



HAL
open science

Suivi des communautés d'oiseaux et de carabiques sur la ferme expérimentale de l'Inra à Saint-Laurent-de-la-Prée (17) de 2009 à 2017

Lise Jaulmes

► To cite this version:

Lise Jaulmes. Suivi des communautés d'oiseaux et de carabiques sur la ferme expérimentale de l'Inra à Saint-Laurent-de-la-Prée (17) de 2009 à 2017. [Stage] France. Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques de Bordeaux-Aquitaine (Bordeaux Sciences Agro), FRA. 2017, 51 p. hal-02790543

HAL Id: hal-02790543

<https://hal.inrae.fr/hal-02790543>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright



Ecole nationale supérieure des
sciences agronomiques de
Bordeaux Aquitaine

1, cours du Général de Gaulle
CS 40201
33175 GRADIGNAN cedex



Institut National de Recherche
Agronomique

Domaine expérimental
545 rue du Bois Mâché
17450 SAINT-LAURENT-DE-LA-PREE cedex

RAPPORT DE STAGE DE CESURE

OPTION GESTION DES RESSOURCES ET DE L'ENVIRONNEMENT

SUIVI DES COMMUNAUTES D'OISEAUX ET DE CARABIQUES SUR
LA FERME EXPERIMENTALE DE L'INRA A SAINT-LAURENT-DE-
LA-PREE (17) DE 2009 A 2017



P. Jourde



G. Calow



P. Jourde

JAULMES LISE

ENCADRANTE : DAPHNE DURANT

CO-ENCADRANT : LUC BARBARO

ENSEIGNANT REFERENT : ALEXANDRE LEE

- 2017 -

Résumé

Aujourd'hui, rétablir le lien entre les agrosystèmes et la biodiversité, fragilisé depuis l'intensification de l'agriculture, constitue un enjeu majeur. C'est dans cette démarche que s'inscrit l'expérimentation-système menée sur l'unité de l'INRA de Saint-Laurent-de-la-Prée, Charente-Maritime. En effet, une révision progressive du système de polyculture-élevage est opérée depuis 2009. Elle vise à augmenter l'autonomie de ce système agricole tout en préservant la biodiversité typique des marais charentais et en veillant à la fourniture de services écosystémiques. Le volet environnemental se caractérise notamment par un suivi de l'avifaune par points d'écoute d'une part, et un suivi des coléoptères carabiques par pièges à fosse d'autre part de 2009 et 2017. L'étude a permis de caractériser les communautés au sein de ces deux groupes, de décrire leurs variations temporelles mais aussi de déterminer les paramètres influençant leur patrons de distribution. L'avifaune du site est dominée par les oiseaux d'eau et les oiseaux spécialistes des milieux agricoles, tandis que les assemblages de carabiques sont typiques des prairies humides et des cultures extensives. Il est intéressant de constater que l'évolution des communautés d'oiseaux semble moins alarmante sur le site qu'à l'échelle nationale avec en particulier un maintien des espèces spécialistes des milieux agricoles. Il n'y a qu'en 2012 que la richesse spécifique et de l'abondance en oiseaux a chuté vraisemblablement en raison de conditions climatiques particulières. Enfin, nous avons mis en évidence une répartition différentielle des oiseaux et des carabiques entre les parcelles de marais strict et celles à dominante plus bocagère. L'impact des changements d'opérations culturales sur ces communautés reste à explorer dans le détail.

Mots clés : agriculture, biodiversité, expérimentation-système, polyculture-élevage, marais, oiseaux, coléoptères carabiques, points d'écoute, pots Barber, INRA, Saint-Laurent-de-la-Prée.

Abstract

Reconnecting agrosystems to biodiversity, after decades of farming intensification, is one of the major challenges of this century. The system-experiment launched by the French Institute for Agricultural Research in wetlands of western France in 2009 is part of this initiative. Since 2009, the mixed crop-livestock farming system installed in St Laurent de la Prée, Charente Maritime, has been revised to both increase self-sufficiency and conserve typical biodiversity of these atlantic wetlands, but also to provide a large variety of ecosystem services. Point counts and pitfall traps are respectively used to monitor birds and carabid beetles from 2009 and 2017. In this study, we characterize bird and carabid communities analyze their evolution trends and estimate the impact of different factors on their distribution patterns during that period. The avifauna is dominated by water and farmland birds while carabid assemblages are typical of wet meadows and low-intensity croplands. Interestingly, bird populations are less declining at Saint-Laurent-de-la-Prée than at the national scale, with farmland bird specialists especially maintaining their numbers compared to national trends. There is only a decline in bird species richness and abundance in 2012, which had been related to particular climatic conditions. Finally, we found a clear differential distribution of birds and carabid beetles between wetlands and woodland-dominated areas. The long-term impact of these changes in agricultural management on bird and carabid communities still have to be investigated further.

Key words: agriculture, biodiversity, system-experiment, crop, livestock farming, wetlands, birds, carabid beetles, listening stations, barber trap, INRA, Saint-Laurent-de-la-Prée.

Remerciements

Je remercie en premier lieu Daphné Durant, ingénieure écologue et encadrante de mon stage, pour sa pédagogie, ses indications précises et sa disponibilité.

Je remercie vivement Luc Barbaro de l'INRA de Toulouse. En tant que co-encadrant de mon stage, il m'a orientée dans mes analyses et m'a beaucoup appris sur l'écologie des oiseaux liés au marais.

Je tiens à remercier Eric Kernéis, directeur de l'unité de Saint-Laurent-de-la-Prée, pour m'avoir accueillie en stage au sein de la structure.

Je remercie Alexandre Lee, mon tuteur de stage à Bordeaux Sciences Agro, pour son suivi et son accompagnement durant toute mon année de césure.

Je remercie Julien Gonin (LPO) et Pascal Faure pour m'avoir initiée aux suivis des oiseaux communs et limicoles nicheurs sur le terrain.

Je remercie particulièrement Julien Ancelin pour son appui en informatique et langage sql.

Je remercie aussi Mathilde Boual pour sa collaboration dans l'étude portant sur les carabes.

Je remercie particulièrement Michel Prieur, Pierre Roux et Audrey Petiot, pour avoir facilité mon intégration dès mon arrivée.

Je remercie enfin tous mes collègues de l'INRA pour leur bonne humeur et leur partage de connaissances.

Table des figures

Figure 1: Schéma d'un piège Barber	14
Figure 2: Les 11 espèces les plus contactées.....	16
Figure 3: Les 6 espèces les plus abondantes	16
Figure 4: Les espèces dont la fréquence est supérieure à 50%	17
Figure 5: Répartition des espèces selon les 4 catégories d'oiseaux définies par le CRBPO ...	17
Figure 6: Richesse spécifique moyenne des points d'écoute.....	18
Figure 8: Représentation des individus de l'ACP colorés selon le numéro de point d'écoute	18
Figure 7: Cercle de corrélation de l'ACP	18
Figure 9: Variations inter-annuelles de la richesse spécifique entre 2009 et 2017	19
Figure 10: Variations inter-annuelles de l'abondance totale entre 2009 et 2017.....	19
Figure 12: Précipitations mensuelles au printemps entre 2009 et 2017.....	19
Figure 11: Températures moyennes printanières par mois (2009 et 2017).....	19
Figure 13: Variations de la richesse fonctionnelle (2009-2017).....	20
Figure 14: Variations de la régularité fonctionnelle et de la divergence fonctionnelle (2009-2017).....	20
Figure 15: Variations du CSI entre 2009 et 2017.....	20
Figure 16: Tendances de l'abondance de 3 groupes fonctionnels sur la période 2009-2017...	21
Figure 17: Variations inter-annuelles des IPA de 3 spécialistes agricoles entre 2009 et 2017	22
Figure 18: Variations inter-annuelles des IPA de 2 spécialistes des bâtis entre 2009 et 2017	22
Figure 20: Evolution du nombre de couples nicheurs de Vanneau huppé et du nombre de parcelles occupées	22
Figure 19: Variations interannuelles des IPA de 4 espèces d'oiseaux d'eau entre 2009 et 2017	22
Figure 21: Les espèces dominantes à SLP sur la période 2013-2017	23
Figure 22: Les espèces dominantes à Yves sur la période 2013-2017.....	23
Figure 23: Comparaison de la richesse spécifique annuelle entre SLP et Yves.....	24
Figure 24: Comparaison de la richesse moyenne par point entre SLP et YVES	24
Figure 25: Diagramme des coordonnées appariées de la co-inertie entre SLP et Yves (les numéros correspondent aux points d'écoute)	24
Figure 27: Comparaison de l'équitabilité fonctionnelle (FEve) et de la divergence fonctionnelle (FDis) entre SLP et Yves (2013-2017)	25
Figure 26: Comparaison de la richesse fonctionnelle entre SLP et Yves (2013-2017)	25
Figure 28: Comparaison du CSI entre SLP et Yves.....	25
Figure 29: Tendances des 4 cortèges sur les deux sites	26
Figure 30 : Les espèces de carabiques dominantes et leur pourcentage de l'abondance totale	27
Figure 31: Les fréquences des espèces constantes sur la période 2009-2016.....	27
Figure 32: Répartition des carabiques selon leur habitat de prédilection.....	27
Figure 33: Proportion des régimes alimentaires observée dans les communautés de carabiques selon trois saisons.....	28
Figure 34 : Répartition des carabiques selon leur taille (T1 : 0-5 mm, T2 : 5-10 mm, T3 : 10-15mm, T4: 15-20 mm).....	28
Figure 35: Répartition des carabiques selon leur type d'ailes	28
Figure 36 : Co-inertie entre les abondances par espèces et les caractéristiques de l'assolement	29
Figure 37: Co-inertie entre les abondances par espèce et le type de milieu.....	29

Figure 38: Evolution de la richesse spécifique moyenne par piège	30
Figure 39: Variations relatives de la richesse spécifique et de l'abondance totale	30
Figure 40 : Courbes de raréfaction en carabiques correspondant au protocole arrêté en 2014	30
Figure 41: Variations inter-annuelles de quelques espèces de carabiques (2009-2016).....	31
Figure 42: Température moyenne annuelle et estivale (2009-2016).....	31
Figure 43: Cumul des précipitations par année (2009-2016).....	31

Liste des tableaux

Tableau 1: Récapitulatif des protocoles d'échantillonnage et piégeage des carabiques selon les années d'étude	14
Tableau 2: Liste des espèces spécifiques à chaque site.....	23
Tableau 3: Chiffres correspondant à la figure 29	26

Liste des cartes

Carte 1: Localisation des points EPS sur la Parcellaire de SLP.....	7
Carte 2: Carte des parcelles suivies pour les carabiques depuis 2014.....	13

Liste des annexes

Annexe I: Liste des observateurs chargés des points d'écoute depuis 2009	42
Annexe II: Listes des espèces par cortèges pour la zone Atlantique.....	43
Annexe III: Liste des espèces d'oiseaux recensées à SLP et Yves avec leur code Genre-espèce	44
Annexe IV: Les variations annuelles du CSI au niveau national sur la période 1989-2015....	46
Annexe V: Tendances régionales des différents cortèges sur la période 2003-2013	47
Annexe VI: Tendances régionales de la population d'Alouette des champs d'après le STOC Poitou-Charentes entre 2003 et 2013 (Source : MNHN, fourni par Romain Lorrillière)	48
Annexe VII: Tendances significatives de quelques espèces entre 2013 et 2017 calculées à partir des deux sites	49
Annexe VIII: Liste des espèces de coléoptères carabiques recensées à SLP et leurs traits de vie	50

Sommaire

Liste des abréviations	1
Lexique.....	2
I. Introduction.....	3
I. 1. Contexte de l'étude	3
I. 2. Cadre de l'expérimentation-système et problématique.....	3
II. Matériel et méthodes	6
II. 1. Présentation de la zone d'étude	6
II. 2. Les données climatiques	6
II. 3. Matériel et méthodes pour le suivi des oiseaux.....	7
II. 3. a. Méthode des points EPS	7
II. 3. b. Méthode de suivi des limicoles nicheurs	8
II. 3. c. Analyse des données	9
II. 3. d. Les données de référence.....	12
II. 4. Matériel et méthodes pour le suivi des carabiques	13
II. 4. a. Méthode de piégeage	13
II. 4. b. Tri et comptage du contenu des pièges.....	14
II. 4. c. Analyse des données	15
II. 4. d. Données d'assolement et données de référence.....	15
III. Résultats	16
III. 1. Résultats de l'étude de l'avifaune (2009-2017)	16
III. 1. a. Caractérisation générale des communautés d'oiseaux	16
III. 1. b. Evolution de 2009 à 2017.....	19
III. 1. c. Comparaison à un site de référence sur la période 2013 à 2017	23
III. 1. d. Tendance d'évolution conjointement sur les deux sites (2013-2017).....	26
III. 2. Résultats du suivi des carabiques (2009-2016)	27
III. 2. a. Caractérisation générale des communautés de coléoptères carabiques.....	27
III. 2. b. Relation entre communautés de carabiques et habitats	29
III. 2. c. Evolution des communautés de carabiques sur la période 2009-2016.....	30
IV. Discussion	32
V. Conclusion.....	36
VI. Références bibliographiques	38

Liste des abréviations

CIPAN : Culture Intermédiaire Piège à Nitrates

CRBPO : Centre de Recherche sur la Biologie des Populations d'Oiseaux

CSI : Indice moyen de Spécialisation des Communautés (Community Specialization Index)

EEA : Agence Européenne pour l'Environnement

EPS : Echantillonnage ponctuel simple

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

IPA : Indice Ponctuel d'Abondance

MAE : Mesures Agri-Environnementales

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle

PAC : Politique Agricole Commune

SAD : Sciences pour l'Action et le Développement

SIGMA : Système d'Information Géographique en Marais

SLP : Saint-Laurent-de-la-Prée

SSI : Indice de spécialisation par espèce (Species Specialization Index)

STOC-EPS : Suivi Temporel des Oiseaux Communs par Echantillonnage Ponctuel Simple

Lexique

Auxiliaire de culture : Un auxiliaire de culture est un être vivant qui détruit les ravageurs ou atténue leurs effets. Il s'agit souvent d'animaux consommant les ennemis des cultures (insectes comme les coccinelles ou les carabes, des araignées, des vers, certains oiseaux, ...). Cette catégorie comprend aussi des parasites ou des micro-organismes (bactéries, champignons, ...) provoquant des maladies au sein des populations de ravageurs (Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt).

Baisse : Lorsque le marais n'était encore qu'une immense vasière littorale, la marée haute en se retirant a creusé des chenaux d'écoulement. Ces chenaux naturels se retrouvent encore actuellement sur les prairies naturelles de marais où ils forment des dépressions sinueuses que l'on appelle les baisses (Source : LPO marais de Rochefort).

Bande enherbée : Une bande enherbée est un couvert végétal multifonctionnel d'au moins cinq mètres de large (minimum réglementaire défini par la PAC). La flore qui la compose doit être adaptée aux caractéristiques environnementales et spatiales de la parcelle en cohérence avec les exigences de l'exploitant. Elle possède un intérêt environnemental certain en jouant le rôle de zone tampon entre les cultures et les eaux superficielles (cours d'eau, fossés, ...), en servant d'habitat ou de refuge pour la biodiversité et en limitant l'érosion du sol.

Biodiversité : La biodiversité est définie comme « la variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques, et les complexes écologiques qui en font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces, ainsi que celle des écosystèmes. » (Convention de Rio 1992).

Communauté : Une communauté est un ensemble de populations d'espèces différentes vivant à un endroit donné à un moment donné, et partageant des interactions biotiques intra- et interspécifiques. On peut associer des espèces qui regroupent des populations appartenant à un même règne ou à un même niveau trophique par exemple.

Cortège : Un cortège est un ensemble d'espèces ayant des caractéristiques écologiques ou biologiques communes.

Cultures intermédiaires pièges à nitrate (CIPAN) : Les cultures intermédiaires pièges à nitrates sont semées lors de la période d'interculture, ces végétaux (par exemple la moutarde blanche) jouent un rôle essentiel dans la lutte contre la pollution en nitrates des eaux superficielles et souterraines. Les CIPAN piègent l'azote dans le sol après la culture précédente pour éviter le lessivage des nitrates associé en particulier aux fortes pluies d'hiver.

Niche écologique : Une niche écologique correspond à l'ensemble des conditions environnementales telles qu'une espèce donnée peut former des populations viables.

Population : Une population est un groupe d'individus d'une espèce déterminée vivant sur un territoire bien défini à un moment donné.

Service écosystémique : Les services écosystémiques sont définis comme étant les bénéfices que les êtres humains tirent du fonctionnement des écosystèmes (INRA 2013).

I. Introduction

I. 1. Contexte de l'étude

Après la seconde guerre mondiale, l'intensification de l'agriculture a permis de satisfaire la demande en denrées alimentaires (Smil 2000). Mais les mutations des systèmes agricoles qui y ont été associées ont été effectuées au prix d'une dégradation de l'environnement et d'un déclin de la biodiversité (Klimek et al. 2006). Les principaux moteurs en cause seraient la simplification du paysage au travers notamment de la perte d'infrastructures agro-écologiques (haies, mares, etc.), ainsi que l'emploi croissant de produits phytosanitaires et d'engrais chimiques (Stoate et al. 2001). De ce fait, il est courant aujourd'hui d'opposer l'agriculture et la préservation de la diversité des espèces et des écosystèmes.

Pourtant, la biodiversité est indispensable à l'agriculture dans la mesure où elle rend des services, appelés « services écosystémiques », aux agriculteurs (Swinton et al. 2007). A titre d'exemple, certains insectes s'avèrent utiles du fait de leur fonction de pollinisateurs, quand d'autres jouent le rôle d'auxiliaires de cultures en limitant les ravageurs dans les espaces cultivés (lutte biologique). D'après une synthèse générale sur l'économie de la biodiversité (Sukhdev 2010), il est ainsi possible d'attribuer une valeur économique à tout service écosystémique. Par exemple, l'optimisation des services de régulation des ravageurs et des adventices peut permettre à l'exploitant agricole de faire d'importantes économies (Gurr et al. 2004), en particulier sur l'achat d'intrants. Réciproquement, les activités agricoles contribuent à la sauvegarde de certaines espèces en maintenant des milieux ouverts qui leur sont favorables. L'Agence européenne pour l'environnement estime que la moitié des espèces d'Europe dépendent des milieux agricoles (EEA 2005).

Par conséquent, le défi aujourd'hui est de concevoir des agro-systèmes qui concilient production et préservation de la biodiversité. C'est l'objet de la loi sur la biodiversité adoptée par le gouvernement français en juillet 2016 qui doit en particulier interdire l'emploi des néonicotinoïdes à compter de septembre 2018, en raison de leur toxicité pour des insectes utiles comme les abeilles. Il s'agit donc de repenser les systèmes agricoles en intégrant la biodiversité dans les processus de production. La Politique Agricole Commune (PAC) encourage notamment cette intégration via l'attribution d'aides aux agriculteurs européens pour la mise en œuvre d'actions en faveur du maintien de la biodiversité : ce sont les Mesures Agri-Environnementales (MAE).

I. 2. Cadre de l'expérimentation-système et problématique

L'unité expérimentale de l'INRA de Saint-Laurent-de-la-Prée, appartenant au Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers, s'inscrit dans cette démarche d'intégration de la biodiversité au fonctionnement des agro-systèmes. En effet, cette unité rattachée au département de recherche Sciences pour l'Action et le Développement (SAD) a lancé le projet Transi'marsh en 2009. Cette expérimentation-système consiste en l'application d'une transition agro-écologique à une ferme expérimentale de polyculture-élevage, située dans les marais de Rochefort-sur-Mer (Charente-Maritime). L'objectif de ce programme est double :

- Protéger la biodiversité typique des marais charentais ;
- Augmenter l'autonomie de l'exploitation, notamment son autosuffisance vis-à-vis de l'alimentation du troupeau.

Pour effectuer cette transition agro-écologique, le système de cultures a été révisé (assolement plus diversifié, rotations plus longues, etc.) et les pratiques agricoles ont été modifiées (pratique du semis sous couvert, implantation de CIPAN¹, etc.). Des bandes enherbées ont également été aménagées sur le pourtour des parcelles de cultures. Des éléments semi-naturels comme les haies et roselières ont été préservés.

Les résultats obtenus par une ferme pilote de l'INRA comme celle de Saint-Laurent-de-la-Prée pourraient, à terme, permettre de préconiser des systèmes agricoles adaptés au marais qui soient à la fois économiquement viables et plus respectueux des écosystèmes. C'est pourquoi, afin de mesurer les progrès de l'expérimentation et de réviser si nécessaire les pratiques agricoles adoptées, une évaluation des performances technico-économiques et environnementales de la ferme a été instaurée. Un suivi régulier de la biodiversité a notamment été mis en place.

D'une part, un suivi annuel des prairies naturelles humides a été établi afin d'évaluer l'impact des pratiques de pâturage et de fauche sur la flore. D'autre part, les oiseaux et les coléoptères carabiques ont été retenus pour les suivis faunistiques au domaine de Saint-Laurent-de-la-Prée. Les oiseaux sont suivis chaque année depuis 2009 tandis que les carabiques n'ont été suivis régulièrement que depuis 2012 après un premier relevé en 2009. L'étude des oiseaux se justifie par leur large répartition, puisqu'on les retrouve au sein d'une grande diversité d'écosystèmes, mais aussi par leur qualité de bio-indicateurs. En effet, les oiseaux sont situés à des niveaux trophiques variés, ce qui les rend sensibles à l'évolution récente d'une large gamme de facteurs biotiques et anthropiques affectés par les changements globaux (Dupuis et al. 2011). De plus, il existe un programme national de Suivi Temporel des Oiseaux Communs par Echantillonnage Ponctuel Simple (STOC-EPS) initié par le Muséum National d'Histoire Naturelle en 1989, pour évaluer les variations spatiales et temporelles de l'abondance des populations nicheuses d'oiseaux communs. Ce programme basé sur des points d'écoute et qui se décline au niveau régional permet d'avoir des références auxquelles comparer nos données. Par ailleurs, la présence des coléoptères carabiques dans la plupart des milieux terrestres y compris agricoles, et dans tout l'hexagone, a motivé le choix de suivi de ce groupe. De même, les carabiques sont sensibles aux conditions biotiques et abiotiques et à l'aménagement du paysage (Michaels 1999 ; Rainio et Niemela 2003) ce qui en fait de bons indicateurs de la qualité de l'habitat ainsi que de l'effet des gestions et perturbations sur le milieu. De plus les carabiques ont un fort intérêt agronomique de par leur rôle dans la lutte biologique. Enfin, les carabiques ont été sélectionnés pour leur simplicité d'échantillonnage par piégeage et leur relative facilité d'identification par rapport à d'autres groupes d'arthropodes.

Dans les habitats de prairies humides, les communautés d'oiseaux et de carabiques dépendent de gradients d'inondation, de salinité et de conditions hydriques des sols (Brandolin & Blendinger 2016 ; Fournier et al. 2015). Les passereaux nicheurs, en particulier les insectivores, sont très sensibles aux précipitations printanières qui, trop élevées, peuvent avoir des effets négatifs sur le succès reproducteur, via une réduction du nombre de jeunes élevés avec succès, voire un affaiblissement des adultes (Öberg et al. 2015). D'autre part, la température et la pluviométrie sont des facteurs limitant le cycle de vie des coléoptères carabiques (Paarmann 1986). En particulier, les carabiques spécialistes, de grande taille et peu mobiles sont les plus affectés par les inondations hivernales (Fournier et al. 2015).

¹ Culture intermédiaire piège à nitrates

Le but de mon stage est de réaliser une synthèse des données sur les oiseaux et les coléoptères carabiques collectées depuis le lancement de l'expérimentation-système en 2009. Il s'agit tout d'abord de caractériser de façon générale les communautés d'oiseaux et de carabiques présentes à Saint-Laurent-de-la-Prée. Le second objectif est de décrire l'évolution de ces communautés au cours du temps grâce aux neuf années consécutives de suivi pour les oiseaux et aux six années de données en carabiques. Enfin, le troisième objectif vise à explorer les facteurs du milieu pouvant expliquer les évolutions observées (ex : les caractéristiques du système agricole comme l'assolement), en les comparant notamment à celles échantillonnées sur un secteur de marais témoin voisin, le marais d'Yves.

