

Impact des pratiques agricoles et des éléments paysagers sur l'abondance de ravageurs



Nicolas GUÉRIN

Année universitaire 2015-2016

Encadrement :

Corentin BARBU, UMR 211

corentin.barbu@grignon.inra.fr

Irène FÉLIX, Arvalis

i.felix@arvalisinstitutduvegetal.fr

Christophe SAUSSE, Terres Inovia

c.sausse@terresinovia.fr

Laboratoire :

UMR 211 - Agronomie

Bâtiment Eger

AgroParisTech

78850 Thiverval-Grignon

Résumé :

La composition du paysage impacte les services écosystémiques tel que le contrôle des ravageurs. Cependant, la relation entre paysage et ravageurs n'étant pas bien connue, peu de solutions sont développées en tenant compte de cette potentielle corrélation. Dans cette étude, nous examinons si les éléments du paysage autour des grandes cultures ont un rôle sur l'abondance des ravageurs, et ceci en comparant trois approches que sont la bibliographie scientifique, les rapports d'experts et un certain nombre de données récoltées entre 2009 et 2014 à l'échelle de la France. Ces dernières étaient constituées de relevés de l'abondance de deux ravageurs sur le colza (*Meligethes aeneus*, méligèthe ; *Psylliodes chrysocephala*, grosse altise), d'un ravageur sur le blé (*Sitodiplosis mosellana*, cécidomyie orange) et d'un ravageur sur le maïs (*Ostrinia nubilalis*, pyrale), que nous avons mis en correspondance avec les différents éléments paysagers, naturel et agricole, présents autour de chacune de leur parcelle respective. Le paysage a été étudié pour quatre échelles spatiales (dans un périmètre de 200 m, 1 km, 5 km et 10 km). Suite à l'analyse Lasso des données, nous trouvons que les bois et la monoculture apparaissent globalement comme pouvant favoriser l'abondance des ravageurs, alors que les haies, les landes et les prairies peuvent défavoriser ces insectes. Cependant, chaque ravageur reste impacté par des variables bien précises. Ces résultats suggèrent que les éléments paysagers peuvent être utilisés comme alternative aux pesticides afin de lutter contre ces ravageurs de façon plus écologique.

Abstract :

The landscape composition has an impact on the ecosystemic services such as the control of pests. However, the connection between landscape and pests is not wellknown and few solutions use this plausible correlation. In this study, we examine if the landscape components around large cultivated land play a part on the profusion of pests. We use three different approaches : the scientific bibliography, reports from experts and base data collected between 2009 and 2014 on a national scale. These data are made up with the census report of the number of two type of pests on rape crop (*Meligethes aeneus*, pollen beetle ; *Psylliodes chrysocephala*, cabbage stem flea beetle), one on wheat crop (*Sitodiplosis mosellana*, orange wheat blossom midge) and one on maize crop (*Ostrinia nubilalis*, European corn borer) that we compared to the different present landscape elements, natural and agricultural, around their respective plot. The landscape was studied for four spacial scales (on an area of 200 m, 1 km, 5 km and 10 km). Further to the Lasso analysis of data, we find that woods and single-crop farming are generally in favour of expansion of pests contrary to hedges, moors and meadows. However, each pest remains affected by specific variables. These results make us think that landscape elements can be used as an alternative to pesticides in order to fight pests more ecologically.

Introduction

Les grandes cultures (céréales, oléo-protéagineux, ...) peuvent être affectées par de nombreux insectes ravageurs. Les produits phytosanitaires sont couramment utilisés pour éviter les pertes de rendement. Cependant, des résistances apparaissent chez les ravageurs (AUBERTOT *et al.* 2007 ; DECOIN 2002), et ces produits sont nocifs pour la santé humaine et pour la biodiversité (HORRIGAN *et al.* 2002). De plus, la baisse de biodiversité pourrait réduire la régulation des ravageurs par les ennemis naturels (LE ROUX *et al.* 2009). L'étude de méthodes alternatives a révélé que certaines caractéristiques paysagères pouvaient diminuer l'abondance des ravageurs en favorisant la biodiversité (BIANCHI, BOOIJ *et al.* 2006 ; THIES, STEFFAN-DEWENTER *et al.* 2003).

Parmi les études réalisées, certaines se focalisent sur un bioagresseur spécifique XIA PENG LIANG *et al.* 2010 et HANSON *et al.* 2015 d'autres sur un élément du paysage comme les études de FREARSON *et al.* 2005 et HUNT *et al.* 2001.

Comment étudier et mettre en perspective les équilibres impacts de différents éléments paysagers sur l'abondance de ravageurs de grandes cultures à l'échelle de la France ?

Pour répondre à cette question nous étudions quatre des plus importants ravageurs des trois grandes cultures françaises que sont le colza, le blé et le maïs (respectivement 10, 37 et 21 % de la surface agricole utile (SAU) de 2010 (AGRESTE 2012). Nous étudierons donc le méligèthe (*Meligethes aeneus*, Coleoptera : Nitidulidae) et la grosse altise (*Psylliodes chrysocephala*, Coleoptera : Chrysomelidae) sur le colza (appelée altise par la suite), la cécidomyie orange (*Sitodiplosis mosellana*, Diptera : Cecidomyiidae) sur le blé (appelée cécidomyie par la suite), et la pyrale (*Ostrinia nubilalis*, Lepidoptera : Pyralidae) sur le maïs.

Pour étudier la relation entre paysage et abondance de ravageurs nous mettons en place de façon parallèle trois approches complémentaires que nous comparerons : étude systématique de la bibliographie, entretiens avec des experts (techniques d'éllicitation) et étude de corrélations statistiques entre données d'abondance du ravageur et caractéristiques paysagères à l'échelle de la France.

Matériels et Méthodes

Questionnaire

Le travail de formalisation des connaissances expertes s'appelle de l'éllicitation (MORRIS *et al.* 2014). C'est un domaine de recherche entre sciences sociales et sciences "dures", développé historiquement pour des situations où les tests en condition réelles ne peuvent être réalisés tels que des catastrophes nucléaires. Dans cette optique, nous avons mis en place un questionnaire à la fois qualitatif et quantitatif que les experts remplissent accompagnés d'un *facilitateur* et que j'ai rempli avec l'aide de la bibliographie.

Dans un premier temps, une description globale du cycle de vie et des variables pertinentes pour quantifier l'abondance est faite de manière libre. Dans une deuxième temps vient les trois grandes colonnes (FIGURE .1). C'est à ce moment que chacun des items suivants, déterminés par le comité de pilotage du projet, est évoqué :

À l'échelle de la parcelle : Fréquence de retour de la culture élevée ; Précédent particulier ; Labour/enfouissement du précédent ; Lutte variétale ; Diversité dans la rotation en général ; Fond de vallée par rapport à plateau ; Coteau par rapport à plateau ; Lutte phytosanitaire ; Fertilisation azotée ; Densité de semis élevée ; Dates de semis ; Traitement des semences ; Lutte biologique ; Précipitations élevées ; Irrigation ; Déchaumages/travail du sol modéré ; Mélanges variétaux ; Mélanges spécifiques ; Superficie de la parcelle.

