Sclerotinia sclerotiorum* on canola in Iran (Roghayeh Hemmati & Mohammad Javan-Nikkhah & Celeste C. Linde, 2009)
- Epidemiology of sclerotinia stem rot of rapeseed in Saskatchewan (R.A.A. Morrall & J. Dueck, 1982)
- Use of petal infestation to forecast *Sclerotinia* stem rot of canola : the influence of inoculum variation over the flowering period and canopy density (**Turkington and Morrall, 1993**)
- Inoculum-Disease Relationships in *Sclerotinia* Stem Rot of Rapeseed in Saskatchewan (Kugel, 1986)
- Research on biology and control of *Sclerotinia* diseases in Canada (**Bardin et Huang, 2000**)
- Index of plant hosts of *Sclerotinia sclerotiorum* (**Boland et Hall, 1994**)
- Engineering *Sclerotinia* Sclerotiorum Resistance in Oilseed Crops (**Lu, 2003**)
- Managing plant disease risk in diversified cropping systems (**Krupinsky et al., 2002**)
- Potential effects of global warming on oilseed rape pathogens in Northern Germany (Siebold et Von Tiedemann, 2012)
- Ecofriendly methods in combating *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary (**Fernando et al., 2004**)
- Impact of *Sclerotinia* Stem Rot on Yield of Canola (del Rio et al., 2007)
- Clonal dispersal and spatial mixing in populations of the plant pathogenic fungus, *Sclerotinia sclerotiorum* (**Y. Kohli, L. J. Brunner, H. YOELL, M. G. Milgroom, J. B. Anderson, R. A. A. Morrall, L. M. Kohn, 1995**)
- Prevalence of sclerotinia stem rot of canola in New South Wales (T. L. Hind, G. J. Ash and G. M. Murray , 2003)
- Biocontrol of *Sclerotinia* stem rot of canola by bacteria antagonists and study of biocontrol mechanisms involved (Zhang, 2004)
- Extracellular transmission of a DNA mycovirus and its use as a natural fungicide (Xiao Yu, Bo Li, Yanping Fu, Jiatao Xie, Jiasen Cheng, Said A. Ghabrial, Guoqing Li, Xianhong Yi, and Daohong Jiang, 2012)
- Effect of *Coniothyrium minitans* on sclerotial survival and apothecial production of *Sclerotinia sclerotiorum* in field-grown oilseed rape (M. P. McQUEILKEN1, S. J. MITCHELL2, S. P BUDGE3, J. M. WHIPPS3, J. S. FENLON4 and S. A. ARCHE, 2007)
- Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary by *Pseudomonas* and *Bacillus* species on canola petals (W.G.D. Fernando, S. Nakkeeran1, Y. Zhang2, S. Savchuk, 2007)
- Biological Control of *Sclerotinia* Diseases of Rapeseed by Aerial Applications of the Mycoparasite *Coniothyrium minitans* (G. Q. Li , H. C. Huang, H. J. Miao, R. S. Erickson, D. H. Jiang, Y. N. Xiao, 2006)
- Identification and use of potential bacterial organic antifungal volatiles in biocontrol (W.G. Dilantha Fernando,*, Rajesh Ramarathnama, Akkanas S. Krishnamoorthy, Sarah C. Savchuk, 2005)
- Activity and efficacy of *Bacillus subtilis* strain NJ-18 against rice sheath blight and *Sclerotinia* stem rot of rape (Dongjing Yang, Bo Wang, Jianxin Wang, Yu Chen, Mingguo Zhou, 2009)
- Antagonistic effects of three species of *Trichoderma* sp. on *Sclerotinia sclerotiorum*, the causal agent of canola stem rot (Matroudi S, Zamani MR* & Motallebi M, 2009)
- Screening for *Trichoderma* spp. and *Gliocladium* spp. Against Rapeseed *Sclerotinia* Stem Rot and Primary Study of Biocontrol (LIU et al., 2005)
- Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary with *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens* (Mansour T. Abdullah, Nida Y. Ali, Patrice Suleman, 2008)

- Soil-borne strain IC14 of *Serratia plymuthica* with multiple mechanisms of antifungal activity provides biocontrol of *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum* (Kamensky, 2003)
- The use of *Pseudomonas fluorescens* P13 to control sclerotinia stem rot (*Sclerotinia sclerotiorum*) of oilseed rape (Li et al., 2011)
- A Crop Loss-Related Forecasting Model for Sclerotinia Stem Rot in Winter Oilseed Rape (S. Koch, S. Dunker, B. Kleinhenz, M. Röhrg, and A. von Tiedemann, 2007)
- Sample sizes in relation to forecasting sclerotinia stem rot of canola (T.K. Turkington, R.A.A. Morrall & R.J. Bakera, 1988).
- Evaluation of disease forecasting variables for sclerotinia stem rot (*Sclerotinia sclerotiorum*) of canola (M. Bom and G. J. Boland, 2000)
- Forecasting the incidence of Sclerotinia stem rot on springsown rapeseed (Karin Nordin, R. Sigvald and C. Svensson, 1992)
- Modelling plant disease epidemics (A Van Maanen, XM Xu, 2003)
- Development and validation of a quasi-Gaussian plume model for the transport of botanical spores (P Skelsey, AAM Holtsga, W van der Werf, 2008)
- Predicting diseases caused by *Sclerotinia sclerotiorum* on canola and bean—a western Canadian perspective (DL McLaren et al., 2004)
- A modelling framework to simulate foliar fungal epidemics using functional-structural plant models (Garin et al., 2014)
- Influence of farming practices in Alberta on germination and apothecium production of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* (Williams et Stelfox, 1980)
- In vitro mutation and selection of doubled-haploid *Brassica napus* lines with improved resistance to *Sclerotinia sclerotiorum* (S. Liu · H. Wang · J. Zhang · B. D. L. Fitt · Z. Xu · N. Evans · Y. Liu · W. Yang · X. Guo, 2005)
- Topography and Management of Nitrogen and Fungicide Affects Diseases and Productivity of Canola (**H. R. Kutcher, S. S. Malhi and K. S. Gill, 2004**)
- Engineering Sclerotinia Sclerotiorum Resistance in Oilseed Crops (Lu, 2003)
- Fiches BASF, 2016
- Fiches Terres Inovia 2016
- Low-drift fungicide application technology for sclerotinia stem rot control in canola (Kutcher et Wolf, 2006)
- Influence of soil moisture, seeding date, and canola cultivars (Tobin and Westar) on the germination and rotting of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* (Teo, Morrall, Verma, 1989)
- Effects of seeding rate and plant density on sclerotinia stem rot incidence in canola (**C. J. JURKE & W. G. D. FERNANDO, 2006**)
- Factors affecting the production of apothecia and longevity of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* (Mitchell et al., 1990)
- Diseases under conservation tillage systems (K. L. Bailey, 1996)
- Factors Affecting Sclerotium Populations of, and Apothecium Production by, *Sclerotinia sclerotiorum* (**H. F. Schwartz and J. R. Steadman, 1977**)
- Forecasting diseases caused by *Sclerotinia* spp. in eastern Canada: fact or fiction? (**Mary Ruth McDonald and Greg J. Boland, 2004**)
- A microbial population-species interface: Nested cladistic and coalescent inference with multilocus data (**Carbone et al., 2001**)
- Advance on the Control of *Sclerotinia sclerotiorum* (Niu et al., 2011)
- Response of Canola Cultivars to *Sclerotinia sclerotiorum* in Controlled and Field Environments (Bradley et al., 2006)
- Control of *Sclerotinia sclerotiorum* in rapeseed with fungicides (Dueck et al., 1983)
- Effect of blackleg and sclerotinia stem rot on canola yield in the high rainfall zone of southern New South Wales, Australia (Kirkegaard et al., 2006)
- *Sclerotinia sclerotiorum* Populations Infecting Canola from China and the United States Are Genetically and Phenotypically Distinct (Renuka N. Attanayake, Patrick A. Carter, Daohong Jiang, Luis del Río-Mendoza, and Weidong Chen, 2013)

- Evaluation of *Sclerotinia* stem rot resistance in oilseed *Brassica napus* using a petiole inoculation technique under greenhouse conditions (J Zhao et al., 2004)
- Effect of soil treatment of fungal agents on control of apothecia of *Sclerotinia sclerotiorum* in canola and safflower fields (HC Huang et al., 2004)
- Long-term biosanitation by application of *Coniothyrium minitans* on *Sclerotinia sclerotiorum*-infected crops (M Gerlagh et al.,)

Annexe 3 : Exemple de questionnaire réalisé avec les experts. Ici, l'expert interrogé est Annette Penaud, sur l'impact des pratiques agricoles à l'échelle de la parcelle et des éléments paysagers à l'échelle supra parcellaire (assolement et éléments semi-naturels) sur le phoma du colza.

Influence de leviers à l'échelle parcelle sur Phoma

Annette Penaud

2016-01-15

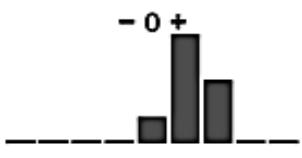
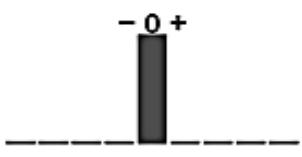
1 Introduction

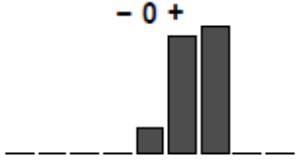
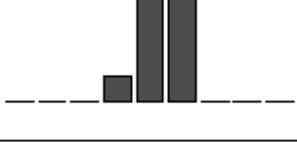
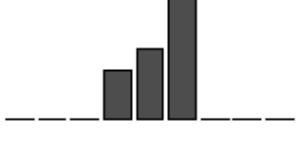
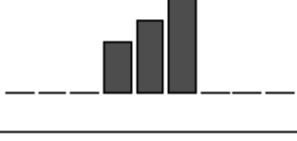
Pour chaque bio-agresseur et chaque caractéristique de la parcelle puis du paysage, nous caractériser, d'après votre expertise, l'influence des caractéristiques paysagères suivantes sur l'abondance du bio-agresseur dans la culture dans des conditions habituelles de conduite.

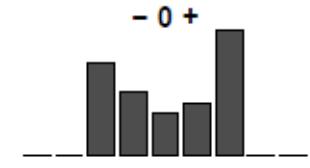
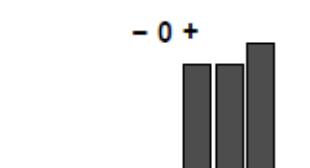
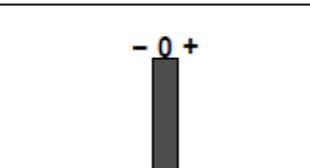
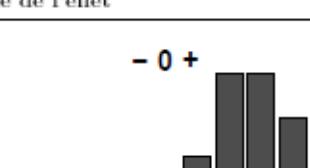
Nous commençons par lister les mécanismes et limites d'action de chaque variable puis nous quantifierons selon vous la corrélation, dans la gamme de variation des cultures françaises actuelles entre intensité de la variable et présence de bio-agresseurs ou de symptômes.

2 Mesure pertinente d'abondance

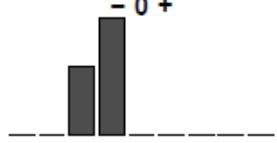
3 Résultats du questionnaire

Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Fréquence de retour de la culture élevée Autres cultures ? ...	[1,1,+] L'effet d'un retour fréquent du colza a beaucoup d'impact si la variété cultivée n'est pas résistante car il y a toujours du phoma dans les sols français.	
Précédent particulier : ...	[0] Pas d'effet lié au précédent.	

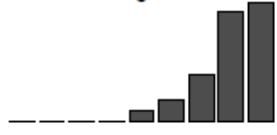
Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Labour / enfouissement du précédent	[3.-] Labourer après un colza est défavorable pour le phoma, car cela permet l'enfouissement de l'inoculum. [2.+] Cependant, labourer l'année suivante peut faire remonter à la surface les résidus infectés par le mycélium. Ainsi, les rotations très courtes peuvent poser problèmes.	
Lutte variétale (efficacité de variétés résistantes)	[1.-] L'utilisation de variétés résistantes et [1.2.-] surtout l'alternance des différents groupes de résistances (haut niveau résistance qualitative ou résistance quantitative) ont un effet défavorable sur le phoma. Quelques macules peuvent être observées, mais elles sont atypiques et différentes suivant les résistances. [1.1.-] La production de pycnides est moins importante.	
Diversité dans la rotation en général (autre que retour de la culture)	[0] Pas d'effet lié à la diversité dans la rotation.	
Fond de vallée (droite) par rapport à plateau (gauche)	[0] Pas d'effet bien défini.	
Coteau (droite) par rapport à plateau (gauche)	[0] Pas de lien connu.	

Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Lutte phytosanitaire	[2.-] La lutte phytosanitaire est efficace, mais seulement sur du matériel sensible.	
Fertilisation azotée	[1.-+] Selon Jean-Noël Aubertot, une fertilisation azotée trop importante à l'automne contribue à la rupture de la résistance d'une variété. [1.1.-+] En effet, une forte quantité d'azote disponible à l'automne augmente les surfaces foliaires et donc la surface de réception des ascospores. L'impact de la fertilisation est plus ou moins fort selon les ateliers. L'utilisation de fientes de poules est à éviter car rend les tissus de tige plus sensibles et mécaniquement moins résistants.	
Densité de semis élevée	[0] Pas d'impact à priori.	
Dates de semis précoces à gauche, tardives à droite	[3.-] Théoriquement, un semis précoce permet au colza d'être plus résistant au moment de l'épidémie. [1.-+] Cependant, un colza petit peut être aussi difficilement infectable par le phoma [1.1.+] grâce à sa faible surface foliaire. Tous les ans, des préconisations sont établies à l'échelle régionale pour adapter le développement du colza à l'épidémie de phoma (ne pas semer trop tôt pour ne pas avoir d'élongation à l'automne, ni semer trop tard pour éviter un colza trop petit donc sensible aux projections de spores).	
Traitement des semences	[999] Aucun traitement de semences efficace ou autorisé.	

Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Lutte biologique	[999] Pas de produits élaborés, mais des expérimentations présentées dans la littérature ont été conduites avec pseudomonas.	
Précipitations élevées	[1.+] Impact positif d'une forte hygrométrie sur [1.1.+] la production de l'inoculum, [1.3.+] sur sa dispersion et [1.2.+] sur la réussite des contaminations.	
Irrigation	[1.+] Il faut éviter d'irriguer le colza au semis.	
Déchaumages / travail du sol modéré	[1.-] L'effet d'un travail du sol modéré est équivalent à celui du labour s'il permet de mettre les résidus hors de la lumière.	
Mélange variétaux dans la parcelle (précoïté, résistances...)	- Manque une réponse -	

Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Mélange spécifiques dans la parcelle	- Manque une réponse -	- 0 + -----
Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Superficie de la parcelle	[0] Si la parcelle se trouve sous le vent, on peut voir un gradient d'infection dans le colza nouvellement implanté, par rapport à une source identifiée.	- 0 + 

3.1 Autres variables

Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Gestion des repousses	Si les repousses de colza sont gardées comme CIPAN, elles constituent un réservoir d'inoculum et permettent au champignon de survivre plus longtemps.	- 0 + 

3.2 Autres variables

Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Epaisseur du mulch	Plus le mulch sera épais, plus l'elongation du collet et donc sa sensibilité sera augmentée. Cependant l'épaisseur du mulch n'aura pas d'impact sur le nombre de macules sur les feuilles.	- 0 + 

Annexe 4 : Exemple de questionnaire réalisé avec les experts. Ici, l'expert interrogé est Frédéric Suffert, sur l'impact des pratiques agricoles à l'échelle de la parcelle et des éléments paysagers à l'échelle supra parcellaire (assolement et éléments semi-naturels) sur la septoriose du blé

Influence de leviers a l'echelle parcelle sur Septoriose

Frederic Suffert

2016-05-10

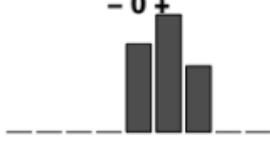
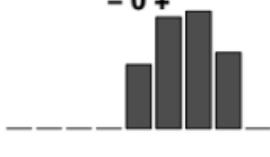
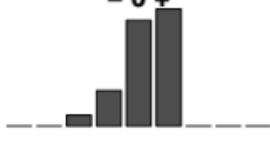
1 Introduction

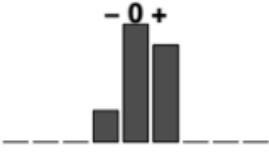
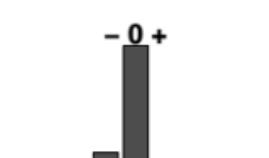
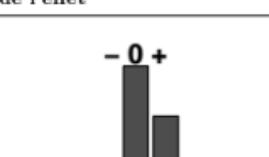
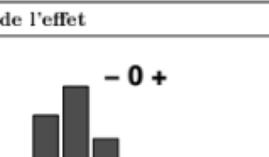
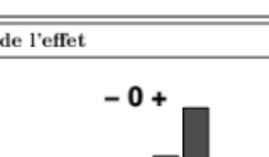
La septoriose est une maladie spécifique du blé. Son cycle se compose d'une phase de reproduction sexuée et d'une phase de reproduction asexuée. L'épidémie début dès le stade plantule et l'émergence des premières feuilles, 3 - 4 semaines après le semis. Les plantes sont contaminées de façon homogène et non en foyers par les ascospores, spores issues de la reproduction sexuée se déroulant sur les débris de blé de la campagne précédente ; la dispersion de ces spores peut s'effectuer sur de plus ou moins longues distances (quelques mètres à plusieurs dizaines de kilomètres dans les cas les plus rares). Ces premiers symptômes peuvent apparaître fin novembre, après une période de latence de 3 semaines. Au printemps, ces lésions seront le lieu de fructifications asexuées, qui produiront des spores asexuées. Ces spores asexuées se dispersent grâce aux éclaboussures causées par les gouttes de pluies tombant sur les feuilles (splashing). Ainsi, leur dispersion se limite aux feuilles voisines et aux feuilles se trouvant au dessous ou au dessus de la feuille contaminée. Ces spores vont infecter les autres feuilles et provoquer des infections secondaires ; la maladie va continuer à se propager de la sorte jusqu'en juin. Les feuilles sénescentes contaminées peuvent être, selon les années, une autre source de contamination pour les feuilles supérieures. Enfin, après la récolte, les pailles sont exportées, mais il peut rester dans la parcelle des résidus infectés, sur lesquels a lieu la reproduction sexuée et la production d'ascospores. Les débris du précédent blé représentent ainsi une source importante d'inoculum pour la campagne actuelle. Les conditions climatiques, notamment la pluie, le vent et les températures influencent très fortement le développement et la propagation de la septoriose. 2016 présente pour l'instant toutes les caractéristiques pour une année à risque pour la septoriose car l'hiver a été très doux et le printemps très pluvieux. Si une période de sécheresse a lieu après ces épisodes pluvieux, il est possible que la maladie ne se développe pas. Les leviers sur lesquels on s'appuie le plus aujourd'hui pour la lutte contre la septoriose sont les traitements fongicides et la lutte variétale. Suivent la date de semis, la fertilisation azotée et la gestion des sources d'inoculum par le labour si le précédent est un blé et s'il y a présence de débris.