II. Matériel et méthodes

II. 1. Présentation de la zone d'étude

Notre zone d'étude correspond à la ferme expérimentale sur laquelle est conduit « l'expérimentation-système » de Saint-Laurent de la Prée. Il s'agit d'un système de polyculture-élevage qui dispose de 160 ha répartis entre 45 ha de cultures (céréales, oléagineux et protéagineux) et 115 ha de prairies (Carte 1). Une partie de ces surfaces est destinée à nourrir un troupeau de 60 vaches allaitantes de race maraîchine ainsi que leur suite, et à produire la paille nécessaire à l'hébergement du troupeau en stabulation l'hiver. Les parcelles de culture sont équipées de dispositifs de drainage (drains enterrés ou rigoles et « ados ») de manière à gérer les excédents d'eau l'hiver.

Avec 90% de ses terres situées dans le marais, le domaine expérimental est marqué par une certaine hétérogénéité paysagère. On peut distinguer trois ensembles (Jourde 2009) :

- Des blocs de parcelles remembrées en marais ouvert que l'on qualifie dans notre analyse de « marais » ;
- Des parcelles en situation d'écotone entre marais semi-bocager et coteau que l'on désigne dans l'étude sous le nom de « milieu intermédiaire » ;
- Quelques parcelles en milieu bocager à maillage moyen ou « terres hautes »

Enfin, le site présente des discontinuités liées aux infrastructures de transport. En effet, le parcellaire est traversé par la voie de chemin de fer reliant Rochefort et la Rochelle et la départementale D137. Une voie à grande vitesse (4 voies) traverse également une partie du parcellaire.

Un autre site, le marais d'Yves, du nom de sa commune d'appartenance, constitue notre référence locale dans le cadre du suivi des oiseaux. Egalement localisé dans le marais et distant d'environ 5 kilomètres de Saint-Laurent-de-la-Prée, il est similaire à notre site d'étude en termes d'occupation et de contexte paysager.

II. 2. Les données climatiques

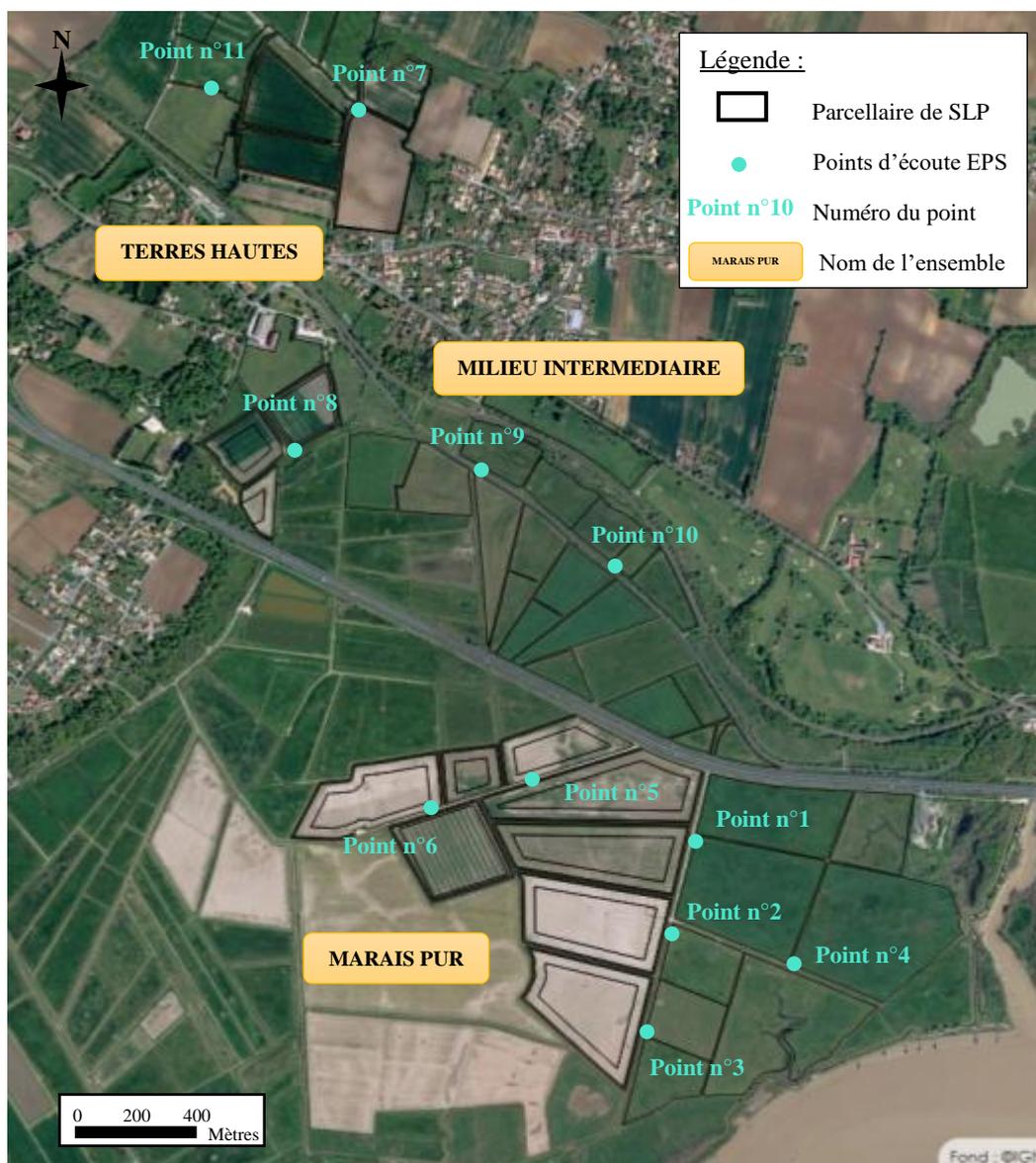
Grâce à la station météorologique présente sur le site de l'INRA, nous avons eu accès aux données météorologiques depuis 2009. Afin d'évaluer l'effet du climat dans la détermination des variations inter-annuelles en oiseaux et coléoptères carabiques par rapport aux facteurs étudiés (cf. Introduction), nous avons extrait les températures moyennes mensuelles et le niveau de pluies cumulées par mois, chaque année sur la ferme expérimentale entre 2009 et 2017.

II. 3. Matériel et méthodes pour le suivi des oiseaux

II. 3. a. Méthode des points EPS

Le suivi à long terme des oiseaux dits « communs »² est réalisé sur le domaine de Saint-Laurent-de-la-Prée depuis 2009 par échantillonnages ponctuels simples (EPS). Cette méthode, arrêtée par le MNHN dans le cadre du programme STOC-EPS, consiste en un comptage, en un point donné, de tous les oiseaux entendus, vus, posés ou en vol, pendant 5 minutes, et ce dans un rayon de 250 m. Le site d'étude de Saint-Laurent-de-la-Prée correspond à un ensemble de 10 points d'écoute (Carte 1).

Carte 1 : Localisation des points EPS sur les différents ensembles du parcellaire de SLP



Source : INRA de Saint-Laurent de la Prée – Réalisation le 20/05/2017 – Lise Jaulmes

² Ce groupe comprend tous les passeriformes, certains rapaces, des limicoles et quelques autres espèces.

Les points 1 à 6 appartiennent à la zone dite de « marais », le point 7 aux « terres hautes », les points 8 à 10 au « milieu intermédiaire ». Il est utile de noter qu'un onzième point a été rajouté en 2013 car il semblait manquer un point pour une caractérisation suffisante de la zone de « terres hautes » (Carte 1). Ce protocole prévoit 2 passages effectués au printemps. Mais depuis 2013 ce sont 4 passages qui sont réalisés à Saint-Laurent-de-la-Prée afin d'améliorer la précision des données. C'est également à partir de 2013 que la même méthode de suivi par points EPS a été mise en place à « Yves » à partir de 2013 (avec 4 passages également). Les onze points d'écoute à Yves ont été sélectionnés de manière à être représentatifs des onze points d'écoute de Saint-Laurent-de-la-Prée. L'INRA recrute chaque année un ornithologue confirmé pour effectuer ces suivis. La liste des différents observateurs entre 2009 et 2017 figure en Annexe 1.

II. 3. b. Méthode de suivi des limicoles nicheurs

Les limicoles font également l'objet d'un suivi spécifique par comptage direct sur le site d'étude. Cette méthode nommée « parcelle par parcelle » (Milsom et al. 2000) repose sur l'observation scrupuleuse de toutes les parcelles le long d'un itinéraire pré-établi, effectué essentiellement à pied, jalonné de points d'observation clés (bonne visibilité, en hauteur, etc.). Ces suivis sont réalisés depuis 2009, de mars à juin, voire début juillet. Ils permettent d'indiquer si chaque parcelle de la ferme est occupée par des limicoles ainsi que le nombre de couples présents le cas échéant. A noter, qu'une parcelle est considérée comme « occupée » si la reproduction d'au moins un couple de limicole a été constatée de manière certaine (observation d'un nid ou d'un adulte couveur), ou bien si un couple a montré des signes de reproduction (parade, cri d'alarme) sur la parcelle en question pendant au minimum deux suivis consécutifs.

Les espèces prises en compte sont toutes les espèces de limicoles, et plus particulièrement le Vanneau huppé (*Vanellus vanellus*), le Chevalier gambette (*Tringa totanus*), l'Echasse blanche (*Himantopus himantopus*), la Barge à queue noire (*Limosa limosa*), et la Bécassine des marais (*Gallinago gallinago*). A noter, que seules les trois premières espèces nichent ou ont niché sur le domaine.

II. 3. c. Analyse des données

Nous avons dans un premier temps cherché à caractériser les paramètres des communautés d'oiseaux de notre site d'étude : la diversité des espèces présentes mais aussi l'importance relative de chaque espèce et sa distribution spatiale sur le domaine expérimental. Pour répondre à ces questions, nous avons utilisés trois indices classiquement employés en écologie :

- **La richesse spécifique**

La richesse spécifique correspond au nombre d'espèces contactées.

- **L'abondance par espèce**

L'abondance correspond au nombre total d'individus comptabilisés pour une espèce. Ici, le chiffre retenu est le maximum d'individus contactés d'une espèce lors des deux ou quatre passages au cours d'une année. Nous avons identifié les espèces dominantes c'est-à-dire représentant plus de 5% du total des individus contactés.

- **La fréquence d'occurrence par espèce**

La fréquence d'occurrence correspond au rapport entre le nombre de relevés contenant l'espèce et le nombre total de relevés (Dajoz 2006). Bigot et Bodot (1973) définissent quatre classes en fonction de la fréquence d'occurrence de l'espèce :

- « Constante » : l'espèce est présente dans plus de 50% des relevés ;
- « Accessoire » : l'espèce est présente dans 25 à 49% 49 % des relevés ;
- « Accidentelle » : l'espèce est présente dans 10 à 25% des relevés ;
- « Sporadique » : l'espèce est présente dans moins de 10% des relevés.

Il a été récemment proposé de classer les espèces d'oiseaux les plus fréquemment observées dans quatre groupes liés à leur spécialisation par rapport à l'habitat (Julliard et al. 2006) : les espèces généralistes, ne présentant pas de préférence pour tel ou tel habitat, les espèces spécialistes des milieux agricoles, des milieux forestiers et des milieux bâtis. Ces préférences en termes d'habitat peuvent être obtenues à partir du STOC (Julliard et Jiguet 2002), puisqu'elles se fondent sur les abondances de chacune des espèces au sein des diverses classes d'habitats. Nous nous sommes appuyés sur la répartition des espèces dans ces quatre groupes établie par le CRBPO pour la région Atlantique (l'une des trois zones biogéographiques françaises avec la zone continentale et la zone méditerranéenne). La liste des espèces par groupe figure en Annexe 2.

Pour l'étude de l'évolution des communautés du site sur les neuf années de suivi, nous nous sommes aussi appuyés sur la richesse spécifique et l'abondance totale. Nous avons également renseigné 10 traits fonctionnels³ ou attributs biologiques chez 78 espèces (Barbaro et van Halder 2009) : le mode de recherche alimentaire, le régime alimentaire, la position du nid, la stratégie de migration, la date de ponte, la taille du domaine vital, la productivité (nombre moyen d'œufs par ponte), la masse du corps, l'indice de préférence thermique (STI) et l'indice de spécialisation à l'habitat par espèce (SSI) afin d'estimer la diversité fonctionnelle des communautés d'oiseaux.

Il est intéressant d'étudier les variations de la diversité fonctionnelle car celle-ci a un effet au moins aussi important que la diversité spécifique sur le fonctionnement des écosystèmes (Mouillot et al. 2011; De Bello et al. 2010). En effet, une diversité spécifique élevée peut ne représenter qu'un petit nombre de rôles fonctionnels. Or il apparaît important qu'un maximum de traits fonctionnels soit maintenu pour la stabilité et le fonctionnement des écosystèmes naturels et anthropisés (Tilman et al. 1997), en particulier au sein des communautés d'oiseaux rendant des services de régulation biologique importants dans les agrosystèmes (Barbaro et al. 2017). Les 78 espèces conservées pour cette estimation de la diversité fonctionnelle correspondent aux espèces représentées par au moins 3 individus contactés entre 2009 à 2017. L'objectif est de garder le maximum d'espèces car des espèces avec des traits relativement rares, même peu abondantes, peuvent influencer grandement la diversité fonctionnelle (Mouillot et al. 2013).

Les indices fonctionnels (la richesse fonctionnelle : FRic, l'équitabilité fonctionnelle : FEve et la divergence fonctionnelle : FDiv) de Villéger et al. (2008) ont été calculés à partir des 10 traits grâce à la fonction dbFD du package « FD » du logiciel R (dont l'utilisation est détaillée plus loin). La richesse fonctionnelle correspond à la quantité d'espace fonctionnel occupé par les communautés d'oiseaux, autrement dit au nombre de combinaisons de traits uniques présentes dans les communautés de Saint-Laurent-de-la-Prée. Contrairement à ce premier indice basé sur la présence ou l'absence des espèces, l'équitabilité fonctionnelle et la divergence fonctionnelle prennent en compte les abondances (Villéger et al. 2008). L'équitabilité fonctionnelle mesure la régularité de la distribution d'abondance des valeurs de traits à l'intérieur de l'espace fonctionnel occupé par les communautés tandis que la divergence fonctionnelle exprime la dispersion des valeurs de traits dans l'espace fonctionnel, elle est donc sensible aux valeurs extrêmes de traits (Mason et al. 2005).

Nous avons étudié également l'Indice de Spécialisation des Communautés (CSI) sur la période d'étude car c'est un bon indicateur de la réponse des communautés d'oiseaux à la transformation des habitats. En effet, les espèces spécialistes s'avèrent plus sensibles à la fragmentation du paysage que les espèces généralistes (Julliard et al. 2006). Une diminution du degré moyen de spécialisation des communautés traduit donc le remplacement d'individus d'espèces spécialistes par des individus d'espèces généralistes en réaction à un changement dans l'habitat (Devictor et al. 2008). L'indice de spécialisation des communautés (CSI) est la moyenne des indices de spécialisation à l'habitat des espèces (SSI) pondérée par leur abondance observée dans la communauté et il s'obtient également par la fonction dbFD dans le logiciel R qui permet de calculer la moyenne fonctionnelle de chaque trait (CWM = Community Weighted Mean traits).

³ Un trait fonctionnel est une caractéristique morphologique, physiologique ou phénologique d'une espèce mesurée à l'échelle des individus et qui détermine sa performance individuelle (croissance, reproduction et survie).

De plus, nous avons calculé les tendances d'évolution des quatre groupes fonctionnels sur la période. Chaque année, on calcule le taux de variation de l'abondance en divisant l'abondance totale au sein du groupe par l'abondance correspondant à l'année précédente. On soustrait 1 à ce nombre afin d'avoir un chiffre négatif associé à une décroissance et un chiffre positif en cas de progression. 2009, l'année du début des suivis est définie comme l'année de référence et correspond donc à un taux de variation nul. Pour estimer la tendance globale sur la période, on effectue la moyenne des taux de variation sur les neuf années. On élimine de l'analyse les espèces absentes trois années consécutives ou non présentes au minimum trois années consécutives. Enfin, nous avons mesuré les variations inter-annuelles des populations des espèces les plus fréquentes et représentées au moins par 5 individus par an en raisonnant en particulier en **Indice ponctuel d'abondance (IPA)**, soit le nombre total d'individus sur nos points d'écoute divisé par le nombre de points (ou nombre moyen d'individus d'une espèce par point d'écoute sur le site considéré). Bien que les méthodes de calcul soient différentes, nous avons confronté les variations inter-annuelles d'abondances par groupe fonctionnel et par espèce observable sur notre site d'étude aux tendances régionales du STOC Poitou-Charentes que nous avons pu trouver dans la littérature, à savoir entre 2009 et 2013 (MNHN – CESCO 2016).

De même, nous nous sommes appuyés sur la richesse spécifique, les abondances et fréquences par espèce et la diversité fonctionnelle pour comparer notre site d'étude au site de référence entre 2013 et 2017. Nous avons en outre pu comparer les deux sites en termes de diversité grâce à :

- **L'indice de Shannon-Weaver**

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte la richesse spécifique et l'abondance des individus au sein de chaque espèce. Il se calcule comme suit :

$$H = - \sum_{i=1}^S (Pi)(\text{Log}_2 Pi)$$

Avec S : le nombre d'espèces présentes dans le relevé
Pi : la proportion de l'espèce i dans le relevé

Nous l'avons calculé avec le package 'vegan' du logiciel R dont l'utilisation est expliquée plus loin ;

- **L'indice d'équitabilité de Piélou**

L'indice d'équitabilité de Piélou permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces indépendamment de la richesse spécifique. Il se calcule de la manière suivante :

$$J = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{H}{\ln S}$$

Avec H : l'indice de Shannon-Weaver
S : le nombre d'espèces présentes dans le relevé

Notons que dans l'étude des variations inter-annuelles au sein des communautés d'oiseaux de 2009 à 2017, nous n'avons pris en compte que les données des 10 premiers points sur deux passages afin d'avoir des résultats comparables d'une année sur l'autre. A partir de 2013, où non plus deux mais quatre passages ont été effectués, nous avons choisi les deux passages dont les dates étaient respectivement les plus proches des dates moyennes des deux passages réalisés entre 2009 et 2013 (sans tenir compte des numéros des passages). En revanche, dans la comparaison de notre site d'étude avec le site d'Yves de référence, entre 2013 et 2017, nous avons pu considérer les quatre passages ainsi que les onze points d'écoute pour chaque site.

Les analyses statistiques ont toutes été effectuées avec le logiciel R version 3. 3. 3. Nous avons utilisé l'interface RStudio.

Les analyses multivariées ont permis d'appréhender les relations entre les facteurs et les variables ou indicateurs mentionnés précédemment. Elles ont été réalisées à l'aide du package `ade4` de R. L'analyse en composantes principales (ACP) sur les abondances par espèce nous a permis d'explorer les relations entre espèces mais aussi d'identifier les différences ou similitudes entre nos points d'écoute. Nous n'avons considéré que les 48 espèces d'oiseaux présentes tous les ans à SLP ou absentes du site au maximum une année. Une analyse de co-inertie nous a permis de comparer les sites de SLP et Yves en abondance chez l'avifaune et de vérifier la correspondance entre les points d'écoute appariés par types d'habitat.

Les tests statistiques ont permis de confirmer ou infirmer les hypothèses formulées à partir des analyses descriptives et multivariées. Avec l'analyse de variance, nous avons l'effet d'un ou deux facteurs (l'année, le numéro du point, ...) sur les indicateurs (richesse spécifique, abondances, etc.). Des analyses de variance (Anova) à mesures répétées ont été nécessaires étant donné que ce sont les mêmes points d'écoute qui sont effectués chaque année que ce soit à SLP depuis 2009 ou à Yves depuis 2013, tandis que les tests de comparaison de moyenne sur la richesse spécifique et les indices de diversité nous ont permis de comparer les points d'écoute de SLP entre eux, mais aussi de les comparer à ceux du site de référence. Lorsque la normalité des résidus était vérifiée et que le nombre de relevés était supérieur à 30 nous avons effectué un test de Student, sinon un test de Wilcoxon. Il a fallu prendre en compte l'appariement des points un à un entre les deux sites étant donné que le choix des points 1 à 11 du site d'Yves a porté sur une similitude paysagère avec les points 1 à 11 de SLP, respectivement.

Enfin un script R, mis à disposition par le MNHN sur le site « Vigie nature », permet de calculer les tendances des quatre cortèges indicateurs sur plusieurs années à condition d'avoir des données sur au minimum deux carrés STOC. Nous avons considéré SLP et Yves comme deux carrés (en enlevant cependant le point 11 car les carrés ne comportent que 10 points). Le suivi du site de référence (Yves) n'ayant commencé qu'en 2013, nous n'avons donc pu utiliser le modèle du MNHN sur ces deux carrés qu'entre 2013 et 2017. Malheureusement, nous avons été dans l'impossibilité de comparer ces tendances obtenues sur les cinq dernières années aux tendances régionales sur cette période, les données du STOC de Poitou-Charentes postérieures à 2013 n'étant pas encore disponibles.

II. 3. d. Les données de référence

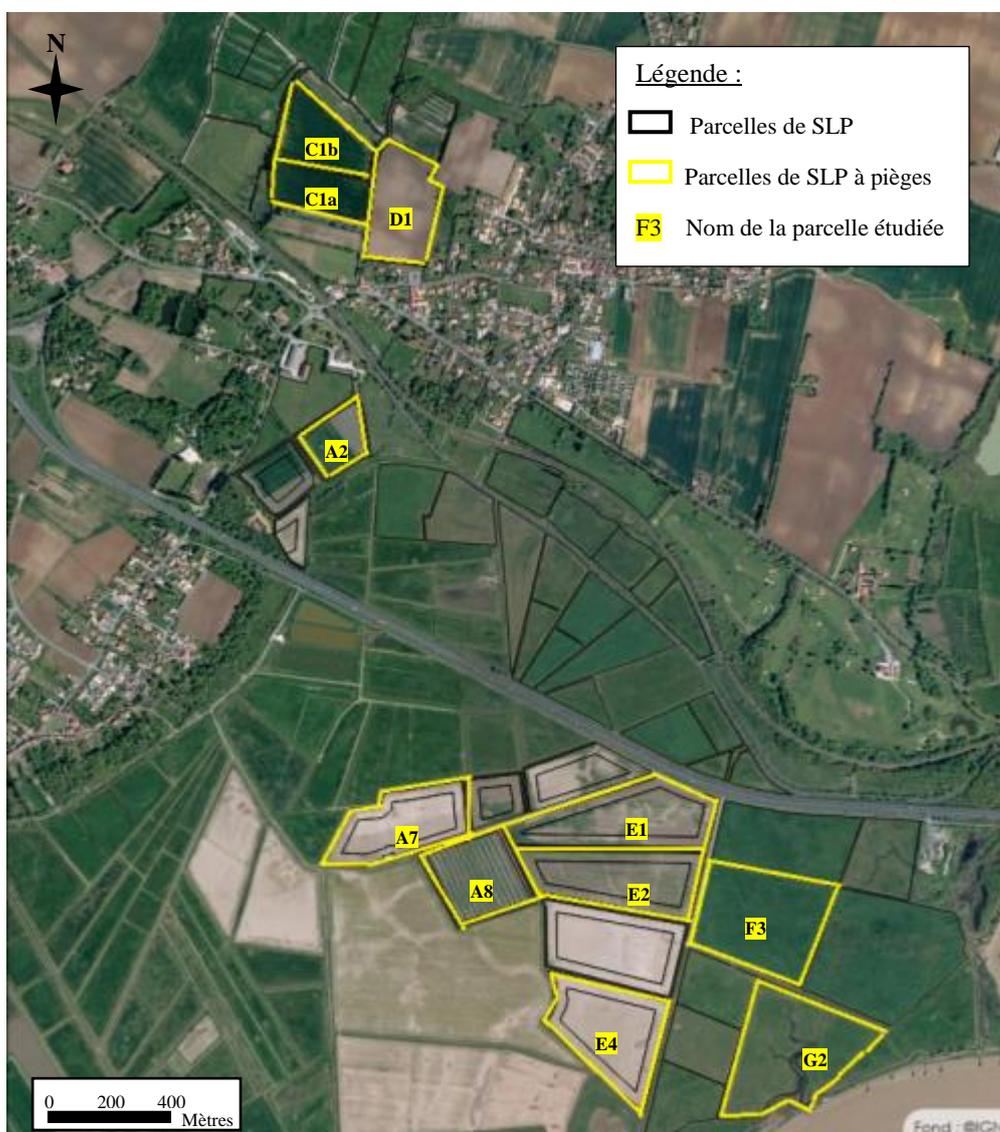
Les données du programme STOC issues du territoire correspondant à l'ex-région Poitou-Charentes constitueront notre référence au niveau régional de 2009 à 2013 pour les tendances des quatre groupes de spécialisation à l'habitat et de quelques populations, les données pour les années suivantes n'étant pas encore disponibles. Le CSI n'étant pas décliné au niveau régional, nous nous sommes appuyés sur ses variations par carré STOC à l'échelle nationale, là encore uniquement entre 2009 et 2013. Enfin, nous avons pris comme support la liste rouge des espèces d'oiseaux de France métropolitaine de 2016 (UICN et MNHN 2016).

