



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

2015 - 2016

## MASTER FAGE

Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement

Spécialité  
AGRO-ÉCOLOGIE

# Effet des cultures mixtes et pratiques associées sur les carabes.



Antonin Mercier

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 07/09/2016

### Tuteurs

Françoise LASSERRE-JOULIN (Maître de Conférences),

Helmut MEISS (Maître de conférences)

## Remerciement

Je souhaite remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à cette étude.

Tout d'abord, mes remerciements vont à Françoise LASSERRE-JOULIN et Helmut MEISS pour leur encadrement et leurs conseils tout au long du stage. Un grand merci également pour leur bonne humeur quotidienne durant ces six mois.

Je souhaite également remercier Frédéric Bourgaud (directeur du laboratoire) pour son accueil au sein du LAE.

Mes vifs remerciements sont adressés à David Marcolet, technicien à l'INRA et Jean-Marie Trommschlager assistant ingénieur à l'INRA pour leurs conseils et le temps qu'ils m'ont accordé.

Merci à Jean-Louis Fiorelli, ingénieur de Recherche à l'INRA pour son accueil sur la ferme de Mirecourt et la gestion du projet ENSEMBLE. Je remercie également les personnes présentes sur la ferme de Mirecourt pour leurs échanges constructifs lors de la présentation de mes résultats.

Enfin, Je souhaite remercier tous ceux qui ont fait des gâteaux au LAE pour rendre la pause plus conviviale. J'adresse mon amitié à tous mes amis et collègues de bureau pour la bonne ambiance durant ce stage.

## Table des matières

Remerciement.....	1
1 Introduction.....	6
1.1 Contexte général .....	6
1.2 La ferme expérimentale de Mirecourt et le projet ENSEMBLE.....	7
1.3 Les cultures mixtes et la régulation biologique : synthèse bibliographique.....	8
1.3.1 Les services écosystémiques .....	8
1.3.2 Les services écosystémiques rendus par les cultures mixtes.....	9
1.3.3 Le service de régulation des ravageurs en cultures mixtes.....	10
1.3.4 Les carabes : des auxiliaires importants.....	10
1.3.5 Les carabes et les pratiques culturales.....	11
1.3.6 Les pratiques agricoles influencent les traits fonctionnels des carabes .....	11
1.4 Questionnement scientifique et objectifs.....	12
2 Matériels et méthodes .....	12
2.1 Site d'étude : la ferme expérimentale de Mirecourt .....	12
2.2 Récolte des données .....	13
2.3 Préparation des données .....	14
2.3.1 Données carabes .....	14
2.3.2 Données cultures.....	14
2.3.3 Données adventices .....	15
2.4 Analyses statistiques .....	15
3 Résultats.....	17
3.1 Analyses descriptives.....	17
3.2 Variations spatio-temporelles des carabes.....	17
3.2.1 Dynamique temporelle.....	17
3.2.2 Variations spatiales .....	18
3.2.3 Modèles statistiques .....	18
3.3 Variance expliquée par les modèles.....	19
3.3.1 Modèles avec ajout simple du facteur culture.....	19
3.3.2 Modèles avec facteurs culture N, culture N-1, travail du sol, adventice. ....	20
3.4 Prédications des modèles.....	21
3.4.1 Modèles avec le facteur « culture en place ».....	21
3.4.2 Modèles avec facteurs culture N, culture N-1, travail du sol, adventice. ....	22
4 Discussion .....	25

4.1	Influence de la saison dans l'activité et la diversité des carabes .....	25
4.2	Influence de la taille et du régime alimentaire dans l'activité des carabes.....	26
4.3	Influence des adventices sur l'activité et la diversité des carabes.....	27
4.4	Influence des cultures précédentes sur les activités des carabes.....	27
4.5	Influence des cultures mixtes en céréales/légumineuses sur l'activité des communautés de carabes. ....	27
Conclusion .....		29
Bibliographie.....		31
Résumé.....		35
Abstract .....		35

## Liste des Figures :

### Figure 1 :

Concept théorique de la notion de services écosystémiques limitants. (a) La production est fonction du service relativement le plus bas (ici le contrôle des ravageurs). (b) La régulation est augmentée, la production augmente et est maintenant limitée par les nutriments du sol. (c) L'abandon d'intrants chimique limite le contrôle des ravageurs et baisse la production. (d) L'intensification écologique du service de régulation assurée par les auxiliaires de cultures permet un retour à un niveau de production élevé. **9**

### Figure 2 :

Effets de la richesse des espèces végétales sur les organismes dans les prairies tempérées. (D'après Scherber et al., 2010) : L'abondance (a) et la richesse en espèces (b). Toutes les variables-réponse mises à l'échelle [0, 1]. Chaque courbe est ajustée à l'aide d'une fonction de puissance avec covariables (Méthodes). Les couleurs indiquent des groupes d'organismes. **10**

### Figure 3 :

Schéma des rotations de cultures sur l'exploitation de Mirecourt. **13**

### Figure 4 :

Proportion de l'AD par espèce de carabes sur 10 ans pour les deux saisons. Les valeurs sont exprimées en pourcentage de l'AD totale. **17**

### Figure 5 :

L'AD totale par année et par saison en fonction de la taille des espèces de carabes : gris : petits (< 9 mm), orange : moyenne (de 9.1 à 13 mm), bleu : grandes (> 13 mm). **18**

### Figure 6 :

L'activité-densité moyenne de carabes par relevé par piège par parcelle sur 10 ans. Les barres bleues représentent les cultures annuelles, l'orange les prairies. **18**

### Figure 7 :

Coefficients d'adéquation ( $R^2$ ) des modèles en fonction des variables explicatives ajoutées au fur et à mesure au modèle pour l'activité-densité totale au printemps. **19**

## Liste des Tableaux :

**Tableau 1 :** Différentes classes de cultures pour le printemps en haut et pour l'automne en bas. 1, 2, 3, 4 représentent le nombre d'espèces. C = culture, PT= prairie temporaire et PP= prairie permanente, le sol nu représente les cultures n'ayant pas encore levé. **16**

### Tableau 2 :

Pourcentage de variance expliqué par les différents facteurs des modèles incluant la culture de l'année N pour les deux saisons. Les résidus représentent la part de variance non expliquée par le modèle. Pour le facteur culture et pour les résidus un gradient de couleur du vert au rouge et appliqué par saison pour faciliter la lecture. **20**

**Tableau 3 :**

Pourcentage de variance expliqué par les différents facteurs des modèles pour le printemps. Le gradient de couleur du vert (valeur la plus élevée) au rouge (valeur la plus basse) et défini pour chaque variable à expliquer (colonnes), et pour les résidus des modèles (échelle inversée). **21**

**Tableau 4a :**

Prédictions par type de culture du modèle avec le facteur culture N pour le printemps. Pour chaque variable à expliquer il y a, la somme de l'AD des relevées sur 10 ans (nombre d'individus), le ratio F (F), le meilleur modèle = classe de culture ayant le plus faible RSS (Residuals Sum of Squares), le coefficient d'adéquation du modèle (R<sup>2</sup>), la significativité (\*P< 0.05, \*\*P< 0.01, \*\*\*P<0.001). Les valeurs des prédictions sont exprimées en individus, ce sont les moyennes de l'AD par type de culture, ± l'erreur standard. Le gradient de couleur du vert (valeur la plus élevée) au rouge (valeur la plus basse) est défini par variable à expliquer (par ligne). Les prédictions intègrent uniquement le facteur «culture en place», elles sont présentées par type de culture. Les types de cultures diffèrent entre l'automne et l'hiver, car les espèces cultivées sont différentes. **23**

**Tableau 4b :**

Prédictions par type de culture du modèle avec le facteur culture N pour l'automne. Pour chaque variable à expliquer il y a, la somme de l'AD des relevées sur 10 ans (nombre d'individus), le ratio F (F), le meilleur modèle = classe de culture ayant le plus faible RSS (Residuals Sum of Squares), le coefficient d'adéquation du modèle (R<sup>2</sup>), la significativité (\*\*\*=P-value <0.001). Les valeurs des prédictions sont exprimées en individus, ce sont les moyennes de l'AD par type de culture, ± l'erreur standard. Le gradient de couleur du vert (valeur la plus élevée) au rouge (valeur la plus basse) est défini par variable à expliquer. **23**

**Tableau 5 :**

Prédictions par type de culture du modèle additif avec les facteurs culture N, culture N-1, travail du sol et adventices pour le printemps. Pour chaque variable à expliquer il y a, la somme de l'AD des relevées sur 10 ans (nombre d'individus), le ratio F (F), le meilleur modèle = classe de culture ayant le plus faible RSS (Residuals Sum Square), le coefficient d'adéquation du modèle (R<sup>2</sup>), la significativité (\*P< 0.05, \*\*P< 0.01, \*\*\*P<0.001). Les valeurs des prédictions sont exprimées en individus, ce sont les moyennes de l'AD par type de culture, ± l'erreur standard. Le gradient de couleur du vert (valeur la plus élevée) au rouge (valeur la plus basse) est défini par variable à expliquer. **24**

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte général

L'intensification de l'agriculture à partir des années 1940 a été permise grâce aux progrès de l'agrochimie, des méthodes culturales et de la génétique. Cette transformation s'est traduite par l'utilisation massive de produits phytosanitaires, de variétés à haut rendement ou encore de l'augmentation de la taille des parcelles et des exploitations, qui ont permis des économies d'échelles. Elle a permis de répondre à la demande mondiale jusqu'à aujourd'hui. Dans les pays développés, les rendements sont proches de leur maximum. Mais les pesticides utilisés ont des effets pervers. Ils peuvent provoquer l'apparition de gènes résistants dans les populations de ravageurs de cultures. En l'absence d'auxiliaires de cultures<sup>1</sup>, les ravageurs pullulent et causent des effondrements de la production agricole.