À l'échelle du paysage : Même culture dans les environs la même année ; Précédent de même culture ; Enfouissement des résidus de même culture ; Superficie élevée des parcelles voisines ; Surface boisée ; Linéaire de haies ; Présence de bandes enherbées ; Présence de prairies/jachères ; Présence de jardins/parcs ; Diversité cultivée en général ; Traitements phytosanitaires en général ; Présence de cours d'eau ; Diversité variétale ; Lutte biologique ; Date de semis ; Fertilisation azote ; Déchaumage/travail du sol modéré ; Densité de semis ; Diversité spécifique. Chaque item est abordé à 4 échelles spatiales : 200 m, 1 km, 5 km et 10 km de rayon.

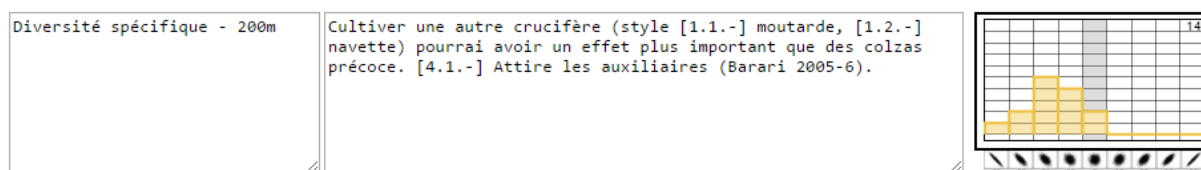


FIGURE .1 – Une ligne du questionnaire paysage remplie par un expert.

Pour chaque item, le nom de la variable est rappelé puis l'expert est invité à décrire les mécanismes liant l'item à l'abondance du ravageur, enfin l'expert quantifie la force de l'effet et son incertitude grâce à un système dit de roulette : un histogramme à compléter grâce à un système de puces (carrés jaunes). Il est demandé à l'expert si à l'échelle de la France métropolitaine il s'attend à voir une corrélation plus ou moins marquée entre la variable considérée et l'abondance du ravageur. Pour indiquer les forces de corrélation les plus probables il doit utiliser au minimum 10 puces, si possible environ 14 pour faciliter la comparaison des histogrammes entre eux et assurer la cohérence des réponses quantitatives. Par exemple, dans la FIGURE .1 l'expert pense observer avec une probabilité de 1 sur 14 une relation négative maximale (complètement à gauche), et avec une probabilité de 2 sur 14 pas de relation.

Recherche bibliographique

Pour calibrer l'effort de recherche par ravageur nous avons défini un cadre de recherche systématique. Comme certains éléments du paysage peuvent non pas affecter directement le

ravageur, mais impacter sur l'abondance ou l'efficacité de ses ennemis associés nous étudions à la fois le ravageur et son principal ennemi spécialiste : dans les cas qui nous intéressent un parasitoïde. Nous avons défini quarante-deux requêtes standard permettant d'éclairer les items du questionnaire. Parmi ces requêtes, sous la forme NOM RAVAGEUR OU PARASITOÏDE + MOTS CLÉS, sept requêtes focalisées sur la dimension paysagères ont été utilisées de manière systématique : xx life cycle ; xx dispersal ; xx (predators OR parasites) ; xx dispersal cost ; xx multi-scale ; xx spatio-temporal (dynamic OR model) ; xx (spatial OR explicit OR population OR individual) model. Avec xx : le nom du ravageur (en latin puis en anglais) ou du parasitoïde (latin).

Pour chaque requête réalisée sur scholar.google.com, j'ai sélectionné des articles sur les trois premières pages. J'ai lu le résumé de chaque article ainsi sélectionné pour de nouveau sélectionner les articles à lire en entier. Après lecture de tous les articles sélectionnés sur toutes les requêtes, une recherche complémentaire a pu être menée en utilisant la base entière de 42 requêtes pour compléter les questions restées vides du questionnaire. De la même manière qu'avec les experts j'ai argumenté sur la base des mécanismes (réponse qualitative) ma quantification de l'effet.

Experts élicités et synthèse

Pour chaque ravageur j'ai interrogé 2 à 4 experts : trois experts pour le méligèthe, quatre pour l'altise, quatre pour la cécidomyie du blé et deux pour la pyrale du maïs, plusieurs d'entre eux par visioconférence. Ces experts étaient soit chercheurs INRA, chargés d'études des instituts techniques Arvalis et Terres Inovia ou experts de chambres régionales. Pour chaque bioagresseur, l'entretien avec un expert a duré entre 2 et 3 heures.

Une fois les entretiens terminés, les questionnaires ont été mis au propre pour être validés par les experts. Pour la partie qualitative nous avons instauré un système de codage des mécanismes pour pouvoir comparer les réponses. Pour chaque mécanisme non encore identifié, un nouveau code indiquant le signe de l'impact était attribué ainsi qu'un nom court et une brève explication. Par exemple : [1.2.1.+]**Humidité blé sur pyrale** – Le fait d'avoir un blé après le maïs va augmenter l'abondance de pyrale de par cette condition plus favorable. Cet encodage a d'abord été réalisé pour la bibliographie puis pour chaque expert au fur et à mesure des entretiens. Pour comparer les réponses quantitatives nous avons normalisé les histogrammes par le nombre de puces effectivement utilisées puis cumulé ces histogrammes.

Statistiques corrélatives à l'échelle de la France métropolitaine

Pour étudier l'impact des éléments paysagers sur l'abondance des ravageurs, trois bases de données ont été utilisées. Les données Vigicultures® produites par Arvalis et Terres Inovia contiennent des mesures d'abondance de ravageurs géolocalisées. Le RPG (Registre Parcellaire Graphique) administré par l'ASP (Agence de Services et de Paiement) contient pour chaque an-

née l'occupation des surfaces agricoles. Et la BD TOPO®(Base de Données TOPOgraphiques), version de 2012, produite par l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière), dont nous utilisons la couche végétation pour identifier bois, haies, et autres éléments paysagers.

L'import de ces données dans notre système d'information a été faite sous la forme de packages de données R, gérés grâce au package devtools et annotés grâce au package roxygen.

La BD TOPO®et le RPG sont structurés sous forme de polygones. Pour décrire ces éléments nous utilisons des métriques paysagères de composition : nous avons mesuré l'aire des polygones représentant les éléments concernés (bois, prairie, culture de colza, ...) dans différents *buffers* de 200 m, 1 km, 5 km et 10 km autour de notre point Vigicultures®.

Mesures d'abondance issues de Vigicultures®

Les données Vigicultures®sont collectées chaque semaine pour réaliser les Bulletins de Santé du Végétal (BSV) sur l'ensemble des ravageurs et maladies, les mesures spécifiques à chaque ravageur ne sont faites que durant la période à risque. Ces mesures, datées et géoréférencées, sont réalisées dans des parcelles suivies sur l'ensemble d'une campagne recouvrent environ 3/4 du territoire national métropolitain.

Pour les campagnes 2009 à 2014 (du 15 août de l'année précédente au 14 août, ou du 1er janvier au 31 décembre), nous avons nettoyé, organisé par ravageur et par parcelle ces données sous la forme de SpatialPointsDataFrame (package sp). Comme plusieurs métriques sont enregistrées pour chaque ravageur, il a fallu choisir quelle métrique utiliser. Dans la mesure du possible nous avons favorisé des métriques recommandées par les experts, sinon nous avons choisi des métriques suffisamment représentées dans les données (TABLE .1). Pour chaque métrique choisie nous avons agrégé les observations par parcelle en comptant les observations dépassant des seuils propre à chaque ravageur et correspondant, d'après les experts et la littérature technique agricole, au seuil d'alerte et à un seuil nettement moins élevé mais communément atteint (TABLE .1).