II. 4. Matériel et méthodes pour le suivi des carabiques

II. 4. a. Méthode de piégeage

Le protocole d'échantillonnage des carabiques a été révisé à plusieurs reprises depuis le début du suivi. Le piégeage est réalisé sur un échantillon de parcelles réparties sur l'ensemble du parcellaire. Les parcelles sélectionnées chaque année sont indiquées dans le tableau 1 ci-dessous. Depuis 2014, ce sont cependant les mêmes parcelles qui sont étudiées d'une année sur l'autre : E1, E2, A8, A7, A2, D1, C1a, C1b, F3, G2 (Tableau 1 et Carte 2).

Carte 2: Carte des parcelles suivies pour les carabiques depuis 2014



Source : INRA de Saint-Laurent de la Prée – Réalisation le 22/05/2017 – Lise Jaulmes

Tableau 1: Récapitulatif des protocoles d'échantillonnage et piégeage des carabiques selon les années d'étude

Année	Parcelles suivies											Type de pots	Quantité	Disposition des pots	
	E1	E2	A8	A7	A2	D1	C1a	C1b	F3	G2	Autres				
2009					x							A5, E3, E4, L2, B3	simples	5	diagonale
2012	x	x		x	x	x						E4, A5, A6,	simples	3	diagonale
2013	x	x	x		x	x			x	x		E4	simples	3	perpendiculaire à la BE
2014	x	x	x	x	x	x		x	x	x			couples	3	parallèle à la BE
2015	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			couples	3	parallèle à la BE
2016	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		E4	couples	3	parallèle à la BE

Les pièges installés sur les parcelles de la ferme expérimentale sont de type *Barber*. Ces pots en plastique sont enterrés jusqu'au bord supérieur de façon à créer un puits dans lequel les insectes marcheurs tombent. Les pots sont remplis au tiers d'un liquide non attractif composé d'eau, de liquide vaisselle (2cl/l) et de sel (100g/L). Cette solution permet de noyer les individus piégés et de les conserver jusqu'au relevé des pièges. Une plaque de plexiglas, surélevée par des cales de bois pour permettre le passage des insectes, protège chaque pot des eaux de pluies (Figure 1). Les pièges *Barber* sont les plus couramment utilisés pour le piégeage des carabes en raison de leur simplicité d'utilisation et leur faible coût. De plus, leur caractère non attractif permet un piégeage non sélectif des Carabiques pour ne pas favoriser ou négliger certaines espèces.

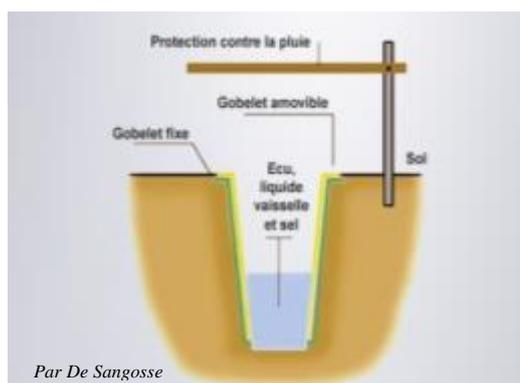


Figure 1: Schéma d'un piège Barber

En 2009, 2012 et 2013, 3 ou 5 pièges simples étaient disposés d'abord en diagonale, puis perpendiculairement aux bandes enherbées, sur chaque parcelle suivie. Néanmoins depuis 2014, c'est le même schéma qui est respecté : 3 couples de pots distants entre eux de 15 mètres sont placés parallèlement à la bande enherbée dans chaque parcelle, le premier positionné à 30 mètres à partir du bord (Tableau 1). Au sein d'un couple, les deux pots sont à 50 cm l'un de l'autre. A noter que 2 couples de pots supplémentaires sont posés dans les parcelles pâturées pour pallier au piétinement d'un ou plusieurs pièges par les vaches maraîchines.

II. 4. b. Tri et comptage du contenu des pièges

Les pièges ont été relevés à intervalles réguliers (au début tous les 7 jours, mais depuis 2014 tous les 14 jours) et les insectes piégés sont stockés dans de l'alcool à 70°. Chaque échantillon est référencé selon la date de relevé du piège, le nom de la parcelle, et le numéro du pot. L'identification des insectes est réalisée à la loupe binoculaire. Un premier tri permet d'isoler les carabiques des autres arthropodes récoltés. Les carabiques sont alors identifiés au plus haut rang taxonomique possible à l'aide de la littérature disponible ainsi que par comparaison avec des spécimens de référence. Une base de données appelée « Système d'Information Géographique des Marais » (SIGMA) permet le stockage de ces données et leur accessibilité en interne. Etant donné que le piégeage des carabiques dépend de l'activité des espèces qui varient au cours du temps, 3 sessions de piégeage sont effectuées. Ainsi, les dates choisies sont sensiblement les mêmes d'une année sur l'autre sur ces trois périodes : mi-mai, mi-juin et mi-septembre. Si le suivi des coléoptères carabiques a été reconduit en 2017, la dernière session de piégeage ainsi que la fin de la détermination des individus collectés lors des deux premières sessions seront postérieures à la fin de ma période de stage. L'année 2017 n'a donc pas pu être prise en compte dans les analyses.

II. 4. c. Analyse des données

De la même façon que pour les oiseaux, nous avons étudié les communautés de carabiques et leur évolution au cours du temps à l'aide de la richesse spécifique, des abondances et fréquences par espèce (cf. II. 3. d.).

Nous avons également caractérisé les communautés de coléoptères carabiques en fonction de leurs traits de vie après avoir renseigné le régime alimentaire (carnivore, omnivore, phytophage), l'habitat de prédilection (milieu ouvert, milieu agricole, milieu boisé, milieu humide, etc.), la taille (selon quatre classes), le développement ou non des ailes relativement à la locomotion (macroptère, brachiptère ou dimorphique), dans la mesure du possible pour les espèces piégées (cf par exemple Barbaro et van Halder 2009). La liste des espèces et de leurs traits de vie est disponible en Annexe 8.

Le nombre de pièges par parcelle ainsi que le nombre de parcelles étudiées ayant varié depuis 2009, nous avons pondéré la richesse spécifique et les abondances par le nombre total de pièges posés par an afin d'avoir des résultats comparables d'une année sur l'autre et ainsi pouvoir approximer les variations inter-annuelles des populations de carabiques entre 2009 et 2016.

Pour l'analyse statistique des données carabiques, nous avons employé le même type d'analyses multivariées et de tests que dans le cas des oiseaux.

Par ailleurs, à partir des données sur l'assolement, nous avons réparti les parcelles suivies pour les carabiques dans différentes catégories en tenant en compte des dates des différentes sessions de piégeage. Ainsi, nous avons différencié les pièges en culture de printemps, des pièges en culture d'hiver, en luzerne, sur prairies permanentes⁴ de fauche ou pâturées, et sur prairies temporaires. Nous avons alors pu combiner ces données habitats par pièges avec les abondances par espèces grâce à une analyse de co-inertie de façon à tester la relation entre le type d'habitat et les assemblages de carabiques.

Enfin d'évaluer au moins le protocole d'échantillonnage des carabes arrêté en 2014 à SLP, nous avons cherché à déterminer si le nombre de parcelles suivies et le nombre de pièges par parcelles permettent d'estimer de manière satisfaisante la richesse spécifique, un indice de diversité simple et aisé à analyser (Gotelli & Colwell 2001). C'est ce que nous permet de voir une courbe de raréfaction du nombre d'espèces cumulées en fonction du nombre de parcelles étudiées d'une part, en fonction du nombre de pièges placés d'autre part (Colwell et al. 2004).

II. 4. d. Données d'assolement et données de référence

Nous disposons des données concernant l'assolement des parcelles du suivi des carabes depuis 2009. Par ailleurs la liste des espèces de coléoptères carabiques recensés en Poitou-Charentes du MNHN nous a servi de référence (<https://inpn.mnhn.fr/collTerr/region/54/tab/especes>).

⁴ Les prairies permanentes correspondent aux prairies qui n'ont jamais été semées ou qui ont été semées depuis plus de 5 ans.

III. Résultats

III. 1. Résultats de l'étude de l'avifaune (2009-2017)

Au total, 7486 individus ont été comptés sur les neuf années d'étude, avec 108 espèces d'oiseaux différentes inventoriées (liste des espèces en Annexe 3).

III. 1. a. Caractérisation générale des communautés d'oiseaux

A l'échelle de la ferme expérimentale, la richesse spécifique annuelle est d'en moyenne 60 espèces. L'espèce la plus contactée est l'Etourneau sansonnet avec en moyenne 67 contacts⁵ par an, suivie de l'Alouette des champs (61 contacts par an) et de la Bergeronnette printanière (58 contacts par an). La figure 2 ci-dessous indique le nombre moyen de contacts sur les neuf années (en cumulant les quatre points d'écoute) pour les 11 espèces les plus contactées.

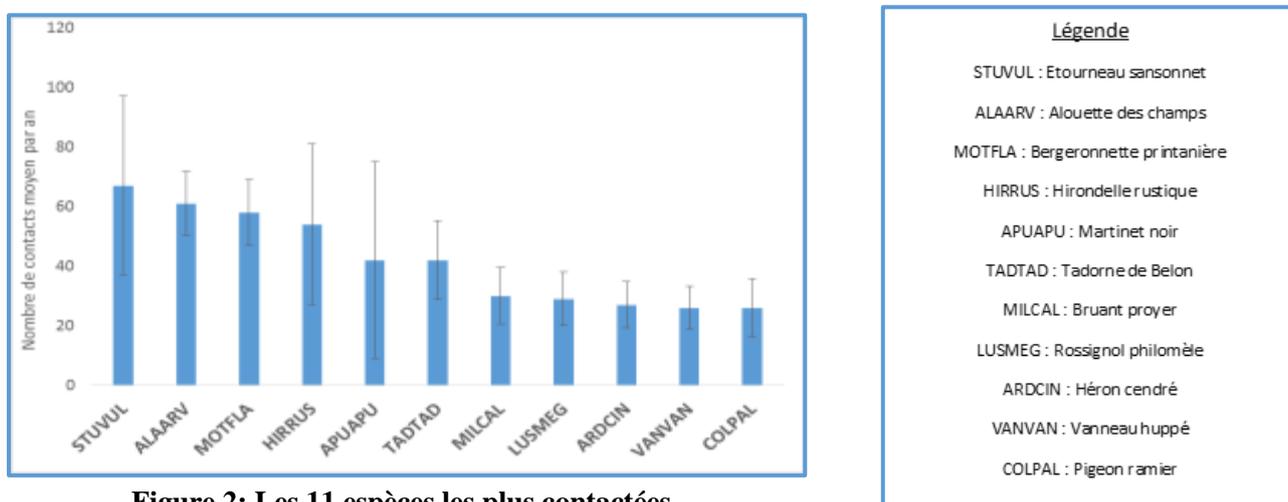


Figure 2: Les 11 espèces les plus contactées
Les barres correspondent aux écart-types.

Les six espèces les plus abondantes sont dans l'ordre : le Martinet noir, l'Etourneau sansonnet, l'Hirondelle rustique, l'Alouette des champs, la Bergeronnette printanière et le Tadorne de Belon (Figure 3). On observe que ces espèces correspondent aux six espèces les plus contactées. Si les trois premières sont grégaires et généralistes en termes d'habitat, l'Alouette des champs figure parmi les passereaux nicheurs les plus abondants et les plus fréquents. C'est en effet une espèce typique des zones agricoles des marais de l'ouest au même titre que la Bergeronnette printanière (LPO, 2013). Le Tadorne de Belon est une espèce d'Anatidé commune du littoral atlantique.

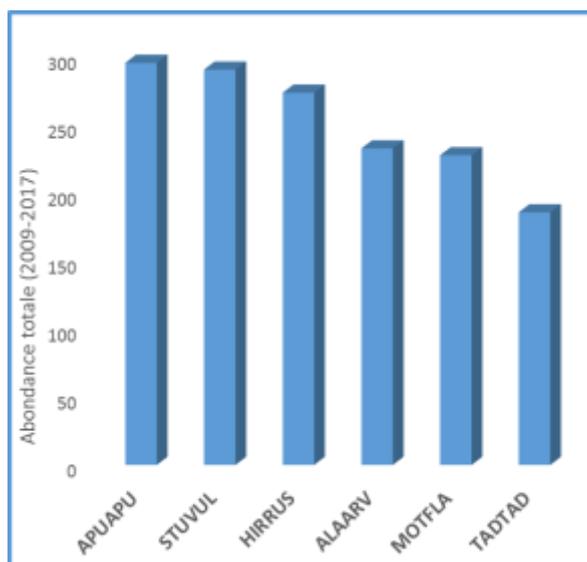
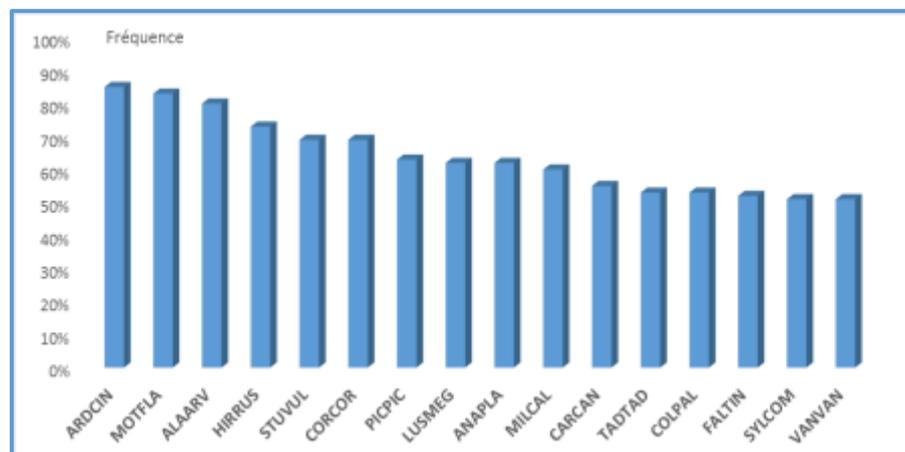


Figure 3: Les 6 espèces les plus abondantes

⁵ Un contact équivaut à un individu de l'espèce considérée.

On retrouve également ces espèces, à l'exception du Martinet noir, dans les espèces présentes sur plus de la moitié des points d'écoute chaque année. Ces espèces dites « constantes » et dont les fréquences sont précisées en pourcentage (Figure 4), sont surtout des espèces spécialistes des milieux agricoles ou tout au moins adeptes des milieux ouverts (Alouette des champs, Bergeronnette printanière, Bruant proyer, Faucon crécerelle, Fauvette grisette, Linotte mélodieuse), ainsi que des espèces généralistes (Corneille noire, Pigeon ramier, Pie bavarde).



Légende

ARDCIN : Héron cendré
MOTFLA : Bergeronnette printanière
ALAARV : Alouette des champs
HIRRUS : Hirondelle rustique
STUVUL : Etourneau sansonnet
CORCOR : Corneille noire
PICPIC : Pie bavarde
LUSMEG : Rossignol philomèle
ANAPLA : Canard colvert
MILCAL : Bruant proyer
CARCAN : Linotte mélodieuse
TADTAD : Tadorne de Belon
COLPAL : Pigeon ramier
FALTIN : Faucon crécerelle
SYLCOM : Fauvette grisette
VANVAN : Vanneau huppé

Figure 4: Les espèces dont la fréquence est supérieure à 50%

Enfin, des espèces caractéristiques des milieux humides sont également très fréquentes, comme le Héron cendré, le Canard colvert, le Tadorne de Belon, sans oublier un limicole : le Vanneau huppé (Figure 4). D'ailleurs, le Vanneau huppé représente 100% des limicoles nichant sur le site entre 2009 et 2014, et plus de 50% entre 2015 et 2017.

Environ 45% des espèces contactées à Saint-Laurent-de-la-Prée appartiennent aux 4 catégories d'oiseaux définies par le CRBPO pour la zone Atlantique. Nous avons représenté leur répartition dans ces 4 catégories en pourcentage du nombre d'espèces et en pourcentage de l'abondance totale sur la figure 5 ci-contre. Si les espèces les plus représentées sont des généralistes (16%), les spécialistes des milieux agricoles dominent par leur abondance. Enfin, en dehors de ces catégories, les oiseaux d'eau⁶ représentent 35% du nombre total d'espèces et correspondent à 28% de l'abondance totale.

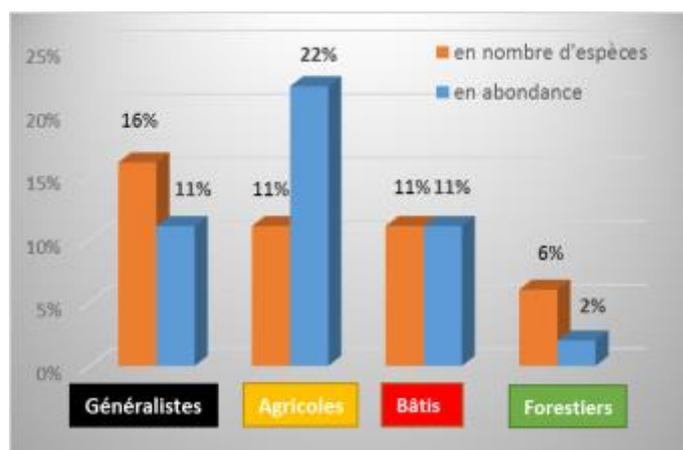
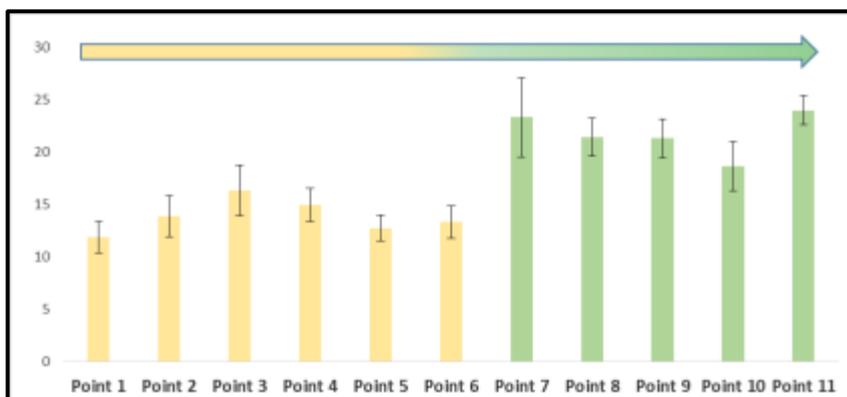


Figure 5: Répartition des espèces selon les 4 catégories d'oiseaux définies par le CRBPO

⁶ Ici les oiseaux des familles laridés, ardéidés, ciconiidés et rallidés ainsi que les limicoles.

Entre les points d'écoute, on observe une certaine hétérogénéité en termes de richesse spécifique. La richesse moyenne par point est de 16 espèces. Mais il apparaît sur la figure 6 que les points 7 à 11 qui correspondent au « milieu intermédiaire » et aux « terres hautes » sont sensiblement plus riches que les points 1 à 6 en « marais ».



Les barres d'erreur correspondent aux écart-types

Figure 6: Richesse spécifique moyenne des points d'écoute

Le test de comparaison de moyenne sur la richesse spécifique annuelle entre les points 1 à 6 et les points 7 à 11 sur la période 2009-2017 a permis de vérifier cet écart de richesse ($p < 0.005$). Les points du « marais » sont donc significativement moins riches que ceux de la zone intermédiaire et des terres hautes. Il y a donc un gradient positif de richesse spécifique des parcelles de marais vers les zones plus bocagères. Cette différence de composition en espèces est visible dans l'analyse en composante principale lorsque l'on compare la distribution des espèces étudiées sur le cercle de corrélation (Figure 7) avec la représentation des individus colorés par point selon les deux premières dimensions (Figure 8). En effet, le secteur en haut à droite des points 7 à 11 (Figure 8) correspond à la présence et l'abondance d'espèces spécialistes des milieux plutôt forestiers comme la Tourterelle des bois (STRTUR), le Pouillot véloce (PHYCOL), le Coucou gris (CUCCAN), la Bouscarle de Cetti (CETCET) et le Rossignol philomèle (LUSMEG) entourées en vert sur la figure 7.

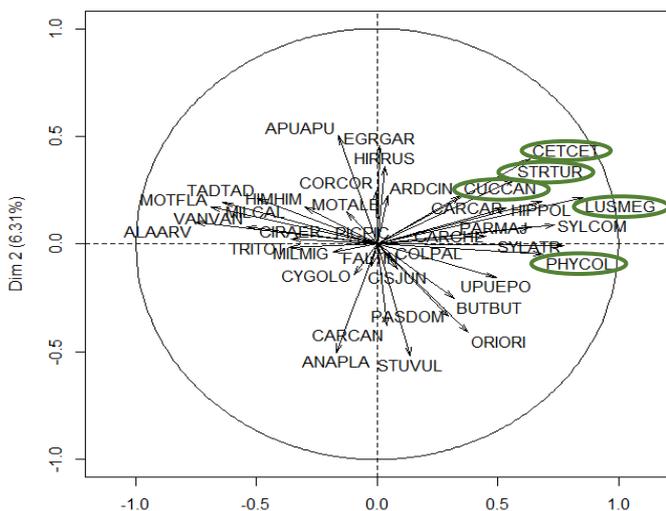


Figure 8: Cercle de corrélation de l'ACP
Les deux dimensions expliquent 26 % de la variance

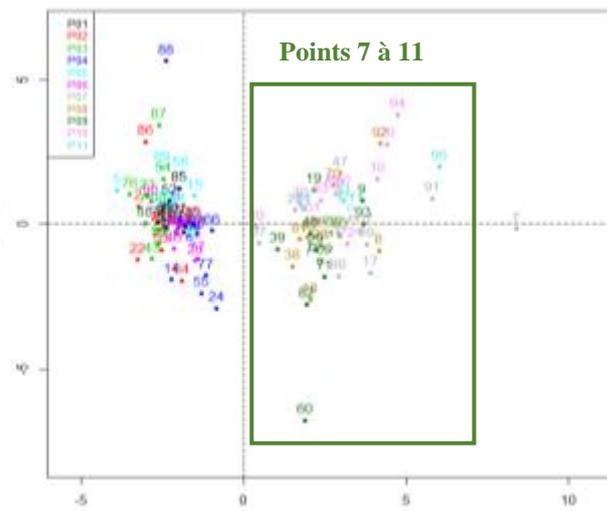


Figure 7: Représentation des individus de l'ACP colorés selon le numéro de point d'écoute

D'autres espèces forestières rares (donc non prises en compte dans notre analyse multivariée) , comme la Fauvette à tête noire, le Geai des chênes, le Pipit des arbres, le Grimpereau des jardins et le Pigeon colombin, sont présentes presque exclusivement sur ces points 7 à 11.