De plus, l'impact de ces pratiques sur l'environnement et la croissance de la population humaine posent de nombreuses questions (Chappell & LaValle, 2011). La population mondiale devrait atteindre 9,2 milliards en 2050 (Conforti, 2011), les ressources fossiles (pétroles, phosphate ...) sont de plus en plus rares et coûteuses. L'érosion de la biodiversité est un phénomène en accélération, la pollution de l'eau par les produits phytosanitaires, les problèmes de santé publique, l'explosion et la dispersion mondiale de certains ravageurs (Parker *et al.*, 2013), etc. ... font que le système agricole doit être totalement revisité.

L'agriculture doit répondre à d'autres exigences en plus de celles de la productivité. La durabilité des systèmes agricoles doit se développer, l'agriculture doit produire plus dans les pays pauvres et mieux dans les pays développés. Des systèmes autonomes et plus performants doivent être mis en place (Chappell & LaValle, 2011). On parle de « révolution doublement verte » ou d'agriculture écologiquement intensive. Cette agriculture vise à utiliser intensivement les mécanismes naturels et donc à optimiser le fonctionnement naturel des écosystèmes. Le but est de produire plus et mieux avec moins d'intrants. Cela veut dire maximiser la photosynthèse, optimiser le fonctionnement du sol, ou encore privilégier l'action d'auxiliaires des cultures pour favoriser la régulation biologique. Un des leviers essentiels est la complexification des agrosystèmes et la diversification des cultures (Bommarco *et al.*, 2013) qui permet également une meilleure résilience face aux aléas climatiques et économiques. Cela se traduit sur le terrain par la rotation de culture intégrant des prairies temporaires et des cultures mixtes (Bedoussac *et al.*, 2015). Afin de développer et mieux comprendre le fonctionnement de ces systèmes de cultures, des fermes expérimentales et pilotes se sont développées. Elles viennent en soutien aux agriculteurs, dont beaucoup expérimentent déjà eux-mêmes chaque année de nouveaux itinéraires techniques.

L'objectif du travail présenté dans ce rapport est d'analyser les effets des mélanges culturaux et pratiques associées sur les carabes auxiliaires dans le cadre de la ferme expérimentale de l'INRA (Institut National de Recherche Agronomique) de Mirecourt. Cette ferme vise à accroître son autonomie et s'est convertie à l'agriculture biologique en 2004 (Coquil *et al.*, 2014).

---

<sup>1</sup> Insectes antagonistes aux organismes nuisibles des cultures tels que des prédateurs ou des parasitoïdes.

La présentation de ce travail débutera par le contexte du projet, avec une brève description des différentes unités de recherches impliquées sur le projet. Suivra la présentation du projet, comprenant un état de l'art, les objectifs et hypothèses de travail, les matériels et méthodes utilisés. Les résultats seront ensuite exposés et discutés. Au final, une conclusion résumera les acquis et ouvrira sur des perspectives.

## 1.2 La ferme expérimentale de Mirecourt et le projet ENSEMBLE

La ferme expérimentale de l'INRA de Mirecourt est située dans le département des Vosges. Cette exploitation de 240 ha (100 vaches laitières) fait partie de l'unité de recherche ASTER-Mirecourt du département « Sciences pour l'action et le développement » (SAD) de l'INRA. Les travaux de cette station sont orientés sur un principe de base qui est de « faire au mieux avec les ressources du milieu ». Elle est certifiée agriculture biologique depuis 2004. L'exploitation comporte des prairies permanentes et des rotations incluant des cultures annuelles pures et mixtes et des prairies temporaires plus ou moins diversifiées. Elle comporte un système herbagé (SH) où les vaches sont nourries exclusivement d'herbe, et un système de polyculture-élevage (SPCE), où les vaches sont nourries d'herbe et de céréales. La ferme cherche continuellement à agrandir son autonomie, en bannissant les intrants chimiques, en diminuant le plus possible l'achat de fioul, les aliments pour le bétail, les intrants organiques, etc. (Coquil *et al.*, 2014).

L'équipe de la ferme expérimentale de Mirecourt noue de nombreux partenariats en Lorraine, en France ainsi qu'à l'international. Ces partenariats permettent de mettre en place de nombreux projets. Parmi eux, le projet ENSEMBLE (Evaluation pour l'action de SystEMes agricoles en agriculture BioLogique), financé par l'appel à projets AgriBio4 de l'INRA regroupant 10 laboratoires de recherche dont l'équipe « Agriculture Durable » du « Laboratoire Agronomie et Environnement » (LAE) de Nancy-Colmar, ainsi que 6 structures professionnelles. La présente étude est partie intégrante de ce projet.

Ce projet a pour objectif de mettre à jour et d'améliorer les critères d'évaluation des performances des systèmes polyculture-élevage de l'exploitation de Mirecourt. Pour cela, des connaissances scientifiques sont produites à partir de l'analyse des données récoltées sur la ferme depuis 10 ans. Ce dispositif permettra aussi de mettre les connaissances scientifiques au profit des utilisateurs potentiels (notamment les agriculteurs et conseillers). Cinq thèmes concernant les performances du système sont retenus, à savoir ; a) santé et performance animale, b) performances des systèmes de cultures, c) organisation du travail, d) performances technico-économiques, et enfin e) services écosystémiques délivrés par la biodiversité. Sur ce dernier thème, des analyses vont être réalisées sur le lien entre les pratiques mises en œuvre et divers services écosystémiques. La compréhension de ce lien pourrait permettre d'adapter les pratiques agricoles afin d'optimiser les services écosystémiques et ainsi améliorer aussi les performances en matière d'autonomie. La régulation des ravageurs dans la conduite agricole constituera le socle de notre étude.

### 1.3 Les cultures mixtes et la régulation biologique : synthèse bibliographique

Le rôle des communautés végétales est essentiel afin de recréer de la diversité dans la chaîne trophique. Dans les agrosystèmes, les communautés végétales sont représentées par les espèces cultivées ainsi que les adventices. Il existe deux moyens de diversifier les cultures : a) la diversification temporelle grâce aux rotations/successions de cultures (les différentes cultures se succèdent une à une), b) la diversification simultanée telle que les cultures mixtes/associées<sup>2</sup>. Les rotations de culture et, dans une moindre mesure, les cultures mixtes, sont souvent étudiées au regard des rendements, mais la compréhension de leurs influences sur le fonctionnement des autres composantes des écosystèmes telles que les réseaux trophiques et des auxiliaires de culture l'est moins.

Ces dernières années, l'essor de l'agriculture biologique fait que les cultures mixtes se développent de plus en plus, probablement pour leurs vertus favorisant la production sans pesticides et fertilisants de synthèse. Il n'existe pas de mélange de cultures types, chaque association étant déterminée en fonction des conditions environnementales locales et des objectifs de production. On peut associer différentes variétés d'une même espèce ou différentes espèces, souvent appartenant à des familles différentes (poacées, brassicacées ou astéracées avec des fabacées). C'est sur les associations d'espèces de céréales avec des légumineuses que nous allons travailler. Cette association permet d'apporter de l'azote via la fixation symbiotique et de mieux concurrencer les adventices comparées à des légumineuses pures (Bedoussac *et al.*, 2015). Les stratégies d'implantation des cultures mixtes sont nombreuses. Ainsi, au niveau spatial, les plantes peuvent occuper les mêmes rangs, ou être semées en rangs ou bandes alternatives. Au niveau temporel, les différentes cultures peuvent être semées et récoltées en même temps ou à des périodes ou saisons différentes, car il peut y avoir des associations avec des espèces ayant des dynamiques de développement différentes (Lithourgidis *et al.*, 2011).

Cette diversité de peuplement crée une multitude d'habitats qui peut attirer différents insectes et ainsi avoir une influence sur les services écosystémiques.