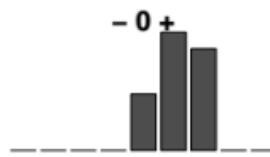
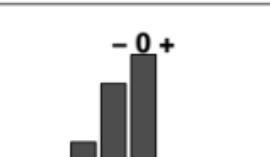
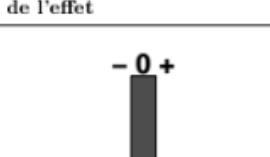
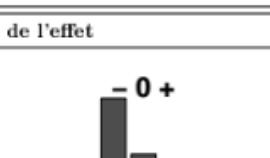
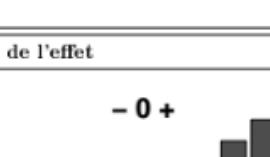
2 Mesure pertinente d'abondance

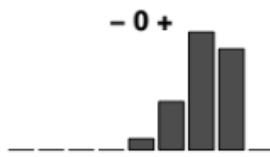
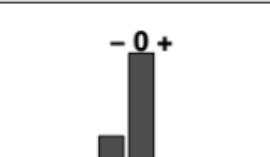
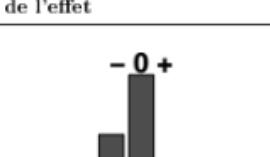
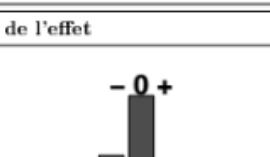
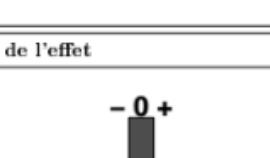
On peut quantifier l'abondance de la maladie en quantifiant les symptômes de cultures ou en quantifiant la maladie entre les épidémies (sur les débris). La quantité d'inoculum dépend des pratiques et du paysage, mais pas le niveau d'attaque de la F3, qui est surtout influencé par les conditions climatiques. Les observations sur la F3 sont pertinentes mais seulement pour estimer le niveau de maladie au moment où elle est la plus nuisible. Dans l'ordre d'importance, les variables les plus significatives dans l'estimation de l'abondance sont : 1) Le nombre d'ascospores par gramme de débris et la quantité de débris par parcelles, dans le paysage. 2) Le nombre de lésions au stade 3-4 feuilles (idée de la précocité de l'épidémie et de l'inoculum présent en sortie hiver sur les plantes) 3) Le niveau d'attaque de la F3, phase où la maladie est le plus nuisible (CRITÈRE DE RÉPONSE). Les 3 variables sont corrélées, mais la corrélation est pas simple d'un point de vue quantitatif (il n'est pas facile d'estimer la quantité de maladie avec une seule d'entre elles).

3 Résultats du questionnaire

Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Fréquence de retour de la culture élevée ? Autres cultures ? blé dur (selon les régions)	[1.+] Un retour trop fréquent du blé (monoculture) augmente le risque de maladie.	
Précédent particulier : blé	[1.+] Le précédent blé augmente le risque d'avoir des résidus infectés en surface, qui sont source d'inoculum.	
Labour / enfouissement du précédent	[2.-] Le labour d'un précédent blé diminue le risque d'infection car il [2.1.-] enfouit les résidus qui peuvent être source d'inoculum. [1.+] Il peut cependant en ramener à la surface. Son effet est cependant plus probant sur les résidus que sur l'infection de la F3.	
Lutte variétale (efficacité de variétés résistantes)	[1.-] La culture de variétés moins sensibles à la septoriose défavorise cette maladie. La lutte variétale est le deuxième levier de lutte agronomique.	

Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Diversité dans la rotation en général (autre que retour de la culture)	[1.-] Une diversité d'espèces introduites dans la rotation peuvent très légèrement réduire le risque de septoriose.	
Fond de vallée (droite) par rapport à plateau (gauche)	[0] Pas d'effet, sauf dans certains cas (mais peu probable) où le fond de vallée favorise la maladie car il sera moins venté.	
Coteau (droite) par rapport à plateau (gauche)	[0] Pas d'effet sauf dans certains cas (mais peu probable) [1.-] où le coteau défavorise la maladie car il sera plus venté.	
Lutte phytosanitaire	[3.-] La lutte phytosanitaire est efficace ; il s'agit du premier levier de lutte agronomique.	
Fertilisation azotée	[1.1.-] La fertilisation azotée a un impact sur le critère retenu (présence sur la F3), et va augmenter légèrement le risque d'infection.	

Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Densité de semis élevée	[1.+] Une densité de semis importante favorise [1.1.+] la transmission de la maladie de plante à plante (effet splashing)	
Dates de semis précoces à gauche, tardives à droite	[2.+] Un semis précoce augmente le risque d'avoir de la maladie dans la parcelle. Le semis tardif va réduire le risque de maladie, mais va comporter aussi certains risques agronomiques.	
Traitement des semences	[999] La septoriose triciti n'est pas transmise par les semences, mais suppose que s'il existe un traitement, il aurait un effet légèrement négatif.	
Lutte biologique	[999] Pas de produits homologués, mais peut-être en cours de développement. S'ils sont appliqués sur la F3, leur effet peut être relativement efficace.	
Précipitations élevées	[2.+] La pluie et l'humidité sont des conditions essentielles pour le développement de la septoriose. [1.+] Les précipitations favorisent la [1.1.+] dispersion par splashing.	

Variable	Mécanismes/limites	Force de l'effet
Irrigation	[1.+] L'irrigation va favoriser la maladie mais pas autant que les précipitations.	
Déchaumages / travail du sol modéré	[1.-] Le déchaumage va très légèrement défavoriser la maladie car il permet d'enfouir une partie des résidus.	
Mélanges variétaux dans la parcelle (précoce, résistances...)	[0] Il existe des mélanges de variétés plus ou moins tolérantes, mais ne sont pas très efficaces pour contrer la maladie.	
Mélanges spécifiques dans la parcelle	[0] Il existe des associations, mais ne sont pas très efficaces pour contrer la maladie.	
Superficie de la parcelle	[0] Pas d'effet.	

Annexe 5 : Noms des colonnes des différents exports des données Vigicultures ® mis à disposition.

	Exports parcelles (site Vigicultures)	Exports parcelles (via administrateur : F. Coquelet)	Exports observations (format CETIOM)	Exports observations (format STANDARD)
Contenu	Code parcelle Réseaux Organisme Nom Parcelle Code Postal Code Insee Commune Latitude WGS84 Longitude WGS84 Latitude L93 Longitude L93 Culture Variété Date Création Date MAJ Date Semis Nature Zone Observation Campagne Modif Coord. GPS Email Fixe Mobile	Code parcelle Libellé parcelle Commune Code INSEE Longitude Latitude Nom du technicien Nom de la structure déclarant la parcelle Code type de sol Nom type de sol (Arvalis)	Code parcelle Réseau longitude latitude Raison sociale Nom Commune Code Insee Parcelle Culture Variété Traitement semences Date semis Type suivi Element observe Date d'observation Valeur Stade Commentaires Date Creation Date Modification Nature zone observation (zo) Longueur zo Largeur zo	Code parcelle Latitude Longitude Nom commune Code INSEE Nom parcelle Raison sociale Nom technicien (?) Code postal Culture Variété Date de semis Code observation Nom observation Valeur Date observation Stade Année Semaine Date création

Annexe 6 : Les variables en bleu concernent uniquement le colza et les variables en vert concernent uniquement les exports pour le blé.

	Blé	Colza
Contenu	<p>Altitude Broyage des résidus de maïs Labour Précédent Type de broyage Type de sol Libelle stade Traitements Nature zone observation Réseaux</p>	<p>Position par rapport au vent Topographie Position des parcelles de même culture Culture à l'année n-1 Culture à l'année n-2 Culture à l'année n-3 Culture à l'année n-4 Culture à l'année n-5 Dernière année de retour du colza Type d'agriculture Type de suivi effectué Commentaire Date de création dans la base Conduite Longueur de la zone observée Largeur de la zone observée Date de l'intervention Type d'intervention Commentaire intervention Variété cultivée/semée Autre variété Dose de fertilisant/Nombre de graines par m² semées ? Ecartement des graines ! Produit utilisé pour le traitement des semences Nom du ravageur Produit n°1 utilisé pour la lutte contre le ravageur Localisation du traitement fait avec le produit 1 Dose par hectare du produit phytosanitaire n°1 Unité dans laquelle la dose du produit n°1 s'exprime Produit n°2 utilisé pour la lutte contre le ravageur Localisation du traitement fait avec le produit 2 Dose par hectare du produit phytosanitaire n°2 Unité dans laquelle la dose du produit n°2 s'exprime Fertilisant utilisé Quantité épandue Unité fertilisante P / ha Unité fertilisante K / ha Unité fertilisante N / ha Unité fertilisante S / ha</p>

Annexe 7 : Enregistrement d'une parcelle de blé tendre sous Vigicultures ® par un utilisateur. En bas à gauche, la localisation précise de la parcelle peut être renseignée en bougeant le curseur bleu sur la carte. Pour les parcelles de blé tendre d'hiver, la variété, la date de semis, le travail du sol et le précédent sont renseignés par l'observateur.

Vigicultures® Observations partagées en direct du terrain

Saisie d'une nouvelle parcelle

Suite à un changement de version de cette page et en fonction de votre navigateur, il se peut que vous soyez obligé de la recharger complètement en appuyant simultanément sur CTRL et F5 pour un fonctionnement correct. Cette opération n'est à effectuer qu'une fois.

Réseau* :	Réseau test	Culture* :	Blé tendre d'hiver
Nom de la parcelle* :	<input type="text"/>	Année de récolte* :	2017
Système de culture* :	Intensif	Variété* :	<input type="text"/>
Type de suivi* :	<input type="text"/>	Date de semis* :	<input type="text"/>
Surface de la parcelle (ha) :	<input type="text"/>	Densité de semis :	<input type="text"/>
Département* :	78 YVELINES	Labour :	<input type="text"/>
Commune* :	BULLION	Culture précédente :	<input type="text"/>
Code postal :	78830	Si autre, précisez :	<input type="text"/>
Code INSEE :	78120	Nature de la zone d'observation* :	<input type="text"/>
Coord GPS latitude :	48.6243403865707		
Coord GPS longitude :	1.98275985560134		
Altitude en mètres :	<input type="text"/>		

Plan Satellite

Google

Type de sol :

* : champs obligatoires pour la création d'une nouvelle parcelle.

Annexe 8 : Enregistrement d'une parcelle de colza sous Vigicultures ® par un utilisateur. En bas à gauche, la localisation précise de la parcelle peut être renseignée en bougeant le curseur bleu sur la carte. Pour les parcelles de colza, l'utilisateur renseigne la situation de la parcelle par rapport au vent (abritée/ventée), sa topographie (plaine/coteau/plateau), l'éloignement par rapport aux résidus de colza de l'année précédente, l'historique de la parcelle et le retour du colza dans la parcelle.

Vigicultures® Observations partagées en direct du terrain

Saisie d'une nouvelle parcelle

Suite à un changement de version de cette page et en fonction de votre navigateur, il se peut que vous soyez obligé de la recharger complètement en appuyant simultanément sur CTRL et F5 pour un fonctionnement correct. Cette opération n'est à effectuer qu'une fois.

Réseau* : Réseau test

Nom de la parcelle* :

Système de culture* : Intensif

Type de suivi* :

Surface de la parcelle (ha) :

Département* : 78 YVELINES

Commune* : BULLION

Code postal : 78830

Code INSEE : 78120

Coord GPS latitude : 48.6243403865707

Coord GPS longitude : 1.98275985560134

Altitude en mètres :

Culture* : Colza

Année de récolte* : 2017

La parcelle est :

Situation de la parcelle :

La même culture de l'année dernière est :

Historique parcelle n-1 :

Historique parcelle n-2 :

Historique parcelle n-3 :

Historique parcelle n-4 :

Historique parcelle n-5 :

Dernière année de la culture sur cette parcelle :

Nature de la zone d'observation* :

Plan | Satellite

Google

Type de sol :

* : champs obligatoires pour la création d'une nouvelle parcelle.

Annexe 9 : Information fournie selon le niveau de RPG. En vert, le RPG dégradé accessible au grand public sur le Géoportail.

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Données graphiques	X	X	X	X
Identifiant numérique et anonyme par îlot	X	X	X	X
Commune de localisation de l'îlot		X	X	X
Cultures de l'îlot regroupées selon une nomenclature de 28 groupes		X	X	X
Surface des regroupements obtenus		X	X	X
Surface de référence de l'îlot			X	X
Caractère irrigué ou non de l'îlot (jusque 2009)			X	X
Forme juridique de l'exploitation			X	X
Surface déclarée de l'exploitation			X	X
Département de rattachement administratif du dossier			X	X
Classe d'âge pour les exploitants individuels			X	X
Identifiant numérique non significatif de l'exploitation				X

Annexe 10 : Les 28 groupes de cultures existants dans le RPG 2012 ; en gras, les groupes de cultures sélectionnés pour les analyses (Géoportail)

1	BLE TENDRE
2	MAIS GRAIN ET ENSILAGE
3	ORGE
4	AUTRES CEREALES
5	COLZA
6	TOURNESOL
7	AUTRES OLEAGINEUX
8	PROTEAGINEUX
9	PLANTES A FIBRES
10	SEMENTES
11	GEL (SURFACES GELEES)
12	GEL INDUSTRIEL
13	AUTRES GELS
14	RIZ
15	LEGUMINEUSES A GRAINS
16	FOURRAGE
17	ESTIVES LANDES
18	PRAIRIES PERMANENTES
19	PRAIRIES TEMPORAIRES
20	VERGERS
21	VIGNES
22	FRUITS A COQUE
23	OLIVIERS
24	AUTRES CULTURES
25	LEGUMES-FLEURS
26	CANNE A SUCRE
27	ARBORICULTURE
28	DIVERS
	SANS PRODUCTION
	INDUSTRIELLES

Annexe 11 : Définition, sélection et regroupement pour chaque classe de la BD TOPO ®. Par couleur, les classes regroupées ensembles pour les analyses statistiques (BD TOPO ® 2.1 - Descriptif de contenu - IGN, 2011)

Nom de la classe	Définition	Regroupement
Zone arborée	<p>Espace peuplé d'arbres d'essence quelconque. Cette valeur d'attribut correspond à la classe « zone arborée » de la BD TOPO® version 1.2. Dans un premier temps, l'attribut nature de la classe ZONE_VEGETATION du produit BD TOPO® V2 ne sera remplie que par cette valeur ; au fur et à mesure de l'avancement de la production de la végétation en partenariat avec l'Inventaire Forestier National, cette valeur disparaîtra au profit des autres valeurs décrites ci-dessus (la valeur « zone arborée » sera exclusive de toutes les autres)</p>	Arbre Bois Bosquet Forêt Pépinière Verger Haie Rangée d'arbres
Forêt fermée de feuillus	<p>Espace peuplé d'arbres forestiers couvrant au moins 40% du sol, et composée de plus de 75% de feuillus (taux de couvert relatif).</p>	Forêt Pépinière Coupe à blanc Jeune plantation
Forêt fermée mixte	<p>Espace peuplé d'arbres forestiers couvrant au moins 40% du sol, et composée de plus de 25% et moins de 75% de feuillus (taux de couvert relatif).</p>	Forêt Pépinière Coupe à blanc
Forêt fermée de conifères	<p>Espace peuplé d'arbres forestiers couvrant au moins 40% du sol et composée essentiellement de conifères (soit un taux de couvert relatif de plus de 75%).</p>	Bois Forêt Pépinière Coupe à blanc Plantation de sapin de Noël
Forêt ouverte	<p>Espace peuplé d'arbres forestiers dont le couvert absolu est compris entre 10% et 40%.</p>	Arbres épars bosquets épars garrigues boisées maquis boisés
Bois	<p>Espace peuplé d'arbres forestiers couvrant au moins 40% du sol, Les jeunes plantations forestières, le reboisement naturel et les coupes à blanc sont saisis en Bois.</p> <p>Toutes les zones arborées de superficie entre 500et 5000 m², dont le couvert absolu est supérieur à 40%, et avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 mètres (ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils in situ), sont incluses.</p>	Bois Pépinière Coupe à blanc Jeune plantation Bosquet (> 500m ²)
Haie	<p>Clôture naturelle composée d'arbres, d'arbustes, d'épines ou de branchages et servant à limiter ou à protéger un champ. Alignement d'arbres ou plantation d'arbres fruitiers dont la largeur est inférieure à 25 m.</p>	Haie Rangée d'arbres

	Espace minimum entre deux haies parallèles >= 50 m Longueur >= 100 m.	
Peupleraie	Zone de peupleraie. Ne sont traités en Peupleraie que les peupliers cultivés ou les rejets de peupliers cultivés. Le couvert en arbres forestiers doit être supérieur à 10% et le couvert relatif de peupliers cultivés supérieur à 75%	
Verger	Zone de plantation d'arbres hors peuplement forestier. Les plantations de chênes truffiers et les châtaigneraies (arbres non alignés) sont saisies en Forêt. Les pépinières d'arbres d'essences forestières sont saisies en Forêt fermée. Des vergers d'une superficie inférieure à 5000m ² à intérêt paysager peuvent être retenus et regroupés, sans recherche spécifique, et donc sans exhaustivité. Les vergers abandonnés : arbres fruitiers parsemés envahis par une végétation spontanée ligneuse, arbustive ou encore par des arbres, seront codés en Lande ou en Forêt ouverte suivant les cas.	Pépinière non forestière Verger à fruits y compris vergers bas Houblonnière Roseraie Oliveraie Châtaigneraie à fruits Noyerai à fruits
Lande ligneuse	Végétation spontanée qui comprend une proportion importante de plantes ligneuses (bruyères, genêts, ajoncs, épineux divers, etc.) et semi ligneuses (fougères, phragmites...) dont la hauteur ne dépasse pas 5 mètres. Une zone de lande comportant quelques arbres dispersés (couverture du sol supérieure à 10%) est traitée en Forêt ouverte. En montagne, les aulnes ou arcosses se développant dans les zones avalancheuses, sont traités en Lande ligneuse. Les jachères agricoles sont exclues. Certains petits arbres (genévrier, buis, aubépines) en situation de peuplement ouvert sont traités en Lande ligneuse.	Broussailles Maquis Garrigue
Vigne	zone de vignes	
Bananeraie	plantation de bananiers	
Mangrove	zone de mangrove	
Canne à sucre	plantation de canne à sucre	

Annexe 12 : Matrices de corrélation (A) Rouille jaune (B) Septoriose (C) Phoma et (D) Sclerotinia. Les cases rouges représentent les corrélations de plus de 0.6 entre les facteurs paysagers étudiés (voir la codification page 10).