III. 1. b. Evolution de 2009 à 2017

D'après la figure 9 ci-dessous, la richesse spécifique est relativement constante entre 2009 et 2011 mais chute de 10 espèces en 2012. En 2013 et 2014, la richesse spécifique est de nouveau comparable aux premières années de suivi. Elle augmente de 10 espèces en 2015 et se maintient en 2017 après une légère chute en 2016. La figure 10 représente l'évolution de l'abondance totale en oiseaux depuis 2009. On constate que les variations en abondance totale sont corrélées aux variations de la richesse spécifique sauf en 2014 où la richesse spécifique est restée constante tandis que l'abondance a augmenté, et en 2015 où la richesse spécifique a augmenté de 9 espèces alors que l'abondance totale a diminué. Notons que l'année 2017 est marquée par des effectifs importants d'Hirondelles rustiques et de Martinets noirs, ce qui explique une abondance beaucoup plus importante que la moyenne des années précédentes. Ainsi l'abondance totale de 2017 sans ces deux espèces est comparable à celle de 2015 (2017 rec sur la figure 10). Néanmoins, l'augmentation par rapport à 2016 semble être liée à la progression d'espèces fréquentes caractéristiques comme l'Alouette des champs et le Héron cendré qui voient leur effectif doubler ou encore de l'Etourneau sansonnet dont l'abondance a triplé. De plus, l'analyse de variance conclut à un effet significatif du facteur Année sur la richesse spécifique et sur l'abondance totale ($p << 0.05$).



Figure 9: Variations inter-annuelles de la richesse spécifique entre 2009 et 2017

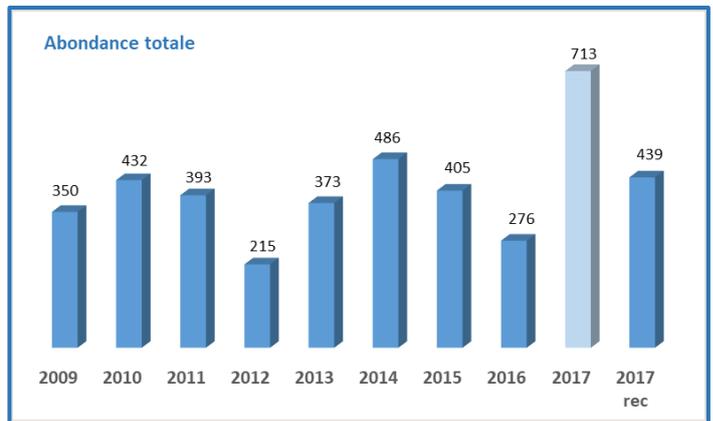


Figure 10: Variations inter-annuelles de l'abondance totale entre 2009 et 2017

Les données météorologiques de la station de SLP entre 2009 et 2012 sont présentées ci-contre. En avril 2012, on relève une température moyenne plutôt basse (10 °C) en comparaison aux autres années (moyenne de 12 °C) ainsi que des précipitations exceptionnellement élevées ce mois-ci (130-135 mm) après un mois de mars assez sec. Ces conditions printanières particulières en 2012, conjuguées à un effet observateur probable (7 espèces identifiées seulement jusqu'au genre), ont pu perturber la reproduction de certaines espèces d'oiseaux, ce dont témoignerait la diminution de la richesse spécifique et la forte décroissance de l'abondance cette année. On retrouve également une température autour des 10°C en 2016 ce qui pourrait expliquer en partie la chute du nombre d'espèces et de l'abondance cette année-ci.

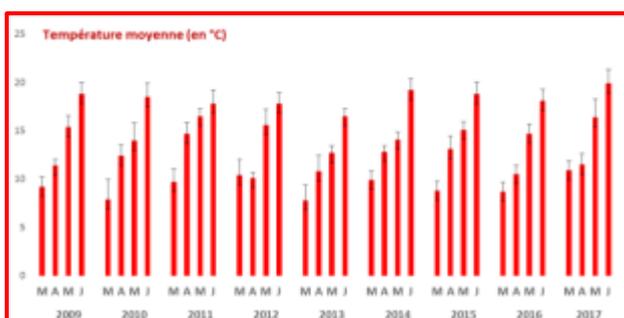


Figure 12: Températures moyennes printanières par mois (2009 et 2017)

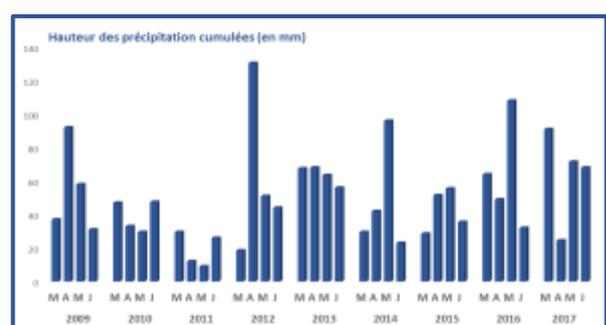


Figure 11: Précipitations mensuelles au printemps entre 2009 et 2017

Néanmoins, la variation de ces paramètres ne paraît pas expliquer les différences en richesse spécifique et abondance totale les autres années.

D'après la figure 13, la richesse fonctionnelle varie de la même façon que la richesse spécifique entre 2009 et 2017. La figure 14 représente l'évolution de la régularité fonctionnelle et de la divergence fonctionnelle sur la même période. On s'aperçoit qu'en 2012, bien que la richesse fonctionnelle soit faible, la régularité fonctionnelle correspond au maximum de la période : 0,73. Alors que les deux années suivantes, la régularité fonctionnelle descend à 0,65 et 0,64. 2010 et 2015 sont les deux années où la diversité fonctionnelle semble la meilleure puisqu'elles sont associées aux valeurs de richesse fonctionnelle et de régularité fonctionnelle les plus élevées sur les neuf années. Quant à la divergence fonctionnelle, elle a peu varié depuis 2009. Remarquons enfin qu'à partir de 2015 la régularité fonctionnelle diminue et une baisse de la divergence fonctionnelle est visible en 2017.

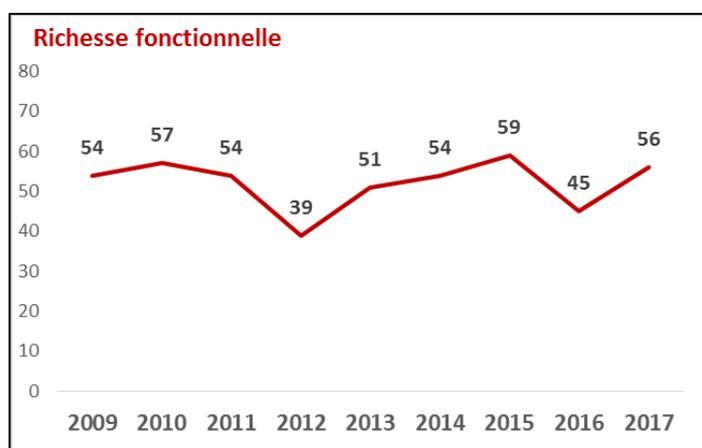


Figure 13: Variations de la richesse fonctionnelle (2009-2017)

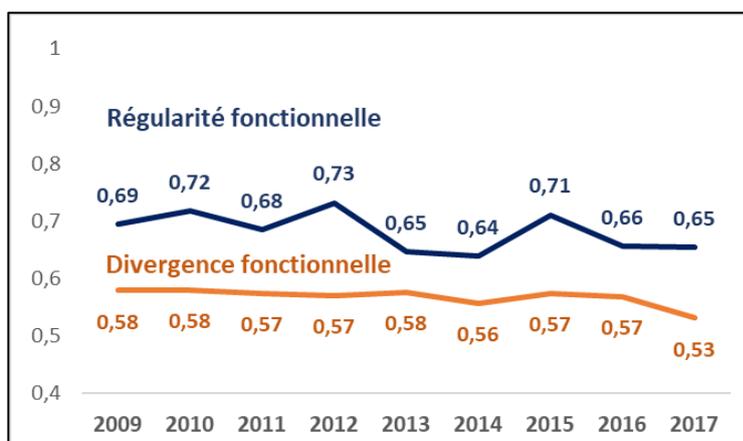


Figure 14: Variations de la régularité fonctionnelle et de la divergence fonctionnelle (2009-2017)

La figure 15 ci-dessous illustre les variations inter-annuelles de l'indice moyen de spécialisation des communautés ou CSI. Il est intéressant de remarquer que le CSI a diminué en 2010 comme au niveau national (Annexe 4) et reste plus bas qu'en 2009 jusqu'en 2014. En 2014, le CSI se rétablit autour de 3,30 avant une nouvelle chute en 2015. Mais en 2017, le CSI a sensiblement augmenté jusqu'à dépasser la valeur de l'année du début du suivi ce qui traduit une récente recrudescence des oiseaux spécialistes de certains habitats.

Entre 2009 et 2016, le CSI chute de 7 à 8% sur l'ensemble du territoire français d'après l'annexe 4, tandis que la baisse est de 3,25% à SLP. Ainsi, l'évolution de l'indice de spécialisation des communautés d'oiseaux est moins alarmante sur notre site qu'à l'échelle nationale.

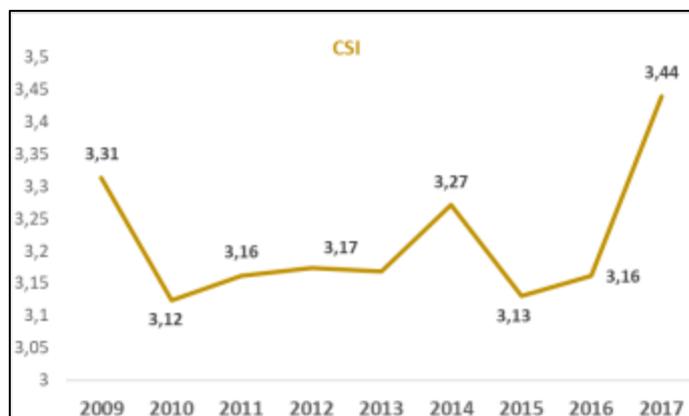


Figure 15: Variations du CSI entre 2009 et 2017

La figure 16 représente les tendances d'évolution des espèces généralistes, spécialistes des milieux agricoles et spécialistes des milieux bâtis sur la ferme expérimentale sur la période d'étude. Les tendances régionales de ces trois groupes indicateurs entre 2003 et 2009 sont visibles en Annexe 5. La tendance des spécialistes forestiers sur le site expérimental n'a pas été représentée étant donné le peu d'espèces et les faibles abondances associées à cet indicateur. On constate que les généralistes sont globalement en nette progression avec une augmentation d'environ 20% depuis 2009. La tendance déjà positive des généralistes à SLP entre 2009 et 2013 reflète la tendance régionale des espèces généralistes sur cette période (Annexe 5). Les espèces spécialistes des milieux agricoles se maintiennent avec une légère augmentation de 6% sur les neuf années de suivi, et notamment sur la période 2009-2013 où l'indicateur du groupe des spécialistes agricoles diminue pourtant sur l'ensemble de la région Poitou-Charentes (Annexe 5). On peut dire que les spécialistes des milieux bâtis sont en relative progression (Figure 16) mais étant donné la variabilité des effectifs en Martinet noir par ailleurs mal caractérisés par la méthode des points d'écoute, il est difficile d'avancer un taux d'augmentation précis. Sans prendre en compte cette espèce, on estime une hausse de 8 % de leur abondance depuis 2009.

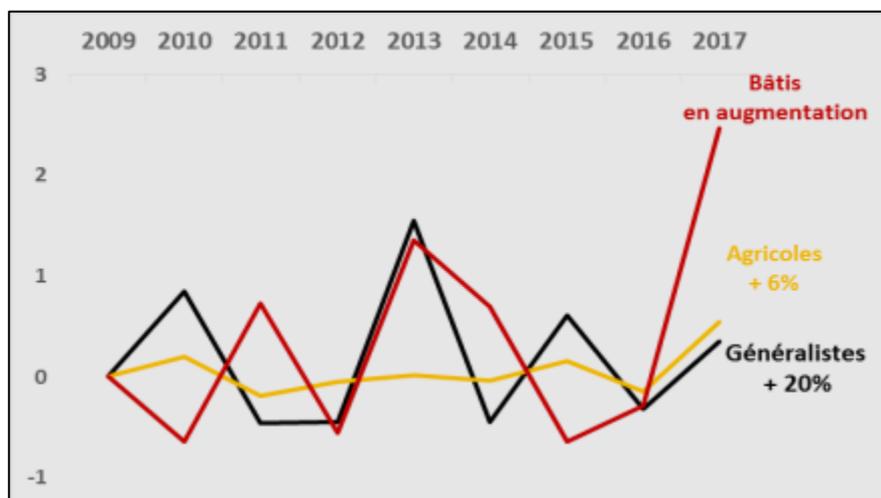


Figure 16: Tendances de l'abondance de 3 groupes fonctionnels sur la période 2009-2017

Nous avons enfin examiné les variations interannuelles sur la période 2009-2017 au niveau des espèces. La figure 17 ci-après présente les variations inter-annuelles au sein des populations des trois espèces agricoles constantes. L'indice ponctuel d'abondance (IPA) associé à l'Alouette des champs diminue globalement à SLP entre 2011 et 2016, avant de retrouver un niveau équivalent à 2010 en 2017 (courbe en violet). Sur la période 2009-2013, la tendance d'évolution de cette espèce sur le site expérimental suit la tendance régionale illustrée en Annexe 6, avec notamment une chute importante de son abondance en 2011. La Bergeronnette printanière se caractérise par sa constance sur la période (courbe en jaune) tandis que le Bruant proyer est en légère progression (courbe en rouge). Les indices ponctuels d'abondance de la Pie bavarde et du Moineau domestique varient avec une amplitude importante. Mais la tendance générale des populations de ces deux espèces généralistes est au maintien ou à une légère hausse comme le souligne la figure 18.

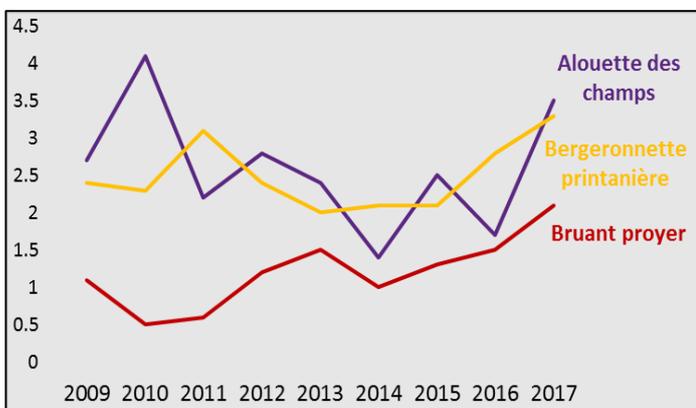


Figure 17: Variations inter-annuelles des IPA de 3 spécialistes agricoles entre 2009 et 2017

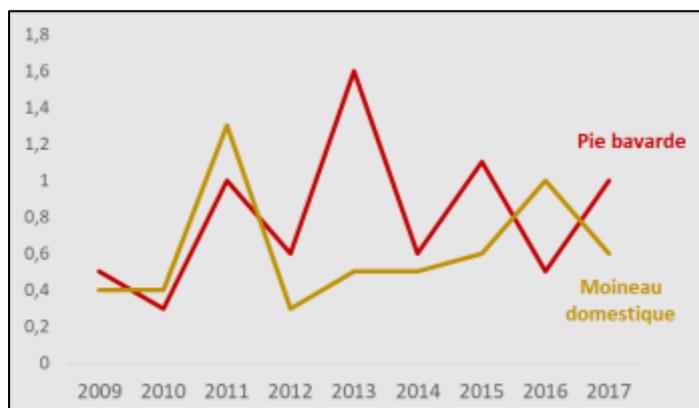


Figure 18: Variations inter-annuelles des IPA de 2 spécialistes des bâtis entre 2009 et 2017

La figure 19 montre quant à elle des fluctuations importantes au sein des populations de quatre espèces d'oiseaux d'eau d'une année sur l'autre. Globalement, les populations de Tadorne de Belon et de Héron cendré ont eu tendance à augmenter depuis 2009 malgré qu'elles aient connu une forte baisse en 2012. Au contraire, le Canard colvert dont l'abondance n'a cessé d'augmenter entre 2009 et 2015 voit son abondance diminuer depuis lors. Le Vanneau huppé après deux années favorables en 2010 et 2011 tend à moins fréquenter le domaine surtout depuis 2014. Cette diminution concerne également la population nicheuse de Vanneau huppé sur le domaine (Figure 20). En effet, alors qu'on observe en moyenne 8 de couples nicheurs de Vanneau huppé entre 2009 et 2015 répartis sur au moins 4 parcelles (à l'exception de 2012), on dénombre seulement un couple en 2016 et 3 couples en 2017, n'occupant plus qu'une parcelle. Cette chute des populations nicheuses de Vanneau huppé concorde avec la réduction des cultures de printemps au profit des cultures d'hiver.

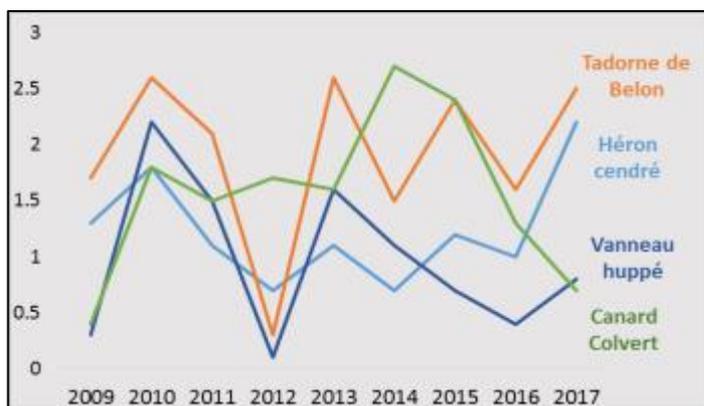


Figure 20: Variations interannuelles des IPA de 4 espèces d'oiseaux d'eau entre 2009 et 2017

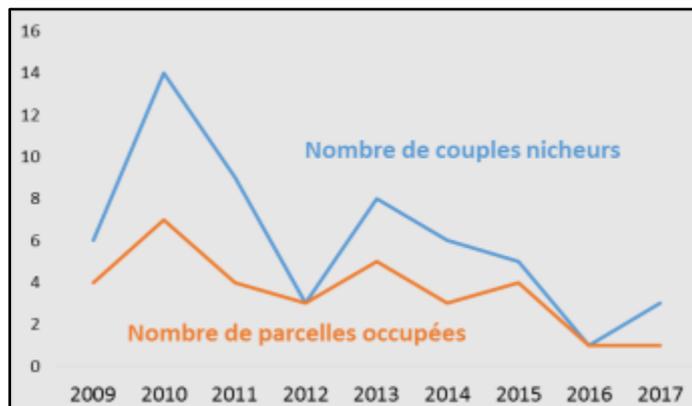


Figure 19: Evolution du nombre de couples nicheurs de Vanneau huppé et du nombre de parcelles occupées

Enfin, des espèces classées en danger ou vulnérables sur la liste rouge de 2016 (UICN et MNHN 2016) ont fait leur réapparition sur le site de l'INRA. C'est le cas du Pipit farlouse, une espèce vulnérable dont les nicheurs sont en limite sud d'aire de répartition dans la région (Barbaro et Lannès 2015) : absente depuis de 2010, elle est de nouveau présente dans les relevés à partir de 2013. De même, le Martin-pêcheur est visible de nouveau après 2013 (sauf en 2016). Le Bruant jaune appartenant également à la catégorie des espèces vulnérables. D'autres espèces déclarées vulnérables au niveau national comme le Chardonneret élégant, la Cisticole des joncs, la Linotte mélodieuse, la Tourterelle des bois et le Verdier d'Europe se sont globalement maintenues depuis 2009. La Locustelle lusciniioïde est contactée la première fois en 2014, puis en 2015 mais n'est pas présente dans les relevés de 2016 et 2017.

III. 1. c. Comparaison à un site de référence sur la période 2013 à 2017

A Yves, le site de référence, ce sont 106 espèces qui ont été répertoriées depuis 2013, soit sensiblement le même nombre qu'à SLP (108 espèces), mais sur une période de suivi plus courte (5 ans au lieu de 9). Le tableau 2 ci-dessous présente les espèces qui n'ont été recensées qu'à SLP ou qu'à Yves. La plupart des espèces aperçues uniquement à Yves sont des espèces qui affectionnent particulièrement les prairies comportant des mares de tonnes et les baisses⁷ où l'eau libre stationne plus longtemps : c'est le cas par exemple de la Bécassine des marais, du Pluvier argenté, de la Guifette moustac, de la Guifette noire, de la Sarcelle d'été, du Phragmite des joncs et du Râle d'eau (Tableau 2). Au contraire, les espèces observées spécifiquement sur la ferme expérimentale sont surtout des spécialistes des milieux forestiers comme le Pic épeichette, le Pigeon colombin, la Grive draine et le Rougequeue à front blanc. Ce résultat suggère une présence de bocage plus importante dans l'environnement de certaines parcelles de SLP.

Tableau 2: Liste des espèces spécifiques à chaque site

Espèces présentes uniquement à SLP	Espèces présentes uniquement à YVES
Barge rousse	Bécassine des marais
Grive draine	Caille des blés
Perdrix rouge	Guifette moustac
Pic épeichette	Guifette noire
Pigeon colombin	Pluvier argenté
Rougequeue à front blanc	Râle d'eau
Traquet motteux	Sarcelle d'été

espèces forestières
espèces de prairies à mares de tonnes et baisses

Les figures 21 et 22 représentent les espèces dominantes respectivement à SLP et Yves par leur nombre moyen de contacts par an entre 2013 et 2017. Sur les cinq années, l'Étourneau sansonnet et l'Hirondelle rustique dominent sur les deux sites. En revanche l'Alouette des champs, la Bergeronnette printanière et le Tadorne de Belon sont des espèces dominantes uniquement à SLP tandis que le Moineau friquet domine seulement à Yves.

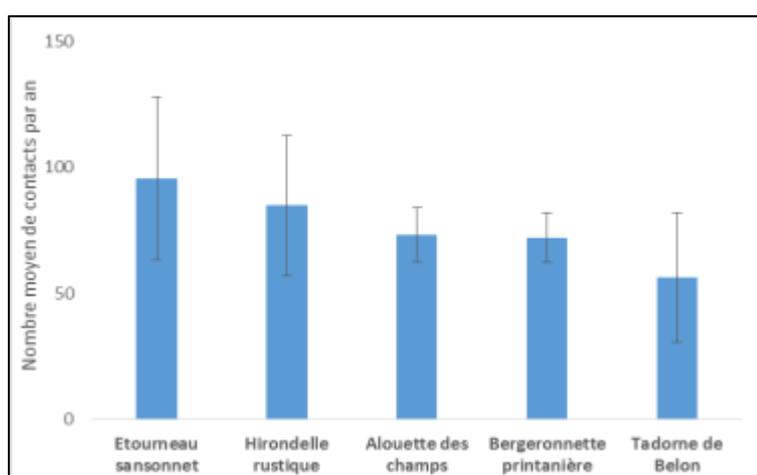


Figure 21: Les espèces dominantes à SLP sur la période 2013-2017

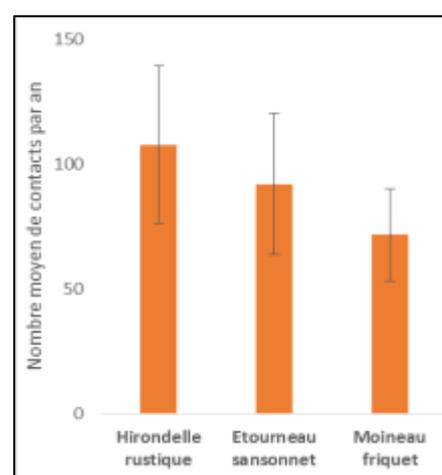


Figure 22: Les espèces dominantes à Yves sur la période 2013-2017

Les barres d'erreur correspondent aux écart-types.