Ravageur	Élément observé	Seuil bas	Seuil haut	Nb de parcelles
Meligèthe	Nombre de larve par plante	2	5	5977
Altise	Pourcentage de plante avec morsure	10	50	5977
Cécidomyie	Présence d'adultes sur épis	1	2	6547
Pyrale	Nombre de ponte pour 100 pieds	1	4	2183

TABLE .1 – Métrique observée pour quantifier l'abondance de chaque ravageur.

RPG

Nous utilisons ici le RPG (niveau 4, le pourcentage de chaque culture par îlot) des campagnes 2009 à 2014. Ces données sont collectées chaque année dans le cadre de la politique

agricole commune, pour l'ensemble des surfaces cultivées. Ces types de cultures sont définies à l'échelle de l'îlot de culture, le plus souvent une parcelle avec un seul type de culture, mais pouvant contenir jusqu'à trois cultures différentes.

Un gros travail de nettoyage, reprojection géographique et organisation a également été nécessaire (disparité des données d'une année à l'autre, départements manquants, ...) et a abouti là encore à la réalisation d'un package de données R.

La cohérence de ces données avec les parcelles géolocalisées dans Vigicultures® a été vérifiée, validant à peu près 80 % des points, un agrément jugé suffisant pour réaliser l'étude sur les points validés. Pour chaque culture correspondant à un ravageur étudié nous avons mesuré l'assolement autour des points Vigicultures® correspondants. Autour de chaque point Vigicultures® nous avons calculé l'assolement de la culture correspondante la même année, l'année précédente et l'assolement en prairies la même année (en agrégeant les classes "prairies temporaires" et "prairies permanentes" du RPG).

BD TOPO®

Nous avons utilisé la version 2012 de la BD TOPO®, année centrale de notre étude, en faisant l'hypothèse que les changements de végétation sont négligeables entre 2009 et 2014. Grâce à cette base, nous avons calculé la surface recouverte par les bois et autres surfaces arborées (TABLE .2) autour des points Vigicultures®.

Classe	Classes de la BD TOPO®
bois	Bois ; Forêt fermée de conifères ; Forêt fermée de feuillus ; Forêt fermée mixte ; Forêt ouverte ; Zone arborée
boisTraites	Peupleraie ; Verger
haie	Haie
lande	Lande ligneuse

TABLE .2 – Nom des nouvelles classes créées à partir des classes de la BD TOPO®.

Statistiques

Les analyses corrélatives réalisées se sont appuyées sur des GLM (generalized linear model). Les variables observées correspondant à des comptages de dépassements de seuils, nous avons utilisé un lien poissonien. Afin de limiter les corrélations liées à des effets climatiques, nous avons systématiquement pris en compte les grandes régions bioclimatiques données par Arvalis comme effet fixe.

Nous avons d'abord réalisé un glm univarié, mais un très grand nombre de variables très corrélées entre elles étaient significatives. Cette forte corrélation des variables, notamment de mêmes éléments mesurés à différentes échelles, rend aussi difficile l'analyse multivariée, les effets se répartissant sur les différentes variables corrélées, donnant un poids très faible à chaque

variables d'un groupe de variables très corrélées par rapport aux variables décorréllées. Nous présentons donc ici les résultats de régressions pénalisées de type Lasso, ayant l'avantage de sélectionné les variables les plus pertinentes pour les intégrer dans un modèle de type glm.

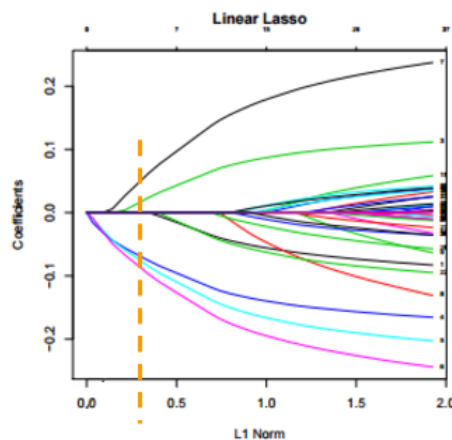


FIGURE .2 – Exemple de régression pénalisée Lasso.

La régression Lasso est essentiellement une régression linéaire généralisée qui annule les coefficients des variables les moins pertinentes. La pénalisation diminue alors que le paramètre λ augmente, permettant à un nombre croissant de paramètres d'intégrer le modèle multivarié. Diminuer la pénalisation revient à décrire avec plus de finesse les corrélations des prédicteurs avec la variable de sortie, mais au risque de favoriser l'ajustement "abusif" à un jeu de données particulier, peu pertinent sur d'autres jeux de données. Sur l'axe des abscisses de la FIGURE .2 se trouve ce λ , pour un λ donné (trait en pointillé orange) les intersections avec les courbes correspondent aux coefficients du modèle correspondant à ce λ . L'ordre d'entrée des variables dans la régression fournissent naturellement un classement de la pertinence des variables pour la prédiction. C'est ce classement que nous utilisons dans la suite.

Réalisation de synthèses automatiques

L'ensemble des résultats a été formalisé sous la forme de rapports automatisés par ravageurs, que j'ai réalisé séparant les échelles parcelle et paysage, ainsi que les aspects qualitatifs et quantitatifs. J'ai réalisé ces synthèses en important dans R les données des questionnaires (json) et en les associant avec le package R `knitr` pour réaliser des documents pdf. C'est sur ces synthèses, trop volumineuses pour être contenues dans ce rapport que se basent les résultats présentés ci-après.

Résultats

Questionnaire

J'ai essayé d'avoir un effort d'échantillonnage de la littérature identique pour chaque ravageurs. Ainsi j'ai relevés environ 75, 80, 87 et 96 articles respectivement pour le méligèthe, l'altise, la cécidomyie et la pyrale. Le nombre de citation utilisé dans la partie qualitative de mon questionnaire est d'environ 150, 50, 100 et 80 pour ces mêmes ravageurs, montrant une disparité dans quantité d'information utile.

Les synthèses par ravageurs permettent d'appréhender de manière synthétique les résultats de l'élicitation pour chaque ravageur. On peut voir dans l'exemple (FIGURE .3) que la mention par plus de sources du mécanisme (+) entraînant une augmentation de l'abondance de méligèthes que du mécanisme (-) est lié à une estimation quantitative très nettement positive de l'effet des bois sur l'abondance de méligèthes.

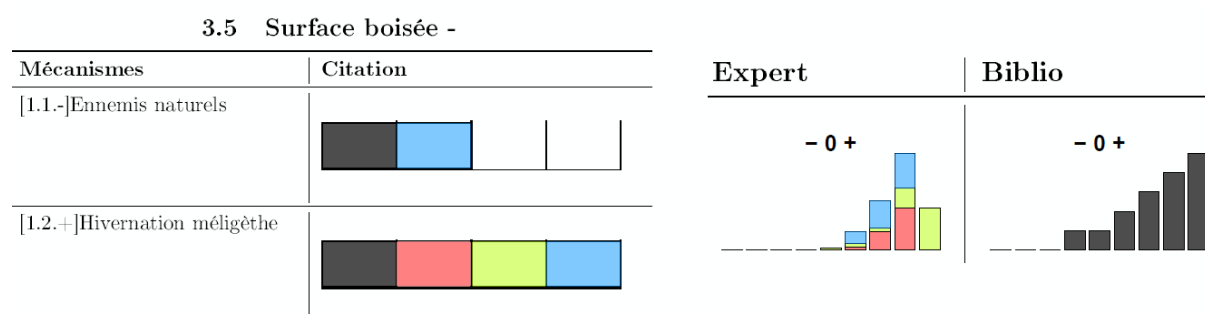


FIGURE .3 – Extrait de rapport automatisé : impact de la surface boisée sur l'abondance de méligèthes.