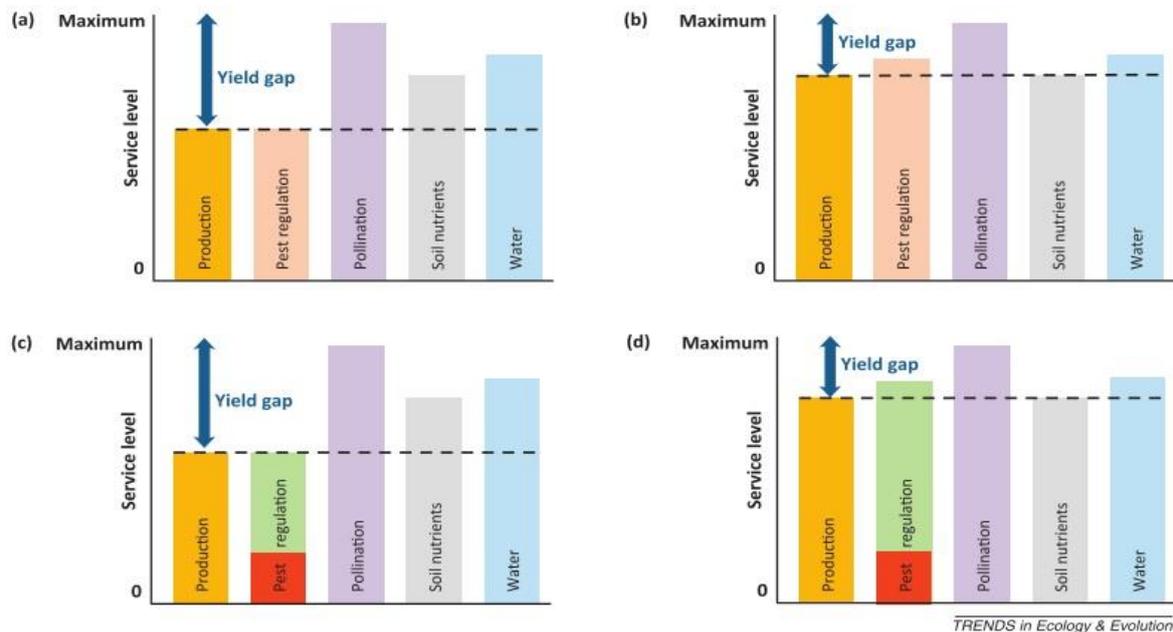
#### 1.3.1 Les services écosystémiques

Les services écosystémiques sont définis comme les bénéfices que l'homme peut tirer de l'écosystème (Duraiappah *et al.*, 2005). Ils sont notamment produits par des processus écologiques comme, le butinage, l'absorption de nutriments par les racines ou la prédation. Les services rendus sont par exemple la pollinisation, l'épuration de l'eau ou encore le contrôle biologique des ravageurs. La production agricole dépend de plusieurs services écosystémiques. La bonne gestion des services écosystémiques délivrée par la biodiversité dans les systèmes agricoles devrait permettre de réduire les intrants et de stabiliser ou d'augmenter la productivité. Plusieurs théories existent sur les effets combinés des différents services écosystémiques sur la production agricole. Certaines proposent des relations additives, d'autres des relations en interaction. Bommarco (2013) propose la théorie de services limitants où le service dont le

---

<sup>2</sup> Plusieurs cultures sont présentes en même temps sur une partie ou la totalité de la période de végétation.

niveau est le plus bas peut limiter la production, même si les autres services sont optimisés (Figure 1).



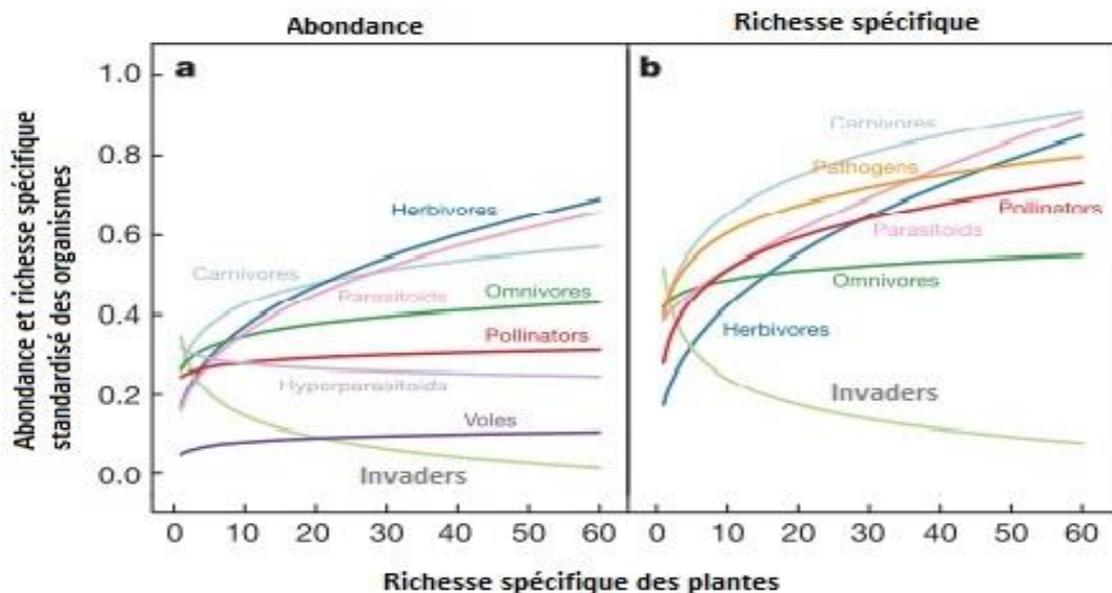
**Figure 1** : Concept théorique de la notion de services écosystémiques limitants. (a) La production est fonction du service relativement le plus bas (ici le contrôle des ravageurs). (b) La régulation est augmentée, la production augmente et est maintenant limitée par les nutriments du sol. (c) L'abandon d'intrants chimique limite le contrôle des ravageurs et baisse la production. (d) L'intensification écologique du service de régulation assuré par les auxiliaires de cultures permet un retour à un niveau de production élevé (d'après Bommarco et al., 2013).

### 1.3.2 Les services écosystémiques rendus par les cultures mixtes.

Les cultures mixtes pourraient permettre de faire face à plusieurs défis de l'agriculture : elles pourraient contribuer à augmenter la production végétale, à limiter l'érosion grâce à la couverture du sol, à diminuer la verse des céréales, mais également à retarder l'apparition et la propagation des maladies (Lithourgidis *et al.*, 2011 ; Iverson *et al.*, 2014). De plus, il est montré qu'elles améliorent le taux protéique et la matière sèche des cultures (Maïs, Soja) par rapport à la monoculture (Lithourgidis *et al.*, 2011). Elles ont un effet sur les populations d'adventices, de ravageurs et/ou leur contrôle (Letourneau *et al.*, 2011). Cependant, Lithourgidis (2011) montre que (i) sur 150 études concernant cette dernière question, à savoir cultures mixtes et ravageurs, 53% révèlent une diminution des espèces nuisibles en culture mixte par rapport à la monoculture, et que (ii) sur 209 études impliquant des nuisibles, 53 % révèlent une augmentation des ennemis naturels en cultures mixtes par rapport à la monoculture. Certains de ces insectes se sont avérés être des fournisseurs de services écosystémiques (antagonistes aux nuisibles), néanmoins certains se révèlent être des ravageurs. Une méta-analyse (Iverson *et al.*, 2014) montre que sur 301 comparaisons monoculture/culture mixtes, les cultures mixtes permettent de diminuer l'abondance des ravageurs et d'augmenter celle des auxiliaires. Ce type de culture permettrait donc de rendre plusieurs services écosystémiques.

### 1.3.3 Le service de régulation des ravageurs en cultures mixtes.

Les cultures mixtes peuvent favoriser la régulation des ravageurs par deux mécanismes : - la dilution des ressources pour les ravageurs spécifiques (mécanisme « *bottom-up* »), et l'augmentation des abondances et activités des antagonistes auxiliaires et parasitoïdes (mécanisme « *top-down* »). Une étude de Scherber *et al.*, (2010) montre des effets positifs de la diversité végétale prairiale sur différents groupes d'organismes de niveau trophique inférieur. Ils montrent que par cascade, la diversité végétale a également un effet de type « *bottom-up* » sur les niveaux trophiques supérieurs (Figure 2). Dans l'ensemble, il est montré l'importance de la richesse des espèces végétales (plutôt que la productivité) dans la mise en œuvre des interactions biotiques au sein de la chaîne trophique (Scherber *et al.*, 2010).



**Figure 2 :** Effets de la richesse des espèces végétales sur les organismes dans les prairies tempérées. (D'après Scherber *et al.*, 2010) : L'abondance (a) et la richesse en espèces (b). Toutes les variables-réponse sont mises à l'échelle [0, 1]. Chaque courbe est ajustée à l'aide d'une fonction de puissance par la méthode des covariables. Les couleurs indiquent des groupes d'organismes.

### 1.3.4 Les carabes : des auxiliaires importants.

Les auxiliaires peuvent être des mammifères, des oiseaux, des insectes, des bactéries, etc. La présente étude s'intéresse aux coléoptères et plus particulièrement aux carabes, car ce taxon ubiquiste est très présent dans les grandes cultures et peut jouer un rôle essentiel dans la protection des cultures. Ces coléoptères ont des rythmes d'activité saisonniers, les pics d'activités se situent souvent au printemps et/ou en automne, selon les espèces. Nocturnes ou diurnes, à dominance carnivore ou phytophage (granivore), ils peuvent présenter différentes tailles (de 2.5 à 40 mm). Par ailleurs, les carabes sont aussi un bio-indicateur du bon état des agrosystèmes (Kromp, 1999). Ils constituent un groupe important de prédateurs des ravageurs dans les agrosystèmes (Scheller, 1984 ; Lövei & Sunderland, 1996) avec près de 2700 espèces connues en Europe dont 1000 en France (Opie, 2015). Plus ces ennemis naturels sont diversifiés et abondants, plus leur contrôle sur les ravageurs est efficace (Straub *et al.*, 2008). Ils chassent à vue ou grâce aux signaux olfactifs. Leurs proies sont très diversifiées (limaces, œufs

d'insectes, collemboles, pucerons, graines d'adventices...). La taille et leur régime alimentaire vont influencer sur leur capacité de prédation (Lövei & Sunderland, 1996). La présence de ces carabes est étroitement liée à la qualité de l'agrosystème. Les perturbations agricoles vont alors influencer les communautés de carabes.