(A)

	r.same 200	r.same 1000	r.same 5000	r.same 10000	r.prec2 00	r.prec1 000	r.prec5 000	r.prec1 0000	r.bois2 0	r.boistr aites20 0	r.haie 200	r.lande 200	r.bois1 000	r.boistr aites10 000	r.haie1 1000	r.lande 000	r.bois5 000	r.boist raites5 000	r.haie5 5000	r.lande 0000	r.bois1 000	r.boistr aites10 0000	r.haie1 10000	r.lande e200	r.prairi e1000	r.prairi e5000	r.prairi 0	
same200	1	0,497	0,2928	0,2567	-0,06	0,31	0,281	0,249	-0,266	-0,061	-0,12	0,005	-0,099	-0,048	-0,08	0,003	-0,05	-0,02	-0,033	-0,04	-0,02	-0,026	-0,03	-0,047	-0,32	-0,23	-0,17	-0,16
same1000	0,497	1	0,7312	0,667	0,296	0,673	0,71	0,653	-0,27	-0,075	-0,17	0,014	-0,411	-0,092	-0,22	-0,05	-0,32	-0,06	-0,173	-0,1	-0,27	-0,045	-0,16	-0,107	-0,372	-0,48	-0,43	-0,41
same5000	0,293	0,731	1	0,9453	0,297	0,704	0,966	0,923	-0,191	-0,083	-0,19	-0,011	-0,351	-0,094	-0,25	-0,06	-0,52	-0,1	-0,254	-0,15	-0,5	-0,079	-0,24	-0,172	-0,362	-0,51	-0,54	-0,52
same10000	0,257	0,667	0,9453	1	0,28	0,651	0,923	0,978	-0,166	-0,082	-0,19	5E-04	-0,297	-0,084	-0,25	-0,07	-0,47	-0,08	-0,262	-0,14	-0,54	-0,071	-0,25	-0,175	-0,36	-0,51	-0,56	-0,55
prec200	-0,06	0,296	0,2967	0,2799	1	0,46	0,308	0,288	-0,177	-0,04	-0,13	0,003	-0,117	-0,049	-0,13	-0,03	-0,08	-0,06	-0,114	-0,08	-0,07	-0,063	-0,11	-0,079	-0,19	-0,16	-0,14	-0,14
prec1000	0,31	0,673	0,7038	0,6511	0,46	1	0,73	0,666	-0,249	-0,074	-0,16	0,006	-0,407	-0,089	-0,22	-0,06	-0,32	-0,07	-0,178	-0,11	-0,27	-0,06	-0,16	-0,119	-0,35	-0,46	-0,42	-0,4
prec5000	0,281	0,71	0,9665	0,9233	0,308	0,73	1	0,944	-0,2	-0,083	-0,19	-0,012	-0,354	-0,093	-0,25	-0,06	-0,52	-0,09	-0,253	-0,15	-0,5	-0,071	-0,23	-0,17	-0,366	-0,51	-0,55	-0,52
prec10000	0,249	0,653	0,9228	0,9783	0,288	0,666	0,944	1	-0,169	-0,083	-0,18	2E-04	-0,297	-0,083	-0,25	-0,07	-0,46	-0,08	-0,262	-0,14	-0,54	-0,068	-0,25	-0,174	-0,363	-0,51	-0,57	-0,56
bois200	-0,27	-0,27	-0,191	-0,166	-0,18	-0,25	-0,2	-0,17	1	0,017	-0,01	-0,018	0,523	-0,008	-0,03	0,016	0,267	-0,03	-0,05	-0	0,191	-0,039	-0,05	-0,025	0,107	0,109	0,108	0,11
boisraites2C	-0,06	-0,08	-0,083	-0,082	-0,04	-0,07	-0,08	-0,08	0,017	1	0,118	-0,006	-0,002	0,679	0,16	0,046	-0,01	0,519	0,149	0,085	0,007	0,407	0,138	0,114	-0,007	-0,02	-0,02	-0,02
haie200	-0,12	-0,17	-0,187	-0,185	-0,13	-0,16	-0,19	-0,18	-0,011	0,118	1	0,028	-0,026	0,131	0,727	0,107	0,01	0,189	0,617	0,261	0,01	0,209	0,596	0,297	0,202	0,217	0,197	0,199
lande200	0,005	0,014	-0,011	0,0005	0,003	0,006	-0,01	2E-04	-0,018	-0,006	0,028	1	-0,025	-8E-04	0,067	0,212	-0,03	0,017	0,074	0,044	-0,03	0,018	0,068	0,029	-0,019	0,008	0,022	0,011
bois1000	-0,1	-0,41	-0,351	-0,297	-0,12	-0,41	-0,35	-0,3	0,523	-0,002	-0,03	-0,025	1	-0,027	-0,05	0,028	0,629	-0,09	-0,065	0,037	0,49	-0,103	-0,07	0,019	0,124	0,109	0,12	0,119
boisraites1C	-0,05	-0,09	-0,094	-0,084	-0,05	-0,09	-0,09	-0,08	-0,008	0,679	0,131	-8E-04	-0,027	1	0,198	0,045	-0,03	0,781	0,184	0,128	-0,02	0,64	0,172	0,152	-0,023	-0,04	-0,05	-0,05
haie1000	-0,08	-0,22	-0,253	-0,25	-0,13	-0,22	-0,25	-0,25	-0,032	0,16	0,727	0,067	-0,052	0,198	1	0,122	-0,01	0,261	0,89	0,262	-0,02	0,27	0,851	0,321	0,222	0,309	0,317	0,318
lande1000	0,003	-0,05	-0,061	-0,067	-0,03	-0,06	-0,06	-0,07	0,016	0,046	0,107	0,212	0,028	0,045	0,122	1	0,015	0,063	0,122	0,252	0,017	0,061	0,119	0,181	0,008	0,01	0,011	0,018
bois5000	-0,05	-0,32	-0,524	-0,467	-0,08	-0,32	-0,52	-0,46	0,267	-0,013	0,01	-0,026	0,629	-0,029	-0,01	0,015	1	-0,09	-0,076	0,115	0,88	-0,119	-0,09	0,128	0,111	0,128	0,097	0,09
boisraites5C	-0,02	-0,06	-0,097	-0,081	-0,06	-0,07	-0,09	-0,08	-0,033	0,519	0,189	0,017	-0,086	0,781	0,261	0,063	-0,09	1	0,284	0,169	-0,08	0,895	0,272	0,211	-0,054	-0,08	-0,09	-0,1
haie5000	-0,03	-0,17	-0,254	-0,262	-0,11	-0,18	-0,25	-0,26	-0,05	0,149	0,617	0,074	-0,065	0,184	0,89	0,122	-0,08	0,284	1	0,24	-0,07	0,296	0,977	0,311	0,186	0,29	0,363	0,373
lande5000	-0,04	-0,1	-0,152	-0,14	-0,08	-0,11	-0,15	-0,14	-9E-04	0,085	0,261	0,044	0,037	0,128	0,262	0,252	0,115	0,169	0,24	1	0,101	0,18	0,238	0,769	-0,029	-0,05	-0,05	-0,05
bois10000	-0,02	-0,27	-0,505	-0,541	-0,07	-0,27	-0,5	-0,54	0,191	0,007	0,01	-0,032	0,49	-0,023	-0,02	0,017	0,88	-0,08	-0,075	0,101	1	-0,12	-0,11	0,139	0,096	0,132	0,116	0,098
boisraites1C	-0,03	-0,04	-0,079	-0,071	-0,06	-0,06	-0,07	-0,07	-0,039	0,407	0,209	0,018	-0,103	0,64	0,27	0,061	-0,12	0,895	0,296	0,18	-0,12	1	0,303	0,241	-0,063	-0,1	-0,11	-0,12
haie10000	-0,03	-0,16	-0,237	-0,25	-0,11	-0,16	-0,23	-0,25	-0,053	0,138	0,596	0,068	-0,07	0,172	0,851	0,119	-0,09	0,272	0,977	0,238	-0,11	0,303	1	0,306	0,181	0,278	0,357	0,379
lande10000	-0,05	-0,11	-0,172	-0,175	-0,08	-0,12	-0,17	-0,17	-0,025	0,114	0,297	0,029	0,019	0,152	0,321	0,181	0,128	0,211	0,311	0,769	0,139	0,241	0,306	1	-0,032	-0,06	-0,08	-0,08
prairie200	-0,32	-0,37	-0,362	-0,36	-0,19	-0,35	-0,37	-0,36	0,107	-0,007	0,202	-0,019	0,124	-0,023	0,222	0,008	0,111	-0,05	0,186	-0,03	0,096	-0,063	0,181	-0,032	1	0,72	0,612	0,59
prairie1000	-0,23	-0,48	-0,506	-0,511	-0,16	-0,46	-0,51	-0,51	0,109	-0,017	0,217	0,008	0,109	-0,045	0,309	0,01	0,128	-0,08	0,29	-0,05	0,132	-0,105	0,278	-0,062	0,72	1	0,889	0,855
prairie5000	-0,17	-0,43	-0,541	-0,563	-0,14	-0,42	-0,55	-0,57	0,108	-0,015	0,197	0,022	0,12	-0,046	0,317	0,011	0,097	-0,09	0,363	-0,05	0,116	-0,112	0,357	-0,079	0,612	0,889	1	0,978
prairie10000	-0,16	-0,41	-0,519	-0,554	-0,14	-0,4	-0,52	-0,56	0,11	-0,025	0,199	0,011	0,119	-0,054	0,318	0,018	0,09	-0,1	0,373	-0,05	0,098	-0,118	0,379	-0,084	0,59	0,855	0,978	1

(B)

	r.same 200	r.same 1000	r.same 5000	r.same 10000	r.prec2 00	r.prec1 000	r.prec5 000	r.prec1 000	r.bois2 0	r.boistr aites20	r.haie 200	r.lande 200	r.bois1 00	r.boistr aites10	r.haie1 000	r.lande 1000	r.bois5 000	r.boist raites5	r.haie5 000	r.lande 5000	r.boistr aites10	r.haie1 0000	r.lande 10000	r.prairi e200	r.prairi e1000	r.prairi e5000	r.prairi e1000	
same200	1 0,497	0,2928	0,2567	-0,06	0,31	0,281	0,249	-0,266	-0,061	-0,12	0,005	-0,099	-0,048	-0,08	0,003	-0,05	-0,02	-0,033	-0,04	-0,02	-0,026	-0,03	-0,047	-0,32	-0,23	-0,17	-0,16	
same1000	0,497	1 0,7312	0,667	0,296	0,673	0,71	0,653	-0,27	-0,075	-0,17	0,014	-0,411	-0,092	-0,22	-0,05	-0,32	-0,06	-0,173	-0,1	-0,27	-0,045	-0,16	-0,107	-0,372	-0,48	-0,43	-0,41	
same5000	0,293	0,731	1 0,9453	0,297	0,704	0,966	0,923	-0,191	-0,083	-0,19	-0,011	-0,351	-0,094	-0,25	-0,06	-0,52	-0,1	-0,254	-0,15	-0,5	-0,079	-0,24	-0,172	-0,362	-0,51	-0,54	-0,52	
same10000	0,257	0,667	0,9453	1	0,28	0,651	0,923	0,978	-0,166	-0,082	-0,19	5E-04	-0,297	-0,084	-0,25	-0,07	-0,47	-0,08	-0,262	-0,14	-0,54	-0,071	-0,25	-0,175	-0,36	-0,51	-0,56	-0,55
prec200	-0,06	0,296	0,2967	0,2799	1	0,46	0,308	0,288	-0,177	-0,04	-0,13	0,003	-0,117	-0,049	-0,13	-0,03	-0,08	-0,06	-0,114	-0,08	-0,07	-0,063	-0,11	-0,079	-0,19	-0,16	-0,14	-0,14
prec1000	0,31	0,673	0,7038	0,6511	0,46	1	0,73	0,666	-0,249	-0,074	-0,16	0,006	-0,407	-0,089	-0,22	-0,06	-0,32	-0,07	-0,178	-0,11	-0,27	-0,06	-0,16	-0,119	-0,35	-0,46	-0,42	-0,4
prec5000	0,281	0,71	0,9665	0,9233	0,308	0,73	1	0,944	-0,2	-0,083	-0,19	-0,012	-0,354	-0,093	-0,25	-0,06	-0,52	-0,09	-0,253	-0,15	-0,5	-0,071	-0,23	-0,17	-0,366	-0,51	-0,55	-0,52
prec10000	0,249	0,653	0,9228	0,9783	0,288	0,666	0,944	1	-0,169	-0,083	-0,18	2E-04	-0,297	-0,083	-0,25	-0,07	-0,46	-0,08	-0,262	-0,14	-0,54	-0,068	-0,25	-0,174	-0,363	-0,51	-0,57	-0,56
bois200	-0,27	-0,27	-0,191	-0,166	-0,18	-0,25	-0,2	-0,17	1	0,017	-0,01	-0,018	0,523	-0,008	-0,03	0,016	0,267	-0,03	-0,05	-0	0,191	-0,039	-0,05	-0,025	0,107	0,109	0,108	0,11
boistrates20	-0,06	-0,08	-0,083	-0,082	-0,04	-0,07	-0,08	-0,08	0,017	1	0,118	-0,006	-0,002	0,679	0,16	0,046	-0,01	0,519	0,149	0,085	0,007	0,407	0,138	0,114	-0,007	-0,02	-0,02	-0,02
haie200	-0,12	-0,17	-0,187	-0,185	-0,13	-0,16	-0,19	-0,18	-0,011	0,118	1	0,028	-0,026	0,131	0,727	0,107	0,01	0,189	0,617	0,261	0,01	0,209	0,596	0,297	0,202	0,217	0,197	0,199
lande200	0,005	0,014	-0,011	0,0005	0,003	0,006	-0,01	2E-04	-0,018	-0,006	0,028	1	-0,025	-8E-04	0,067	0,212	-0,03	0,017	0,074	0,044	-0,03	0,018	0,068	0,029	-0,019	0,008	0,022	0,011
bois1000	-0,1	-0,41	-0,351	-0,297	-0,12	-0,41	-0,35	-0,3	0,523	-0,002	-0,03	-0,025	1	-0,027	-0,05	0,028	0,629	-0,09	-0,065	0,037	0,49	-0,103	-0,07	0,019	0,124	0,109	0,12	0,119
boistrates100	-0,05	-0,09	-0,094	-0,084	-0,05	-0,09	-0,09	-0,08	-0,008	0,679	0,131	-8E-04	-0,027	1	0,198	0,045	-0,03	0,781	0,184	0,128	-0,02	0,64	0,172	0,152	-0,023	-0,04	-0,05	-0,05
haie1000	-0,08	-0,22	-0,253	-0,25	-0,13	-0,22	-0,25	-0,25	-0,032	0,16	0,727	0,067	-0,052	0,198	1	0,122	-0,01	0,261	0,89	0,262	-0,02	0,27	0,851	0,321	0,222	0,309	0,317	0,318
lande1000	0,003	-0,05	-0,061	-0,067	-0,03	-0,06	-0,06	-0,07	0,016	0,046	0,107	0,212	0,028	0,045	0,122	1	0,015	0,063	0,122	0,252	0,017	0,061	0,119	0,181	0,008	0,01	0,011	0,018
bois5000	-0,05	-0,32	-0,524	-0,467	-0,08	-0,32	-0,52	-0,46	0,267	-0,013	0,01	-0,026	0,629	-0,029	-0,01	0,015	1	-0,09	-0,076	0,115	0,88	-0,119	-0,09	0,128	0,111	0,128	0,097	0,09
boistrates500	-0,02	-0,06	-0,097	-0,081	-0,06	-0,07	-0,09	-0,08	-0,033	0,519	0,189	0,017	-0,086	0,781	0,261	0,063	-0,09	1	0,284	0,169	-0,08	0,895	0,272	0,211	-0,054	-0,08	-0,09	-0,1
haie5000	-0,03	-0,17	-0,254	-0,262	-0,11	-0,18	-0,25	-0,26	-0,05	0,149	0,617	0,074	-0,065	0,184	0,89	0,122	-0,08	0,284	1	0,24	-0,07	0,296	0,977	0,311	0,186	0,29	0,363	0,373
lande5000	-0,04	-0,1	-0,152	-0,14	-0,08	-0,11	-0,15	-0,14	-9E-04	0,085	0,261	0,044	0,037	0,128	0,262	0,252	0,115	0,169	0,24	1	0,101	0,18	0,238	0,769	-0,029	-0,05	-0,05	-0,05
bois10000	-0,02	-0,27	-0,505	-0,541	-0,07	-0,27	-0,5	-0,54	0,191	0,007	0,01	-0,032	0,49	-0,023	-0,02	0,017	0,88	-0,08	-0,075	0,101	1	-0,12	-0,11	0,139	0,096	0,132	0,116	0,098
boistrates1000	-0,03	-0,04	-0,079	-0,071	-0,06	-0,06	-0,07	-0,07	-0,039	0,407	0,209	0,018	-0,103	0,64	0,27	0,061	-0,12	0,895	0,296	0,18	-0,12	1	0,303	0,241	-0,063	-0,1	-0,11	-0,12
haie10000	-0,03	-0,16	-0,237	-0,25	-0,11	-0,16	-0,23	-0,25	-0,053	0,138	0,596	0,068	-0,07	0,172	0,851	0,119	-0,09	0,272	0,977	0,238	-0,11	0,303	1	0,306	0,181	0,278	0,357	0,379
lande10000	-0,05	-0,11	-0,172	-0,175	-0,08	-0,12	-0,17	-0,17	-0,025	0,114	0,297	0,029	0,019	0,152	0,321	0,181	0,128	0,211	0,311	0,769	0,139	0,241	0,306	1	-0,032	-0,06	-0,08	-0,08
prairie200	-0,32	-0,37	-0,362	-0,36	-0,19	-0,35	-0,37	-0,36	0,107	-0,007	0,202	-0,019	0,124	-0,023	0,222	0,008	0,111	-0,05	0,186	-0,03	0,096	-0,063	0,181	-0,032	1	0,72	0,612	0,59
prairie1000	-0,23	-0,48	-0,506	-0,511	-0,16	-0,46	-0,51	-0,51	0,109	-0,017	0,217	0,008	0,109	-0,045	0,309	0,01	0,128	-0,08	0,29	-0,05	0,132	-0,105	0,278	-0,062	0,72	1	0,889	0,855
prairie5000	-0,17	-0,43	-0,541	-0,563	-0,14	-0,42	-0,55	-0,57	0,108	-0,015	0,197	0,022	0,12	-0,046	0,317	0,011	0,097	-0,09	0,363	-0,05	0,116	-0,112	0,357	-0,079	0,612	0,889	1	0,978
prairie10000	-0,16	-0,41	-0,519	-0,554	-0,14	-0,4	-0,52	-0,56	0,11	-0,025	0,199	0,011	0,119	-0,054	0,318	0,018	0,09	-0,1	0,373	-0,05	0,098	-0,118	0,379	-0,084	0,59	0,855	0,978	1