A gauche analyse qualitative : Première colonne : mécanismes codés ; deuxième colonne : sources les citants. A droite comparaison quantitative entre avis d'experts et issu de la bibliographie. Noir : bibliographie ; autres couleurs : experts.

Pour décrire dans son ensemble la complémentarité des différentes sources d'un point de vue des mécanismes évoqués, j'ai identifié le nombre de mécanismes évoqués par source TABLE .3.

Source	Méligèthe	Altise	Cécidomyie	Pyrale
1 expert	28 (49%)	17 (53%)	13 (38%)	13 (38%)
2 experts	5 (9%)	3 (9%)	6 (18%)	3 (9%)
3 experts	6 (11%)	3 (9%)	1 (3%)	-
4 experts	-	5 (16%)	0 (0%)	-
Bibliographie	43 (75%)	18 (56%)	23 (68%)	23 (68%)
Total	57 (100%)	32 (100%)	34 (100%)	34 (100%)

TABLE .3 – Nombre de mécanismes évoqués par source.

- : nombre supérieur au nombre d'experts interrogés

La bibliographie m'a permis d'identifier de 56 % à 75 % de l'ensemble des mécanismes évoqués selon les ravageurs, TABLE .3. Parmi l'ensemble des mécanismes cités, ceux cités par au

moins la moitié des experts représentent 19, 34, 21 et 47 % des cas, respectivement pour méligèthe, altise, cécidomyie et pyrale. Il semble donc que la bibliographie permette de retrouver la majorité des mécanismes identifiés mais il semble vraisemblable que l'interrogation d'experts supplémentaire entraîne l'évocation de nouveaux mécanismes, surtout pour les altises.

Le temps nous a manqué pour mettre en relation de manière systématique synthèse qualitative et synthèse quantitative.

Statistiques

Ravageur	Variables Lasso	Sens	Expert	Sens	Bibliographie	Sens
Méligèthe	Prairie	+	Bois	+	Bois	+
	Même culture ³	-	Enfouissement ¹	+	Lutte biologique	-
	Bois	+	Bandes enherbées	-	Haie	-
	Lande	-			Prairie	-
Altise	Haie	-	Précédent²	+	Div. spécifique	-
	Bois	+	Bois	+	Même culture ³	-
	Lande	-			Précédent²	+
	Précédent²	+				
Cécidomyie	Lande	+	Précédent²	+	Précédent²	+
	Bois traités	+	Lutte biologique	-	Lutte biologique	-
	Prairie	-	Div. variétale	+		
	Précédent²	+	Date de semis	+		
Pyrale	Haie	-	Précédent²	+	Lutte biologique	+
	Bois	+	Enfouissement ¹	-	Précédent²	+
	Bois traités	-	Déchaumage	-	Cours d'eau	+

TABLE .4 – Variables aux effets les plus marqués par source.

Les variables sont indiquées en ordre décroissant d'importance d'après chaque source. L'échelle ayant l'impact la plus forte est utilisée. En gras les variables retrouvées plus d'une fois. ¹enfouissement de la culture de l'année précédente dans les environs. ²même culture l'année précédente ; ³même culture la même année.

La TABLE .4 représente jusqu'à quatre métriques dominantes d'après chaque source d'information. On notera que l'effet est toujours de même signe quel que soit l'échelle spatiale.

En comparant les sorties des bois, haies, prairies, précédent et même culture dans les environs, on remarque une cohérence des résultats. Par exemple pour les méligèthes, les bois ressortent positivement dans les statistiques. C'est également le cas du précédent chez la cécidomyie. Sur d'autres points les statistiques permettent de trancher la divergence des experts, comme pour l'effet de la même culture sur le méligèthe. Mais dans certains cas l'effet sur l'abondance est complètement différent de l'attendu, comme les haies sur les pyrales.

Si il y a un effet du paysage sur l'abondance de chaque ravageur pris individuellement, on devrait pouvoir révéler un effet sur les ravageurs pris dans leur ensemble.

Pour voir un potentiel effet, nous avons représenté les éléments du paysage sur un diagramme

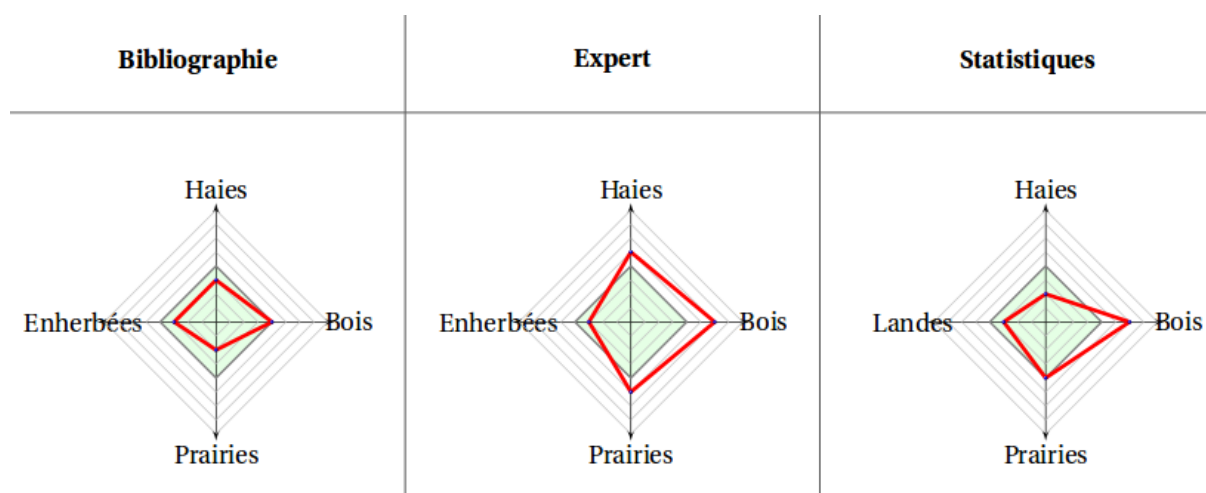


FIGURE .4 – Effet du paysage sur l'ensemble des quatre ravageurs.

de Kiviat. Nous l'avons fait pour les résultats obtenus en se basant sur l'analyse statistique des données, et nous en avons fait un deuxième en se basant sur les données experts et bibliographie (FIGURE .4). Chaque branche de ces diagrammes ont été réalisées en partant du zéro, c'est à dire pas d'effet de la variable, et en déplaçant ensuite le curseur vers le positif ou le négatif. Le curseur est déplacé vers le positif si le ravageur observé voit son abondance augmentée en présence de la variable paysagère, déplacé vers le négatif si elle diminue son abondance, ou inchangé si cette métrique n'est pas mentionnée comme importante. Sur chaque branche les quatre ravageurs sont donc observés, ce qui permet au final d'avoir un diagramme donnant une idée générale de l'impact du paysage sur l'abondance de l'ensemble des ravageurs. L'effet a été déterminé comme impactant si au moins la moitié des experts l'ont noté dans leur histogramme. Aucun effet des parcs et jardins n'a été relevé quelque soit le ravageur.