#### 1.3.5 Les carabes et les pratiques culturelles

La capacité de dispersion des carabes étant globalement importante, le paysage est un des facteurs du contrôle biologique. Les travaux sur ce sujet montrent que la simplification du paysage est négativement corrélée avec le contrôle biologique par les prédateurs en provoquant des effets de supplémentation (Rusch *et al.*, 2016). En terme de mécanisme en cause se trouve la disparition des habitats semi-naturels qui peuvent offrir aux carabes un refuge et une alimentation complémentaire (Rusch *et al.*, 2013). D'autre part, beaucoup de travaux montrent que l'efficacité de la lutte biologique dépend aussi de facteurs locaux, dont les pratiques culturelles (labour, amendements, date et densité de semis)(Cole *et al.*, 2002, 2005 ; Norton *et al.*, 2009). Il est démontré que les perturbations de l'agrosystème telles que le labour ou les traitements phytosanitaires ont une influence sur les carabes à des degrés différents selon leur taille. Sur les champs perturbés, les carabes de petite taille et de taille moyenne semblent s'adapter le mieux aux perturbations. Les carabes de plus grande taille se trouvent principalement sur les zones non perturbées (Ribera *et al.*, 2001 ; Cole *et al.*, 2005 ; Eyre *et al.*, 2013 ; Rusch *et al.*, 2013 ; Hanson *et al.*, 2016). Les relations plus fines d'une pratique spécifique sur la composition ou un trait particulier sont moins souvent étudiées.

#### 1.3.6 Les pratiques agricoles influencent les traits fonctionnels des carabes

##### 1.3.6.1 Au niveau du sol

Le travail du sol apparaît comme un facteur important pour la composition et les traits fonctionnels (Baguette & Hance, 1997 ; Holland & Reynolds, 2003 ; Kosewska *et al.*, 2014). Par exemple, il est montré que les gros carabes sont plus affectés par le travail du sol que les petits (Hanson *et al.*, 2016). De plus, le type, la profondeur et la fréquence du travail du sol va influencer l'activité-densité et la diversité des carabes (Thorbeck & Bilde, 2004) ou encore leur activité (Eyre *et al.*, 2012). Les labours profonds vont causer une hausse de la mortalité liée à l'écrasement des larves de carabes vivant dans le sol. De plus, ces labours causent également de nombreuses migrations de carabes qui partent à la recherche de nouveaux habitats. À noter que l'amendement avec des matières organiques peut augmenter l'abondance des carabes du fait que cela attire les collemboles qui représentent une source alimentaire pour les carabes (Eyre *et al.*, 2012 ; Hanson *et al.*, 2016).

##### 1.3.6.2 Au niveau des cultures

La durée et le type de rotation culturelle influent également sur la diversité et l'abondance des carabes (Melnychuk *et al.*, 2013; Rourke *et al.*, 2008; Rusch *et al.*, 2013), les rotations longues et intégrant des légumineuses favorisent les carabes (Eyre *et al.*, 2013).

Le type de culture et la saison de ces cultures vont avoir une influence sur les communautés de carabes, il est observé une distribution des espèces entre automne et hiver complètement différentes (Marrec *et al.*, 2015). Par exemple, les céréales de printemps (Eyre *et al.*, 2012;

2013; 2015) ou la luzerne favorisent l'activité-densité et la diversité des carabes. En effet, la luzerne permet aux carabes un habitat non perturbé durant l'hiver. Des variations sont observées également en fonction de l'espèce cultivée (Eyre *et al.*, 2013, 2015; Marrec *et al.*, 2015) et du couvert végétal (Rahman *et al.*, 2015). Il est observé que les carabes chassant à vue sont impactés par les semis très denses, car la végétation forme une barrière physique pour leur vision et leur déplacement (Brose, 2003).

Les adventices peuvent constituer un élément important du peuplement végétal des agrosystèmes, et ainsi, jouer un rôle un important pour les carabes. Elles peuvent modifier la qualité d'habitat et les ressources trophiques, pour les polyphages qui se nourrissent de graines, et pour les carnivores qui se nourrissent d'insectes présents sur les adventices. Il est observé que l'abondance et la diversité des carabes augmentent avec la présence d'adventices (Cole *et al.*, 2005; Eyre *et al.*, 2012, 2015).

#### 1.4 Questionnement scientifique et objectifs

Cette étude cherche à savoir si les cultures mixtes et les pratiques culturelles associées favorisent les carabes et ainsi permettent d'améliorer le service écosystémique de régulation biologique de type « top-down ». Les analyses se portent plus particulièrement sur l'effet des cultures mixtes et pratiques associées sur les communautés de carabes.

Les objectifs principaux de ce travail sont d'analyser (1) l'effet du type de culture et des pratiques associées (date de semis...) sur les communautés de carabes, (2) l'effet de la culture précédente (N-1), (3) le rôle des adventices.

Les hypothèses de départ pour cette étude sont : (1) Les communautés de carabes varient au cours des saisons (du printemps à l'automne) et réagissent différemment aux caractéristiques et perturbations de leur habitat (cultures et pratiques agricoles). (2) Les cultures associant des céréales et des légumineuses induisent des communautés d'adventices et de carabes dont les caractéristiques fonctionnelles diffèrent des cultures pures (3) La taille et le régime alimentaire des carabes modifient leur réponse au type de culture, (4) le travail du sol défavorise l'activité-densité des carabes (ADC) et en particulier des carabes de grandes tailles, (5) le type de culture précédente influe sur les communautés de carabes de la même manière que les cultures en place, mais de manière moins marquée et enfin (6), l'ADC est favorisée par l'abondance des adventices.

## 2 Matériels et méthodes

### 2.1 Site d'étude : la ferme expérimentale de Mirecourt

Le site d'étude est situé sur la ferme expérimentale de Mirecourt, dans le département des Vosges (48°29'50 N, 6°12'22 E) à 300 m d'altitude. Cette ferme de 240 ha pratique la polyculture-élevage, elle est certifiée « agriculture biologique » depuis 2004. La ligne directrice de cette ferme est d'utiliser au maximum la disponibilité des ressources du milieu (et le moins possible les intrants venant de l'extérieur) dans le cadre d'une agriculture durable et autonome. Au sein de cette ferme, deux systèmes sont pratiqués ; un système laitier herbager et un système polyculture élevage (SPCE). Les analyses se portent sur ce dernier système SPCE au sein duquel deux types de rotation existent. La figure 3 en présente le schéma théorique, mais il est

évident que des modifications des rotations peuvent avoir lieu suite aux aléas climatiques et culturels. Comme une bonne partie des fermes bio, celle-ci pratique l'association de cultures. Les choix des cultures et des rotations ont été établis en fonction des caractéristiques agronomiques ainsi que des caractéristiques hydriques et géographiques des parcelles (type de sol, hydromorphie, forme et éloignement, etc...). Les rotations de 6 ou 8 ans sont une alternance entre cultures annuelles (principalement céréales destinées à l'alimentation humaine et animale), et prairies temporaires fauchées et pâturées. La proportion importante de légumineuses dans les rotations permet la fixation symbiotique d'azote atmosphérique dans le sol, mais aussi de limiter la sélection d'adventices et de maladies adaptées aux céréales, même si la fréquence de ces dernières reste élevée.

Plusieurs types de mélanges sont cultivés en cultures principales. On peut distinguer notamment deux types : - des mélanges de deux espèces, souvent le Triticale et le Pois et des mélanges 4 espèces, l'Avoine, la Féverole, le Triticale et le Pois. Les cultures intermédiaires sont principalement des mélanges de graminées et de légumineuses dont le nombre d'espèces est variable.