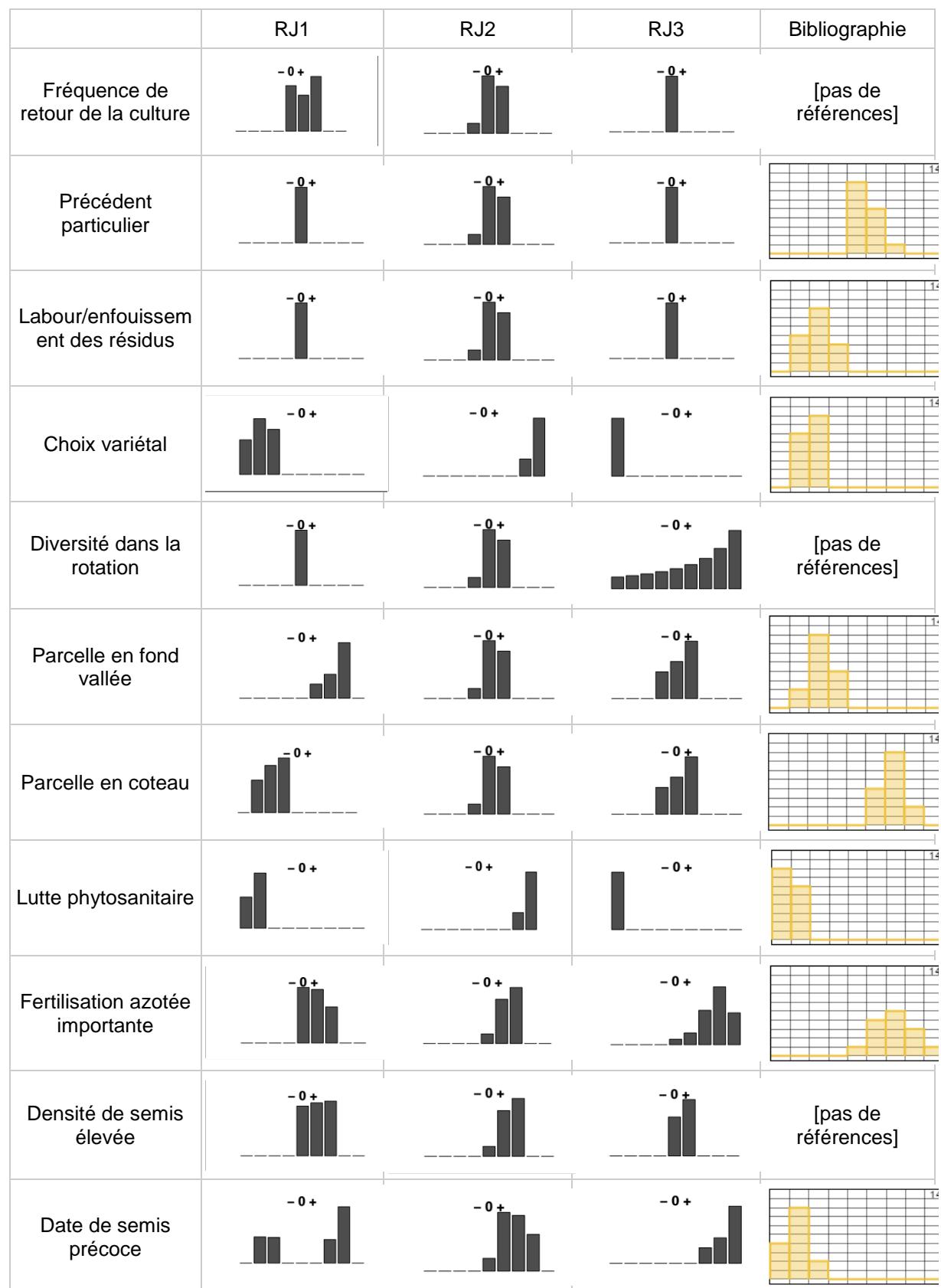
(C)

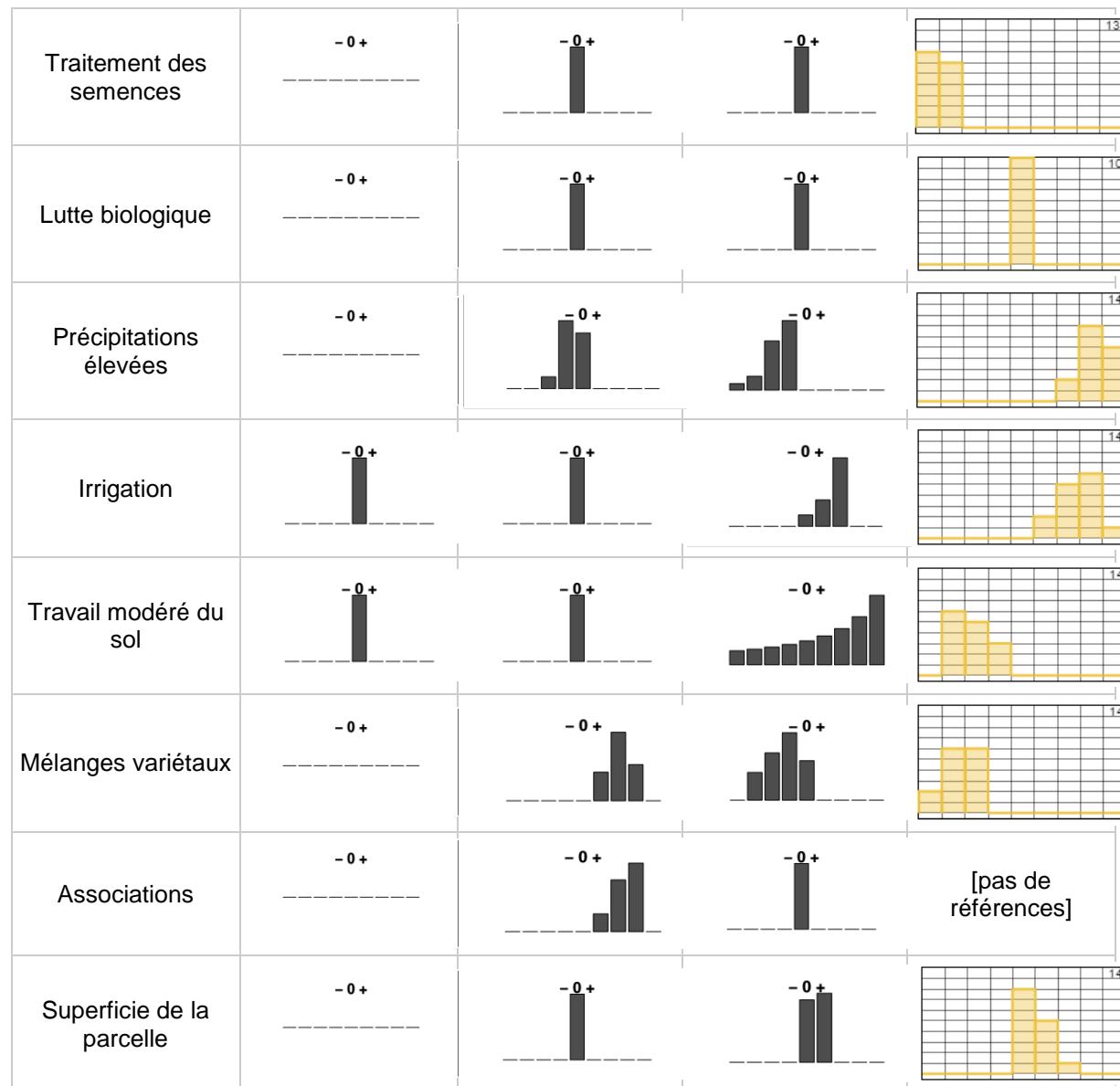
	r.same 200	r.same 1000	r.same 5000	r.same 10000	r.prec2 00	r.prec1 000	r.prec5 000	r.prec1 000	r.bois2 0	r.boistr aites20	r.haie 200	r.lande 200	r.bois1 000	r.boistr aites10	r.haie1 000	r.lande 1000	r.bois5 000	r.boist raites5	r.haie5 000	r.lande 5000	r.boistr aites10	r.haie1 0000	r.lande 10000	r.prairi e200	r.prairi e1000	r.prairi e5000	r.prairi e1000	
same200	1,000	0,469	0,222	0,207	-0,065	0,207	0,215	0,199	-0,186	-0,049	-0,120	0,003	0,004	-0,069	-0,092	0,005	0,080	-0,048	-0,057	-0,037	0,098	-0,064	-0,065	-0,065	-0,191	-0,030	0,023	0,024
same1000	0,469	1,000	0,690	0,634	0,196	0,529	0,650	0,609	-0,193	-0,075	-0,145	-0,039	-0,166	-0,097	-0,172	-0,069	0,006	-0,071	-0,142	-0,098	0,067	-0,067	-0,140	-0,135	-0,181	-0,188	-0,109	-0,105
same5000	0,222	0,690	1,000	0,945	0,250	0,636	0,936	0,910	-0,176	-0,057	-0,164	-0,056	-0,172	-0,071	-0,199	-0,118	-0,138	-0,059	-0,204	-0,131	-0,095	-0,033	-0,193	-0,174	-0,185	-0,256	-0,271	-0,260
same10000	0,207	0,634	0,945	1,000	0,232	0,589	0,910	0,963	-0,164	-0,056	-0,167	-0,058	-0,137	-0,075	-0,195	-0,126	-0,098	-0,051	-0,208	-0,138	-0,119	-0,029	-0,204	-0,186	-0,179	-0,256	-0,294	-0,290
prec200	-0,065	0,196	0,250	0,232	1,000	0,482	0,265	0,254	-0,135	-0,025	-0,067	-0,009	-0,086	-0,029	-0,050	-0,044	-0,005	-0,040	-0,019	-0,050	0,004	-0,036	-0,020	-0,052	-0,111	-0,043	-0,011	-0,005
prec1000	0,207	0,529	0,636	0,589	0,482	1,000	0,685	0,621	-0,174	-0,069	-0,136	-0,033	-0,187	-0,070	-0,167	-0,102	-0,016	-0,046	-0,136	-0,103	0,046	-0,037	-0,135	-0,133	-0,177	-0,183	-0,121	-0,115
prec5000	0,215	0,650	0,936	0,910	0,265	0,685	1,000	0,945	-0,175	-0,053	-0,165	-0,054	-0,149	-0,080	-0,204	-0,121	-0,109	-0,069	-0,210	-0,137	-0,062	-0,048	-0,202	-0,178	-0,178	-0,248	-0,263	-0,252
prec10000	0,199	0,609	0,910	0,963	0,254	0,621	0,945	1,000	-0,159	-0,057	-0,170	-0,058	-0,115	-0,080	-0,201	-0,126	-0,072	-0,056	-0,215	-0,139	-0,089	-0,036	-0,213	-0,186	-0,171	-0,251	-0,285	-0,283
bois200	-0,186	-0,193	-0,176	-0,164	-0,135	-0,174	-0,175	-0,159	1,000	-0,003	-0,021	0,002	0,560	-0,042	-0,067	0,012	0,300	-0,065	-0,070	-0,008	0,234	-0,072	-0,076	0,018	0,064	0,040	0,024	0,026
boistrates20	-0,049	-0,075	-0,057	-0,056	-0,025	-0,069	-0,053	-0,057	-0,003	1,000	0,159	0,003	-0,042	0,628	0,214	0,054	-0,065	0,471	0,204	0,056	-0,046	0,441	0,194	0,093	0,026	-0,026	-0,039	-0,039
haie200	-0,120	-0,145	-0,164	-0,167	-0,067	-0,136	-0,165	-0,170	-0,021	0,159	1,000	0,240	-0,048	0,285	0,750	0,229	-0,033	0,338	0,625	0,205	-0,021	0,340	0,601	0,293	0,157	0,162	0,170	0,169
lande200	0,003	-0,039	-0,056	-0,058	-0,009	-0,033	-0,054	-0,058	0,002	0,003	0,240	1,000	-0,007	0,080	0,188	0,231	0,004	0,227	0,146	0,199	0,031	0,193	0,117	0,226	-0,018	-0,026	-0,035	-0,037
bois1000	0,004	-0,166	-0,172	-0,137	-0,086	-0,187	-0,149	-0,115	0,560	-0,042	-0,048	-0,007	1,000	-0,075	-0,112	0,040	0,661	-0,123	-0,107	-0,013	0,526	-0,145	-0,119	0,021	0,091	0,057	0,045	0,051
boistrates10C	-0,069	-0,097	-0,071	-0,075	-0,029	-0,070	-0,080	-0,080	-0,042	0,628	0,285	0,080	-0,075	1,000	0,337	0,115	-0,108	0,766	0,311	0,104	-0,062	0,692	0,291	0,156	-0,024	-0,057	-0,069	-0,071
haie1000	-0,092	-0,172	-0,199	-0,195	-0,050	-0,167	-0,204	-0,201	-0,067	0,214	0,750	0,188	-0,112	0,337	1,000	0,244	-0,094	0,413	0,890	0,230	-0,076	0,419	0,856	0,309	0,183	0,274	0,306	0,300
lande1000	0,005	-0,069	-0,118	-0,126	-0,044	-0,102	-0,121	-0,126	0,012	0,054	0,229	0,231	0,040	0,115	0,244	1,000	0,085	0,160	0,221	0,439	0,108	0,170	0,207	0,400	-0,023	-0,028	-0,027	-0,030
bois5000	0,080	0,006	-0,138	-0,098	-0,005	-0,016	-0,109	-0,072	0,300	-0,065	-0,033	0,004	0,661	-0,108	-0,094	0,085	1,000	-0,146	-0,127	0,019	0,888	-0,175	-0,149	0,059	0,121	0,113	0,079	0,081
boistrates5C	-0,048	-0,071	-0,059	-0,051	-0,040	-0,046	-0,069	-0,056	-0,065	0,471	0,338	0,227	-0,123	0,766	0,413	0,160	-0,146	1,000	0,407	0,153	-0,104	0,921	0,371	0,235	-0,054	-0,097	-0,111	-0,115
haie5000	-0,057	-0,142	-0,204	-0,208	-0,019	-0,136	-0,210	-0,215	-0,070	0,204	0,625	0,146	-0,107	0,311	0,890	0,221	-0,127	0,407	1,000	0,216	-0,107	0,428	0,980	0,309	0,148	0,274	0,357	0,358
lande5000	-0,037	-0,098	-0,131	-0,138	-0,050	-0,103	-0,137	-0,139	-0,008	0,056	0,205	0,199	-0,013	0,104	0,230	0,439	0,019	0,153	0,216	1,000	0,051	0,157	0,210	0,875	0,004	-0,032	-0,050	-0,055
bois10000	0,098	0,067	-0,095	-0,119	0,004	0,046	-0,062	-0,089	0,234	-0,046	-0,021	0,031	0,526	-0,062	-0,076	0,108	0,888	-0,104	-0,107	0,051	1,000	-0,143	-0,143	0,112	0,113	0,133	0,119	0,100
boistrates10C	-0,064	-0,067	-0,033	-0,029	-0,036	-0,037	-0,048	-0,036	-0,072	0,441	0,340	0,193	-0,145	0,692	0,419	0,170	-0,175	0,921	0,428	0,157	-0,143	1,000	0,409	0,226	-0,067	-0,122	-0,139	-0,142
haie10000	-0,065	-0,140	-0,193	-0,204	-0,020	-0,135	-0,202	-0,213	-0,076	0,194	0,601	0,117	-0,119	0,291	0,856	0,207	-0,149	0,371	0,980	0,210	-0,143	0,409	1,000	0,284	0,148	0,269	0,354	0,363
lande10000	-0,065	-0,135	-0,174	-0,186	-0,052	-0,133	-0,178	-0,186	0,018	0,093	0,293	0,226	0,021	0,156	0,309	0,400	0,059	0,235	0,309	0,875	0,112	0,226	0,284	1,000	-0,015	-0,059	-0,081	-0,092
prairie200	-0,191	-0,181	-0,185	-0,179	-0,111	-0,177	-0,178	-0,171	0,064	0,026	0,157	-0,018	0,091	-0,024	0,183	-0,023	0,121	-0,054	0,148	0,004	0,113	-0,067	0,148	-0,015	1,000	0,679	0,528	0,504
prairie1000	-0,030	-0,188	-0,256	-0,256	-0,043	-0,183	-0,248	-0,251	0,040	-0,026	0,162	-0,026	0,057	-0,057	0,274	-0,028	0,113	-0,097	0,274	-0,032	0,133	-0,122	0,269	-0,059	0,679	1,000	0,859	0,820
prairie5000	0,023	-0,109	-0,271	-0,294	-0,011	-0,121	-0,263	-0,285	0,024	-0,039	0,170	-0,035	0,045	-0,069	0,306	-0,027	0,079	-0,111	0,357	-0,050	0,119	-0,139	0,354	-0,081	0,528	0,859	1,000	0,975
prairie10000	0,024	-0,105	-0,260	-0,290	-0,005	-0,115	-0,252	-0,283	0,026	-0,039	0,169	-0,037	0,051	-0,071	0,300	-0,030	0,081	-0,115	0,358	-0,055	0,100	-0,142	0,363	-0,092	0,504	0,820	0,975	1,000

(D)