Un travail similaire a été effectué sur l'impact du précédent de même culture dans les environs, et l'impact de la même culture la même année dans les environs. Ainsi les statistiques semble révéler un effet positif de moyenne importance du précédent de même culture dans les environs, et globalement pas d'effet de la même culture la même année. Le couple expert-bibliographie quant à lui révèle un effet positif de forte importance du précédent, et négatif de faible importance de la même culture dans les environs sur une majorité de ravageurs.

Discussion

Au vu des résultats, suivant le ravageur, certains éléments ont un effet plus marqué que d'autres. L'assez forte disparité des réponses entre experts et les divergences parfois marquées de nos estimations à partir de la bibliographie et de l'éllicitation d'experts soulignent l'importance d'avoir recourt à plusieurs sources d'information. En tout état de cause, le paysage n'est pas associé de la même manière à chaque ravageur.

Aucune source ne nous permet de lister 100 % des mécanismes paysagers et agricoles im-

pactant l'abondance du ravageur, la plus haute valeur étant pour la recherche systématique de la bibliographie (75 % des mécanismes listés). Ce résultat nous conforte dans l'idée que ces deux sources d'informations sont importantes pour ensuite pouvoir comprendre et analyser les données. Globalement la bibliographie couvre bien les mécanismes évoqués, et si par rapport aux experts le pourcentage y est plus élevé, c'est sûrement dû au fait qu'elle s'attache à des détails jouant peu sur l'abondance du ravageur.

En effet, pour les méligèthes, les cécidomyies et les altises, les experts et la bibliographie sont plutôt en accord sur la force de l'effet. Ainsi, même si tous les mécanismes ne sont pas cités, les plus importants ressortent bien dans les deux sources (partie quantitative du questionnaire non présentée). Un désaccord sur la pyrale vient notamment du fait que l'expert dit qu'il n'y a pas d'effet, alors que de mon côté soit je ne sais pas soit j'essaye de mettre un effet à partir des connaissances externes que j'ai. Ceci entraîne donc le désaccord : pas d'effet contre effet.

Chez le méligèthe, la variable qui ressort dans ces trois approches est la présence de bois dans les alentours, impactant de façon positive son abondance. C'est le lieu d'hivernation du méligèthe, donc extrêmement important. Cette relation a été révélée notamment par MÜLLER 1941 et BLAZEJEWSKA 1958, et confirmée par de nombreux auteurs tel que ZALLER *et al.* 2008a et ZALLER *et al.* 2008b et plus récemment par RUSCH & VALANTIN-MORISON 2013. Ainsi VINATIER *et al.* 2013 l'intègre dans son modèle démographique.

La prairie est la deuxième variable, retrouvée dans les sorties du Lasso et dans la bibliographie. Mais alors que son impact est fortement positif pour le Lasso, la bibliographie suggère plutôt un effet négatif. L'effet positif peut être expliqué par un mécanisme mentionnés par les experts : leur rôle d'abri et de nutrition pour le méligèthe, notamment lors de la migration entre bois et colza en sortie d'hivernation (RUSCH & VALANTIN-MORISON 2011). Cet effet serait donc plus important que le principal effet limitant les méligèthes : les prairies sont un habitat pour des ennemis naturels tel que *Tersilochus heterocerus*, ce qui augmente le taux de parasitisme (RUSCH & VALANTIN-MORISON 2011). Cet effet a été montré par THIES & TSCHARNTKE 1999, BÜCHI 2002 ou encore ZALLER *et al.* 2009. De plus, le fait d'avoir des parcelles non cultivées autour des champs de colza augmente la fitness de l'araignée (FRANK *et al.* 2010), qui sont des prédateurs généralistes des oeufs, larves et pupes (BÜCHS 2007).

Pour l'analyse Lasso, la présence de colza dans les environs la même année, est négativement corrélée à la présence de méligèthes, confirmant ZALLER *et al.* 2008a et ZALLER *et al.* 2008b. Ceci peut s'expliquer soit par un nombre de larves parasitées plus important lorsqu'il y a plus de colza de manière général dans le paysage (RUSCH & VALANTIN-MORISON 2011) l'abondance de colza à l'année N et N-1 étant fortement corrélées, soit par un effet de dilution du ravageur sur de plus grandes surfaces (mentionné par les experts).

Une corrélation négative avec les landes apparaît également. Il pourrait s'expliquer par la forte composante herbacée de ces formations : l'effet négatif des surfaces enherbées est cité par

les experts. Les bandes fleuries les plus diversifiées hébergent souvent le plus de diversité d'arthropodes (LAGERLÖF & WALLIN 1993) tel que les carabes qui se nourrissent de méligèthes (BASEDOW 1973 ; WARNER *et al.* 2008), il y a plus d'araignées (FRANK *et al.* 2010), de plus les parasitoïdes voient leur longévité augmentée et sont plus attirés (BIANCHI & WÄCKERS 2008) dont *Tersilochus heterocerus*.

D'après les experts l'effet de l'enfouissement (labour) est très fort. Ces éléments n'ont pas pu être intégrés à notre analyse statistique faute d'un manque de données sur les pratiques culturales. Cette pratique agronomique assure la destruction des parasitoïdes, réduisant le taux de parasitisme (NILSSON *et al.* 2015).

Enfin, la bibliographie suggère un fort potentiel de la lutte biologique par conservation des auxiliaires, notamment des nématodes (WILLIAMS 2010) en plus des ennemis naturels cités précédemment. Si l'effet des haies, bois, prairies ne semble pas être ici suffisamment favorables aux ennemis naturels pour limiter les méligèthes il est possible que l'utilisation actuelle de phytosanitaires limite ces effets.

L'autre ravageur du colza, l'altise, est favorisée par le précédent en colza, selon les trois sources. Elle se nourrit de cette plante et peut hiverner dans la parcelle de cette culture (SÁRINGER 1984). Elle semble aussi favorisée par les bois (Lasso et experts). Les experts parlent d'un lieu d'estivation de l'altise là où il y a des crucifères sauvages. Le bois peut également jouer un rôle d'humidité favorable à l'altise selon un expert. Les haies et les landes sont négativement corrélées à l'abondance de l'altise pouvant suggérer un contrôle biologique grâce à une plus grande abondance d'auxiliaires (hyménoptères, carabes).

Plusieurs études montrent que l'altise peut-être attirée par plusieurs type de plantes, la diversité spécifique des cultures dans le paysage pourrait donc réduire l'abondance dans le colza. Cela peut-être le navet (*Brassica rapa*, BARARI *et al.* 2005) ou d'autres crucifères tel que le brocoli, le chou et le chou-fleur (GRAHAM & ALFORD 1981). Mais on retrouve également l'altise sur des Ranunculacées (*Thalictrum minus*), des Linacées (*Linum usitatissimum*), et sur des Papilionacées (*Glycine max*) d'après de plus anciennes études (NEWTON 1929 et BONNEMAISON & JOURDHEUIL 1954). Une étude très récente montre qu'elle préférerai même la cameline au colza (étude sur un an du master 2 de DAVOINE 2013). Pour ce qui est de la présence de même culture dans les environs, il semblerai que les paysages avec une forte proportion de colza ont tendance à avoir une plus faible proportion de larve et de dégâts d'altise (M. VALANTIN-MORISON *et al.* 2007). Cela pourrai s'expliquer par de la dilution de l'insecte.