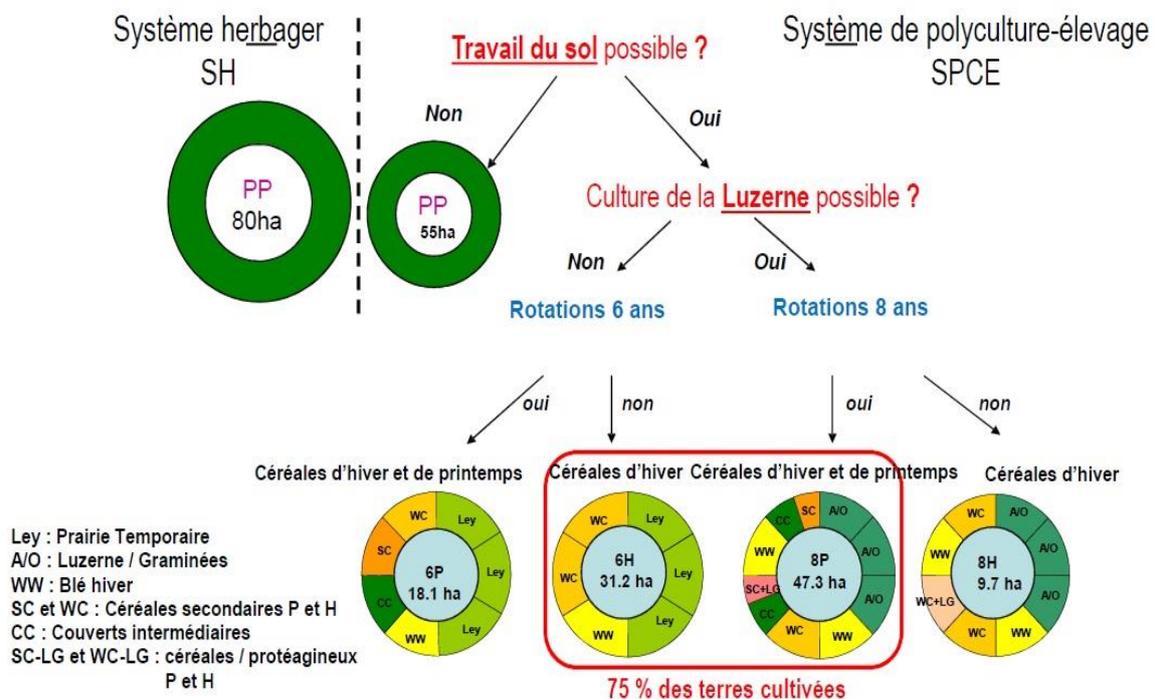


Figure 3 : Schéma des rotations de cultures sur l'exploitation de Mirecourt (Coquil *et al.*, 2014)

## 2.2 Récolte des données

Depuis 2006, des relevés et des identifications de carabes et d'adventices ont été réalisés par les techniciens de l'équipe ASTER, notamment David Marcolet et Claire Thiery. La base de données est gérée par Jean-Marie-Trommenschlager. Leur démarche se caractérise par les éléments suivants :

- chaque parcelle est caractérisée par un nom, un code, une surface et un type de rotation. Les données culturelles comprennent les dates d'assolements, type et dates de travail du sol, la ou les espèces semées, les dates et densités de semis et les dates de récoltes.

- les relevés de carabes ont été réalisés sur 70 pièges répartis sur 26 parcelles (3 pièges par parcelle en moyenne). Le piégeage de carabes s'est effectué avec des pots Barber (« pitfall traps »). Deux pots en plastique de diamètre 11.5 cm sont imbriqués l'un dans l'autre et enterrés dans le sol de manière à ce que le haut du pot ne dépasse pas le niveau du sol. Le pot supérieur est rempli à moitié par de l'eau salée (pour ralentir le développement de bactéries et de champignons) et de liquide vaisselle non parfumée (pour diminuer la tension superficielle de l'eau facilitant la coulée des insectes dans le fond du pot). Les pots sont protégés par des tuiles pour éviter qu'ils ne débordent avec la pluie. Chaque année, les pièges sont installés toujours au même endroit, ce sont donc les cultures qui changent dues à la rotation, sauf pour les prairies permanentes et les prairies temporaires, qui sont présentes sur une période de deux à cinq ans. Le relevé des pièges se fait toujours 7 jours après l'ouverture des pots. Chaque piège a été relevé dix fois (=dix dates) par an, six fois au printemps, de la semaine 18 à la semaine 26 (mai-juin) et quatre fois à l'automne, de la semaine 37 à la semaine 40 (septembre). Après la récupération des pots, les carabes ont été triés, mis dans l'alcool (70%) et déterminés à la loupe binoculaire. La détermination se fait jusqu'à l'espèce.

Le jeu de données analysé représente 6663 pièges relevés entre 2006 à 2015 (10 ans). Un total de 82 610 individus appartenant à 123 espèces ont été identifiés durant ces dix ans, toujours par la même personne, David Marcolet.

- des relevés d'adventices ont été réalisés à partir de 2008 sur une partie des parcelles. Sur ces parcelles 9 points de mesures sont réalisés. Sur chaque point de mesure est attribuée une note reflétant l'abondance de chaque espèce adventice. Cette note varie de 1 à 5 (1 étant l'abondance la plus faible et 5 la plus élevée). En complément, le nombre de points de mesures où l'espèce est présente a été également enregistré afin d'avoir une idée de la répartition spatiale de celle-ci. Au total, 91 903 points de mesures ont été relevés de 2008 à 2015 et 103 espèces adventices identifiées. Ces relevés vont être analysés afin de détecter des liens potentiels entre les cultures, les adventices et les carabes.

## 2.3 Préparation des données

Les relevés de printemps et d'automne ont été analysés séparément, car les cultures en place ainsi que les communautés de carabe sont différentes entre les saisons.

### 2.3.1 Données carabes

L'ADC et la richesse spécifique sont analysées par saison en fonction des cultures. Ces données quantitatives sont transformées en logarithme afin d'améliorer la distribution normale et l'homogénéité des variances des résidus des modèles linéaires. Des classes de taille, de régime alimentaire, et de fréquence sont réalisées à partir des observations de Rouabah *et al.*, (2014).

### 2.3.2 Données cultures

À partir des informations disponibles (très précises) sur la culture en place au moment du relevé, différents classements de cultures sont créés. Ces classements regroupent les cultures ayant des caractéristiques communes (tableau 1). Au total, 9 classements sont créés pour le printemps et cinq pour l'automne du fait d'une diversité culturelle plus faible à cette saison.

Une contrainte était que pour chaque classe/modalité, le nombre de relevés ne devait pas être trop déséquilibré. Étant donné qu'il n'était pas toujours possible de respecter cet équilibre

surtout pour le dernier classement le plus détaillé, il a été vérifié que pour les modalités ayant le moins de relevés, ces derniers soient répartis sur plusieurs années et plusieurs parcelles.

Au printemps, en ce qui concerne le type de culture, il a été décidé de séparer les prairies et les cultures, ainsi que les prairies permanentes et prairies temporaires du fait de leur divergence morphologique et biologique (hauteur, densité de semis, couvert végétal, espèces végétales ...). Les cultures sont séparées en monoculture et mélange, car elles n'ont pas la même diversité végétale. Les céréales principales sont ensuite différenciées des céréales secondaires, du fait de leurs conduites agronomiques légèrement différentes. Le critère du nombre d'espèces permet aussi de différencier les prairies temporaires. Pour les mélanges, le choix a été fait de séparer les mélanges de quatre espèces des mélanges de deux espèces en raison de leur différence en terme de diversité, mais aussi de structure du couvert. Les différenciations des cultures semées au printemps ou en automne sont dues au fait que ces cultures ne forment pas un couvert végétal à la même période. Ces classements de plus en plus détaillés seront ajoutés un à un au modèle. Le classement des cultures précédentes (N-1) est réalisé de la même façon que pour les cultures en place.

### 2.3.3 Données adventices

L'abondance moyenne des adventices est calculée en transformant les notes de recouvrement d'adventices (1 à 5) en nombres d'individus/m<sup>2</sup> grâce à la moyenne géométrique entre les bornes inférieures et supérieures des 5 notes. Seuls les relevés du printemps sont exploités dans les analyses. Le relevé d'adventices retenu est celui effectué le plus proche du piège relevé pour les carabes. Une abondance totale et une abondance par famille d'adventices présentes lors du relevé sont calculées. Les données d'abondance (x) sont transformées en logarithme(log(x+1)).

## 2.4 Analyses statistiques

Pour expliquer statistiquement la variation de l'ADC, de la richesse des communautés, des groupes fonctionnels et des espèces majoritaires de carabes, des modèles linéaires incluant plusieurs facteurs fixes, se sont avérés les plus pertinents. Le choix a été fait de ne pas utiliser d'effets aléatoires (modèles mixtes), mais d'ajuster des effets fixes pour des variables telles que la parcelle, le piège, l'année et la semaine. Les analyses préliminaires ont montré une dynamique spatio-temporelle de l'ADC. Cette variabilité « de base » est modélisée par les facteurs « année » et « parcelle » ainsi que par la variable continue « semaine ». Ils sont retenus dans les modèles s'ils permettent d'améliorer significativement l'ajustement des modèles aux données. La sélection des facteurs à inclure dans les modèles a été faite par la méthode ascendante en ajoutant des nouveaux facteurs au fur et à mesure.

Le modèle « de base » retenu est le suivant : Activité-densité des carabes ~ Parcelle + Année\*semaines + semaines

(modèle <- lm (LOG.AD.carab ~ Parcelle + as.factor (année) \* scale(semaines) + I(scale(semaines)<sup>2</sup>))).

Les variables année et semaines sont en interaction, car les saisons ne sont pas synchrones d'une année sur l'autre. Enfin, l'ajout de l'effet quadratique de la semaine au printemps (I(scale(semaines)<sup>2</sup>)) modélise l'effet non linéaire de l'augmentation de l'ADC au cours des semaines.