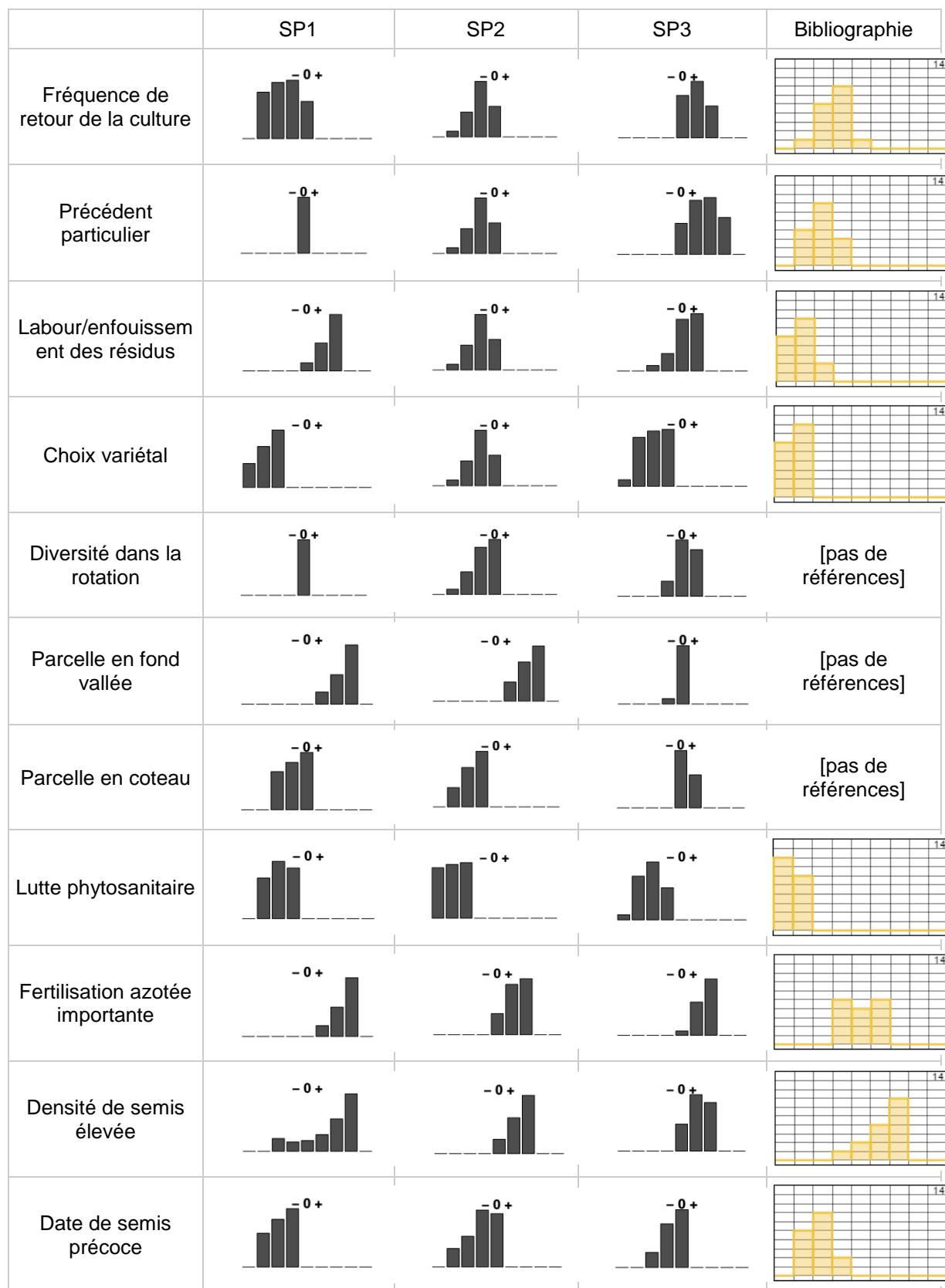
	r.same 200	r.same 1000	r.same 5000	r.same 10000	r.prec2 00	r.prec1 000	r.prec5 0000	r.prec1 00000	r.boistr aites20 0	r.haie 200	r.lande 200	r.bois1 000	r.boistr aites10 000	r.haie1 1000	r.lande 000	r.bois5 000	r.boist raites5 000	r.haie5 5000	r.lande 0000	r.boistr aites10 0000	r.haie1 0000	r.lande 10000	r.prairi e200	r.prairi e1000	r.prairi e5000	r.prairi 0		
same200	1	0,469	0,2223	0,2069	-0,07	0,207	0,215	0,199	-0,186	-0,049	-0,12	0,003	0,004	-0,069	-0,09	0,005	0,08	-0,05	-0,057	-0,04	0,098	-0,064	-0,07	-0,065	-0,191	-0,03	0,023	0,024
same1000	0,469	1	0,6896	0,634	0,196	0,529	0,65	0,609	-0,193	-0,075	-0,15	-0,039	-0,166	-0,097	-0,17	-0,07	0,006	-0,07	-0,142	-0,1	0,067	-0,067	-0,14	-0,135	-0,181	-0,19	-0,11	-0,1
same5000	0,222	0,69	1	0,945	0,25	0,636	0,936	0,91	-0,176	-0,057	-0,16	-0,056	-0,172	-0,071	-0,2	-0,12	-0,14	-0,06	-0,204	-0,13	-0,1	-0,033	-0,19	-0,174	-0,185	-0,26	-0,27	-0,26
same10000	0,207	0,634	0,945	1	0,232	0,589	0,91	0,963	-0,164	-0,056	-0,17	-0,058	-0,137	-0,075	-0,2	-0,13	-0,1	-0,05	-0,208	-0,14	-0,12	-0,029	-0,2	-0,186	-0,179	-0,26	-0,29	-0,29
prec200	-0,07	0,196	0,2498	0,2325	1	0,482	0,265	0,254	-0,135	-0,025	-0,07	-0,009	-0,086	-0,029	-0,05	-0,04	-0	-0,04	-0,019	-0,05	0,004	-0,036	-0,02	-0,052	-0,111	-0,04	-0,01	-0
prec1000	0,207	0,529	0,6358	0,5894	0,482	1	0,685	0,621	-0,174	-0,069	-0,14	-0,033	-0,187	-0,07	-0,17	-0,1	-0,02	-0,05	-0,136	-0,1	0,046	-0,037	-0,14	-0,133	-0,177	-0,18	-0,12	-0,11
prec5000	0,215	0,65	0,936	0,9104	0,265	0,685	1	0,945	-0,175	-0,053	-0,16	-0,054	-0,149	-0,08	-0,2	-0,12	-0,11	-0,07	-0,21	-0,14	-0,06	-0,048	-0,2	-0,178	-0,178	-0,25	-0,26	-0,25
prec10000	0,199	0,609	0,9102	0,9625	0,254	0,621	0,945	1	-0,159	-0,057	-0,17	-0,058	-0,115	-0,08	-0,2	-0,13	-0,07	-0,06	-0,215	-0,14	-0,09	-0,036	-0,21	-0,186	-0,171	-0,25	-0,29	-0,28
bois200	-0,19	-0,19	-0,176	-0,164	-0,14	-0,17	-0,18	-0,16	1	-0,003	-0,02	0,002	0,56	-0,042	-0,07	0,012	0,3	-0,07	-0,07	-0,01	0,234	-0,072	-0,08	0,018	0,064	0,04	0,024	0,026
boistraites20	-0,05	-0,08	-0,057	-0,056	-0,03	-0,07	-0,05	-0,06	-0,003	1	0,159	0,003	-0,042	0,628	0,214	0,054	-0,07	0,471	0,204	0,056	-0,05	0,441	0,194	0,093	0,026	-0,03	-0,04	-0,04
haie200	-0,12	-0,15	-0,164	-0,167	-0,07	-0,14	-0,16	-0,17	-0,021	0,159	1	0,24	-0,048	0,285	0,75	0,229	-0,03	0,338	0,625	0,205	-0,02	0,34	0,601	0,293	0,157	0,162	0,17	0,169
lande200	0,003	-0,04	-0,056	-0,058	-0,01	-0,03	-0,05	-0,06	0,002	0,003	0,24	1	-0,007	0,08	0,188	0,231	0,004	0,227	0,146	0,199	0,031	0,193	0,117	0,226	-0,018	-0,03	-0,04	
bois1000	0,004	-0,17	-0,172	-0,137	-0,09	-0,19	-0,15	-0,12	0,56	-0,042	-0,05	-0,007	1	-0,075	-0,11	0,04	0,661	-0,12	-0,107	-0,01	0,526	-0,145	-0,12	0,021	0,091	0,057	0,045	0,051
boistraites10	-0,07	-0,1	-0,071	-0,075	-0,03	-0,07	-0,08	-0,08	-0,042	0,628	0,285	0,08	-0,075	1	0,337	0,115	-0,11	0,766	0,311	0,104	-0,06	0,692	0,291	0,156	-0,024	-0,06	-0,07	-0,07
haie1000	-0,09	-0,17	-0,199	-0,195	-0,05	-0,17	-0,2	-0,2	-0,067	0,214	0,75	0,188	-0,112	0,337	1	0,244	-0,09	0,413	0,89	0,23	-0,08	0,419	0,856	0,309	0,183	0,274	0,306	0,3
lande1000	0,005	-0,07	-0,118	-0,126	-0,04	-0,1	-0,12	-0,13	0,012	0,054	0,229	0,231	0,04	0,115	0,244	1	0,085	0,16	0,221	0,439	0,108	0,17	0,207	0,4	-0,023	-0,03	-0,03	
bois5000	0,08	0,006	-0,138	-0,098	-0	-0,02	-0,11	-0,07	0,3	-0,065	-0,03	0,004	0,661	-0,108	-0,09	0,085	1	-0,15	-0,127	0,019	0,888	-0,175	-0,15	0,059	0,121	0,113	0,079	0,081
boistraites50	-0,05	-0,07	-0,059	-0,051	-0,04	-0,05	-0,07	-0,06	-0,065	0,471	0,338	0,227	-0,123	0,766	0,413	0,16	-0,15	1	0,407	0,153	-0,1	0,921	0,371	0,235	-0,054	-0,1	-0,11	-0,12
haie5000	-0,06	-0,14	-0,204	-0,208	-0,02	-0,14	-0,21	-0,21	-0,07	0,204	0,625	0,146	-0,107	0,311	0,89	0,221	-0,13	0,407	1	0,216	-0,11	0,428	0,98	0,309	0,148	0,274	0,357	0,358
lande5000	-0,04	-0,1	-0,131	-0,138	-0,05	-0,1	-0,14	-0,14	-0,008	0,056	0,205	0,199	-0,013	0,104	0,23	0,439	0,019	0,153	0,216	1	0,051	0,157	0,21	0,875	0,004	-0,03	-0,05	-0,06
bois10000	0,098	0,067	-0,095	-0,119	0,004	0,046	-0,06	-0,09	0,234	-0,046	-0,02	0,031	0,526	-0,062	-0,08	0,108	0,888	-0,1	-0,107	0,051	1	-0,143	-0,14	0,112	0,113	0,133	0,119	0,1
boistraites10	-0,06	-0,07	-0,033	-0,029	-0,04	-0,04	-0,05	-0,04	-0,072	0,441	0,34	0,193	-0,145	0,692	0,419	0,17	-0,17	0,921	0,428	0,157	-0,14	1	0,409	0,226	-0,067	-0,12	-0,14	-0,14
haie10000	-0,07	-0,14	-0,193	-0,204	-0,02	-0,14	-0,2	-0,21	-0,076	0,194	0,601	0,117	-0,119	0,291	0,856	0,207	-0,15	0,371	0,98	0,21	-0,14	0,409	1	0,284	0,148	0,269	0,354	0,363
lande10000	-0,07	-0,14	-0,174	-0,186	-0,05	-0,13	-0,18	-0,19	0,018	0,093	0,293	0,226	0,021	0,156	0,309	0,4	0,059	0,235	0,309	0,875	0,112	0,226	0,284	1	-0,015	-0,06	-0,08	-0,09
prairie200	-0,19	-0,18	-0,185	-0,179	-0,11	-0,18	-0,18	-0,17	0,064	0,026	0,157	-0,018	0,091	-0,024	0,183	-0,02	0,121	-0,05	0,148	0,004	0,113	-0,067	0,148	-0,015	1	0,679	0,528	0,504
prairie1000	-0,03	-0,19	-0,256	-0,256	-0,04	-0,18	-0,25	-0,25	0,04	-0,026	0,162	-0,026	0,057	-0,057	0,274	-0,03	0,113	-0,1	0,274	-0,03	0,133	-0,122	0,269	-0,059	0,679	1	0,859	0,82
prairie5000	0,023	-0,11	-0,271	-0,294	-0,01	-0,12	-0,26	-0,29	0,024	-0,039	0,17	-0,035	0,045	-0,069	0,306	-0,03	0,079	-0,11	0,357	-0,05	0,119	-0,139	0,354	-0,081	0,528	0,859	1	0,975
prairie10000	0,024	-0,1	-0,26	-0,29	-0	-0,11	-0,25	-0,28	0,026	-0,039	0,169	-0,037	0,051	-0,071	0,3	-0,03	0,081	-0,12	0,358	-0,06	0,1	-0,142	0,363	-0,092	0,504	0,82	0,975	1

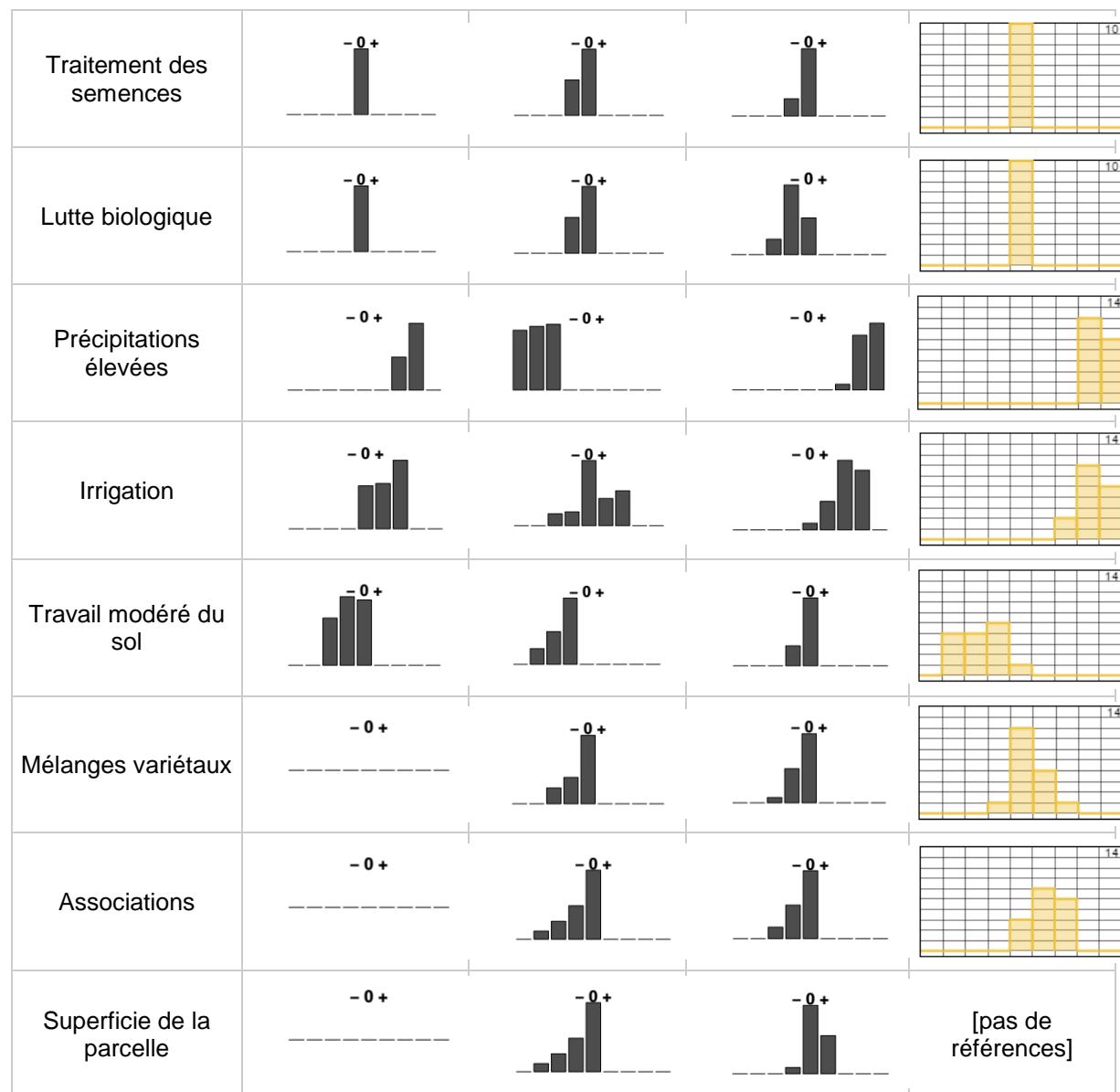
Annexe 13 : Description quantitative de l'effet de différents facteurs à l'échelle d'une parcelle agricole sur la rouille jaune du blé d'après trois experts et d'après la littérature.