Pour la cécidomyie, le précédent en blé augmente l'abondance du ravageur d'après les trois approches. Bien que l'année précédente semble importante, les cécidomyies peuvent rester plus de 10 ans dans le sol si les conditions météorologiques ne sont pas favorables à leur émergence (BARNES 1956). La lutte biologique par conservation a un fort potentiel selon les experts et la bibliographie (ne pouvant pas le voir sur les analyses statistiques). Les experts évoquent les

araignées, et *Macroglènes penetrans* qui, d'après ma lecture de la bibliographie, parasite plus de 30 % des cécidomyies (OLFERT *et al.* 2003). Aux araignées vient s'ajouter des carabes (FLOATE *et al.* 1990) et des staphylins (HOLLAND & THOMAS 2000), des champignons (KELLER & WILDING 1985), et de nombreux autres parasitoïdes tel que *Platygaster tuberosula* (OLFERT *et al.* 2003 ; CHAVALLE *et al.* 2015).

Ce fort potentiel de la lutte biologique par conservation semble cohérent avec la corrélation négative liée aux prairies. Un expert le mentionne comme pouvant être favorable aux araignées et prédateurs en générales, mais sans lui accorder de l'importance. Cependant un autre mécanisme antagoniste pourrait jouer dans les prairies : les cécidomyies pouvant pondre sur d'autres graminées (KAMRAN *et al.* 2013) les graminées dans ces systèmes pourraient servir de réservoir. Et de fait les deux autres systèmes à forte composante herbacées, landes et bois traités sont positivement corrélés aux abondances de cécidomyies. Ces oppositions laissent penser que des effets confondants puissent tromper l'analyse corrélatrice. Un mécanisme mentionné par les experts pourrait cependant expliquer cette opposition entre prairies et les deux formations ligneuses : le manque de couvert végétal dans les prairies favorise des fluctuations de températures plus fortes dans les prairies, pouvant tuer les cocons.

Les résultats statistiques sur la pyrale ayant été obtenus tout récemment je n'ai pas pu les analyser ici.

Cependant, les experts et la bibliographie ont révélés quatre choses ayant un rôle important dans l'abondance de pyrale. La première est l'effet du précédent maïs qui va augmenter l'abondance de pyrale. Celles-ci vivant dans les canes de maïs (CORDERO *et al.* 1998), il est logique que si les voisins ont fait du maïs l'année passée, il y aura plus de ravageur l'année en cours. Le travail du sol va quant à lui être négatif car détruisant le ravageur hivernant. La lutte biologique par introduction semble importante notamment avec les trichogrammes, par exemple *Trichogramma ostriniae* qui persiste dans les champs où même les insecticides sont appliqués (HOFFMANN *et al.* 2002), qui résiste au froid et peut survivre à de faibles températures (PITCHER *et al.* 2002), et qui lors de lâchés augmente le total de mortalité des larves et oeufs de 80 à 93 % (KUHAR *et al.* 2002). Les larves sont également attaquées par d'autres insectes, par le pic chevelu *Dendrocopos pubescens* supprimant de 30 à 97 % de larves (BARBER 1925), et par des pathogènes et nématodes. Cependant il est à noter que ni les experts, ni ma lecture de la bibliographie ne révèle que les ennemis naturels des pyrales sont impactés par le paysage. Et enfin la présence de cours d'eau ayant un effet positif. Les experts mentionnent le besoin de cet insecte d'avoir de l'humidité, et notamment quand la cécidomyie sort de diapause au printemps. L'humidité du sol est importante, en effet une étude a montré qu'une plus forte mortalité des oeufs de pyrale survenait aux indices d'humidité relative de 35 et 55 % qu'à 75 % (LEE 1988).

L'abondance des ravageurs étant impacté par les éléments du paysage de façon individuelle, il est d'autant plus vrai que le paysage impacte l'abondance générale des ravageurs de façon

confondue. Ainsi, la FIGURE .3 permet de clairement visualiser le rôle de chaque métrique paysagère dans l'abondance de l'ensemble des ravageurs. Un seul élément paysager est favorable aux ravageurs, alors que les autres sont sans effet voir défavorable, c'est la présence de bois. Et qui plus est elle a un rôle positif sur plusieurs ravageurs. La prairie n'a pas d'effet de façon globale ou un effet négatif, et les haies et landes sont protectrices contre l'ensemble des ravageurs. On observe de plus une cohérence entre les réponses des experts, de ma lecture de la bibliographie et les sorties de l'analyse statistique.

On peut regretter que notre étude n'ait pas pu utiliser les données de Bretagne, des Pays-de-Loire et d'Alsace qui bien qu'existantes n'ont pas pu être géolocalisées. De manière plus gênante, on peut regretter de n'avoir pu disposer d'aucune données sur les pratiques agricoles, notamment phytosanitaires. On peut imaginer que dans les zones à fort potentiel de ravageurs il y ai tellement de traitement préventif que le potentiel paysager soit effacé, voir inversé par rapport à un équilibre sans traitement. Il est tout de même à noter que certains auteurs avancent que les traitements ont peu d'impact sur les ravageurs (MUNGER 2014 pour la cécidomyie) et qu'ils peuvent avoir un effet inverse en réduisant fortement les populations d'ennemis naturels (HANSON *et al.* 2015 pour le méligèthe ; NILSSON 2002 pour l'altise ; HOLLAND & THOMAS 2000 pour la cécidomyie). Il faut donc noter que notre étude statistique reflète les liens entre ravageurs et abondances en l'état actuel des pratiques agronomique. Cependant, plusieurs des éléments déterminants d'après les experts et la littérature sont bien retrouvées dans les analyses statistiques suggérant que l'effet des traitements phytosanitaires n'est pas suffisant pour effacer ou inverser les potentiels effets sur l'abondance de ravageurs.

Comme dans toute étude corrélative, les liens entre corrélations et causations peuvent être dûs à des effets confondants, notamment géographiques. Par exemple, la corrélation de la lande avec l'abondance de ravageur peut-être dû aux mécanismes jouant dans la lande ou à des corrélations spatiales entre lande, déprise agricole et pratiques différentes dans des sous-région des régions climatiques utilisées comme cofacteurs. On peut cependant estimer que lorsque les trois sources convergent les relations causales sont robustes. Même lorsque seule l'analyse statistique suggère un effet, nos explications mécanistes se basent sur des mécanismes identifiés au préalable dans la littérature et grâce à l'élicitation d'experts, limitant la production d'explications *ad-hoc*. Cette étude est également limité par le faible nombre d'articles scientifique s'intéressant précisément à l'échelle du paysage. Environ 70 à 80 % des articles cités étant destinés à l'échelle de la parcelle. Cependant, l'analyse conjointe avec les effets parcelles m'a permis de recouper le cas échéant des informations à l'échelle du paysage et des informations sur les distances de vol pour évaluer l'impact des éléments à l'échelle paysagère. Le nombre d'experts interrogé est également assez faible, et ce ne sont pas des agriculteurs, donc peut-être moins proche du terrain et avec moins d'observation directe des mécanismes. Il serait intéressant d'élargir cette étude, éventuellement en simplifiant les questionnaires à une populations plus large d'agriculteurs.