**Tableau 1** : Différentes classes de cultures pour le printemps en haut et pour l'automne en bas. 1, 2, 3, 4 représentent le nombre d'espèces. C = culture, PT= prairie temporaire et PP= prairie permanente, le sol nu représente les cultures n'ayant pas encore levé.

Différentes classes de culture pour les relevés Printemps									
Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8	Classe 9	Nombre relevés
Culture	Culture	Mélange	Céréale / Légumineuse	2 C	> 1 C	2 C	Mélange 2 sp	Mélange 2 sp	62
				4 C		4 C	Mélange 4 sp	Mélange 4 sp	64
		Monoculture	Céréales Hiver	1 C	1 C	1 C	Céréales principale Hiver	Céréales principale hiver	339
							céréales secondaire Hiver	céréales secondaire hiver	205
							Céréales principale Printemps	Céréales principale printemps	18
céréales secondaire printemps	céréales secondaire printemps	296							
Prairie	Prairie Permanente	Prairie Permanente	Prairie Permanente	> 4 PP	> 4 PP	> 4 PP	Prairie Permanente	Prairie Permanente	571
	Prairie Temporaire	Prairie temporaire	Prairie temporaire	Prairie temporaire	> 4 PT	> 4 PT	Prairie temporaire	Prairie T > 4 sp	626
					2 PT	2 PT		Prairie T 2 sp	161
					3 PT	3 PT		Prairie T 3 sp	58
					4 PT	4 PT		Prairie T 4 sp	52
sol nu	sol nu	sol nu	sol nu	sol nu	sol nu	sol nu	sol nu	30	

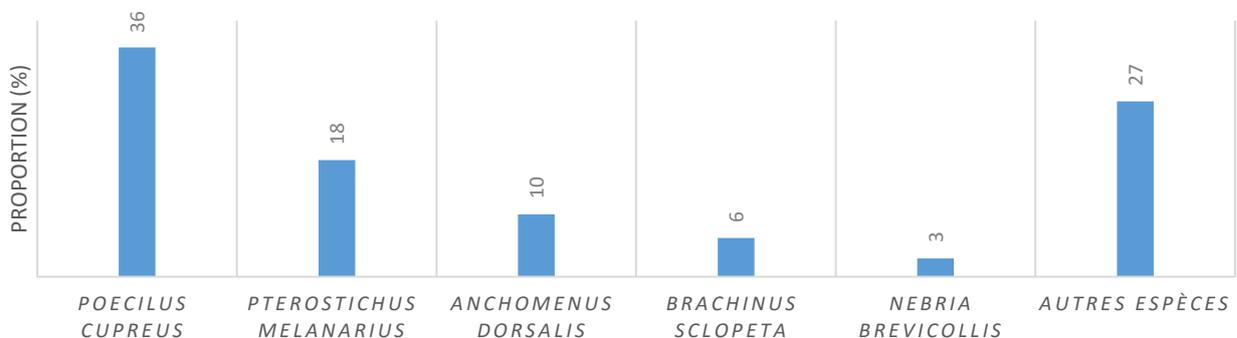
Différentes classes de culture pour les relevés Automne					
Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Nombre relevés
Culture	culture intermédiaire	<= 4 C	culture intermédiaire	<= 4 C	89
		> 4 C		> 4 C	64
Prairie	Prairie Permanente	> 4 PP	Prairie Permanente	> 4 PP	398
	Prairie temporaire	Prairie temporaire	Prairie T > 4 sp	> 4 PT	480
			Prairie T 2 sp	2 PT	68
			Prairie T 3 sp	3 PT	54
Prairie T 4 sp	4 PT	33			
sol nu	sol nu	sol nu	sol nu	sol nu	620

À partir de ce modèle de base, les variables plus proches de l'objet de notre étude vont être ajoutées. Afin de tester l'ADC avec le facteur culture, chaque classement (Tableau 1) de culture est alternativement ajouté au modèle. La sélection du meilleur modèle est permise grâce à l'Anova de type II. Le meilleur modèle est celui dont la variance résiduelle (non expliquée par le modèle) est la plus faible. Un facteur « travail du sol » va être ajouté au modèle, ce facteur se traduit par le delta entre la date du dernier semis et le relevé des carabes, en supposant qu'avant chaque semis il y a une préparation du lit de semences réalisé par un travail du sol. Ce facteur sera en interaction avec l'année, car les effets du travail du sol sur la structure du sol et les carabes peuvent fortement varier en fonction de la météo de l'année. Enfin, une variable décrivant l'abondance des adventices va être intégré au modèle seulement sur les relevés printemps, car le croisement des informations des relevés sur le terrain ne permettait pas d'avoir un jeu de données assez conséquent pour appliquer ce modèle sur les données à l'automne. Cette variable pourra être en interaction avec l'année car l'année fait référence à la culture en place ainsi qu'à la rotation qui est en lien avec la présence d'adventices.

### 3 Résultats

#### 3.1 Analyses descriptives

Au total, 123 espèces ont été identifiées sur les 10 ans de relevés. L'espèce la plus abondante, *Poecilus cupreus*, représente 36 %, et les 5 espèces les plus importantes représentent 73 % des individus relevés (Fig. 4). Les 118 autres espèces ne représentent donc que 27 % de l'activité-densité (AD) totale.

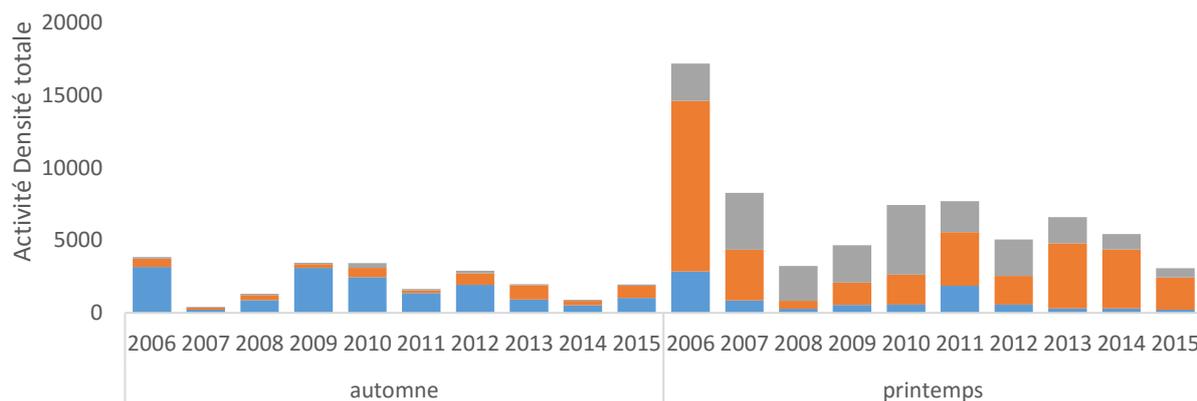


**Figure 4 :** Proportion de l'AD par espèce de carabes sur 10 ans pour les deux saisons. Les valeurs sont exprimées en pourcentage de l'AD totale.

#### 3.2 Variations spatio-temporelles des carabes

##### 3.2.1 Dynamique temporelle

La figure 5 montre que l'ADC est beaucoup plus élevée au printemps (62 714 individus relevés au total) qu'en automne (19 896 individus), et ce, quelle que soit l'année. Cette différence est plus forte qu'attendu par le nombre plus important de séances de relevés au printemps (6) qu'à l'automne (4). On peut noter également qu'en automne on piège majoritairement des carabes de grande taille alors qu'au printemps on trouve plus de moyens et petits carabes. Les fluctuations entre années sont les plus importantes sur les trois premières années, avec un pic en 2006.

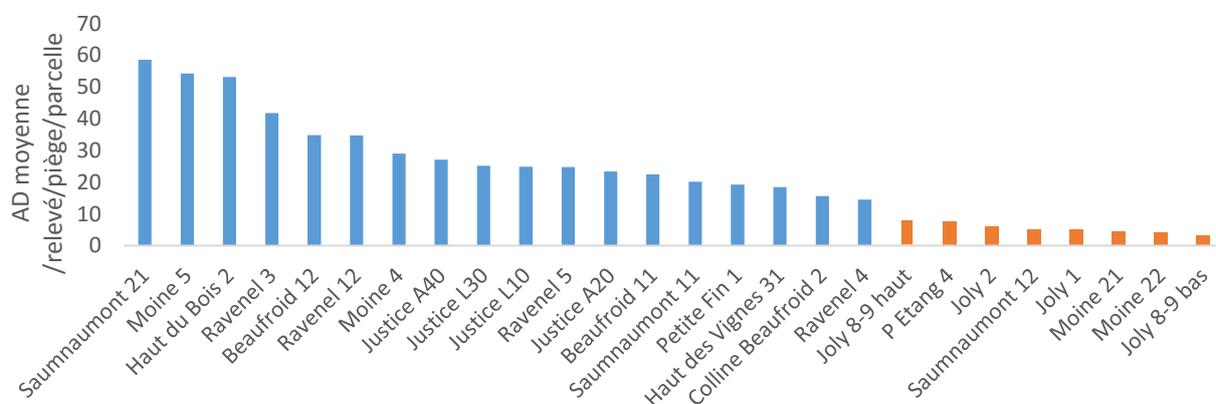


**Figure 5 :** L'AD totale par année et par saison en fonction de la taille des espèces de carabes : gris : petits (< 9 mm), l'orange : moyenne (de 9.1 à 13 mm), bleue : grandes (> 13 mm).