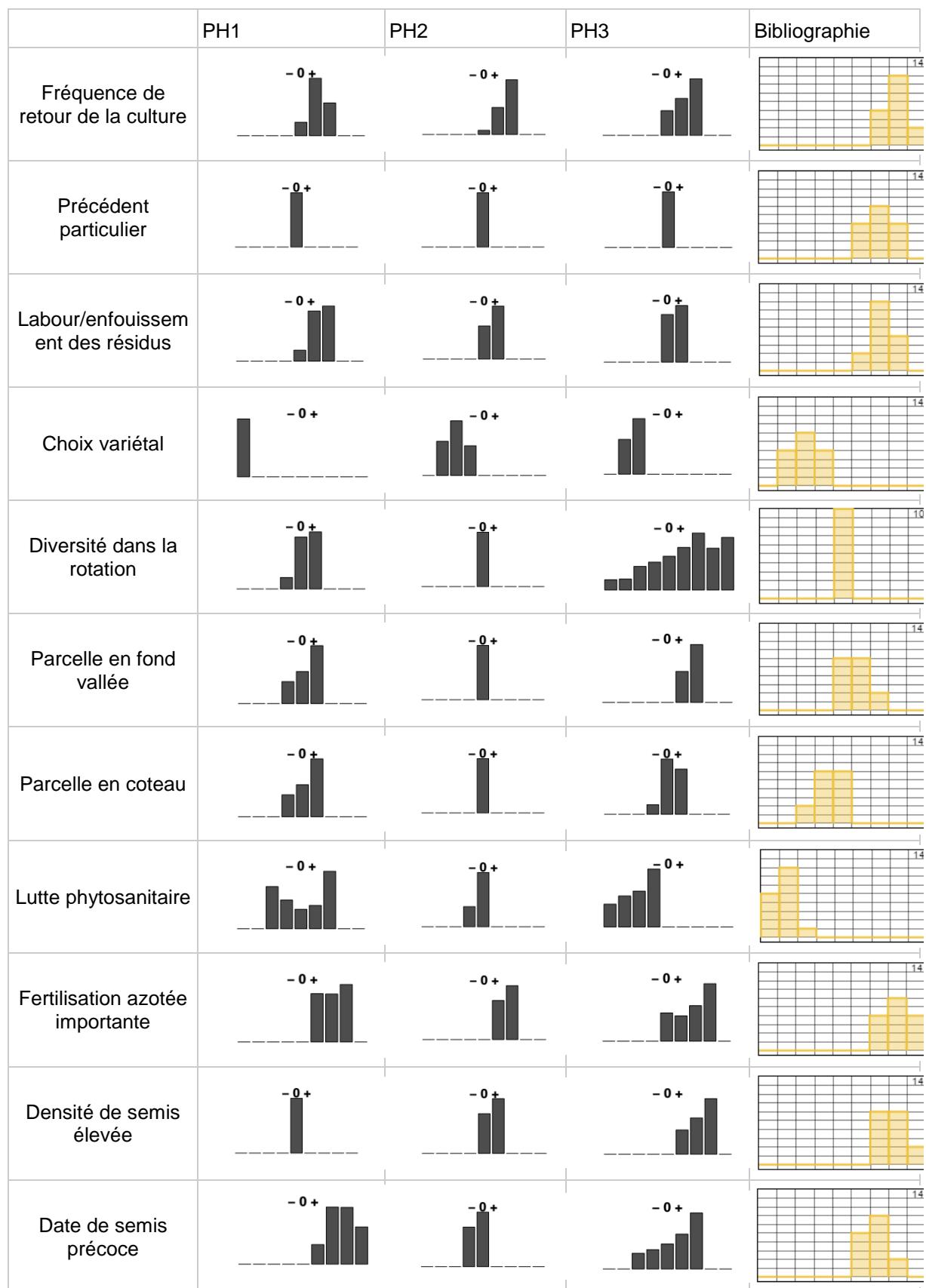


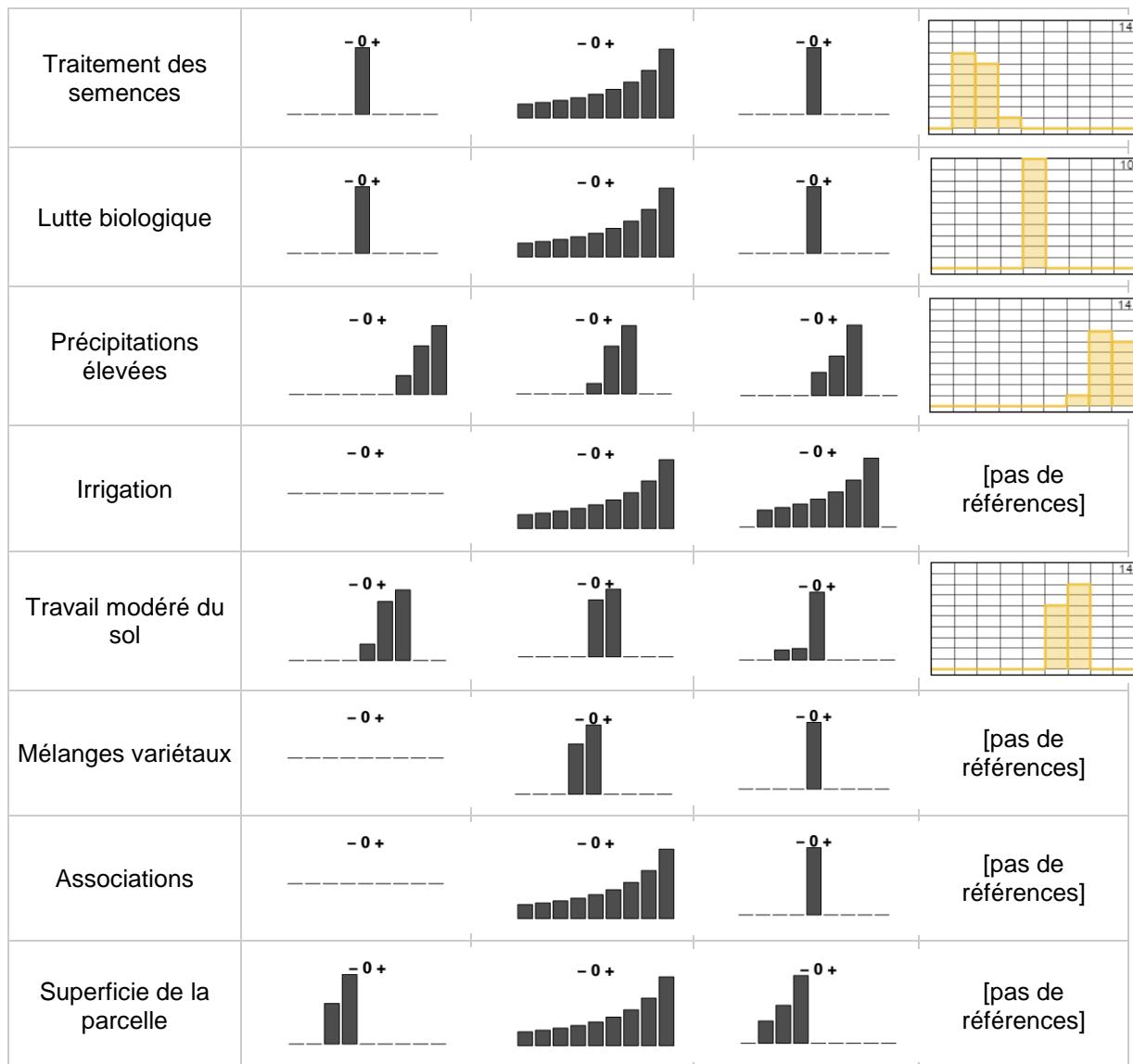
Annexe 14 : Description quantitative de l'effet de différents facteurs à l'échelle d'une parcelle agricole sur la septoriose du blé d'après trois experts et d'après la littérature.



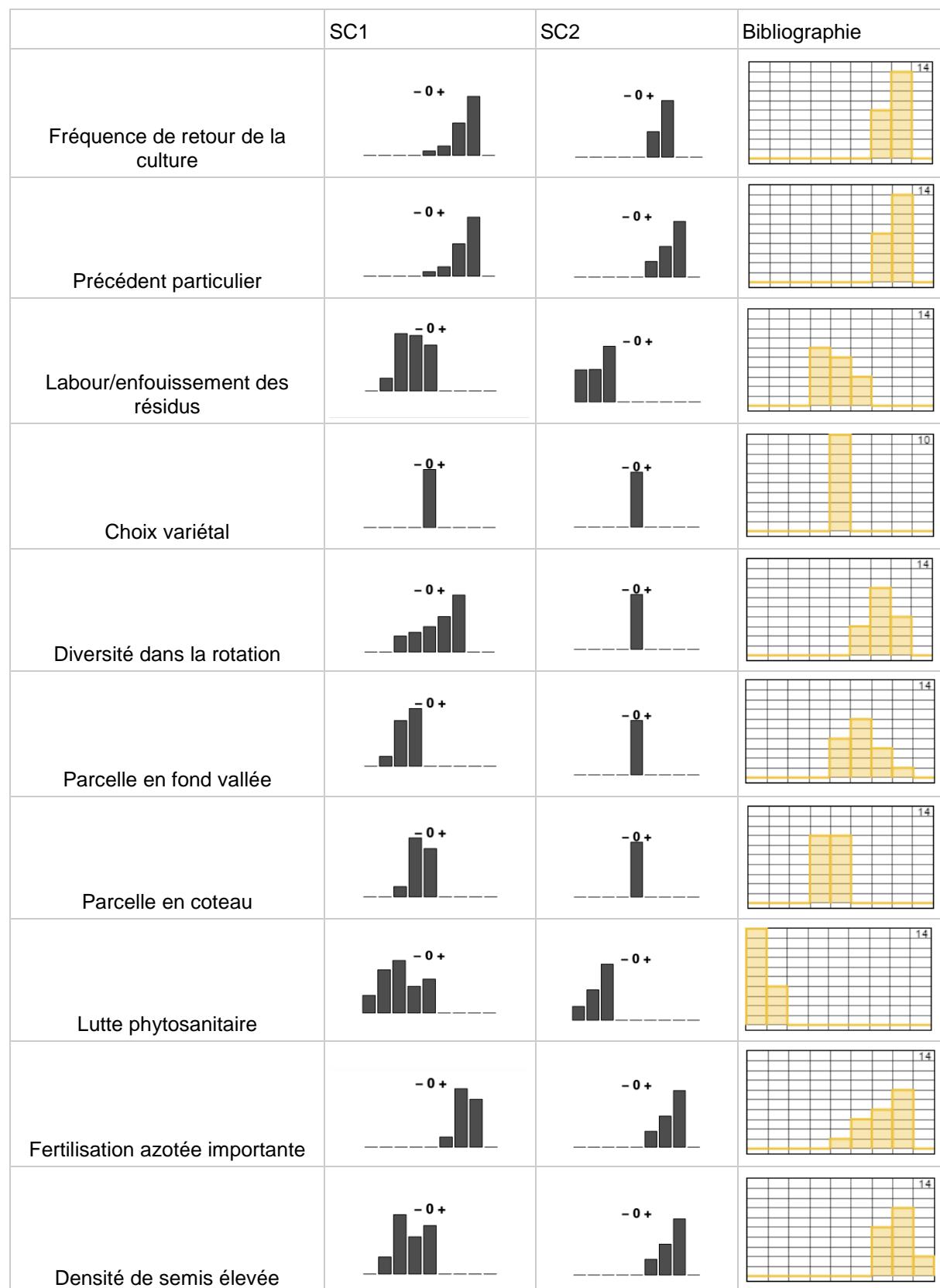


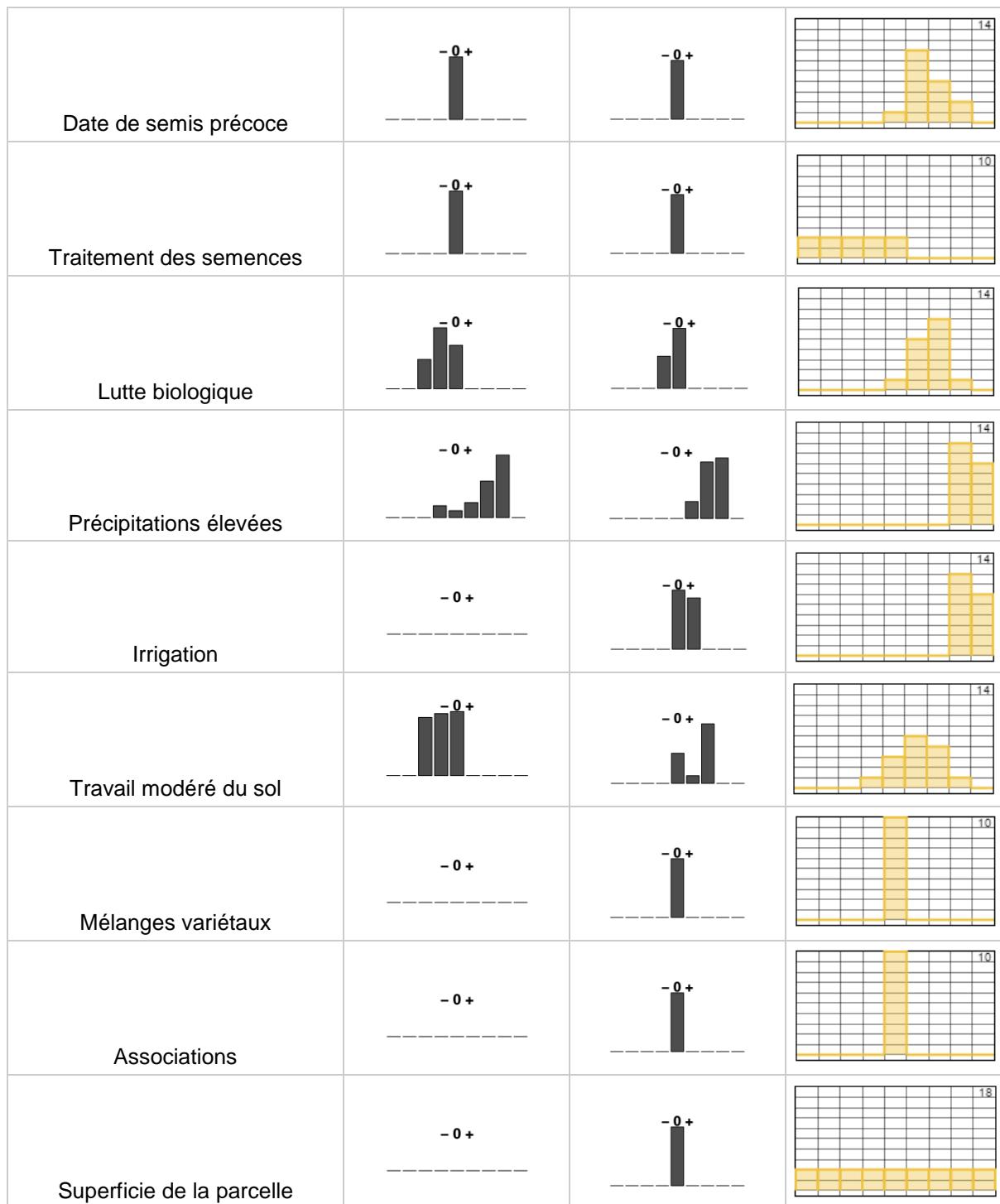
Annexe 15 : Description quantitative de l'effet de différents facteurs à l'échelle d'une parcelle agricole sur le phoma du colza d'après trois experts et d'après la littérature.



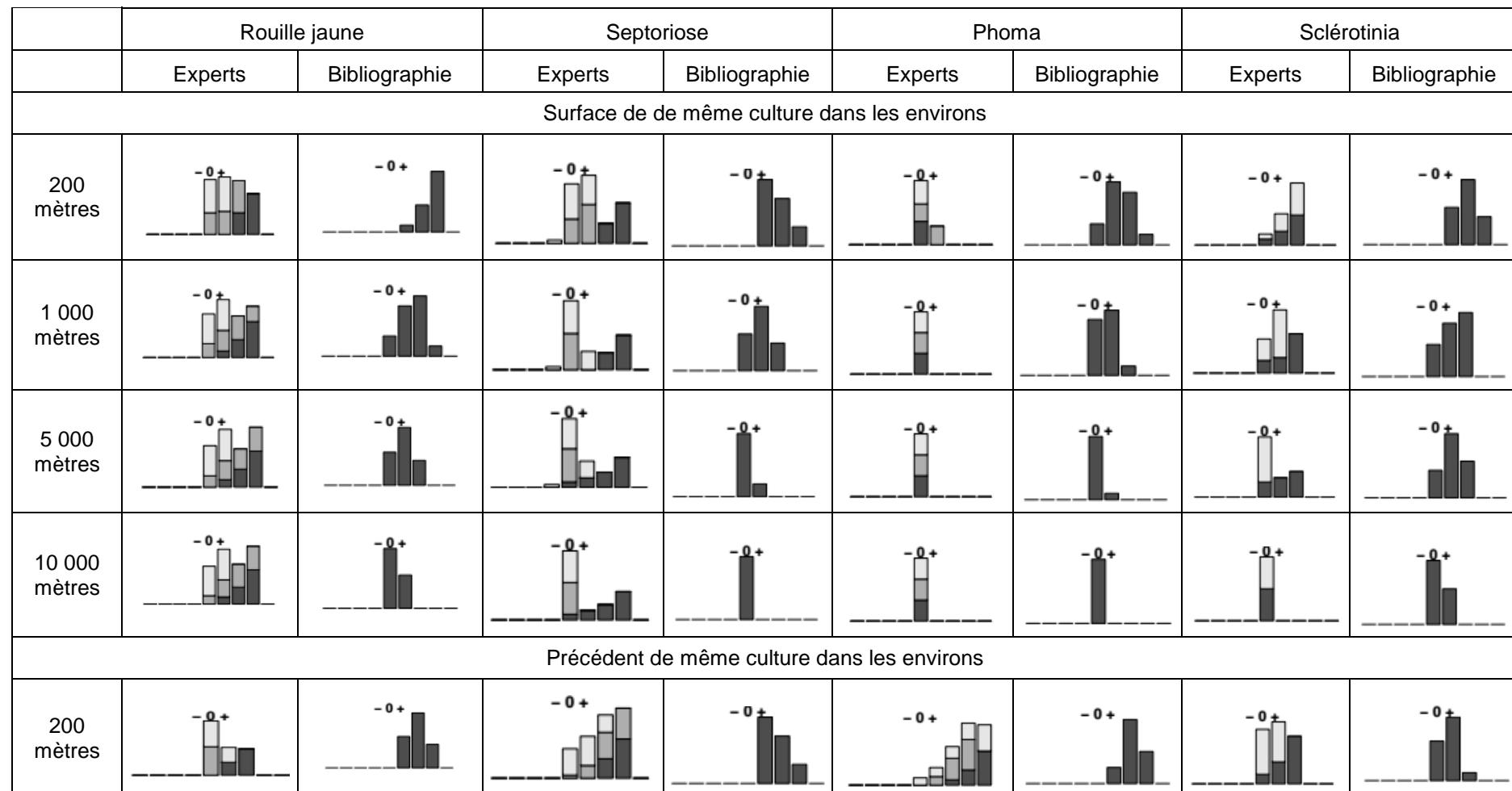


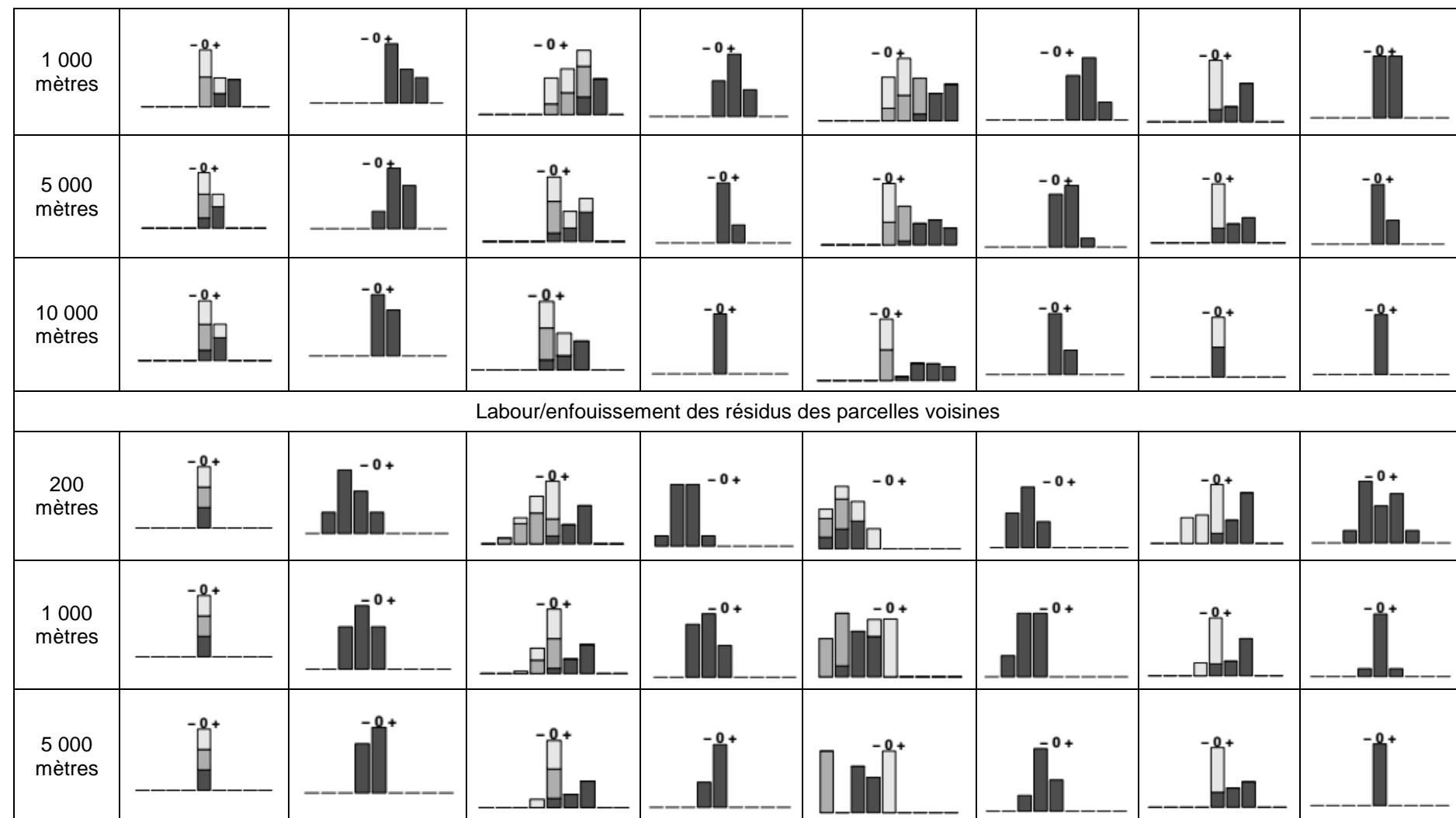
Annexe 16 : Description quantitative de l'effet de différents facteurs à l'échelle d'une parcelle agricole sur le sclérotrinia du colza d'après trois experts et d'après la littérature.