⁷ Voir lexique p.

Nous pouvons constater sur la figure 23 que chaque année la richesse spécifique est supérieure à Yves (sauf en 2015 où elle est égale). Il peut y avoir entre 5 et 12 espèces de différence. Cette différence apparaît également à l'échelle du point d'écoute puisqu'en moyenne la richesse spécifique est de 33 espèces par point à Yves et de 26 espèces par point à SLP sur une période de 5 ans. D'après la figure 24, les points 1 à 6 ainsi que les points 8 et 10 montrent une richesse spécifique supérieure en moyenne à Yves par rapport à SLP. Néanmoins, le point n°7 est en moyenne plus riche à SLP. Seuls les points 9 et 11 semblent comparables.

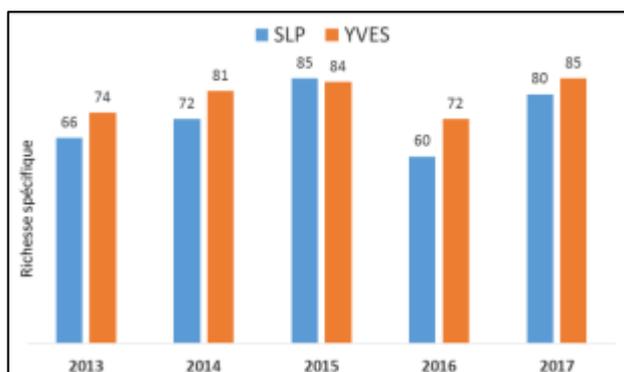


Figure 23: Comparaison de la richesse spécifique annuelle entre SLP et Yves

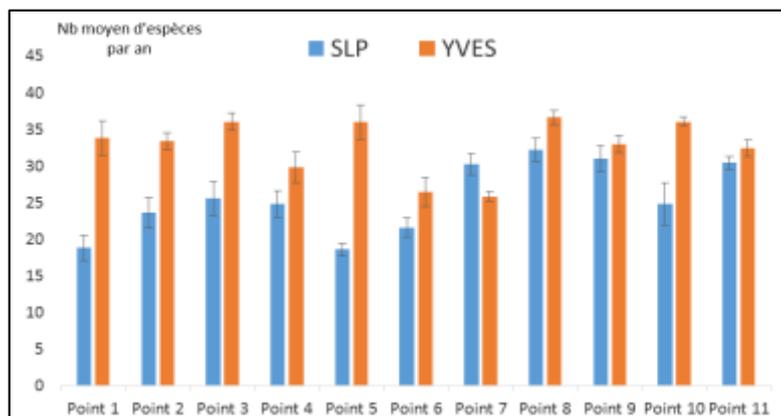


Figure 24: Comparaison de la richesse moyenne par point entre SLP et YVES

Le test de Student sur la richesse spécifique à l'échelle du point d'écoute donne une p-value significative ($p=0.004$). Donc on peut dire que la richesse spécifique moyenne est sensiblement supérieure à Yves par rapport à SLP. En revanche le test de Student sur l'indice de Shannon et celui sur l'indice d'équitabilité de Piélou affichent une p-value de respectivement 0.21 et 0.36 On ne peut donc pas montrer de différence en termes de diversité entre notre site d'étude et le site de référence.

L'analyse de co-inertie entre les abondances à SLP et les abondances à Yves révèlent la forte ressemblance des deux sites sur les points 7, 8 et 2 d'après la figure 25. De même, la composition des points 1, 4 et 5 est relativement similaire. Par contre, les points 6, 9, 11 et surtout 10 et 3 s'avèrent très différents entre Yves et SLP d'après l'analyse étant donné la longueur importante des flèches associées (Figure 25).

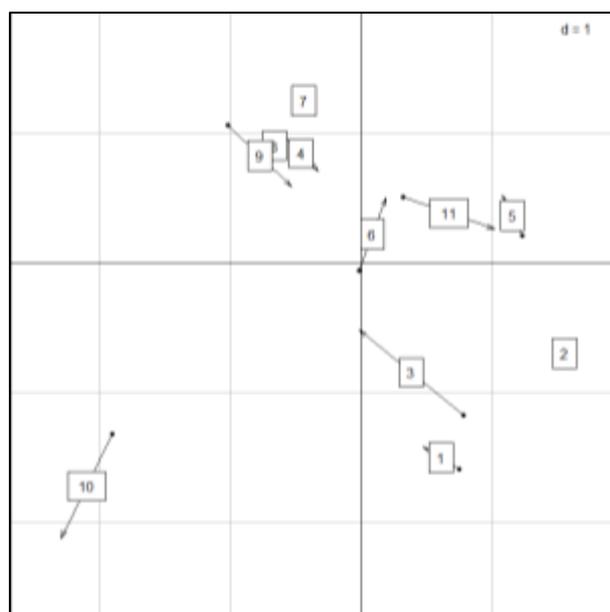


Figure 25: Diagramme des coordonnées appariées de la co-inertie entre SLP et Yves (les numéros correspondent aux points d'écoute)

Les indices de diversité fonctionnelle, que ce soit la richesse fonctionnelle représentée figure 26 ou l'équitabilité et la divergence fonctionnelles illustrées par la figure 27, ont peu varié ces quatre dernières années sur les deux sites. On peut donc dire que la diversité fonctionnelle est restée relativement constante à Saint-Laurent-de-la-Prée et à Yves.

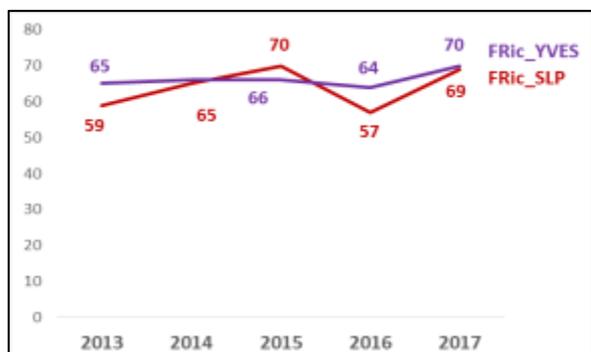


Figure 27: Comparaison de la richesse fonctionnelle entre SLP et Yves (2013-2017)

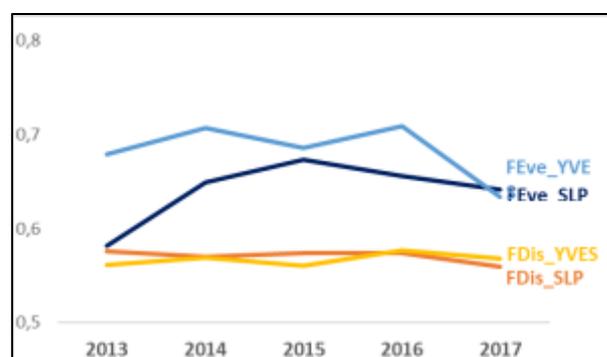


Figure 26: Comparaison de l'équitabilité fonctionnelle (FEve) et de la divergence fonctionnelle (FDis) entre SLP et Yves (2013-2017)

En regardant de plus près, nous pouvons remarquer que le CSI en particulier montre une légère progression de 4% entre 2013 et 2017 sur les deux sites. L'augmentation la plus nette la dernière année peut s'expliquer par la hausse des effectifs d'espèces très spécialisées. Parmi les espèces dont le SSI dépasse 4 et qui ont vu leur abondance progresser entre 2016 et 2017, nous trouvons la Gallinule poule-d'eau (l'abondance évolue de 4 à 12 à SLP et de 6 à 20 à Yves) et le Vanneau huppé (de 5 à 19 à SLP, de 17 à 40 à Yves). En revanche, nous ne constatons pas vraiment de chute d'effectifs au sein d'espèces plus généralistes dont le SSI ne dépasse pas 2.5 comme le Moineau domestique, le Héron cendré, etc.

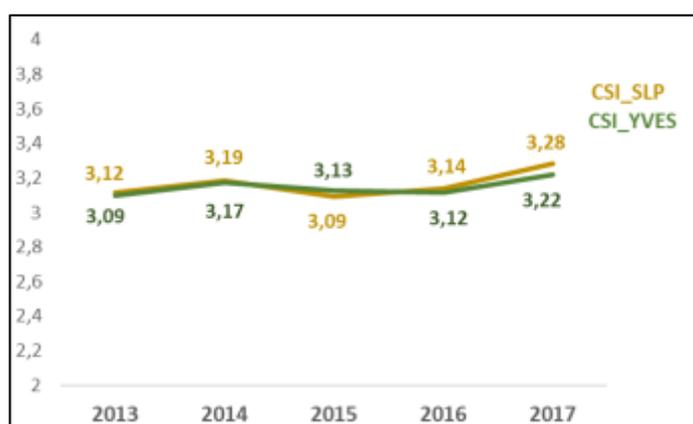


Figure 28: Comparaison du CSI entre SLP et Yves

III. 1. d. Tendence d'évolution conjointement sur les deux sites (2013-2017)

La figure 29 ci-contre correspond aux tendances des quatre cortèges sur nos deux sites (SLP et Yves). Sans considérer les espèces forestières pour les raisons déjà évoquées, nous notons une tendance à la progression des spécialistes agricoles entre 2013 et 2017 : une augmentation d'au moins 20% d'après le pourcentage et l'incertitude qui figurent tableau 3. Sur la même période nous obtenons une tendance légèrement négative pour les espèces généralistes.

Tableau 3: Chiffres correspondant à la figure 29

Groupe	Tendance	%_variation	Incertain	Bon
Généralistes	-0,022	-8,68	8	0
Milieus agricoles	0,068	27,32	7	0
Milieus bâtis	0,221	88,52	6	0

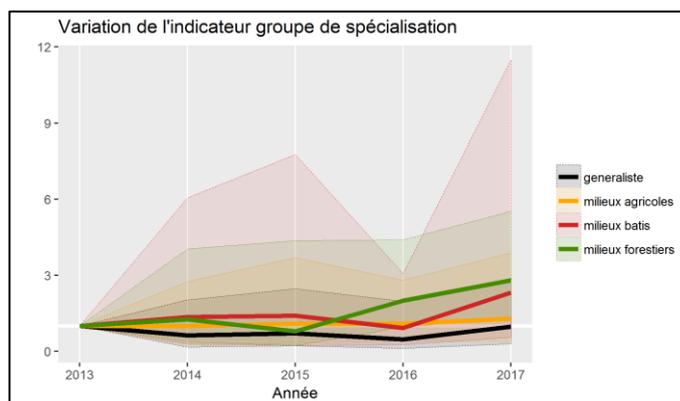


Figure 29: Tendence des 4 cortèges sur les deux sites

Par ailleurs, ce modèle conclut à une forte augmentation depuis 2013 au sein des populations de 3 espèces caractéristiques des milieux humides : la Bouscarle de Cetti, la Rousserolle effarvate, et la Cisticole des joncs. La période de 2013 et 2017 semble en outre favorable à une espèce spécialiste des milieux agricoles, la Fauvette grisette, qui voit sa population augmenter de manière modérée d'après le modèle. Sur les deux sites localement entre 2013 et 2017. Ces tendances par espèce significatives sur la période de cinq années sont disponibles en Annexe 7.

III. 2. Résultats du suivi des carabiques (2009-2016)

Au total, ce sont 26 529 coléoptères carabiques qui ont été collectés entre 2009 et 2016, appartenant à au moins 105 espèces différentes (Annexe 8), sachant que 8 d'entre elles n'ont pu être identifiées que jusqu'au genre.

III. 2. a. Caractérisation générale des communautés de coléoptères carabiques

Sur l'ensemble des parcelles échantillonnées, 65 espèces différentes sont en moyenne recensées par an sur le site entre 2014 et 2016 (période où le protocole est standardisé). A l'échelle du piège, la richesse spécifique moyenne est de 10 espèces. D'après la figure 30 ci-dessous : les communautés de coléoptères carabiques ne sont dominées que par quatre espèces sur la période 2009-2016 : *Chlaenius chrysocephalus*, *Poecilus purpurascens*, *Brachinus elegans* et *Poecilus cupreus*. En effet, plus de 40% des espèces ne sont représentées que par un ou deux individus chaque année, ou bien ne sont identifiées qu'une seule année. Les quatre espèces dominantes sont également les plus fréquentes avec *Syntomus obscuroguttatus*, *Pseudophonus rufipes*, *Anchomenus dorsalis* et *Harpalus cupreus* comme le met en évidence la figure 31.

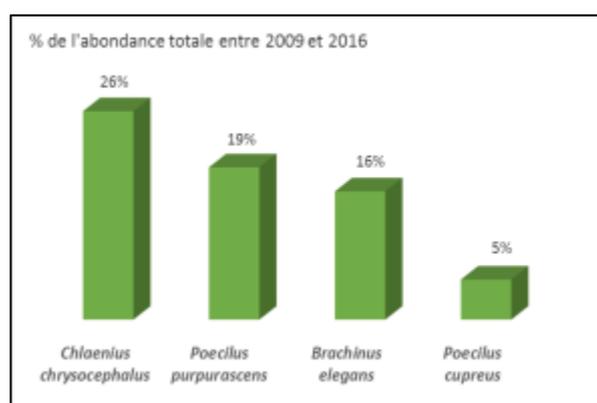


Figure 30 : Les espèces de carabiques dominantes et leur pourcentage de l'abondance totale

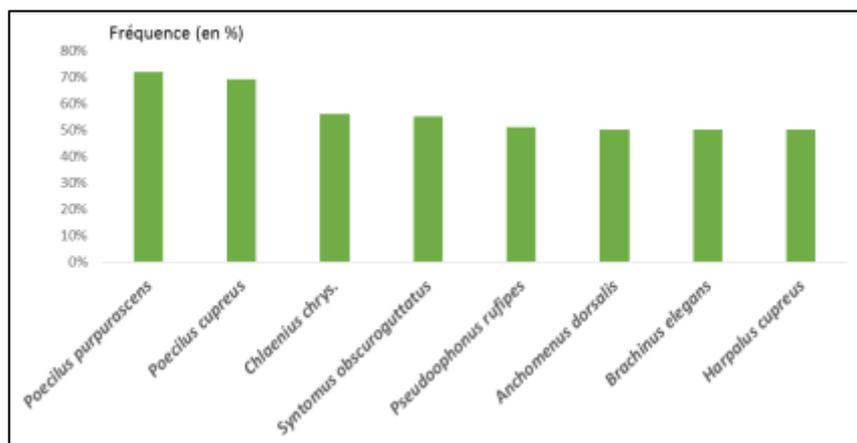


Figure 31: Les fréquences des espèces constantes sur la période 2009-2016

Ces huit espèces, qui représentent 85% de l'abondance totale, sont caractéristiques des milieux ouverts et en particulier des milieux agricoles (Roume 2011). Parmi elles figurent également deux espèces hygrophiles : *Chlaenius chrysocephalus* et *Poecilus cupreus* (Ouchtati et al. 2012). Notons également qu'*Anchomenus dorsalis* est souvent associée à des sols argileux comme ceux de SLP. La figure 32 montre que les habitats des milieux humides et des milieux ouverts ou cultivés sont également le plus représentés dans toute la communauté de carabiques à SLP (respectivement 49 % et 59,1 %).

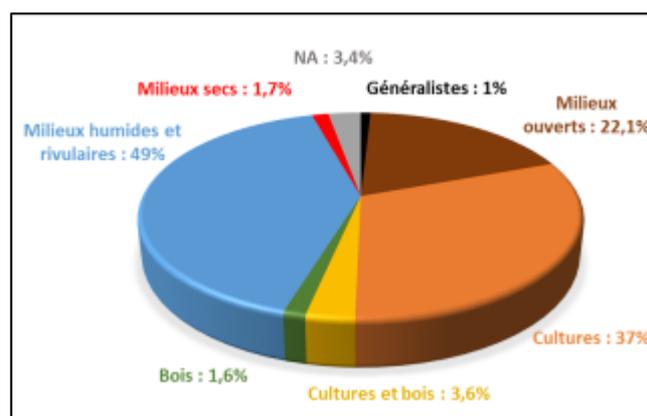


Figure 32: Répartition des carabiques selon leur habitat de prédilection

Enfin, nous remarquons l'absence du genre *Carabus*, et en particulier de l'espèce *Carabus granulatus* pourtant répandue dans les milieux agricoles (Weibull et al. 2003) et les zones humides (Barbaro et Plichon 2009).

D'après la figure 33, il existe une variation saisonnière du régime alimentaire dominant les communautés de carabiques. En effet alors que les espèces piégées au printemps et au début de l'été sont majoritairement carnivores, les omnivores passent majoritaires au début de l'automne avec 56% du total des individus devant les carnivores qui forment 33% des relevés. Sur les trois saisons, les phytophages sont très minoritaires.

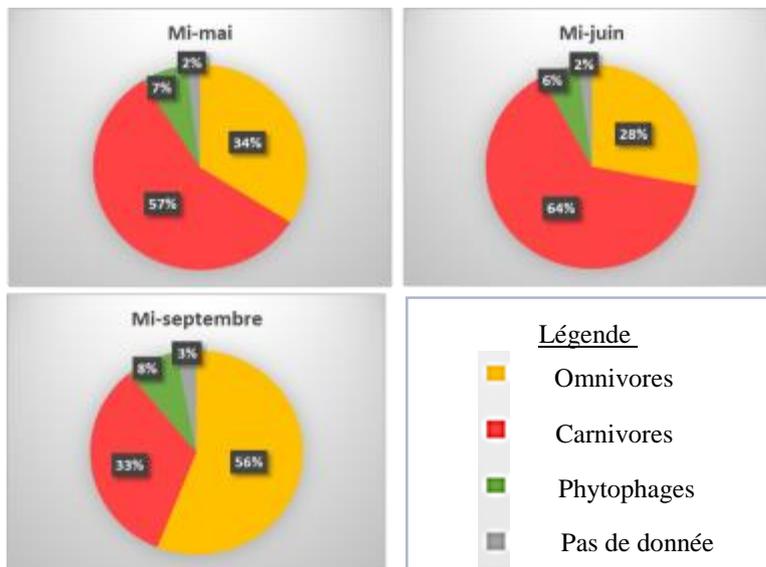


Figure 33: Proportion des régimes alimentaires observée saisonnièrement dans les communautés de carabiques

La figure 34 illustre la répartition des carabiques selon quatre classes de taille tandis que la figure 35 leur répartition selon leur niveau de mobilité (aptère, brachyptère ou macroptère). Taille et mobilité combinées traduisent la capacité de dispersion des espèces de carabiques composant les communautés utilisant les habitats prairiaux et agricoles présentes sur la ferme. Nous constatons que les classes T1 et T2 représentent à elles deux 61.5% des individus collectés entre 2009 et 2016. Ainsi, la majorité des carabiques piégés sont de petite taille et macroptères, c'est-à-dire possédant des ailes fonctionnelles. Nous pouvons supposer que la plupart des espèces de taille moyenne (T3 associée à 37%) font partie des 82 % de macroptères. Quant aux individus dépassant les 15 millimètres et probablement dimorphiques, brachyptères (aux ailes réduites) ou aptères (sans ailes) représentent moins d'1% des individus piégés sur toute la période. Autrement dit, la grande majorité des espèces de coléoptères carabiques présentes à SLP ont une capacité de dispersion élevée leur permettant de résister aux perturbations agricoles en se déplaçant dans un environnement favorable à proximité (Den Boer, 1977). De plus, les macroptères sont certainement favorisés dans les prairies du site en marais. En effet, ils sont capables de recoloniser ces milieux après les inondations hivernales en particulier (Fournier *et al.*, 2015)

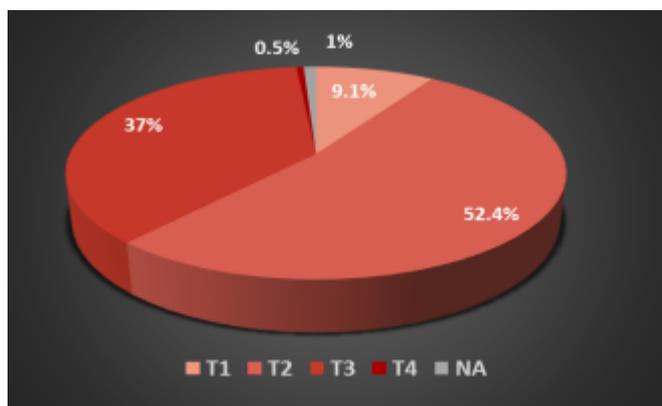


Figure 34 : Répartition des carabiques selon leur taille (T1 : 0-5 mm, T2 : 5-10 mm, T3 : 10-15mm, T4 : 15-20 mm)

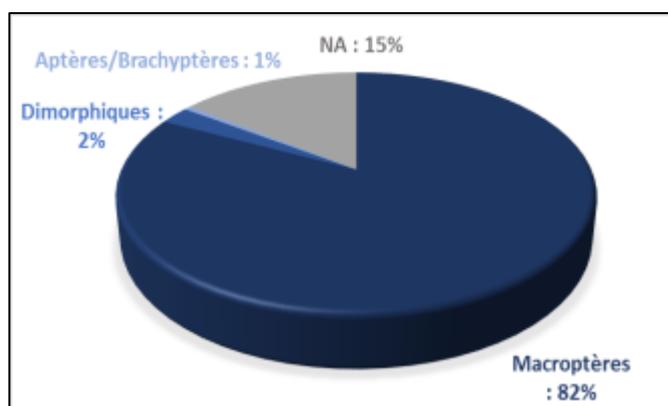


Figure 35: Répartition des carabiques selon leur type d'ailes

La liste de toutes les espèces piégées sur la ferme de Saint-Laurent-de-la-Prée avec quatre traits de vie se trouve en Annexe 8.

III. 2. b. Relation entre communautés de carabiques et habitats

Une première analyse de co-inertie dont le résultat est présenté figure 36, nous montre une distribution différente des espèces entre les cultures et les prairies marquée par l'axe vertical. Ainsi, *Syntomus obscuroguttatus*, *Brachinus elegans* et le genre *Microlestes* semblent être surtout associés aux prairies tandis que *Pseudoophonus rufipes*, *Trechus gr. quadristriatus*, *Poecilus purpurascens*, *Brachinus psophia*, *Chlaenius chrysocephalus*, et *Anchomenus dorsalis* sont d'avantage représentés dans les cultures. Notons que l'axe représentant *Poecilus cupreus* se confond avec l'axe vertical. Cette espèce apparaît donc indifférente au type d'occupation (prairie ou culture)

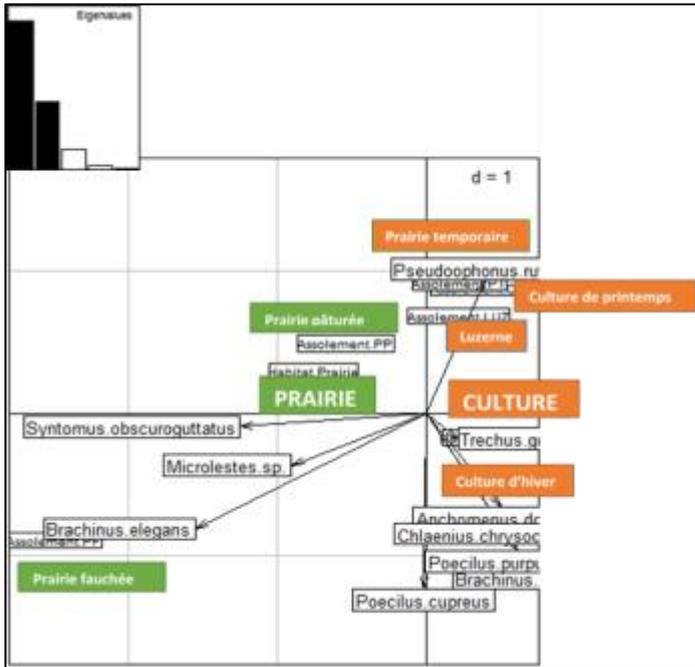


Figure 36 : Co-inertie entre les abondances par espèces et les caractéristiques de l'assolement

Plus précisément, la distribution de ces espèces liées aux cultures citées précédemment, semble corrélée aux cultures d'hiver, à l'exception de *Pseudoophonus rufipes*. La figure 34 montre en effet une corrélation entre la distribution de *Pseudoophonus rufipes* et les cultures de printemps, les prairies temporaires ainsi que la luzerne, bien qu'elle soit également présente dans les cultures d'hiver. Notons que cette espèce ubiquiste est omnivore et parfois granivore.