### 3.2.2 Variations spatiales

Sur la figure 6, on peut voir que l'AD varie fortement selon les parcelles et qu'elle est toujours plus basse sur les prairies que sur les parcelles cultivées. Au sein des parcelles cultivées, il y a également des parcelles plus favorables que d'autres. La parcelle la plus favorable est « Saumnaumont 21 » avec en moyenne 59 carabes en moyenne. La parcelle cultivée la moins favorable est « Ravenel 4 » avec en moyenne 15 carabes par piège relevé.

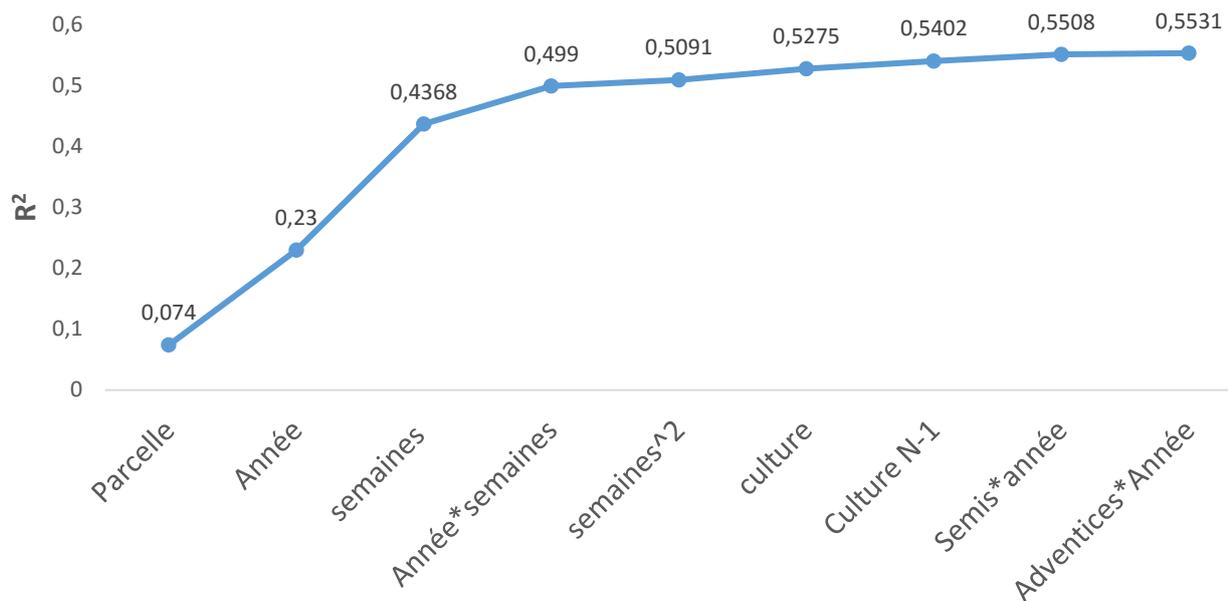
Cette forte variabilité spatio-temporelle (figures 5 et 6) va être en partie contrôlée grâce à l'introduction des facteurs fixes « année » et « parcelle » dans les modèles.



**Figure 6 :** L'AD moyenne de carabes par relevé par piège par parcelle sur 10 ans. Les barres bleues représentent les cultures annuelles, l'orange les prairies.

### 3.2.3 Modèles statistiques

La figure 7 représente l'évolution des coefficients d'adéquation ( $R^2$ ) en fonction des facteurs ajoutés au fur et à mesure au modèle. Le  $R^2$  augmente fortement après l'introduction des facteurs parcelle, année et semaine, ce sont les facteurs les plus explicatifs. Les facteurs suivants permettent d'améliorer significativement le modèle (résultats non détaillés), mais leurs effets sont plus faibles que les variables parcelle, année et semaine.



**Figure 7** : Coefficients d'adéquation ( $R^2$ ) des modèles en fonction des variables explicatives ajoutées au fur et à mesure au modèle pour l'AD totale au printemps.

### 3.3 Variance expliquée par les modèles

#### 3.3.1 Modèles avec ajout simple du facteur culture

Tous les facteurs ont des effets significatifs dans ce modèle. Le facteur ayant le plus d'intérêt dans le cadre de ce travail est la part de variance expliquée par le facteur culture par rapport aux parts des autres facteurs (tableau 2). Celle-ci varie selon la variable à expliquer, et ce pour les deux saisons. Cependant, elle est plus élevée au printemps qu'à l'automne.

#### **Printemps:**

Le facteur culture a le pourcentage le plus important pour les carabes carnivores ceux de taille moyenne et *P.cupreus*. Il explique plus de 13.8 % de la variance de l'activité-densité totale, de *P.cupreus* (tableau 2). En revanche, il n'explique que très peu de la variance pour les carabes phytophages, les grands carabes ainsi que les carabes de l'espèce *Brachinus sclopeta*, *Pterostichus melanarius* et *Brachinus expodens*. La variance globale des carabes phytophages est très peu expliquée par le modèle (84 % de la variance non expliquée). La variance pour les grands carabes semble plus dépendre de la parcelle et de semaine de la culture. La variance expliquée par le modèle la plus élevée est pour l'espèce *Pterostichus melanarius*.

#### **Automne :**

À l'automne, les facteurs qui expliquent le plus la variance sont la parcelle et l'année, alors que les variables semaine et culture sont moins importantes comparés au printemps (tableau 2). Ce modèle explique le plus de variances pour les grands carabes ainsi que *Pterostichus melanarius*. La variance des espèces rares est surtout expliquée par la parcelle. Par contre, pour les espèces les plus abondantes l'année et la semaine (en plus du facteur parcelle) expliquent une part importante de la variance.

**Tableau 2** Pourcentage de variance expliqué par les différents facteurs des modèles pour les deux saisons. Le gradient de couleur du vert (valeur la plus élevée) au rouge (valeur la plus basse) et défini pour chaque saison par variable explicatives (colonnes), et pour les résidus des modèles (échelle de couleur inversée).

Saison	variable a expliquer	Variables explicatives						
		Parcelle	Année	semaines	semaines^2	Année : semaines	Culture	Residus
Printemps	Activité densité (AD)	5,8	6,7	9,5	1,6	2,3	11,6	62,4
	Richesse Spécifique	9,0	5,3	10,4	1,2	1,9	6,6	65,6
	AD carnivore	6,0	5,7	10,2	1,9	2,5	12,5	61,1
	AD phytophage	5,2	4,7	1,9	0,1	1,5	3,1	83,6
	AD small	6,5	5,2	7,3	1,3	2,3	6,1	71,4
	AD medium	5,9	13,9	2,9	1,5	2,6	12,4	60,9
	AD Large	14,7	6,1	14,8	0,1	3,0	2,9	58,4
	AD <i>Poecilus cupreus</i>	6,6	12,3	2,9	1,2	2,8	13,8	60,3
	AD <i>Anchomenus Dorsalis</i>	5,2	5,8	6,8	1,9	2,4	8,0	70,0
	AD <i>Brachinus sclopeta</i>	6,3	3,8	2,6	0,5	2,1	2,5	82,1
	AD <i>Pterostichus melanarius</i>	2,2	13,2	14,3	0,1	10,6	3,0	56,7
	AD <i>Brachinus explodens</i>	6,1	4,5	2,1	0,3	1,4	2,3	83,3
	AD Espèces rares	8,1	4,2	4,8	0,4	1,8	4,4	76,2
Automne	Activité densité (AD)	18,6	13,5	1,2	-	2,1	3,9	60,8
	Richesse Spécifique	12,6	15,2	0,0	-	2,4	1,7	68,1
	AD carnivore	18,2	13,3	0,7	-	2,3	4,5	61,1
	AD phytophage	12,2	8,7	2,6	-	2,4	3,6	70,4
	AD small	4,5	3,9	0,2	-	1,0	2,9	87,5
	AD medium	12,2	12,5	1,1	-	1,4	1,6	71,2
	AD Large	17,7	13,0	4,4	-	1,4	5,0	58,4
	AD <i>Pterostichus melanarius</i>	14,6	17,6	2,7	-	1,5	4,7	58,8
	AD <i>Poecilus cupreus</i>	8,4	7,9	0,7	-	1,1	2,0	79,8
	AD <i>Pseudophonus rufipes</i>	8,1	6,8	5,7	-	2,5	2,9	74,1
	AD <i>Nebria brevicollis</i>	6,8	7,7	7,7	-	4,3	1,2	72,4
	AD <i>Trechus quadristriatus</i>	2,8	6,3	0,4	-	1,4	4,6	84,4
	AD Espèces rares	11,6	7,4	0,1	-	2,2	1,4	77,3

### 3.3.2 Modèles avec facteurs culture N, culture N-1, travail du sol, adventice.

Dans ces modèles des facteurs ont été ajoutés en plus de celui des cultures en place (tableau 3). Ces facteurs expliquent une partie de la variance. Pour chaque modèle on voit la part de la variance prise par chaque facteur.