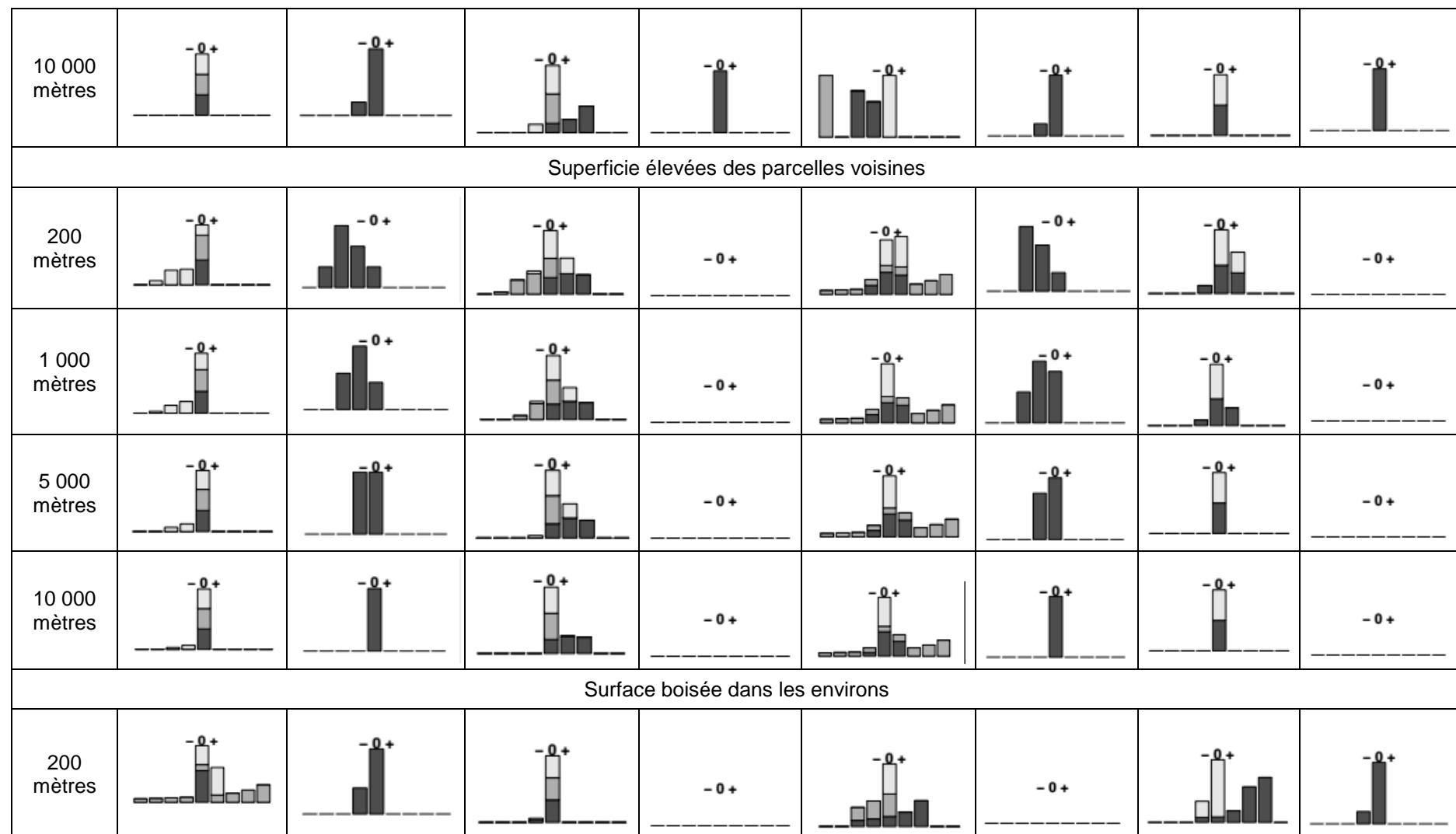


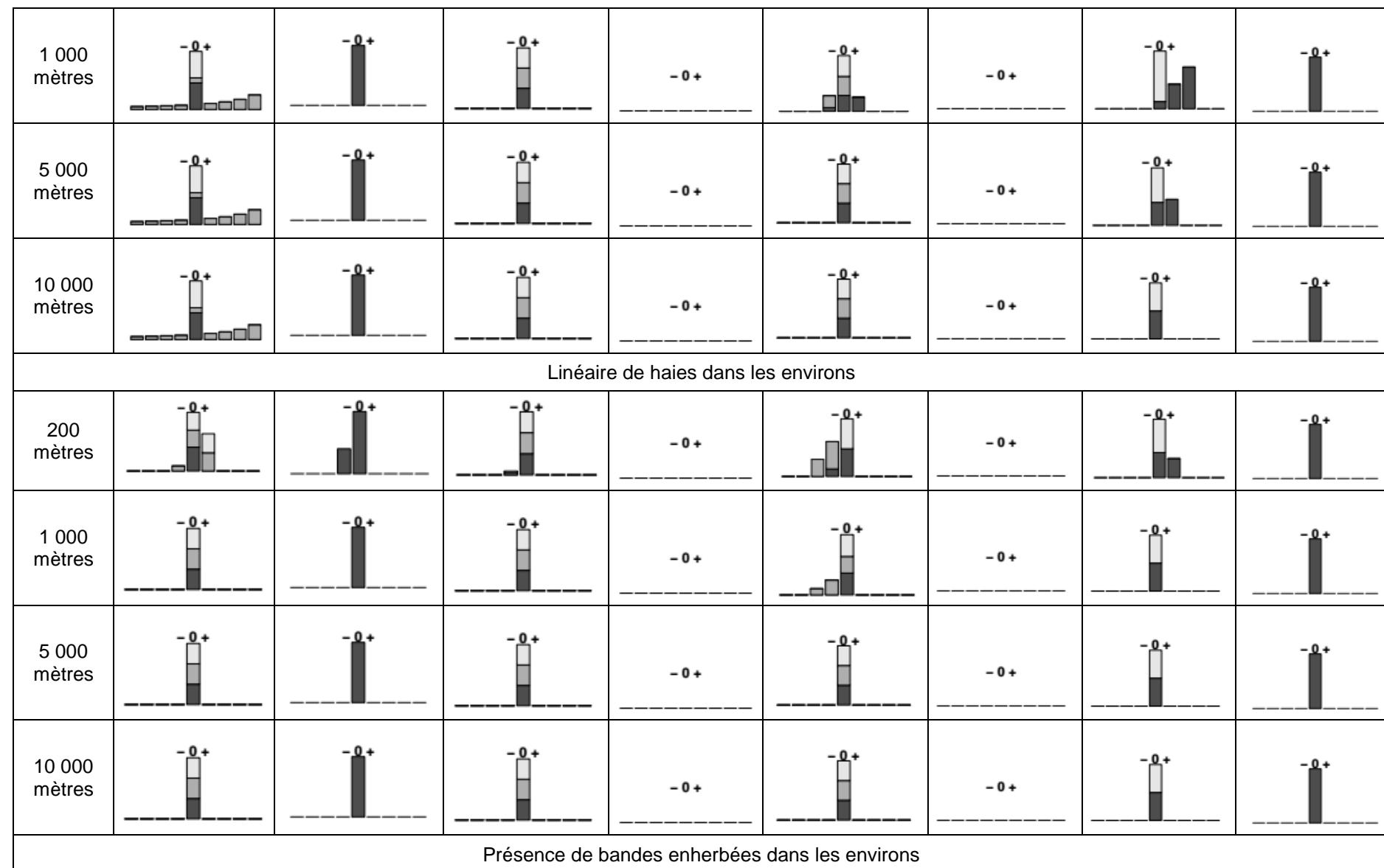


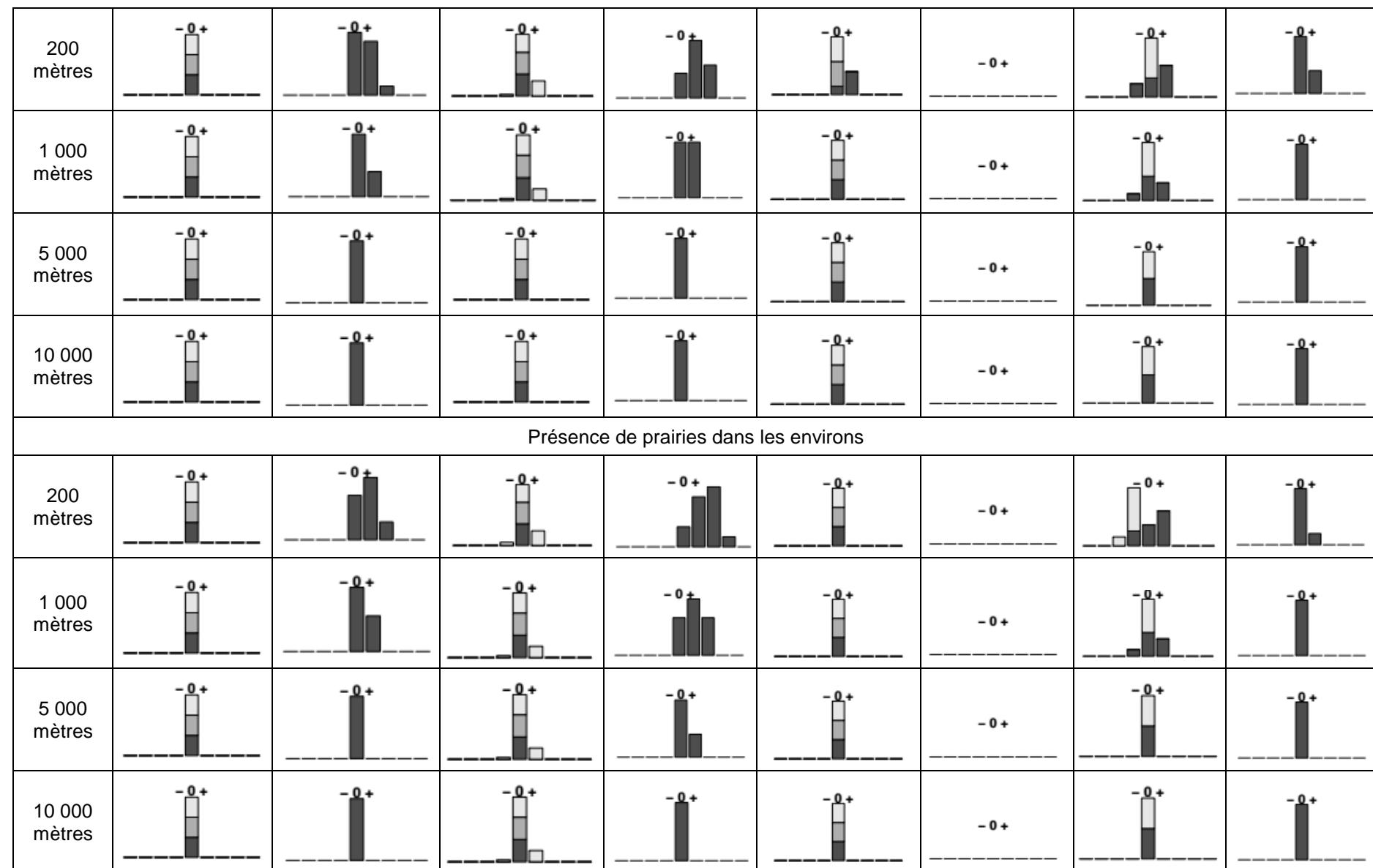
Annexe 17 : Description quantitative de l'effet de différents facteurs à différentes échelles paysagères sur quatre maladies de grandes cultures, d'après différents experts et d'après l'interprétation de la littérature. Dans les diagrammes des experts, chaque spécialiste est représenté par une couleur différente. Rouille jaune : Noir = RJ1, Gris = RJ2 et Blanc = RJ3. Septoriose : Noir = SP1, Gris = SP2 et Blanc = SP3. Phoma : Noir = PH1, Gris = PH2 et Blanc = PH3. Sclerotinia : Noir = SC1 et Blanc = SC2.