De la même façon, *Brachinus elegans* et le genre *Microlestes* sont surtout associés aux prairies naturelles de fauche. L'abondance de *Syntomus obscuroguttatus* est très corrélée avec le pourcentage de prairies, ce qui semble indiquer que l'on retrouve cette espèce aussi bien dans les prairies pâturées que fauchées tandis qu'elle évite les cultures.

La figure 37 ci-contre issue de l'analyse de co-inertie entre les abondances des mêmes espèces et le type de milieu (terres hautes ou marais). Le graphique suggère une composition des communautés de carabiques variant selon le contexte paysager. La répartition de *Trechus gr. quadristriatus* notamment, semble corrélée aux parcelles des terres hautes qui correspondent à la zone en haut à droite sur la figure. A l'inverse, les deux espèces caractéristiques des milieux humides, *Chlaenius chrysocephalus* et *Poecilus purpurascens*, mais aussi *Brachinus psophia* sont sensiblement plus abondantes dans le marais. Enfin *Pseudoophonus rufipes* évite le marais et son abondance augmente dans les terres hautes.

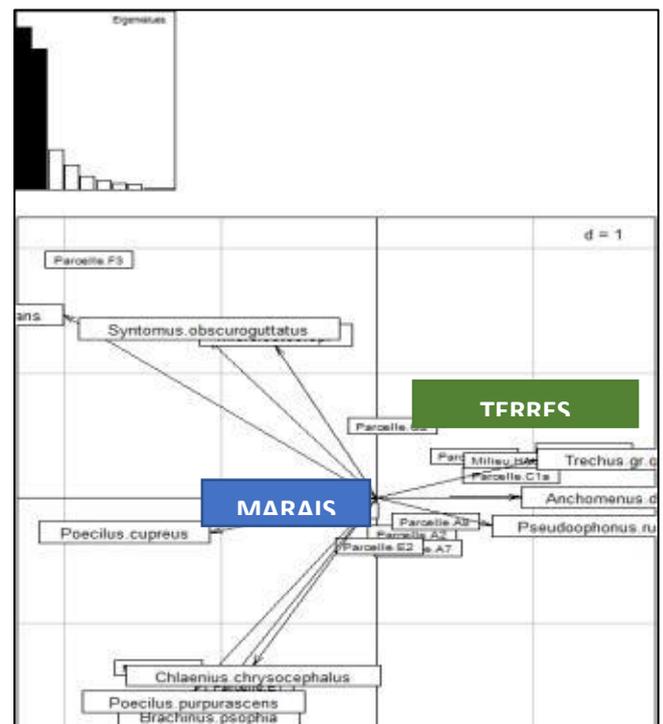


Figure 37: Co-inertie entre les abondances par espèce et le type de milieu

III. 2. c. Evolution des communautés de carabiques sur la période 2009-2016

La richesse spécifique totale relative (Figure 39) reste du même ordre de grandeur sur toute la période. Les importantes variations du nombre de parcelles et de pièges suivis entre 2009 et 2014 ainsi que l'absence de données en 2010 et 2011 justifie une plus grande pertinence de l'étude de l'évolution de la richesse spécifique à l'échelle du piège. Ainsi la figure 38 révèle une richesse moyenne par piège inférieure d'environ une espèce en 2012 et 2013 par rapport à 2009. Elle augmente graduellement entre 2014 et 2016, période pendant laquelle le protocole a été standardisé. En revanche, l'abondance totale relative en carabiques est en nette augmentation depuis 2012 d'après la figure 39 et en particulier depuis 2014 où le protocole est resté inchangé à l'exception de l'ajout d'une parcelle.



Figure 38: Evolution de la richesse spécifique moyenne par piège

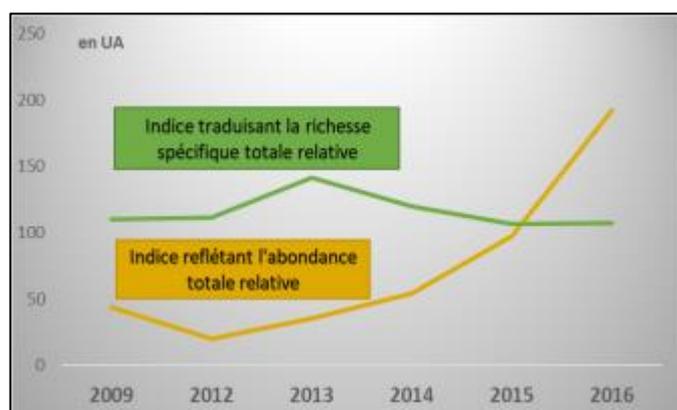


Figure 39: Variations relatives de la richesse spécifique et de l'abondance totale

Notons que la figure 40 montre la nécessité de suivre une dizaine de parcelles. En effet, d'après les courbes de raréfaction associées au protocole standardisé dès 2014, la richesse spécifique totale semble atteindre un plateau au-delà de 9 parcelles suivies. Egalement, 3 couples de pièges par parcelle permettent de déterminer une dizaine d'espèces de plus que 2 couples, et une vingtaine d'espèces de plus qu'un unique couple de pièges à partir de 8 parcelles étudiées.

Figure 40 a : En fonction du nombre de parcelles suivies (2014-2016)



Figure 40 b : Selon le nombre de couples de pots et le nombre de parcelles (2016)

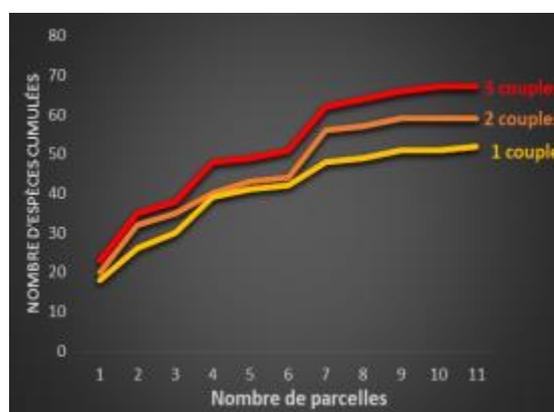


Figure 40 : Courbes de raréfaction en carabiques correspondant au protocole arrêté en 2014

La Figure 41 illustre les variations interannuelles des espèces dominantes et des espèces les plus fréquemment piégées dans les parcelles de la ferme expérimentale. La plupart, que ce soit *Anchomenus dorsalis*, *Harpalus cupreus*, *Poecilus purpurascens*, *Chlaenius chrysocephalus*, *Pseudoophonus rufipes* ou encore *Syntomus obscuroguttatus* voient leur abondance légèrement augmenter entre 2009 et 2012, voire 2013. Puis dès 2014, ces populations sont en nette progression. En effet, ramenée au même nombre de pièges entre 2014 et 2016, l'abondance d'*Anchomenus dorsalis* est multipliée par 3, celle de *Chlaenius chrysocephalus* par 7, etc. *Brachinus elegans* et *Poecilus cupreus* sont absentes ou sporadiques en 2012. Mais alors que *Poecilus cupreus* ne cesse d'augmenter en abondance après 2014, l'espèce *Brachinus elegans* devient moins abondante entre 2014 et 2016. Enfin *Brachinus psophia*, n'apparaît dans les relevés qu'à partir de 2014 est en progression depuis lors.

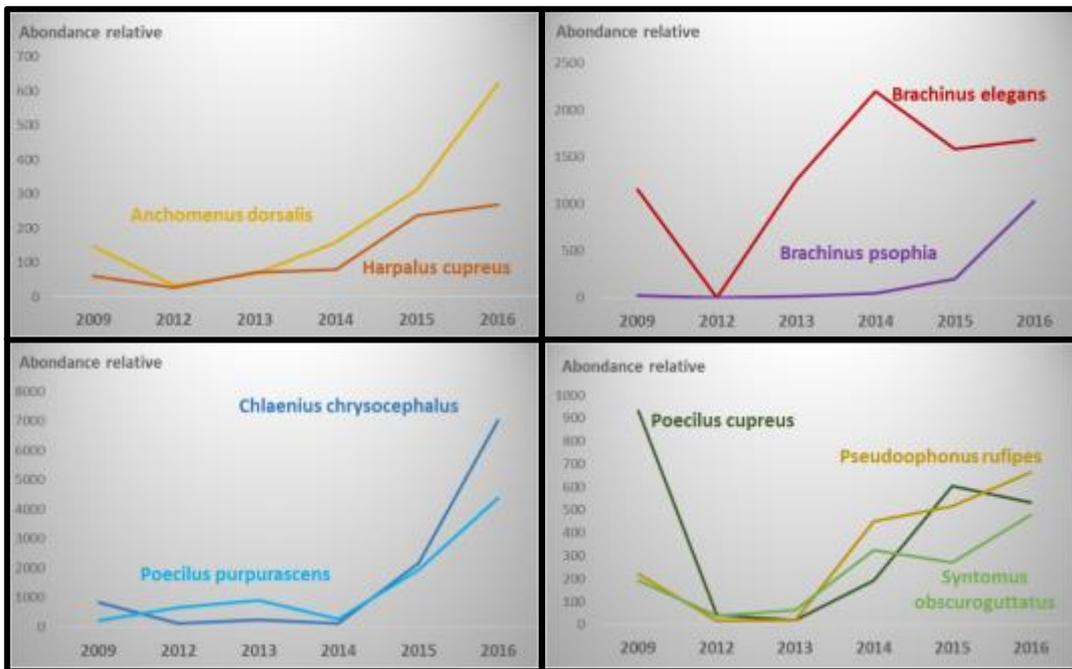


Figure 41: Variations inter-annuelles de quelques espèces de carabiques (2009-2016)

Les températures moyennes annuelles et les températures moyennes en été sur la période (figure 42) ne semblent pas expliquer les variations de ces populations. En revanche, il est possible que la diminution de la quantité des précipitations annuelles entre 2009 et 2012 visible sur la figure 43 ait pu jouer un rôle dans la baisse relative de l'abondance de certaines espèces ou déterminer l'absence d'espèces hygrophiles comme *Poecilus purpurascens* et *Chlaenius chrysocephalus*.

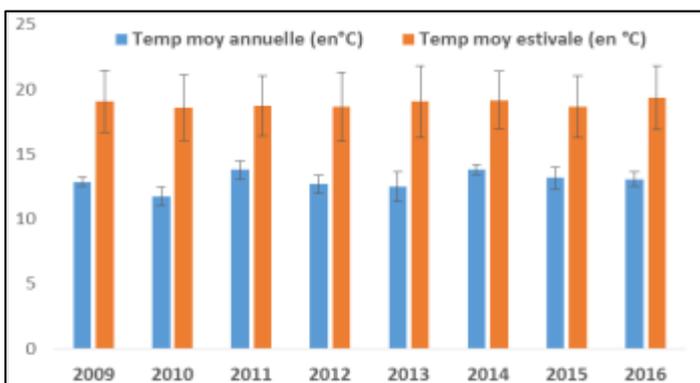


Figure 42: Température moyenne annuelle et estivale (2009-2016)

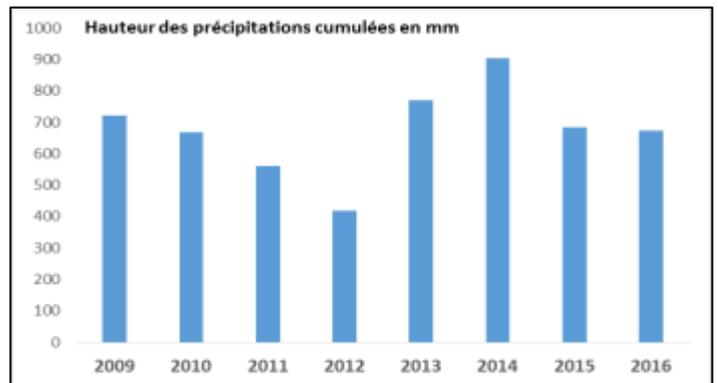


Figure 43: Cumul des précipitations par année (2009-2016)

IV. Discussion

Grâce aux neuf années de suivi de l'avifaune et aux six années d'étude des coléoptères carabiques sur la ferme expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée, nous avons pu caractériser avec précision les communautés d'oiseaux et de carabiques que l'on peut trouver en zone agricole de marais. Il n'est pas étonnant de constater que les oiseaux d'eau représentent 28 % de l'abondance totale et les spécialistes des milieux agricoles, 22%. Dans les communautés de carabiques, ce sont aussi les espèces associées aux milieux humides ainsi que les espèces caractéristiques des milieux ouverts, et en particulier des milieux cultivés, qui dominent avec, respectivement, 49 % et 59 % de l'abondance totale. Notons que la plupart des espèces ont une capacité de dispersion élevée liée à leur petite à moyenne taille et à leur caractère macroptère (ailes fonctionnelles).

Le site présente une grande richesse spécifique tant en oiseaux qu'en carabiques avec au total plus d'une centaine d'espèces différentes recensées dans chaque groupe depuis 2009. D'après la LPO, environ 460 espèces différentes d'oiseaux (nicheurs, migrateurs, hivernants et occasionnels) ont été observées dans l'ancienne région Poitou-Charentes (Charente Nature, 2016) s'étendant sur 2 600 000 ha. Ainsi notre site de 160 ha abrite plus d'un cinquième de la richesse spécifique régionale en avifaune, et en particulier plus de la moitié des 168 espèces de nicheurs certains. Chaque année, la richesse spécifique en oiseaux est en moyenne de 60 espèces sur le domaine de l'INRA tandis qu'elle atteint 40 à 65 espèces pour les carabiques selon le protocole, ce qui est comparable à la richesse observée sur d'autres sites de zones humides (cf par exemple Barbaro et Plichon 2009). Certes les communautés d'oiseaux sont dominées par quelques espèces, mais elles restent plus diversifiées et plus équilibrées que les communautés de carabiques. En effet, une cinquantaine d'espèces d'oiseaux sont présentes chaque année sans exception et une douzaine d'espèces sont présentes dans plus de la moitié des relevés. En revanche, si les communautés de carabiques sont apparemment très riches, nous avons observé que les huit espèces les plus communes représentent à elles seules 85% de l'abondance totale. Ainsi plus de 40% des espèces sont sporadiques ou accidentelles. Ceci met en évidence l'extrême efficacité de la technique de piégeage par pot Barber puisque nous capturons un nombre conséquent d'espèces rares ou tout au moins peu représentatives des communautés de carabiques du site d'étude.

Nous avons également évalué la technique d'échantillonnage des carabiques mise en place à partir de 2014. Un nombre de parcelles étudiées supérieur à 9 semble satisfaisant pour déterminer la totalité des espèces présentes. Il est plus difficile de conclure sur le nombre de pièges : certes, nous pouvons dire que 3 couples de pièges sont plus performants qu'1 et 2 couples mais sans avoir tester 4 et 5 couples de pièges, on ne peut dire si 3 couples de pièges sont suffisants. Il serait également, judicieux de comparer 3 couples à 6 pièges simples.

Par ailleurs, le suivi des oiseaux par point d'écoute est conforme au protocole standardisé par le MNHN dans le cadre du programme STOC-EPS (Julliard et Jiguet 2002). Il a donc déjà montré sa robustesse. Naturellement, certains observateurs ont tendance à détecter beaucoup d'espèces, d'autres moins. Ainsi le changement d'observateur d'une année sur l'autre peut apporter un léger biais, visible en particulier ici pour l'année 2012. Cependant, les points d'écoute sont toujours effectués dans des conditions météorologiques idéales et les deux passages ajoutés aux deux passages habituels réalisés au printemps à partir de 2013 ont certainement augmenté la précision des comptages. Il ne faut pas perdre de vue la situation d'une partie du domaine en bordure de la 4-voies. En effet, il a été démontré que la pollution sonore des infrastructures routière réduisait la détectabilité des oiseaux en diminuant notamment leur abondance à proximité (McClure et al. 2013), et en particulier à une distance inférieure à 250 mètres par rapport à la route (Reijnen et al. 1995). Mais étant donné que les points d'écoute sont positionnés de manière à ne pas trop subir le dérangement sonore et que la détectabilité des oiseaux à vue est aussi prise en compte, le protocole reste adapté au suivi à long terme de l'avifaune de St Laurent de la Prée.

Le suivi des limicoles nicheurs, contrairement aux points d'écoute est toujours assuré par le même observateur : Pascal Faure (de temps en temps remplacé par Daphné Durant) depuis 2009. Garder le même observateur d'une année sur l'autre est judicieux pour ce protocole car il est opportun de bien connaître le site et en particulier les lieux où les limicoles nichent préférentiellement. De plus, la collecte hebdomadaire des données limicoles sur une période de quatre mois élimine pratiquement le risque de manquer un nid ou un couple de limicoles.

La répétition des mêmes protocoles pour le suivi des oiseaux sur une durée de neuf années nous a permis de dégager des tendances d'évolution au sein des communautés d'oiseaux à Saint-Laurent-de-la-Prée. Nous avons mis en évidence deux baisses notables de la richesse spécifique et de l'abondance totale en 2012 et 2016, qui, sans ces deux années, sont relativement constantes. D'ailleurs la tempête Xynthia de 2010 ne semble pas avoir bouleversé les populations nicheuses. En 2012, la richesse spécifique a chuté de 10 espèces cette année-là. L'absence de certaines espèces serait liée à des conditions climatiques moins favorables ce printemps-ci conjugué à un effet observateur. Mais en dépit d'une richesse plus faible, la diversité fonctionnelle reste peu modifiée en 2012. D'autre part, l'année 2015 semble avoir un effet neutre sur la diversité fonctionnelle. Enfin, si l'année 2017 a été exceptionnelle en termes de richesse spécifique et d'abondance totale en oiseaux, elle n'a pas été optimale en termes de diversité fonctionnelle. En effet, la diminution de la régularité fonctionnelle depuis 2015 dénote un nombre supérieur de niches fonctionnelles sous-utilisées et une compétition plus importante (par forte augmentation de certains groupes fonctionnels ?) associée à la légère baisse de la divergence fonctionnelle en 2017.

La période d'étude entière (2009-2017) correspond à un déclin des spécialistes des milieux bâti au profit, semble-t-il, des généralistes qui voient leur population augmenter de 20% (Julliard et al. 2006 ; Devictor et al. 2008). Ces tendances suivent l'évolution régionale de ces groupes à l'exception des spécialistes des milieux agricoles qui se maintiennent voire sont en progression sur le site d'étude, avec une augmentation de leur abondance de l'ordre de 6%. Ces tendances sont cependant un peu grossières par rapport aux tendances calculées entre 2013 et 2017 grâce au script du MNHN, basé sur un modèle linéaire généralisé et prenant en compte les incertitudes. La progression des spécialistes sur cette période coïncide avec une importante augmentation de l'indice moyen de spécialisation des communautés entre 2016 et 2017. Autre résultat, 3 espèces caractéristiques des milieux humides sont en forte progression : la Rousserolle effarvate, la Cisticole des joncs et la Bouscarle de Cetti tandis que la Fauvette grisette, spécialiste des milieux agricoles a augmenté en abondance de façon modérée. On notera aussi la présence tardive du Pipit farlouse ces dernières années, pouvant indiquer une reproduction dans ces habitats prairiaux très favorables à cette espèce nicheuse située en limite sud de son aire de répartition (Barbaro et Lannès 2015).

Il n'est pas aisé d'interpréter les variations au sein des communautés d'oiseaux quand elles ne sont pas expliquées par les variations des conditions météorologiques printanières. Les transformations du paysage jouent sûrement un rôle mais sont difficiles à quantifier et à mettre en relation avec nos résultats. Cependant à l'échelle de la ferme, il serait intéressant d'examiner en détail le lien entre les spécialistes des milieux agricoles et l'assolement, les interventions culturales. En effet, les récoltes de l'été 2017 présagent d'une bonne année agricole et 2017 a également été une année favorable pour le succès de la reproduction des oiseaux.

Dans le cas des carabiques, la variabilité du protocole rend plus délicate l'étude des variations inter-annuelles depuis 2009. D'autant plus qu'il y a une interruption dans le suivi : les années 2010 et 2011 font défaut. La richesse spécifique relative n'est finalement pas un indice judicieux car elle n'augmente pas forcément à chaque piège supplémentaire étudié. Un indice plus adapté, la richesse moyenne par piège, a diminué entre 2009 et 2013 puis a augmenté chaque année par palier de 2 espèces par piège entre 2014 et 2016. Etant donné que *Poecilus purpurascens* et *Chlaenius chrysocephalus* deux espèces hygrophiles sont parmi les plus abondantes sur le site, la diminution de l'abondance totale entre 2009 et 2012 peut être partiellement attribuée à la baisse des précipitations annuelles. Mais sans les données de 2010, nous ne pouvons exclure aussi l'impact de la tempête Xynthia. En effet, ayant inondé 80 % de la surface de la ferme, elle a pu affecter de façon importante les communautés de carabiques nécessitant un temps de « rétablissement ». En tout cas, depuis 2014, date à laquelle le protocole a été standardisé, nous avons assisté à une évolution favorable des carabiques tant en richesse spécifique qu'en abondance.

En dernier lieu, nous avons pu mettre en évidence une variabilité dans la composition des communautés d'oiseaux et de carabiques en fonction du contexte paysager et l'assolement. D'une part, la richesse spécifique en oiseaux sur les terres hautes s'est révélée significativement supérieure à celle mesurée sur les parcelles du marais. La comparaison entre le site d'étude et le site de référence traduit également cet effet du paysage sur les communautés d'oiseaux. Globalement, ce sont des communautés d'oiseaux comparables qui sont présentes sur ces deux sites. Ce résultat était attendu puisque les deux sont en milieu agricole de marais et appartiennent à deux communes assez proches.

Néanmoins, les quelques espèces qui diffèrent entre Saint-Laurent-de-la-Prée et Yves reflètent les différences au niveau du paysage. Ainsi le bocage est plus important sur le site d'étude tandis que le site de référence possède des prairies à mares de tonnes, contrairement à SLP. De plus, la richesse spécifique est généralement légèrement plus élevée à Yves à l'échelle du site et aux points du marais qu'à SLP. Peut-être est-ce dû à la présence d'infrastructures écologiques plus nombreuses dans le marais d'Yves que ce soit des haies et des arbres isolés. D'autre part, quelques espèces carabiques se répartissent préférentiellement dans le marais et d'autres sur les espaces plus bocagers. La caractérisation du paysage par le repérage d'éléments caractéristiques comme les mares, les haies, les arbres isolés, les roselières sur le site de référence a été réalisée cet été, afin de montrer l'effet positif de ces petits éléments paysagers favorisant l'hétérogénéité du paysage à échelle fine sur la diversité animale (Tews et al. 2004). La mise en forme cartographique de ces éléments paysagers dans la base de données devrait permettre de comparer plus précisément les deux sites et d'interpréter plus finement les différences observables au sein de l'avifaune et des communautés de carabiques.