En conclusion cette étude a permis de confirmer l'impact d'éléments paysagers sur des ra-

vageurs de grandes cultures à l'échelle de la France, tout en développant une méthodologie originale d'élicitation et en structurant d'importantes bases de données géographiques et bibliographiques. Contrairement aux attendus d'experts et de la bibliographie, les éléments semi-naturels semblent pour nos quatre ravageurs avoir un impact plus importants que l'abondance de la culture dans le paysage mais l'effet des espaces semi-naturels peut être favorable ou défavorable selon ravageurs. A partir des éléments paysagers identifiés dans cet étude, des régions à fort ou faible potentiels pourraient être définies pour aider à la planification de l'utilisation de produits phytosanitaires et limiter leur utilisation en situation de faible risque.

Remerciements

Je remercie mon maître de stage Corentin BARBU pour l'aide et les enseignements qu'il m'a apporté de façon très pédagogique, ainsi que mes deux encadrants Irène FÉLIX, ingénieur à Arvalis, et Christophe SAUSSE, chargé d'étude à Terres Inovia qui ont porté le projet et m'ont aiguillés. Je remercie également Mathilde CHEN, effectuant un travail similaire sur les maladies, pour son aide et nos échanges sur ce projet. Un grand merci au GIS GCHP2E (Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Grandes Cultures à Hautes Performances Économiques et Environnementales) qui a financé mon stage.

Je remercie les membres du comité de pilotage du projet, et particulièrement Danièle SIMONEAU, Muriel VALANTIN-MORISON, et Céline ROBERT.

Je tiens également à remercier les experts interrogés et tout ceux qui sur le terrain ont collecté les données utilisées.

Je remercie toute l'équipe de l'INRA de m'avoir accueilli et pour certains de m'avoir aidé durant mon stage. Je remercie également mes collègues de bureau d'avoir été présent pour leur convivialité et leurs réponses à mes interrogations.

Références

1. AGRESTE. Exploitations de grandes cultures en France métropolitaine - Des grandes cultures dans deux tiers des exploitations. *Agreste Primeur* **283** (juin 2012).
2. AUBERTOT, J. N. *et al.* Pesticides, agriculture and the environment : reducing the utilization of pesticides and limiting their environmental impacts. 119 pp. (2007).
3. BARARI, H., COOK, S. M., CLARK, S. J. & WILLIAMS, I. H. Effect of a turnip rape (*Brassica rapa*) trap crop on stem-mining pests and their parasitoids in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *BioControl* **50**, 69–86. ISSN : 1386-6141, 1573-8248 (fév. 2005).
4. BARBER, G. W. The Efficiency of Birds in Destroying Overwintering Larvae of the European Corn Borer in New England. *Psyche : A Journal of Entomology* **32**, 30–46. ISSN : 0033-2615 (1925).

5. BARNES, H. F. *Gall midges of cereal crops* (Crosby Lockwood & Son Limited, 1956).
6. BASEDOW, T. Einfluss epigaischer Raubarthropoden auf die Abundanz phytophager Insekten in der Agrarlandschaft. *Pedobiologia* (1973).
7. BIANCHI, F. J. J. A., BOOIJ, C. J. H. & TSCHARNTKE, T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes : a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society of London B : Biological Sciences* **273**, 1715–1727. ISSN : 0962-8452, 1471-2954 (22 juil. 2006).
8. BIANCHI, F. J. J. A. & WÄCKERS, F. L. Effects of flower attractiveness and nectar availability in field margins on biological control by parasitoids. *Biological Control* **46**, 400–408. ISSN : 1049-9644 (sept. 2008).
9. BLAZEJEWSKA, A. *Zimowanie słodyszka rzepakowego (Meligethes aeneus Fabr.)*. (Panstw. Wydawn. Naukowe, 1958).
10. BONNEMAISON, L. & JOURDHEUIL, P. L'altise d'hiver du colza (Psylliodes chrysocephala L.) *Ann Epiphyties* **4**, 345–524 (1954).
11. BÜCHI, R. Mortality of pollen beetle (Meligethes spp.) larvae due to predators and parasitoids in rape fields and the effect of conservation strips. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **90**, 255–263. ISSN : 0167-8809 (août 2002).
12. BÜCHS, W. Impact of on-farm landscape structures and farming systems on predators. *Biocontrol of oilseed rape pests*, 245–278 (2007).
13. CHAVALLE, S., BUHL, P. N., CENSIER, F. & DE PROFT, M. Comparative emergence phenology of the orange wheat blossom midge, Sitodiplosis mosellana (Géhin) (Diptera : Cecidomyiidae) and its parasitoids (Hymenoptera : Pteromalidae and Platygasteridae) under controlled conditions. *Crop Protection* **76**, 114–120. ISSN : 0261-2194 (oct. 2015).
14. CORDERO, A. *et al.* Population dynamics and life-cycle of corn borers in south Atlantic European coast. ISSN : 0025-6153 (1998).
15. DAVOINE, A. Evaluations agronomique, environnementale et économique des couverts associés à l'automne au colza d'hiver (2013).
16. DECOIN, M. (-L. D. d. V. The rape blossom beetle affair. Focus on insecticide resistance : study, understand and advise. *Phytoma. La Défense des Végétaux (France)*. ISSN : 1164-6993 (2002).
17. FLOATE, K. D., DOANE, J. F. & GILLOTT, C. Carabid predators of the wheat midge (Diptera : Cecidomyiidae) in Saskatchewan. *Environmental Entomology* **19**, 1503–1511 (1990).
18. FRANK, T., DRAPELA, T., MOSER, D. & ZALLER, J. G. in (éd. WILLIAMS, H. I.) 285–304 (Springer Netherlands, Dordrecht, 2010). ISBN : 978-90-481-3983-5.