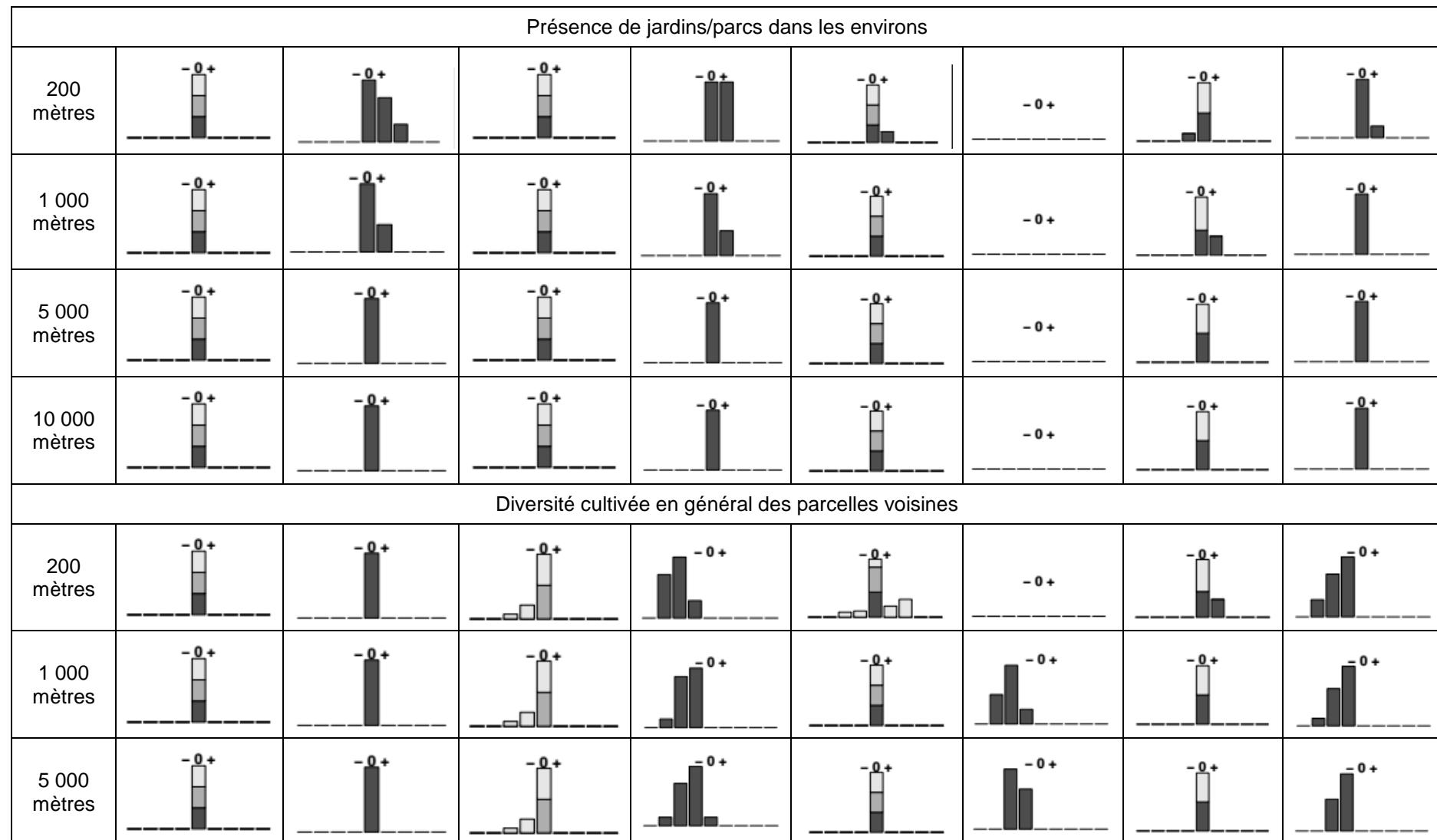


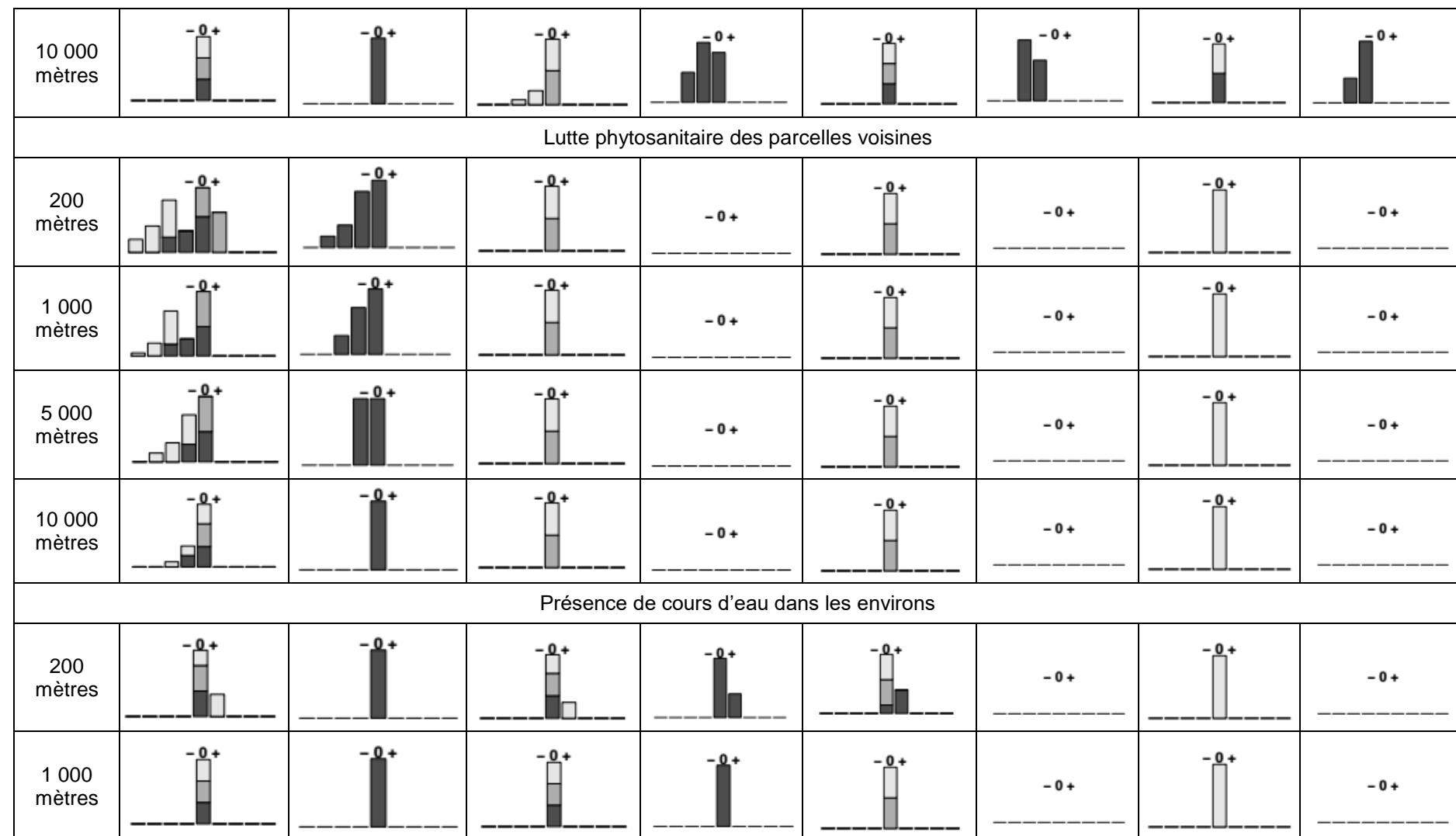


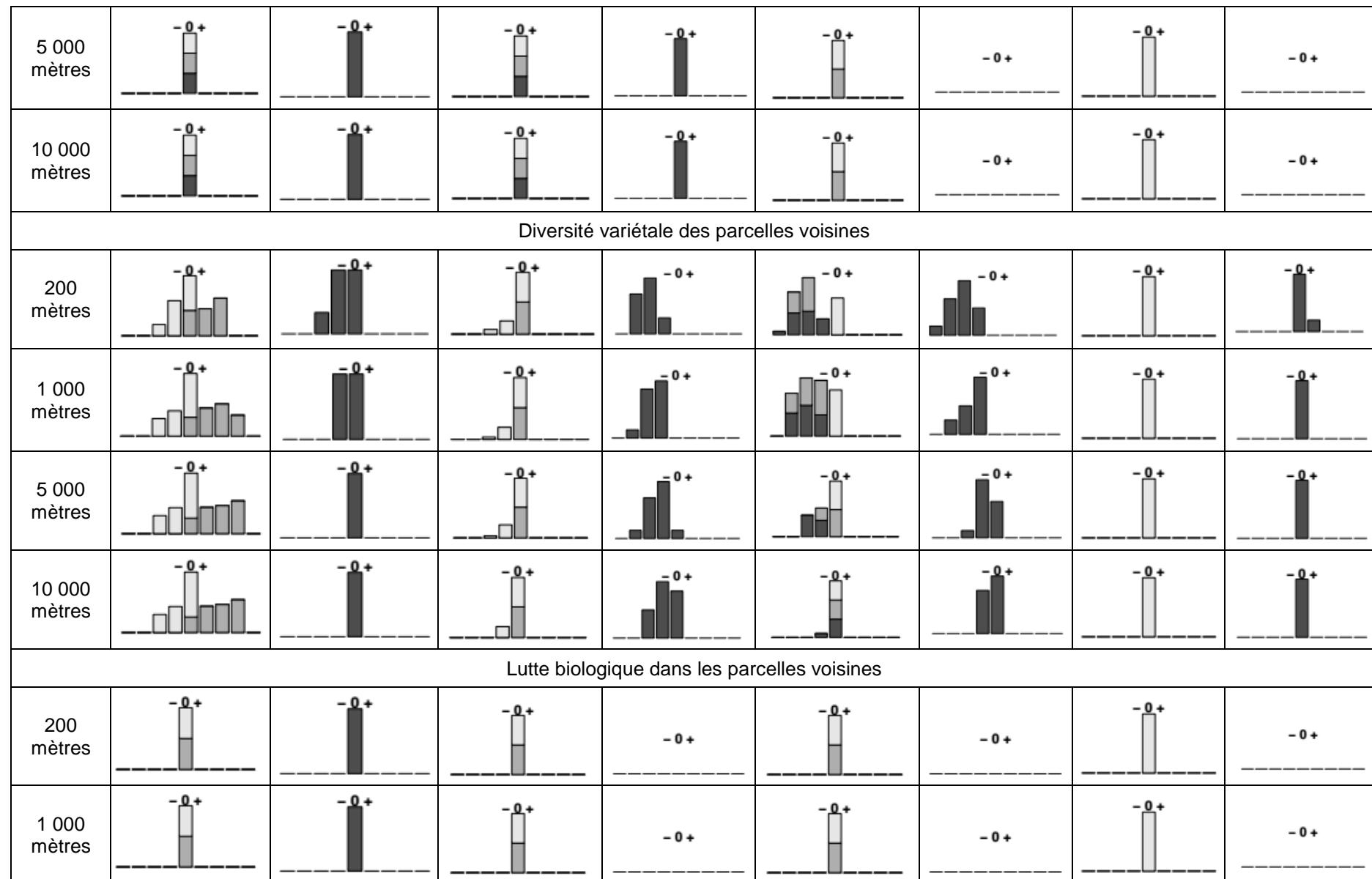


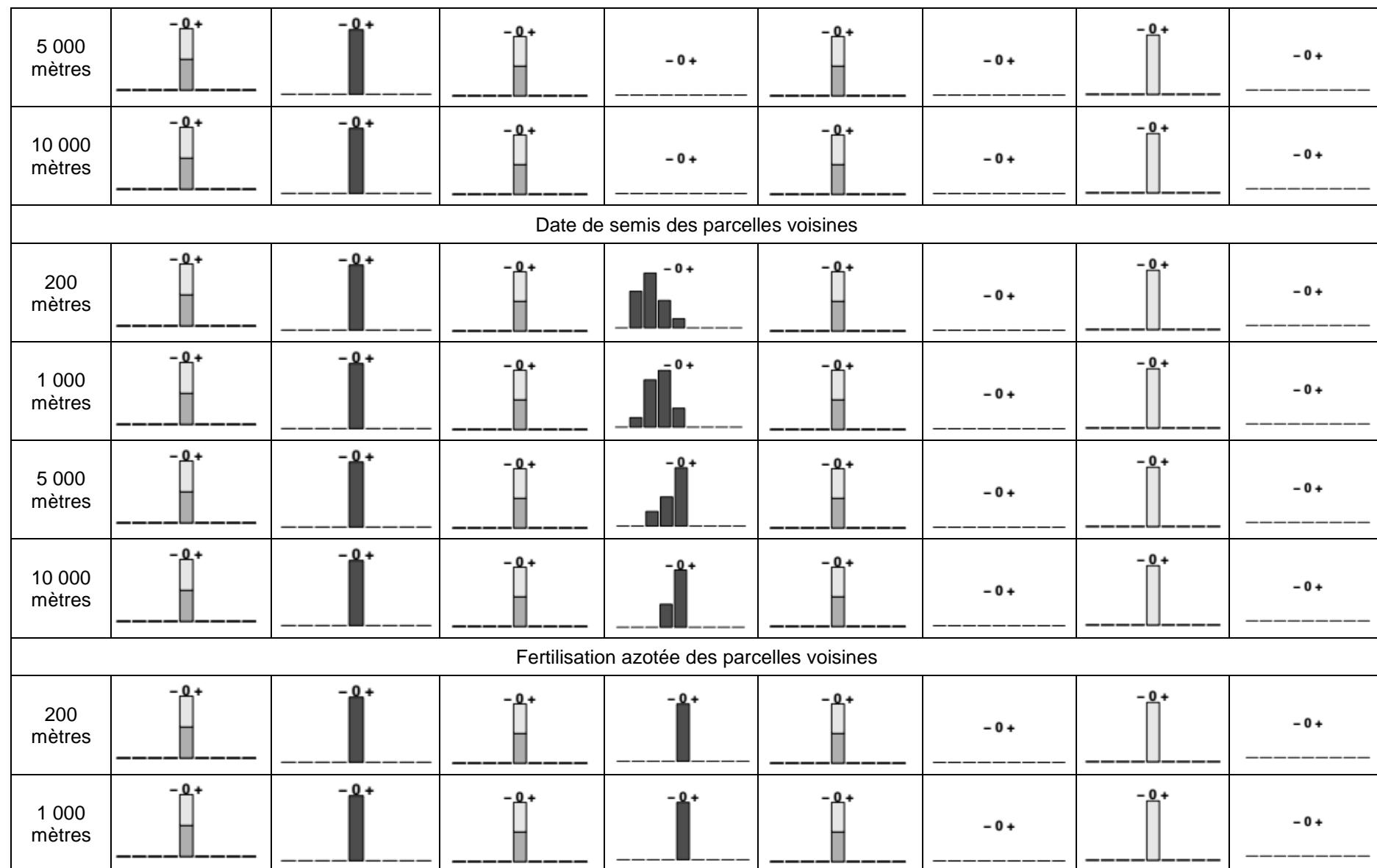


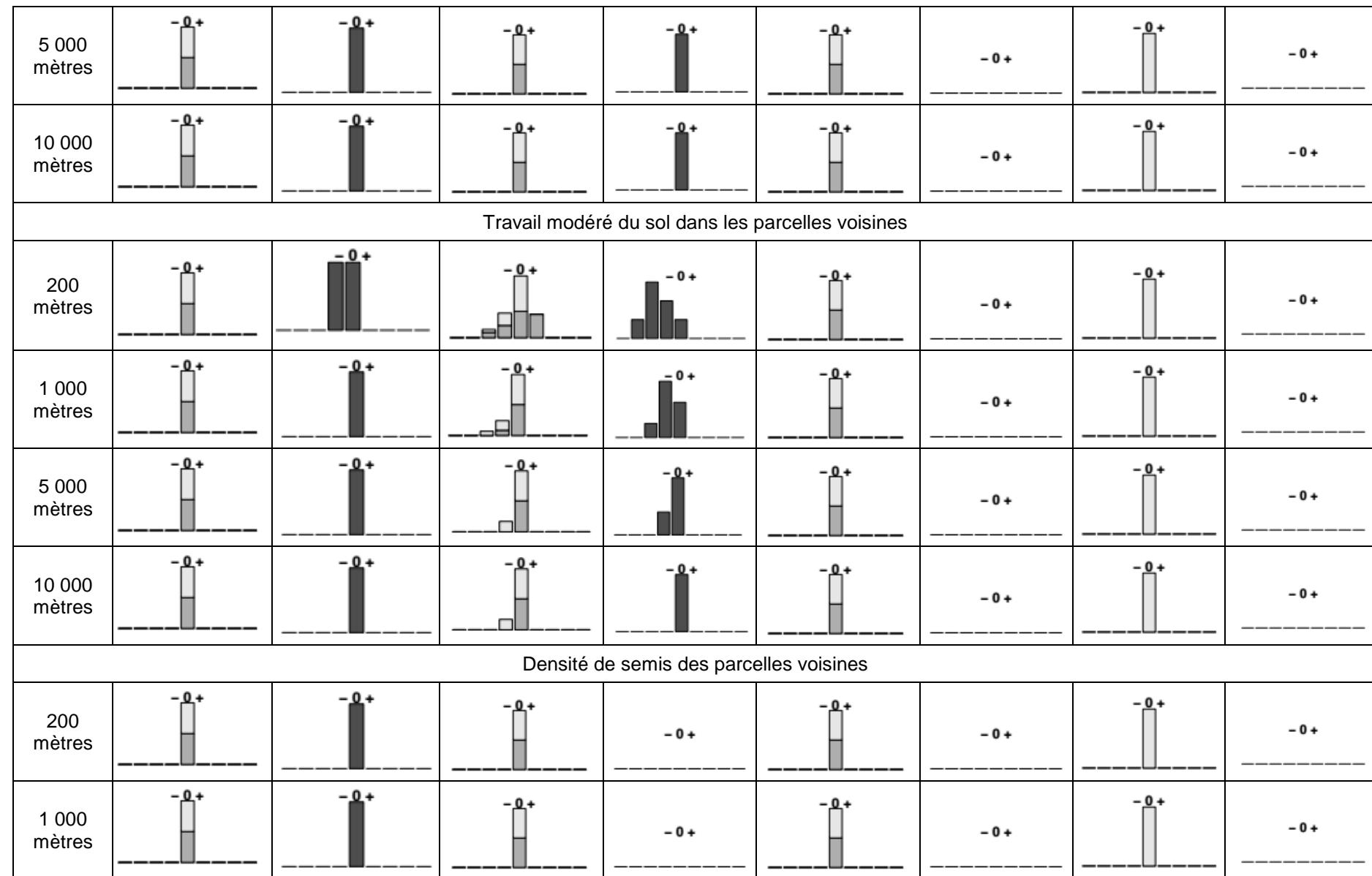


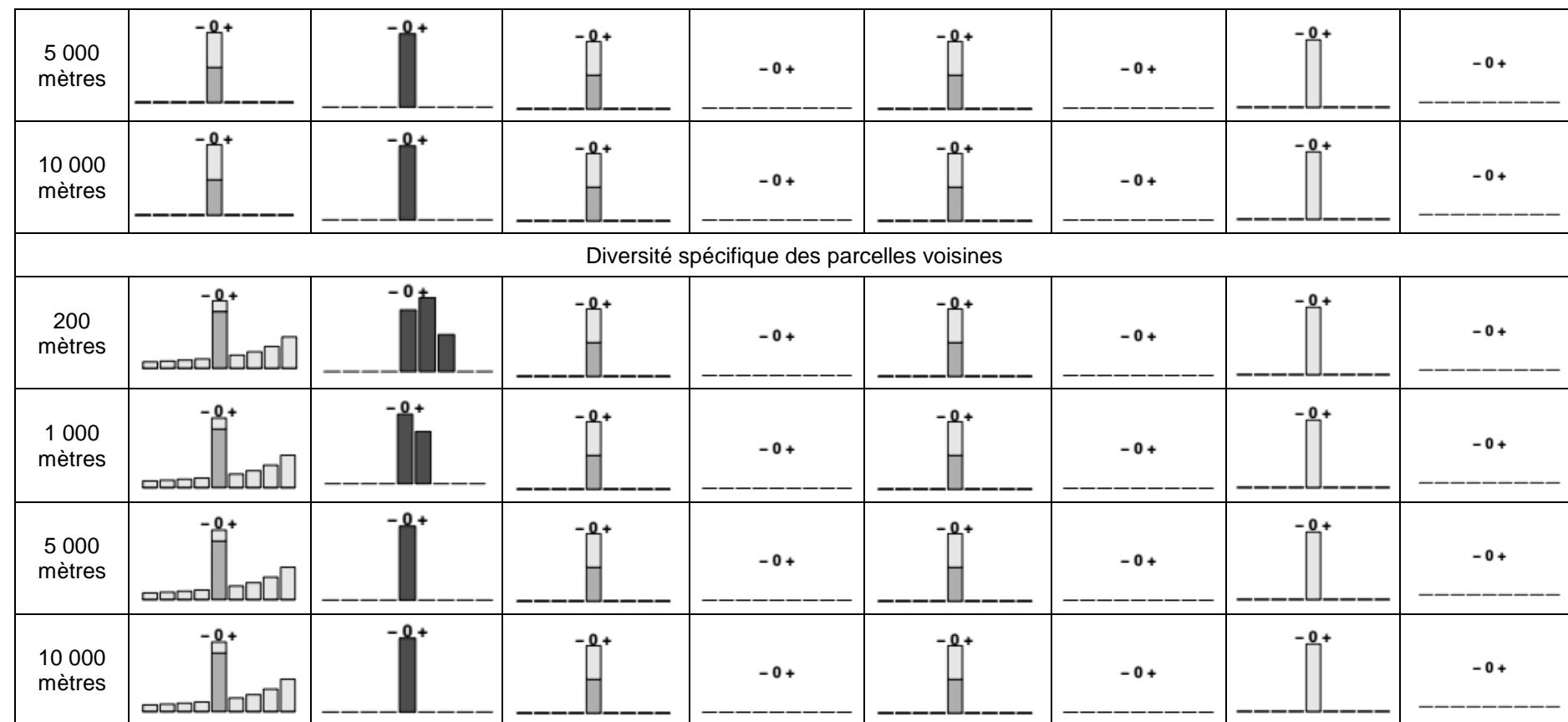












Annexe 18 : Classement des variables les plus significatives par les régressions pénalisées, coefficient estimé et coefficient normalisé estimé pour chaque variable, dont le nom est explicité dans la partie « Abréviations, unités et symboles », page 10. Le sens des coefficients traduit le sens de l'effet de chaque variable sur l'abondance des différentes maladies. (A) Rouille jaune (B) Septoriose (C) Phoma et (D) Sclérotinia.

(A)

	Légende	Coefficient	Coefficient normalisé
RPGSame_w10000_area	46	4.513474e-09	0.0588712334
X.sud.ouest	80	-5.413060e-01	-0.2143816425
RPGPrec_w10000_area	76	2.565816e-09	0.0330913183
X.provence	72	-2.851156e-01	-0.0621667859
BDTOP02012haie_w1000_area	69	5.744006e-07	0.0265062452
PrairiesSame_w1000_area	69	-2.386113e-08	-0.0096368557
PrairiesSame_w10000_area	69	-7.139602e-10	-0.0270192185
BDTOP02012haie_w10000_area	67	1.865566e-09	0.0073238156
RPGSame_w1000_area	64	3.901060e-09	0.0009709242
X.centre.est	64	-3.100827e-03	-0.0014171740
X.normandie...nord...bordure.maritime	62	-1.205604e-03	-0.0004395252

(B)

	Légende	Coefficient	Coefficient normalisé
RPGPrec_w10000_area	84	1.724294e-09	0.055891747
BDTOP02012lande_w1000_area	84	2.280717e-06	0.049610617
X.normandie...nord...bordure.maritime	84	4.677053e-01	0.196538660
X.sud.ouest	83	-4.628680e-01	-0.151072405
X.BP...ile.de.France	81	3.310972e-01	0.153547905
X.est.sec.	80	-2.610320e-01	-0.080087768
BDTOP02012boisTraites_w1000_area	75	3.519726e-07	0.018805679
BDTOP02012boisTraites_w5000_area	73	2.111898e-08	0.022495735
X.provence	72	-2.100794e-01	-0.031742429
BDTOP02012bois_w200_area	71	-5.442432e-07	-0.009957454
BDTOP02012boisTraites_w200_area	69	-1.465205e-06	-0.004313822
RPGSame_w1000_area	68	-9.909628e-09	-0.004384436
BDTOP02012haie_w200_area	68	-1.201753e-06	-0.002455121

(C)

	Légende	Coefficient	Coefficient normalisé
	billboard10	meanCoefs10	meanCoefs10Norm
RPGSame_w10000_area	79	1.136962e-08	0.148298929
X.sud.ouest	77	-5.181164e-01	-0.205197517
PrairiesSame_w10000_area	69	-8.998866e-10	-0.034055446
X.provence	68	-1.980995e-01	-0.043193727
BDTOP02012haie_w1000_area	64	1.549574e-07	0.007150653
BDTOP02012boisTraites_w10000_area	63	2.374919e-10	0.001329533
X.est.sec.	63	-1.776442e-02	-0.003231540
X.normandie...nord...bordure.maritime	63	-8.449585e-03	-0.003080453
RPGPrec_w200_area	61	-2.656585e-08	-0.000417391
BDTOP02012haie_w5000_area	61	6.464419e-10	0.000697140

(D)

	Légende	Coefficient	Coefficient normalisé
	billboard10	meanCoefs10	meanCoefs10Norm
X.centre.est	92	5.240554e-01	0.2395095394
RPGPrec_w1000_area	89	2.942035e-07	0.0655360175
BDTOP02012bois_w10000_area.x	86	7.968980e-10	0.0326283261
BDTOP02012haie_w10000_area.x	86	-3.448937e-08	-0.1353978945
X.normandie...nord...bordure.maritime	86	-3.302527e-01	-0.1203997741
RPGPrec_w200_area	85	3.617898e-06	0.0568428171
RPGSame_w200_area	82	9.214463e-07	0.0270383739
PrairiesSame_w200_area	76	-2.056684e-07	-0.0032826148
BDTOP02012boisTraites_w10000_area.x	75	-4.239963e-10	-0.0023736261