Nous n'avons pas encore exploré le lien entre l'assolement et la composition des communautés d'oiseaux sur la ferme expérimentale (cf par exemple Miguet et al. 2013, pour l'Alouette des champs). En effet, il est très délicat de rattacher un point d'écoute à un seul type d'habitat, les oiseaux ayant un domaine vital étendu dépassant l'échelle de la parcelle. En revanche, nous avons remarqué que le Vanneau huppé nichait préférentiellement dans les cultures. Or en principe, les Vanneaux huppés nichent aussi bien dans les prairies que les cultures. Le choix du site de nidification est déterminé par le paysage environnant, la structure de la végétation et la présence d'eau ou l'humidité du sol. La faible nidification du Vanneau huppé dans les prairies ne s'expliquerait pas tant par la faible humidité des prairies du site que par la hauteur d'herbe dépassant les 15 cm. Une prairie trop haute limite en effet la recherche alimentaire du Vanneau huppé et est donc beaucoup moins attractive pour cette espèce (Devereux et al. 2004). Enfin, on constate que la diminution des populations nicheuses de Vanneau huppé sur le site correspond au remplacement progressif des cultures de printemps par les cultures d'hiver depuis 2013. Cette observation est corroborée par la nidification quasi systématique du Vanneau huppé dans les cultures de printemps depuis 2009. Cela suggère une préférence de ce limicole emblématique pour les cultures de printemps comme site de nidification sur le domaine de SLP à l'instar des conclusions d'une étude réalisée au Royaume-Uni (Shrubbs 1990).

Dans les communautés de carabiques, nous avons constaté une répartition différente des espèces les plus abondantes et les plus fréquentes entre prairies et cultures. Notamment, *Brachinus elegans* une espèce associée aux milieux ouverts est très répandue dans les prairies tandis qu'*Anchomenus dorsalis* est piégée majoritairement dans les cultures et *Poecilus cupreus* semble généraliste. Globalement les cultures d'hiver semblent les plus favorables à ces espèces communes dans les communautés de carabiques du site d'étude. Connaissant l'impact négatif d'un travail profond du sol sur la richesse et la diversité en carabiques (Hatten et al. 2007), il serait judicieux de comparer les communautés de carabiques dans les cultures en fonction des pratiques agricoles spécifiques à chaque parcelle - en particulier en termes de travail du sol et de traitements apportés (pesticides et engrais) - plutôt que selon le type d'assolement.

V. Conclusion

Notre étude visait avant tout à caractériser avec précision les communautés d'oiseaux et de coléoptères carabiques présentes sur la ferme de Saint-Laurent-de-la-Prée, mais aussi à décrire leur évolution depuis 2009 en identifiant éventuellement des relations entre ces communautés et le paysage. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur les données collectées sur ces deux groupes depuis le début de l'expérimentation-système en 2009. Nous avons confronté ces données à des données climatiques et à des caractéristiques du paysage et de l'habitat. Enfin, nous avons comparé nos résultats à des références régionales ou locales.

Ainsi les communautés d'oiseaux et de carabiques de Saint-Laurent-de-la-Prée présentent une grande richesse spécifique. Néanmoins les communautés d'oiseaux montrent une plus grande diversité que les communautés de carabiques. Sans surprise au regard de la situation de la ferme de l'INRA en zone de marais, ce sont les espèces associées aux milieux agricoles ainsi que les espèces caractéristiques des milieux humides, dont certaines d'intérêt patrimonial (comme la Cisticole des joncs, classée vulnérable à l'échelle nationale), qui dominent dans les deux groupes.

Sur la période d'étude, l'année 2012 semble être la moins favorable aux oiseaux et aux carabiques en termes d'abondance et de richesse spécifique, bien que la diversité fonctionnelle chez les oiseaux se soit quand même maintenue cette année-là. Nous retenons a priori l'hypothèse d'un effet climatique en 2012. En revanche, depuis 2013 on assiste à une évolution globalement favorable des communautés d'oiseaux et de carabiques. Concernant les oiseaux, en dépit d'une légère baisse de la diversité fonctionnelle, d'une chute de la richesse spécifique et de l'abondance en 2016, l'abondance totale atteint un pic en 2017 et la richesse spécifique revient à sa valeur initiale (de 2009). De plus les généralistes sont en progression au détriment des spécialistes, à l'exception des spécialistes agricoles qui se maintiennent, voire voient leur abondance augmenter, sur le total des neuf années. Un regain des spécialistes agricoles sur l'ensemble des deux sites est en effet décelable à court terme entre 2013 et 2017, et ceci à la fois pour les oiseaux et pour les carabiques spécialistes des milieux agricoles, qui ont été également favorisés par le développement des cultures d'hiver. Par ailleurs, la richesse spécifique moyenne par piège et l'abondance totale en carabiques augmentent graduellement entre 2014 et 2016.

Pour conclure, cette étude met également en évidence une différence marquée de composition des communautés d'oiseaux et de carabiques entre deux grands ensembles paysagers : le marais et les terres hautes. Le milieu intermédiaire a, comme son nom l'indique, une position intermédiaire entre les deux ensembles étant donné que, bien que situé dans le marais, il est associé à des paysages plus bocagers.

Cependant, le suivi de la biodiversité sur cette unité expérimentale de l'INRA a avant tout pour objectif évaluer les pratiques agricoles d'un point de vue environnemental. Depuis 2009, les mutations du système agricole à Saint-Laurent-de-la-Prée relatives à la transition agro-écologique ont été progressives. Il n'est donc pas aisé de mesurer l'impact de ces pratiques sur les communautés d'oiseaux et de carabiques. Un effet positif sur les populations de carabiques des bandes enherbées semées en 2011 a déjà été montré (Durant et Lemaire 2016). Par ailleurs, selon notre étude le développement des cultures d'hiver paraît d'un côté favoriser une diversité et une abondance en carabiques, de l'autre diminuer le nombre de limicoles nicheurs et en particulier de vanneaux huppés, préférant les parcelles en cultures de printemps.

Mais avec la conversion de la ferme expérimentale à l'agriculture biologique prévue pour septembre 2017 (certification dès 2019), des effets notoires sur ces communautés sont attendus. En effet, les oiseaux et les auxiliaires de cultures - comme les carabiques - répondent favorablement à la transition d'un système conventionnel à l'agriculture biologique (Bengtsson et al. 2005). D'où l'intérêt d'étudier en détails le rôle de certaines espèces de coléoptères carabiques comme par exemple *Pseudoophonus rufipes* très abondante sur le parcellaire de Saint-Laurent-de-la-Prée et qui en sa qualité d'omnivore parfois granivore, pourrait être un allié dans la limitation du développement des adventices en lutte biologique. Une étude récente conclut non seulement à l'augmentation de la diversité de carabiques mais également à l'élévation de leur potentiel de contrôle vis-à-vis des adventices en agriculture biologique (Diekötter et al. 2016). De même, le maintien d'une diversité fonctionnelle élevée des communautés d'oiseaux augmente le potentiel de régulation biologique naturelle fourni par les oiseaux insectivores (Barbaro et al. 2017).

En outre, des projets d'implantation de haie, de création de mares et d'extension de roselières sont en développement et seront également intéressants à évaluer. D'une part, les mares et les roselières devraient être très attractives pour les oiseaux d'eau, et en particulier des espèces classées vulnérables ou en danger comme la Cisticole des joncs ou la Locustelle luscinoïde. D'autre part, l'implantation de quelques haies dans le marais où les ligneux sont rares pourraient s'avérer bénéfiques autant aux oiseaux qu'aux carabiques en jouant le rôle de corridors écologiques (comme refuge, pour les ressources alimentaires, etc.) et favoriser l'utilisation du marais par d'autres groupes taxonomiques comme les chiroptères (Lacoeuilhe et al. 2016). En effet, une augmentation de l'hétérogénéité locale des habitats sur le marais en développant ces structures écologiques clés et une diversité des types de gestion parcellaire sera favorable à la biodiversité animale tant au niveau des espèces (Miguet et al. 2013), que des groupes fonctionnels et des communautés (Tews et al. 2004).

VI. Références bibliographiques

- Barbaro L., Plichon A. (2009) Les Coléoptères carabiques (Coleoptera, Carabidae) des habitats humides de la Réserve Naturelle de l'Étang de Cousseau (Lacanau, Gironde). *Bulletin de la Société Linnéenne de Bordeaux* 144/37: 85-93.
- Barbaro L., van Halder I. (2009) Linking bird, carabid beetle and butterfly life-history traits to habitat fragmentation in mosaic landscapes. *Ecography* 32: 321-333.
- Barbaro L., Lannès O. (2015) Pipit farlouse *Anthus pratensis*. In: LPO Aquitaine (ed.) Atlas des oiseaux nicheurs d'Aquitaine, Delachaux & Niestlé, Paris.
- Barbaro L., Rusch A., Muiruri E.W., Gravellier B., Thiéry D., Castagneyrol B. (2017) Avian pest control in vineyards is driven by interactions between bird functional diversity and landscape heterogeneity. *Journal of Applied Ecology* 54: 500-508
- De Bello, F., Lavorel, S., Díaz, S., Harrington, R., Cornelissen, J.H.C., Bardgett, R.D., Berg, M.P., Cipriotti, P., Feld, C.K., Hering, D., da Silva, P.M., Potts, S.G., Sandin, L., Sousa, J.P., Storkey, J., Wardle, D.A. and Harrison, P.A. (2010). Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity and Conservation*, 19: 2873-2893.
- Bengtsson, J., Ahnström, J. and Weibull, A. C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of applied ecology*, 42(2) : 261-269.
- Bigot, L. et Bodot, P. (1973). Contribution à l'étude biocénotique de la garrigue à *Quercus Coccifera*. Composition biotique du peuplement des invertébrés. *Vie et Milieu*, Vol.23, Fasc. 2(Sér.C) : 229-249.
- Brandolin, P. G. and Blendinger, P. G. (2016). Effect of habitat and landscape structure on waterbird abundance in wetlands of central Argentina. *Wetlands ecology and management*, 24(1) : 93-105.
- Charente Nature, LPO France, LPO Poitou-Charentes, LPO Vienne et Groupe Ornithologique des Deux-Sèvres (2016). Les oiseaux du Poitou-Charentes. *Poitou-Charentes Nature*, 443.
- Colwell, R. K., Mao, C. X. and Chang, J. (2004) Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85: 2717-2727.
- Dajoz, R. (2006). *Précis d'écologie*. 8^{ème} édition, Dunod, Paris, 631 p.
- Devictor V., Julliard R., and al. (2008). Functional biotic homogenization of bird communities in disturbed landscapes. *Ecology and Biogeography* n°17 (2): 252-261.
- Den Boer, P. J. (1977) Dispersal power and survival. Carabids in a cultivated countryside. *Miscellaneous papers, LH Wageningen*, 14: 1-19.
- Devereux, C. L., Mckeever, C. U., Benton, T. G. and Whittingham, M. J. (2004). The effect of sward height and drainage on Common Starlings *Sturnus vulgaris* and Northern Lapwings *Vanellus vanellus* foraging in grassland habitats. *Ibis*, 146: 115–122.
- Diekötter, T., Wamser, S., Dörner, T., Wolters, V. and Birkhofer, K. (2016). Organic farming affects the potential of a granivorous carabid beetle to control arable weeds at local and landscape scales. *Agricultural and Forest Entomology*, 18(2), 167-173.

- Dupuis, V., Jiguet, F. et al. (2011). Etat et tendances de l'avifaune nicheuse en France métropolitaine [brochure]. LPO et MNHN.
- Durant, D. et Lemaire, N. (2016). Des bandes enherbées pour favoriser l'abondance et la diversité des carabidés. TCS. Techniques Culturelles Simplifiées, 90 : 31-33.
- EEA (2005). The European environment - State and outlook. European Environment Agency, Copenhagen, n°1: 183-185.
- Eyre, M. D., Rushton, S. P., Luff, M. L. and Telfer, M. G. (2005), Investigating the relationships between the distribution of British ground beetle species (Coleoptera, Carabidae) and temperature, precipitation and altitude. *Journal of Biogeography*, 32: 973–983.
- Fournier, B., Gillet, F., Le Bayon, R. C., Mitchell, E. A. and Moretti, M. (2015). Functional responses of multitaxa communities to disturbance and stress gradients in a restored floodplain. *Journal of applied ecology*, 52(5): 1364-1373.
- Gotelli, N. J., Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4: 379-391.
- Gurr, G.M., Wratten, S.D., Altieri, M.A. (2004). *Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods*, CSIRO, Victoria.
- Hatten, T. D., Bosque-Pérez, N. A., Labonte, J. R., Guy, S. O., and Eigenbrode, S. D. (2007). Effects of tillage on the activity density and biological diversity of carabid beetles in spring and winter crops. *Environmental entomology*, 36(2) : 356-368.
- Jourde, P. (2009). Suivi des passereaux nicheurs des parcelles du domaine de l'INRA Saint-Laurent-de-la-Prée (Charente-maritime) : Année 2009. LPO, Rochefort: 3-11.
- Julliard, R. & Jiguet, F. (2002) Un suivi intégré des populations d'oiseaux communs en France. *Alauda*, 70, 137–147.
- Julliard, R., Clavel, J., Devictor, V., Jiguet, F. & Couvet, D. (2006) Spatial segregation of specialists and generalists in bird communities. *Ecology Letters*, 9, 1237–1244.
- Klimek S. and al. (2007). Additive partitioning of plant diversity with respect to grassland management regime, fertilisation and abiotic factors. *Basic and Applied Ecology*, Vol. 9 (6): 626-634.
- Lacoeuilhe, A., Machon N., Julien J. F., Kerbiriou C. (2016). Effects of hedgerows on bats and bush crickets at different spatial scales. *Acta Oecologica* 71: 61-72.
- Mason N. W. H. and al. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos* 111.1: 112–118.
- McClure, C. J., Ware, H. E., Carlisle, J., Kaltenecker, G., and Barber, J. R. (2013). An experimental investigation into the effects of traffic noise on distributions of birds: avoiding the phantom road. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 280 : 1773.
- Michaels, K. F. (1999). Carabid beetles as biodiversity and ecological indicators. University of Tasmania: Doctoral dissertation.

- Miguet P., Gaucherel C., Bretagnolle V. (2013). Breeding habitat selection of Skylarks varies with crop heterogeneity, time and spatial scale, and reveals spatial and temporal crop complementation. *Ecological Modelling* 266: 10-18
- Milsom, T. P. and al. (2000). Habitat models of bird species' distribution: an aid to the management of coastal grazing marshes. *Journal of Applied Ecology*, 37: 706–727.
- MNHN et UICN (2016). Liste rouge des espèces menacées en France : Oiseaux de France métropolitaine. Disponible sur : <http://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/09/Liste-rouge-Oiseaux-de-France-metropolitaine.pdf>.
- Mouillot, D., Villéger, S., Scherer-Lorenzen, M. and Mason, N.W. (2011). Functional structure of biological communities predicts ecosystem multifunctionality. *PloS one*, 6, e17476.
- Mouillot, D. et al. 2013. Rare species support vulnerable functions in high-diversity ecosystems. - *PLoS Biol.* 11: e1001569.
- Öberg, M. and al. (2015). Rainfall during parental care reduces reproductive and survival components of fitness in a passerine bird. *Ecology and Evolution* Vol. 5 (2): 345–356.
- Ouchtati, N., Doumandji, S. and Brandmayr, P. (2012). Comparison of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in cultivated and natural steppe biotopes of the semi-arid region of Algeria. *African Entomology* Vol. 20 (1): 134-143.
- Paarmann W. (1986). Seasonality and its control by environmental factors in tropical ground beetles (Col., Carabidae). In: Den Boer PJ, Luff ML, Mossakowski D, Weber F (Eds) *Carabid Beetles Their Adaptations and Dynamics*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York: 157–171.
- Rainio, J. and Niemela, J. (2003). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, 12: 487–506.
- Reijnen, R., Foppen, R., Braak, C. T., and Thissen, J. (1995). The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads. *Journal of Applied ecology*, 32 (1) :187-202.
- Roume, A. (2011). Quelle est la contribution des milieux seminaturels à la diversité et à la répartition des assemblages de Carabidae circulants et hivernants dans un paysage rural tempéré? (thèse de doctorat). Université de Toulouse, France.
- Shrubb, M. (1990). Effects of agricultural change on nesting lapwings *Vanellus vanellus* in England and Wales. *Bird Study*, 37(2), 115-127.
- Smil, V. (2000). *Feeding the World*. MIT Press, Cambridge.
- Stoate, C., Boatman, N. D., Borralho, R. J., Carvalho, C. R., De Snoo, G. R. and Eden, P. (2001). Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of environmental management*, 63(4): 337-365.
- Sukhdev, P. and al. (2010). The economics of ecosystems and biodiversity: mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. TEEB.

Swinton, S. M. and al. (2007). Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits.

Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielborger, K., Wichmann, M.C., Schwager, M. & Jeltsch, F. (2004) Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*, 31, 79–92.

Tilman, D. and al. (1997). The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* n°277: 1300-1302.

Villéger, S., Mason, N. W. H. and Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology* n°89: 2290-2301.

Weibull, A. C. and Östman, Ö. (2003). Species composition in agroecosystems: the effect of landscape, habitat, and farm management. *Basic and Applied Ecology*, 4(4) : 349-361.

Annexes

Annexe I: Liste des observateurs chargés des points d'écoute depuis 2009

Année	Prénom et nom de l'observateur
2009	Philippe Jourde
2010	Olivier Gore
2011	Mickaël Faucher
2012	Nicolas Caniotti
2013	Olivier Gore
2014	Lucas Deplaine
2015	Pierre LeBouet Du Portal
2016	Lucas Deplaine
2017	Julien Gonin

Annexe II: Listes des espèces par cortèges pour la zone Atlantique (Source : CRBPO)

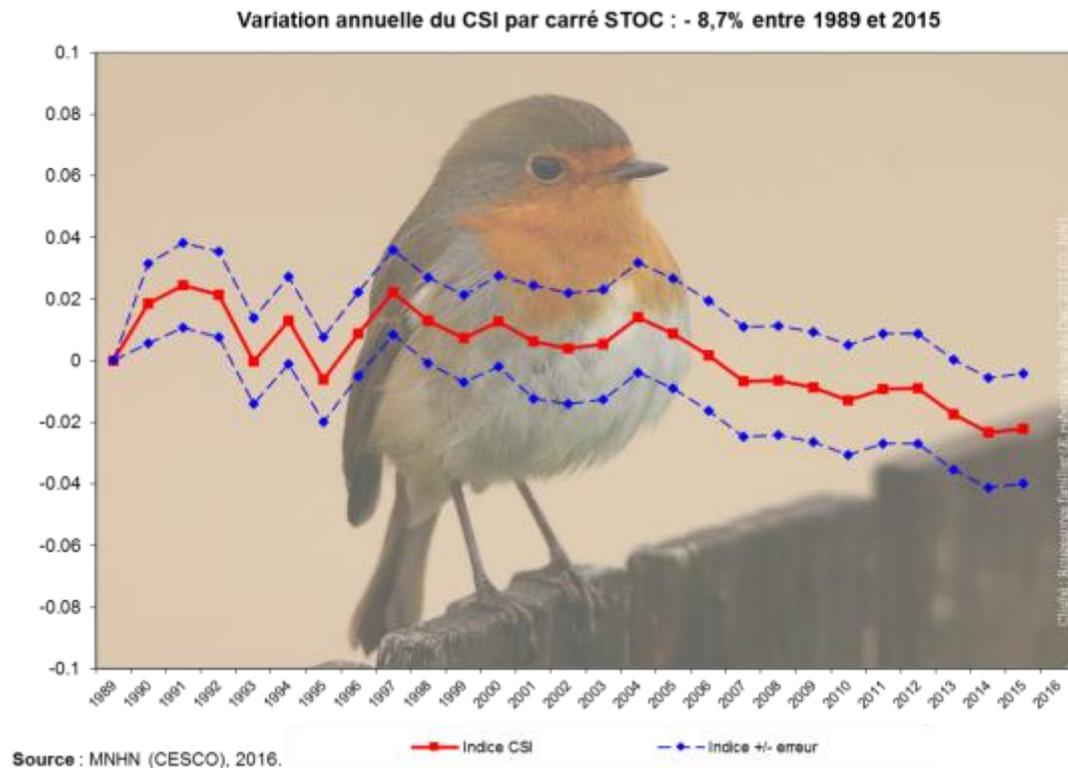
Généralistes	Spécialistes agricoles	Spécialistes bâtis	Spécialistes forestiers
Accenteur mouchet	Alouette des champs	Chardonneret élégant	Bouvreuil pivoine
Corneille noire	Alouette Lulu	Choucas des tours	Geai des chênes
Epervier d'Europe	Bergeronnette printanière	Gobemouche gris	Grimpereau des jardins
Fauvette à tête noire	Bruant jaune	Hirondelle de fenêtre	Gros-bec casse-noyaux
Grive draine	Bruant proyer	Martinet noir	Locustelle tachetée
Grive musicienne	Bruant zizi	Moineau domestique	Mésange à long queue
Huppe fasciée	Busard cendré	Moineau friquet	Mésange huppée
Merle noir	Busard Saint-Martin	Pie bavarde	Mésange noire
Mésange bleue	Caille des blés	Pigeon biset	Mésange nonnette
Mésange charbonnière	Corbeau freux	Rougequeue noir	Pic épeiche
Pic vert	Faucon crécerelle	Serin cini	Pic épeichette
Pigeon ramier	Fauvette grisette	Tourterelle turque	Pic mar
Pinson des arbres	Œdicnème criard	Verdier d'Europe	Pic noir
Troglodyte mignon	Perdrix grise		Pigeon colombin
	Perdrix rouge		Pipit des arbres
	Pipit farlouse		Pouillot de Bonelli
	Tarier pâtre		Pouillot fitis
	Traquet motteux		Pouillot siffleur
			Pouillot véloce
			Roitelet huppé
			Roitelet à triple-bandeau
			Rougegorge familier
			Rougequeue à front blanc
			Sittelle torchepot

Annexe III: Liste des espèces d'oiseaux recensées à SLP et Yves avec leur code Genre-espèce