19. FREARSON, D. J., FERGUSON, A. W., CAMPBELL, J. M. & WILLIAMS, I. H. The spatial dynamics of pollen beetles in relation to inflorescence growth stage of oilseed rape : implications for trap crop strategies. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **116**, 21–29. ISSN : 1570-7458 (1^{er} juil. 2005).
20. GRAHAM, C. W. & ALFORD, D. V. The distribution and importance of cabbage stem flea beetle (*Psylliodes chrysocephala* (L.)) on winter oilseed rape in England. *Plant Pathology* **30**, 141–145. ISSN : 1365-3059 (1^{er} sept. 1981).
21. HANSON, H. I., SMITH, H. G. & HEDLUND, K. Agricultural management reduces emergence of pollen beetle parasitoids. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **205**, 9–14. ISSN : 0167-8809 (1^{er} juil. 2015).
22. HOFFMANN, M. P., WRIGHT, M. G., PITCHER, S. A. & GARDNER, J. Inoculative releases of *Trichogramma ostrinae* for suppression of *Ostrinia nubilalis* (European corn borer) in sweet corn : field biology and population dynamics. *Biological Control* **25**, 249–258. ISSN : 1049-9644 (nov. 2002).
23. HOLLAND, J. M. & THOMAS, S. R. Do polyphagous predators help control orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* Géhin (Dipt., Cecidomyiidae) in winter wheat ? *Journal of Applied Entomology* **124**, 325–330. ISSN : 1439-0418 (1^{er} oct. 2000).
24. HERRIGAN, L., LAWRENCE, R. S. & WALKER, P. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environmental Health Perspectives* **110**, 445–456. ISSN : 0091-6765 (mai 2002).
25. HUNT, T. E., HIGLEY, L. G., WITKOWSKI, J. F., YOUNG, L. J. & HELLMICH, R. L. Dispersal of adult European corn borer (Lepidoptera : Crambidae) within and proximal to irrigated and non-irrigated corn. *Journal of Economic Entomology* **94**, 1369–1377 (2001).
26. KAMRAN, A., ASIF, M., BILAL, S., AHMAD, M. & HIRANI, A. in *Crop Production* (éd. GOYAL, A.) (InTech, 3 juil. 2013). ISBN : 978-953-51-1174-0.
27. KELLER, S. & WILDING, N. *Entomophthora brevinucleata* sp. nov. [Zygomycetes, Entomophthoraceae], a pathogen of gall midges [Dip. : Cecidomyiidae]. *Entomophaga* **30**, 55–63 (1985).
28. KUHAR, T. P., WRIGHT, M. G., HOFFMANN, M. P. & CHENUS, S. A. Life Table Studies of European Corn Borer (Lepidoptera : Crambidae) with and without Inoculative Releases of *Trichogramma ostrinae* (Hymenoptera : Trichogrammatidae). *Environmental Entomology* **31**, 482–489. ISSN : 0046-225X, 1938-2936 (1^{er} juin 2002).
29. LAGERLÖF, J. & WALLIN, H. The abundance of arthropods along two field margins with different types of vegetation composition : an experimental study. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **43**, 141–154. ISSN : 0167-8809 (29 jan. 1993).

30. LE ROUX, X. *et al.* Agriculture and biodiversity : promoting synergies. *Agriculture et biodiversité : valoriser les synergies* (2009).
31. LEE, D. A. Factors affecting mortality of the european corn borer, *Ostrinia Nubilalis* (HÜBNER), in Alberta. *The Canadian Entomologist* **120**, 841–853. ISSN : 1918-3240 (oct. 1988).
32. MORRIS, D. E., OAKLEY, J. E. & CROWE, J. A. A web-based tool for eliciting probability distributions from experts. *Environmental Modelling & Software* **52**, 1–4. ISSN : 13648152 (fév. 2014).
33. MÜLLER, H. J. Weitere Beiträge zur Biologie des Rapsglanzkäfers, *Meligethes aeneus* F. (Ueber das Winterlager und die Massenbewegung im Frühjahr). *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz* **51**, 529–595. ISSN : 0044-3271 (1941).
34. MUNGER, H. *Travail réduit du sol et système sans intrants chimiques : impact sur le rendement : la fusariose de l'épi et la cécidomyie orangée chez le blé panifiable* thèse de doct. (Université Laval, 2014).
35. NEWTON, H. C. F. Observations on the biology of some flea beetles of economic importance. *Journal of the South Eastern Agricultural College*. **26**, 145–162 (1929).
36. NILSSON, C. Strategies for the control of cabbage stem flea beetle on winter rape in Sweden. *IOBC WPRS BULLETIN* **25**, 133–142 (2002).
37. NILSSON, C. *et al.* Integrated crop and pest management of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) *Zemdirbyste-Agriculture* **102**, 325–334. ISSN : 1392-3196 (1^{er} sept. 2015).
38. OLFERT, O., DOANE, J. & BRAUN, M. Establishment of *Platygaster tuberosula*, an introduced parasitoid of the wheat midge, *Sitodiplosis mosellana*. *The Canadian Entomologist* **135**, 303–308. ISSN : 1918-3240 (avr. 2003).
39. PITCHER, S. A., HOFFMANN, M. P., GARDNER, J., WRIGHT, M. G. & KUCHAR, T. P. Cold storage of *Trichogramma ostriniae* reared on *Sitotroga cerealella* eggs. *BioControl* **47**, 525–535. ISSN : 1386-6141, 1573-8248 (oct. 2002).
40. RUSCH & VALANTIN-MORISON. Multi-scale effects of landscape complexity and crop management on pollen beetle parasitism rate. *Landscape Ecology* **26**, 473–486. ISSN : 0921-2973, 1572-9761 (28 jan. 2011).
41. RUSCH & VALANTIN-MORISON. Effect of crop management and landscape context on insect pest populations and crop damage. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **166**, 118–125. ISSN : 01678809 (fév. 2013).
42. SÁRINGER, G. Summer diapause of cabbage stem flea beetle, *Psylliodes chrysocephala* L. (Col., Chrysomelidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* **98**, 50–54 (1984).

43. THIES, C., STEFFAN-DEWENTER, I. & TSCHARNTKE, T. Effects of landscape context on herbivory and parasitism at different spatial scales. *Oikos* **101**, 18–25. ISSN : 1600-0706 (1^{er} avr. 2003).
44. THIES, C. & TSCHARNTKE, T. Landscape Structure and Biological Control in Agroecosystems. *Science* **285**, 893–895. ISSN : 0036-8075, 1095-9203 (6 août 1999).
45. VALANTIN-MORISON, M., MEYNARD, J. .-M. & DORÉ, T. Effects of crop management and surrounding field environment on insect incidence in organic winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) *Crop Protection* **26**, 1108–1120. ISSN : 0261-2194 (août 2007).
46. VINATIER, F., GOSME, M. & VALANTIN-MORISON, M. Explaining host–parasitoid interactions at the landscape scale : a new approach for calibration and sensitivity analysis of complex spatio-temporal models. *Landscape Ecology* **28**, 217–231. ISSN : 0921-2973, 1572-9761 (fév. 2013).
47. WARNER, D. J., ALLEN-WILLIAMS, L. J., WARRINGTON, S., FERGUSON, A. W. & WILLIAMS, I. H. Implications for conservation biocontrol of spatio-temporal relationships between carabid beetles and coleopterous pests in winter oilseed rape. *Agricultural and Forest Entomology* **10**, 375–387. ISSN : 1461-9563 (1^{er} nov. 2008).
48. WILLIAMS, I. H. in *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests* (éd. WILLIAMS, I. H.) DOI : 10.1007/978-90-481-3983-5_1, 1–43 (Springer Netherlands, 2010). ISBN : 978-90-481-3982-8 978-90-481-3983-5.
49. XIA PENGLIANG *et al.* Geostatistical analysis on the spatial pattern of large scale for the wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera : Cecidomyiidae). *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 62–65 (2010).
50. ZALLER, J. G., MOSER, D., DRAPELA, T., SCHMÖGER, C. & FRANK, T. Effect of within-field and landscape factors on insect damage in winter oilseed rape. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **123**, 233–238. ISSN : 0167-8809 (jan. 2008).
51. ZALLER, J. G., MOSER, D., DRAPELA, T., SCHMÖGER, C. & FRANK, T. Insect pests in winter oilseed rape affected by field and landscape characteristics. *Basic and Applied Ecology* **9**, 682–690. ISSN : 14391791 (oct. 2008).
52. ZALLER, J. G., MOSER, D., DRAPELA, T., SCHMÖGER, C. & FRANK, T. Parasitism of stem weevils and pollen beetles in winter oilseed rape is differentially affected by crop management and landscape characteristics. *BioControl* **54**, 505–514. ISSN : 1386-6141, 1573-8248 (août 2009).