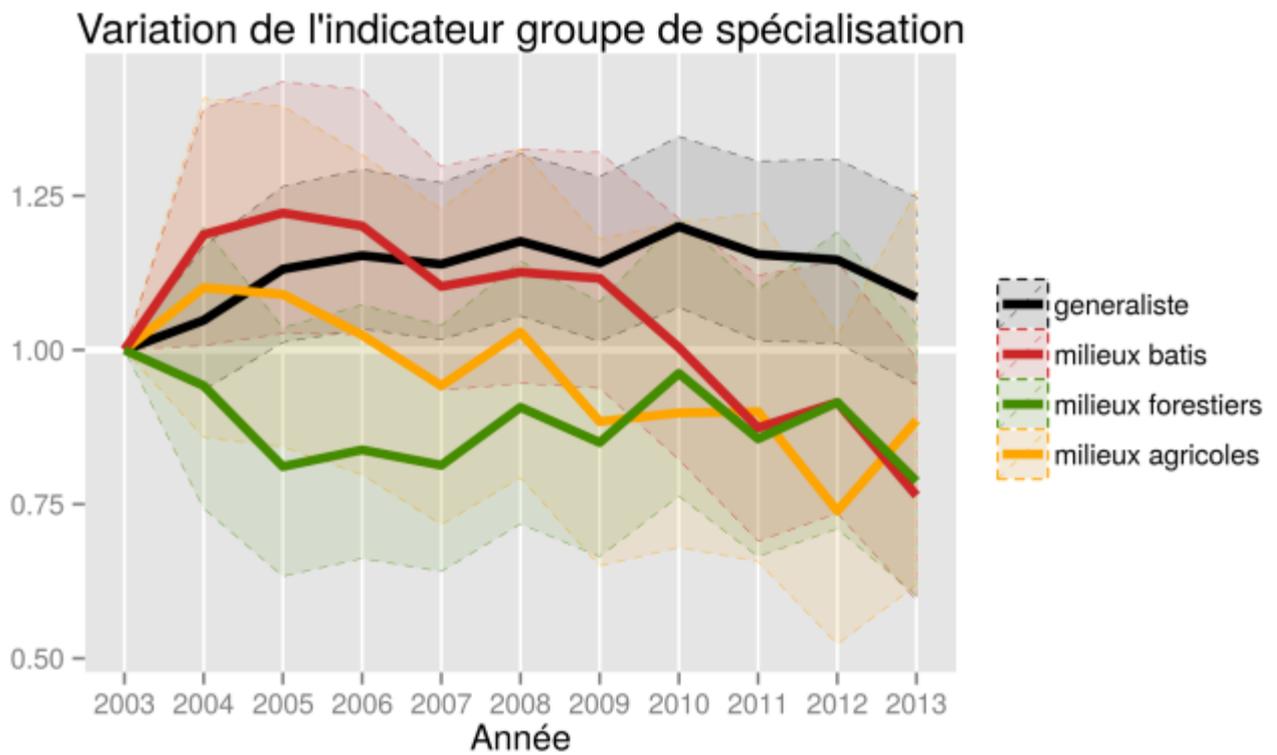
Nom français	Code Genre-espèce	Nom français	Code Genre-espèce
Accenteur mouchet	PRUMOD	Faucon crécerelle	FALTIN
Aigrette garzette	EGRGAR	Faucon hobereau	FALSUB
Alouette des champs	ALAARV	Faucon kobez	FALVES
Avocette élégante	RECAVO	Fauvette à tête noire	SYLATR
Barge à queue noire	LIMLIM	Fauvette des jardins	SYLBOR
Barge rousse	LIMLAP	Fauvette grisette	SYLCOM
Bécassine des marais	GALGAL	Foulque macroule	FULATR
Bergeronnette grise	MOTALB	Gallinule poule-d'eau	GALCHL
Bergeronnette printanière	MOTFLA	Geai des chênes	GARGLA
Bihoreau gris	NYCNYC	Goéland argenté	LARARG
Bouscarle de Cetti	CETCET	Goéland brun	LARFUS
Bruant des roseaux	EMBSCH	Goéland leucophée	LARMIC
Bruant jaune	EMBCIT	Goéland marin	LARMAR
Bruant proyer	MILCAL	Goéland ou mouette	LARSPE
Busard cendré	CIRPYG	Gorgebleue à miroir	LUSSVE
Busard des roseaux	CIRAER	Grand Cormoran	PHACAR
Buse variable	BUTBUT	Grand Gravelot	CHAHIA
Caille des blés	COTCOT	Grande Aigrette	EGRALB
Canard colvert	ANAPLA	Grimpereau des jardins	CERBRA
Canard souchet	ANACLY	Grive draine	TURVIS
Chardonneret élégant	CARCAR	Grive musicienne	TURPHI
Chevalier aboyeur	TRINEB	Guifette moustac	CHLHYB
Chevalier culblanc	TRIOCH	Guifette noire	CHLNIG
Chevalier gambette	TRITOT	Héron cendré	ARDCIN
Chevalier guignette	ACTHYP	Héron garde-boeufs	BUBIBI
Choucas des tours	COLMON	Héron pourpré	ARDPUR
Cigogne blanche	CICCIC	Hirondelle de fenêtre	DELURB
Cisticole des joncs	CISJUN	Hirondelle de rivage	RIPRIP
Corneille noire	CORCOR	Hirondelle rousseline	HIRDAU
Coucou gris	CUCCAN	Hirondelle rustique	HIRRUS
Courlis cendré	NUMARQ	Huppe fasciée	UPUEPO
Courlis corlieu	NUMPHA	Hypolaïs polyglotte	HIPPOL
Cygne tuberculé	CYGOLO	Linotte mélodieuse	CARCAN
Echasse blanche	HIMHIM	Locustelle tachetée	LOCNAE
Épervier d'Europe	ACCNIS	Locustelle lusciniotide	LOCLUS
Étourneau sansonnet	STUVUL	Loriot d'Europe	ORIORI
Faisan de Colchide	PHACOL	Martinet noir	APUAPU

Nom français	Code Genre-espèce	Nom français	Code Genre-espèce
Martin-pêcheur d'Europe	ALCATT	Pipit farlouse	ANTPRA
Merle noir	TURMER	Pluvier argenté	PLUSQU
Mésange à longue queue	AEGCAU	Pouillot fitis	PHYTRO
Mésange bleue	CYACAE	Pouillot véloce	PHYCOL
Mésange charbonnière	PARMAJ	Râle d'eau	RALAU
Milan noir	MILMIG	Rossignol philomèle	LUSMEG
Moineau domestique	PASDOM	Rougegorge familier	ERIRUB
Mouette mélanocéphale	LARMEL	Rougequeue à front blanc	PHOPHO
Mouette rieuse	CHRRID	Rougequeue noir	PHOOCH
Perdrix rouge	ALERUF	Rousserolle effarvate	ACRSCI
Petit Gravelot	CHADUB	Sarcelle d'été	ANAQUE
Phragmite des joncs	ACRSCH	Serin cini	SERSER
Pic épeiche	DENMAJ	Spatule blanche	PLALEU
Pic épeichette	DENMIN	Tadorne de Belon	TADTAD
Pic vert	PICVIR	Tarier des prés	SAXRUB
Pie bavarde	PICPIC	Tarier pâtre	SAXTOR
Pie-grièche écorcheur	LANCOL	Tourterelle des bois	STRTUR
Pigeon biset	COLLIV	Tourterelle turque	STRDEC
Pigeon colombin	COLOEN	Traquet motteux	OENOEN
Pigeon ramier	COLPAL	Troglodyte mignon	TROTRO
Pinson des arbres	FRICOE	Vanneau huppé	VANVAN
Pipit des arbres	ANTTRI	Verdier d'Europe	CARCHL

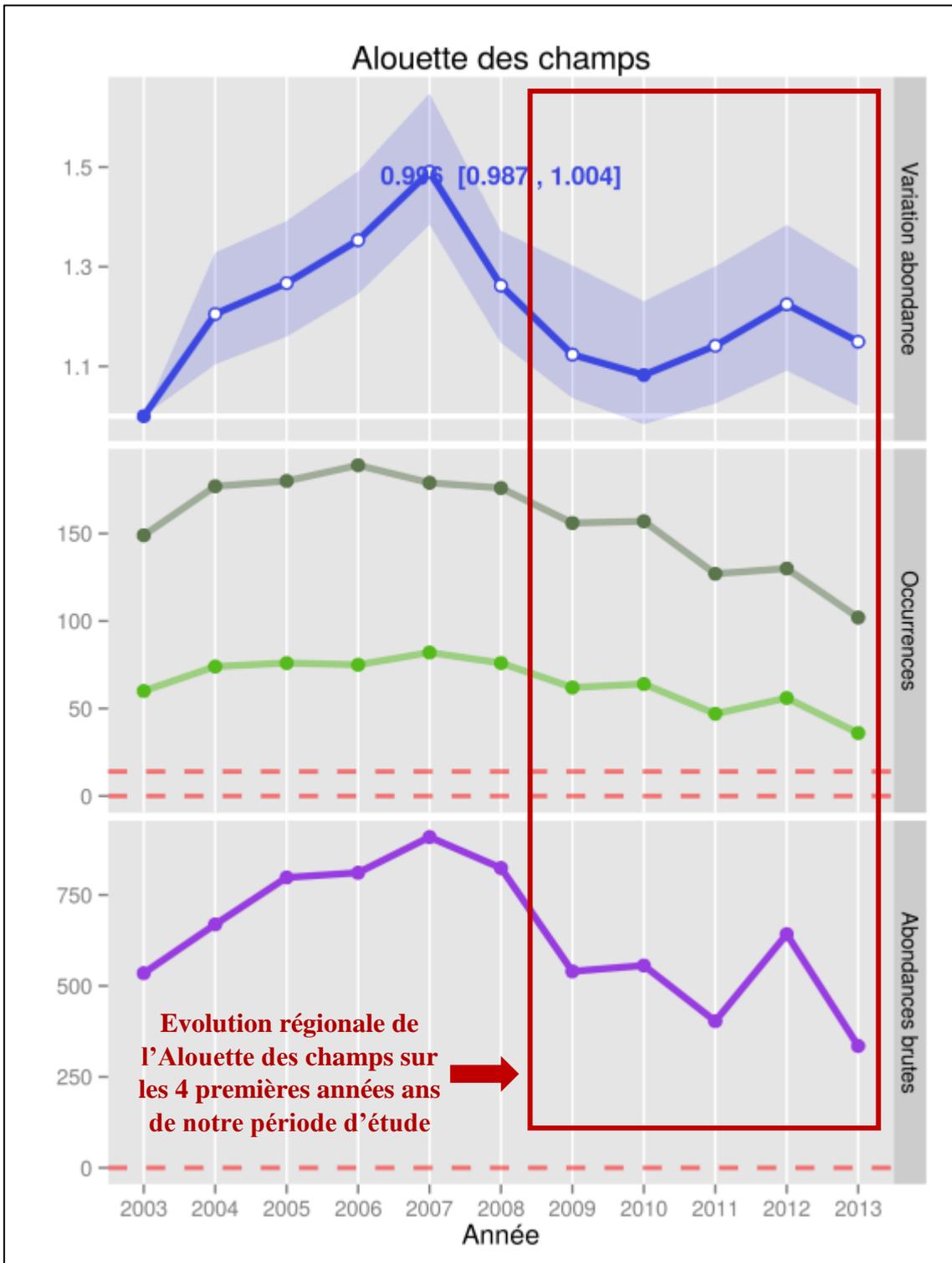
Annexe IV: Les variations annuelles du CSI au niveau national sur la période 1989-2015



Annexe V: Tendence régionale des différents cortèges sur la période 2003-2013
(Source : MNHN, fourni par Romain Lorrillière)

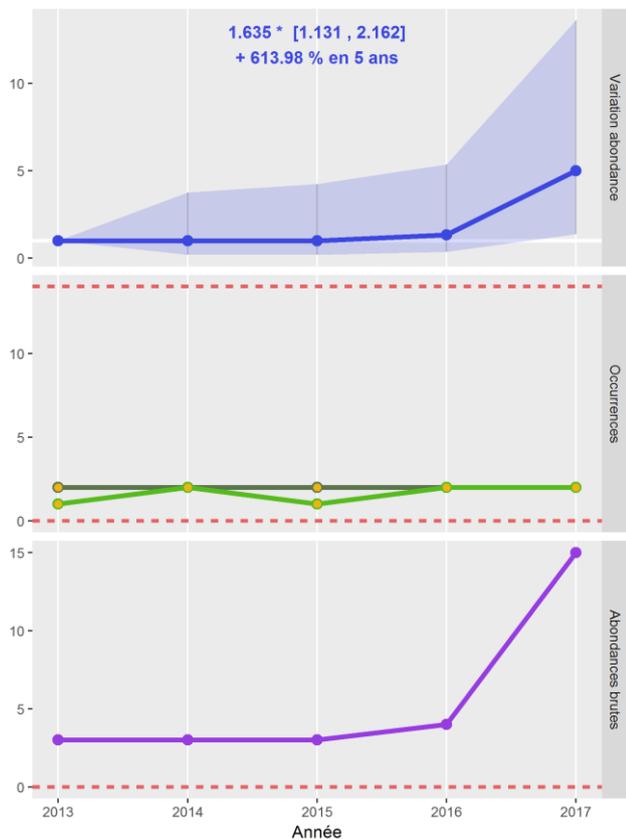


Annexe VI: Tendence régionale de la population d'Alouette des champs d'après le STOC Poitou-Charentes entre 2003 et 2013 (Source : MNHN, fourni par Romain Lorrillière)

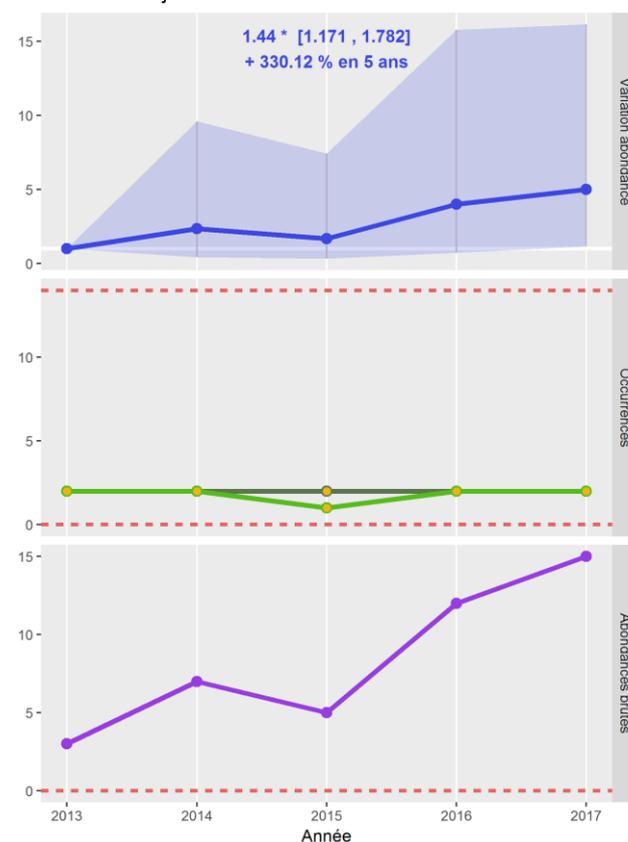


Annexe VII: Tendances significatives de quelques espèces entre 2013 et 2017 calculées à partir des deux sites

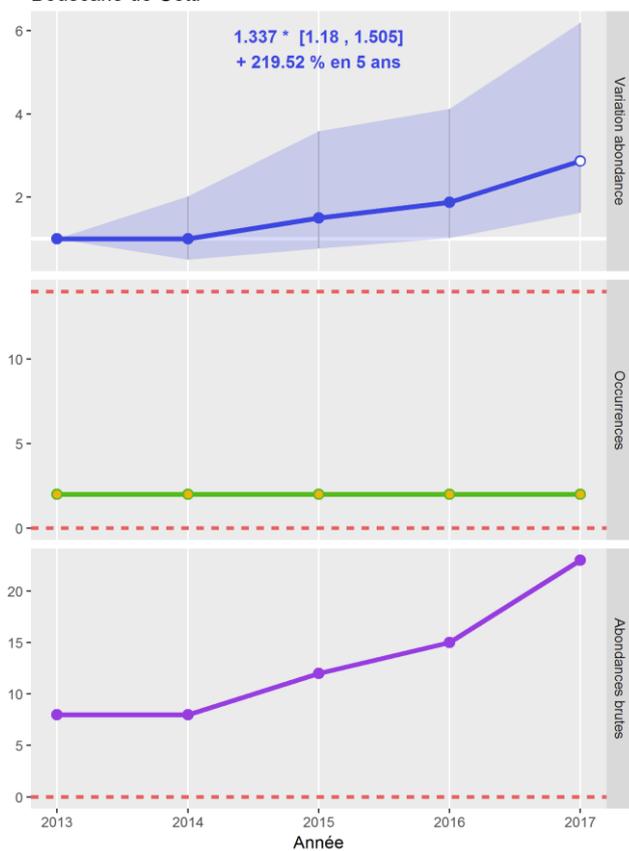
Rousserolle effarvate



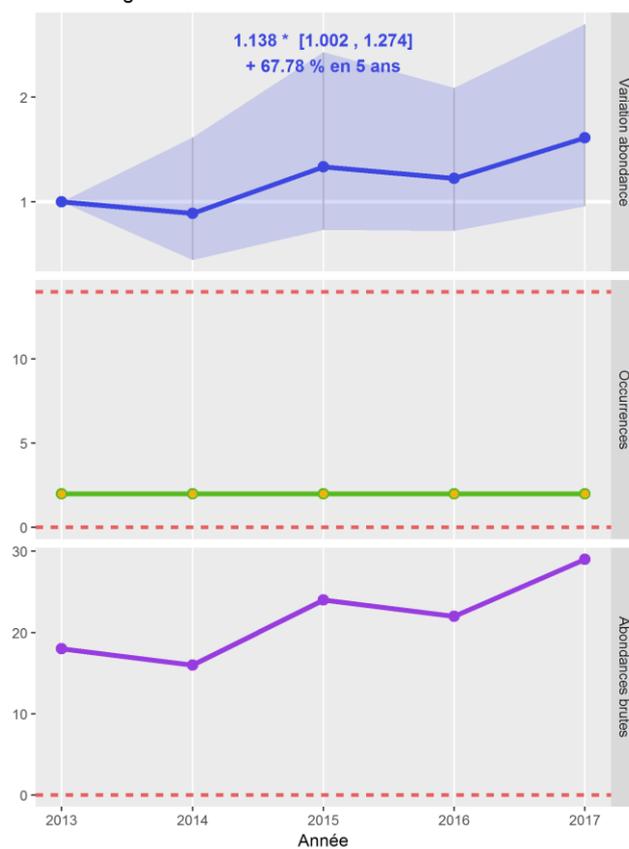
Cisticole des joncs



Bouscarle de Cetti



Fauvette grisette



Annexe VIII: Liste des espèces de coléoptères carabiques recensées à SLP et leurs traits de vie

Genre espèce	Hab	Alim	Dpl	Taille
<i>Acupalpus brunnipes</i>	NA	NA	NA	T1
<i>Acupalpus meridianus</i>	Hh	Car	m	T1
<i>Acupalpus sp.</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Agonum afrum</i>	NA	NA	NA	T2
<i>Agonum lugens</i>	Hh	Car	NA	T2
<i>Agonum marginatum</i>	NA	Car	NA	T2
<i>Agonum muelleri</i>	Mb	Car	m	T2
<i>Agonum sp.</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Agonum viduum</i>	Hh	Omni	m	T2
<i>Amara aenea</i>	Cu	Omni	m	T2
<i>Amara apricaria</i>	NA	NA	NA	T2
<i>Amara aulica</i>	NA	Phy	NA	T3
<i>Amara eurynota</i>	Cu	Phy	NA	T3
<i>Amara familiaris</i>	Cu	Phy	m	T2
<i>Amara floralis</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Amara kulti</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Amara lucida</i>	Hh	Phy	NA	T1
<i>Amara ovata</i>	Hh	Phy	NA	T2
<i>Amara rufipes</i>	NA	Phy	NA	T2
<i>Amara similata</i>	Cu	Phy	m	T2
<i>Amara sp.</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Amara tibialis</i>	NA	Py	NA	T1
<i>Amblystomus metallescens</i>	NA	NA	NA	T1
<i>Amblystomus niger</i>	Mo	Omni	NA	T1
<i>Anchomenus dorsalis</i>	Cu	Car	m	T2
<i>Anisodactylus binotatus</i>	Mr	Car	m	T3
<i>Anisodactylus poeciloides</i>	NA	NA	NA	T3
<i>Anisodactylus signatus</i>	NA	Car	NA	T3
<i>Apotomus rufus</i>	NA	Car	NA	T1
<i>Asaphidion flavipes</i>	Hh	NA	m	T1

Genre espèce	Hab	Alim	Dpl	Taille
<i>Badister bullatus</i>	CuMb	Car	NA	T2
<i>Badister unipustulatus</i>	NA	Car	NA	NA
<i>Brachinus crepitans</i>	Hh	Car	m	T2
<i>Brachinus elegans</i>	Mo	Car	m	T2
<i>Brachinus explodens</i>	Cu	Car	m	T2
<i>Brachinus nigricornis</i>	NA	Cat	m	T2
<i>Brachinus psophia</i>	Mo	Car	m	T2
<i>Brachinus sclopeta</i>	Cu	Car	m	T2
<i>Brachinus sp.</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Bradycellus harpalinus</i>	NA	NA	NA	T1
<i>Calathus fuscipes</i>	Mb	Omni	d	T3
<i>Calathus gr. melanocephalus</i>	Cu	NA	NA	T2
<i>Calosoma auropunctatum</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Calosoma sycophanta</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Cephalophonus cephalotes</i>	Mo	Phy	NA	T3
<i>Chlaenius chrysocephalus</i>	Hh	Car	m	T2
<i>Demetrias atricapillus</i>	Hh	Car	m	T2
<i>Diachromus germanus</i>	Hs	Omni	m	T2
<i>Drypta dentata</i>	Cu	NA	NA	T2
<i>Emphanes minimus</i>	NA	NA	NA	T1
<i>Gynandromorphus etruscus</i>	Hs	NA	m	T3
<i>Harpalus affinis</i>	CuMb	Omni	m	T3
<i>Harpalus anxius</i>	NA	NA	NA	T2
<i>Harpalus cupreus</i>	Mo	Phy	NA	T3
<i>Harpalus dimidiatus</i>	Hs	Omni	m	T3
<i>Harpalus distinguendus</i>	Cu	Omni	m	T3
<i>Harpalus gr. anxius</i>	NA	NA	NA	T2
<i>Harpalus luteicornis</i>	NA	NA	NA	T2
<i>Harpalus oblitus</i>	Mo	Phy	NA	T3
<i>Harpalus pumilus</i>	NA	NA	NA	T2

Genre espèce	Hab	Alim	Dpl	Taille
<i>Harpalus pygmaeus</i>	NA	Omni	NA	T2
<i>Harpalus serripes</i>	Hs	Phy	m	T3
<i>Harpalus smaragdinus</i>	Hs	Omni	m	T2
<i>Harpalus sp.</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Harpalus tardus</i>	Hs	Omni	m	T2
<i>Loricera pilicornis</i>	Mr	Car	m	T2
<i>Metallina properans</i>	Hh	Car	NA	T1
<i>Microlestes sp.</i>	Hh	Car	d	T1
<i>Nebria brevicollis</i>	Mb	Car	m	T3
<i>Nebria salina</i>	Cu	Car	m	T3
<i>Nebria sp.</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Notiophilus biguttatus</i>	CuMb	NA	d	T1
<i>Notiophilus quadripunctatus</i>	Hh	Car	d	T1
<i>Notiophilus substriatus</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Olisthopus rotundatus</i>	NA	NA	NA	T2
<i>Ophonus ardosiacus</i>	Hs	Phy	NA	T3
<i>Paratachys bistriatus</i>	Hh	NA	NA	T1
<i>Parophonus maculicornis</i>	Cu	Phy	NA	T2
<i>Parophonus mendax</i>	CuMb	NA	NA	T2
<i>Pedius longicollis</i>	Cu	NA	NA	T1

Genre espèce	Hab	Alim	Dpl	Taille
<i>Philochthus biguttatus</i>	Hh	Phy	d	T1
<i>Philochthus iricolor</i>	Mo	Car	d	T1
<i>Philochthus lunulatus</i>	NA	Car	NA	T1
<i>Philochthus sp.</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Phyla obtusa</i>	Cu	Car	NA	T1
<i>Poecilus cupreus</i>	Cu	Car	m	T3
<i>Poecilus purpurascens</i>	CuHh	Car	m	T3
<i>Pseudoophonus griseus</i>	Mo	Omni	NA	T3
<i>Pseudoophonus rufipes</i>	Cu	Omni	NA	T3
<i>Pterostichus macer</i>	G	Car	m	T3
<i>Pterostichus madidus</i>	CuMb	Omni	b	T4
<i>Pterostichus melanarius</i>	NA	Omni	d	T4
<i>Scybalicus oblongiusculus</i>	Hs	Omni	m	T3
<i>Stenolophus mixtus</i>	Hh	NA	NA	T2
<i>Stenolophus teutonius</i>	CuMb	Omni	NA	T2
<i>Stomis pumicatus</i>	Cu	Car	b	T2
<i>Syntomus foveatus</i>	NA	NA	NA	T1
<i>Syntomus obscuroguttatus</i>	Cu	Car	NA	T1
<i>Trechus gr.quadristriatus</i>	CuMb	Car	m	T1

Légende

Alim : Régime alimentaire, Omni : Omnivore, Car : Carnivore, Phy : phytophage ;

Dpl : type d'ailes lié à la locomotion, m : macroptère, b : brachyptère, d : dimorphe

Hab : Habitat préférentiel, Mo : milieu ouvert, Cu : culture, Mb : milieu boisé, CuMb : culture et milieu boisé, g : généraliste, Hh : habitat humide, Hs : habitat sec, Mr : milieu rivulaire ;

Taille : T1 : taille de 0 à 5 mm, T2 : taille de 5 à 10 mm, T3 : taille de 10 à 15mm, T4 : taille de 15 à 20 mm ;

NA : Absence de donnée

Ce tableau a été obtenu à partir de l'étude bibliographique réalisée par Marion Decorse en stage à l'INRA en 2016 et des données du Rapport de stage sur l'Analyse de la structure de la communauté de Carabidae en système céréalier intensif d'Hélène Deraison, en Master 2 Sciences Technologies Santé, Parcours Ecologie Fonctionnelle, Comportementale et Evolutive.