#### Printemps :

Globalement, ces modèles plus complexes expliquent une plus grande part de la variance que les modèles précédents (tableaux 2 et 3). Les activités-densités des carabes de grande taille et de *Pterostichus melanarius* sont le mieux expliquées, ces modèles expliquent environ 55 % de la variance.

#### Facteur culture N et N-1 :

Le facteur culture précédente (tableau 3) explique plus de variances que la culture en place pour la plupart des modèles sauf pour l'activité-densité totale, les carabes carnivores et *Poecilus cupreus*. Pour les carabes phytophages il explique 3 fois plus de variances que la culture en place (tableau 3).

### Facteur travail du sol :

Le facteur «travail du sol» en interaction avec l'année (tableau 3) est le facteur le plus important pour la majorité des variables à expliquer. Il semble important pour les carabes carnivores, les petits carabes et les espèces les plus abondantes sauf *Poecilus cupreus* (1,2%). À noter qu'il est le facteur le moins important pour les espèces les plus rares (1,8%).

### Facteur Adventice :

Le facteur traduisant l'abondance des adventices en interaction avec l'année semble très important pour les carabes phytophages (7,4%) et semble important pour *Trechus quadristriatus* et les espèces les plus rares.

**Tableau 3 :** Pourcentage de variance expliqué par les différents facteurs des modèles pour le printemps. Le gradient de couleur du vert (valeur la plus élevée) au rouge (valeur la plus basse) et défini pour chaque variable à expliquer (ligne), et pour les résidus il est défini entre les différentes variable à expliquer (échelle de couleur inversée).

variable a expliquer	Variable explicatives									
	Parcelle	Année	Semaine	Semaine^2	Année : semaines	Culture N	Culture N-1	Année : Delta semis	Année : adventices	Résidus
Activité densité (AD)	6,43	13,60	13,96	1,22	4,64	1,95	1,71	2,09	0,88	53,52
Richesse Spécifique	6,1	6,5	19,9	0,5	3,4	0,7	2,2	1,8	1,7	57,2
AD carnivore	6,4	12,6	13,6	1,4	4,4	2,3	1,7	2,3	0,5	54,9
AD phytophage	8,3	4,3	4,9	0,0	3,7	1,7	6,8	2,2	7,4	60,6
AD small	8,8	5,8	18,3	0,9	4,4	0,8	2,2	3,5	0,6	54,8
AD medium	7,1	23,7	2,0	1,4	4,3	1,1	1,7	1,2	0,8	56,6
AD Large	12,7	11,0	20,0	0,2	6,0	0,6	2,2	1,5	0,7	45,2
AD <i>Poecilus cupreus</i>	6,5	21,4	1,1	1,8	4,8	1,8	1,1	1,2	0,7	59,7
AD <i>Anchomenus dorsalis</i>	6,9	5,1	17,7	2,0	3,3	1,0	2,7	4,0	0,5	56,8
AD <i>Pterostichus melanarius</i>	3,3	15,2	24,1	0,4	7,5	0,5	1,3	1,3	0,5	46,1
AD <i>Brachinus sclopeta</i>	12,5	5,2	4,1	0,2	4,5	1,2	2,0	3,0	0,7	66,5
AD <i>Trechus quadristriatus</i>	3,1	8,0	1,7	1,2	13,0	0,5	1,1	1,8	1,9	67,6
AD Espèces rares	9,0	5,0	10,9	0,0	4,1	1,2	2,5	1,8	2,4	63,1

## 3.4 Prédiction des modèles

### 3.4.1 Modèles avec le facteur « culture en place »

#### Printemps :

Au printemps les modèles prédisent des ADC supérieurs dans les cultures comparées aux prairies et au sol nu (tableau 4a). Les cultures les plus favorables à l'ADC totale au printemps sont les céréales principales de printemps avec une prédiction de 43,7 carabes en moyenne par relevé. Les prédictions de la richesse spécifique sont également plus élevées pour cette même culture avec en moyenne 3,3 espèces par relevé au printemps. À propos des mélanges, les prédictions diffèrent entre les mélanges. Les mélanges à deux espèces sont plus favorables que les mélanges à quatre espèces, et ce envers les carabes de toutes les espèces et de tous les groupes fonctionnels sauf pour *Pterostichus melanarius*. Les prédictions des carabes carnivores

sont plus élevées pour les mélanges alors que pour les phytophages, ce sont les céréales qui ont les meilleures prédictions. Les carabes de petite et moyenne taille sont favorisés par les mélanges, alors que ceux de grande taille plutôt par les céréales secondaires hiver. Les espèces les plus rares semblent favorisées par les céréales et les prairies permanentes avec 6,4 individus en moyenne pour ces dernières, et défavorisés par les mélanges. À noter que d'après les prédictions, les carabes phytophages sont favorisés par le sol nu.

### **Automne :**

À l'automne (tableau 4b), les cultures sont représentées par les cultures intermédiaires de moins ou égales à quatre espèces, et celles de plus de quatre espèces. De manière générale, d'après les prédictions, les cultures intermédiaires semblent plus favorables pour la majorité des variables explicatives que les prairies. Pour toutes les variables explicatives les cultures intermédiaires de plus de quatre espèces sont plus favorables que celle de moins ou égale à quatre espèces. Cependant, les prairies trois espèces sont favorables particulièrement pour les carabes phytophages, ceux de taille moyenne, *Poecilus cupreus*, *Pseudophonus rufipes* et les espèces les moins représentées. Ces prédictions permettent d'avoir un aperçu des cultures favorable aux différentes variables explicatives, mais la fiabilité de ces prédictions tient à la proportion de variances expliquées par le modèle. Le modèle est donc complété par d'autres facteurs intervenant dans l'activité des carabes.

#### 3.4.2 Modèles avec facteurs culture N, culture N-1, travail du sol, adventice.

Les résultats présentés dans le tableau 5 montrent les prédictions pour les cultures au moment du relevé (N) et pour la culture précédente (N-1). Le jeu de donnée pour ces modèles est réduit. En effet, en intégrant au modèle les facteurs travail du sol et abondance d'adventices, les prairies sont retirées pour les cultures N, mais elles figurent toujours en culture N-1. Ici, le modèle est additif, il n'y a pas d'interactions entre les cultures N et N-1.

### **Printemps :**

Les cultures N-1 favorisent plus l'activité des carabes que les cultures N pour tous les modèles (tableau 5). Les cultures N-1 qui favorisent le plus l'activité totale des carabes et la richesse spécifique sont les céréales et notamment les céréales secondaires (en moyenne 14,1 et 3,5 respectivement). Les prairies en culture précédente sont défavorables pour toutes les variables à expliquer mais cela est moins probant pour les espèces rares. Les cultures N-1 en mélange sont moins favorables que les céréales dans ces modèles. Les AD des carabes phytophages, de petites tailles et *Anchomenus dorsalis* sont favorisées par les céréales principales en culture précédente. En ce qui concerne les cultures N, les mélanges de deux espèces sont favorables à l'activité des carabes de taille moyenne (9,5 en moyenne), de *Poecilus cupreus*, *Trechus quadristriatus* et les espèces les plus rares dans les relevés. Les espèces rares sont également favorisées par les mélanges 4 espèces à la date N.

**Tableau 4a** : Prédications par type de culture du modèle avec le facteur culture N pour le printemps. Pour chaque variable à expliquer il y a, la somme de l'AD des relevés sur 10 ans (nombre d'individus), le ratio F (F), le meilleur modèle = classe de culture ayant le plus faible RSS (Residuals Sum of Squares), le coefficient d'adéquation du modèle (R2), la significativité (\*P< 0.05, \*\*P< 0.01, \*\*\*P< 0.001). Les valeurs des prédictions sont exprimées en individus, ce sont les moyennes de l'AD par type de culture, ± l'erreur standard. Le gradient de couleur du vert (valeur la plus élevée) au rouge (valeur la plus basse) est défini par variable à expliquer (par ligne). Les prédictions intègrent uniquement le facteur «culture en place», elles sont présentées par type de culture. Les types de cultures diffèrent entre l'automne et l'hiver, car les espèces cultivées sont différentes.

variable a expliquer	Nombre individus	Meilleur modèle	R2	F	P	Mélange 4 sp	Mélange 2 sp	Céréales principale Hiver	Céréales principale Printemps	Céréales secondaire Hiver	Céréales secondaire printemps	Prairie T > 4 sp	Prairie T 4 sp	Prairie T 3 sp	Prairie T 2 sp	Prairie Permanente	sol nu
Activité densité (AD)	62 714	9	0,5	40,0	***	32,9 ± 0,1	39,7 ± 0,1	24,1 ± 0,1	43,7 ± 0,3	25,3 ± 0,1	25,9 ± 0,1	8,5 ± 0,1	8,1 ± 0,2	15,2 ± 0,2	13,5 ± 0,1	8,8 ± 0,3	12,5 ± 0,2
Richesse Spécifique	-	8	0,428	34,2	***	2,9 ± 0,1	2,9 ± 0,1	2,9 ± 0,1	3,3 ± 0,1	2,9 ± 0,0	3,0 ± 0,0	1,6 ± 0,0	1,3 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,0 ± 0,1	1,9 ± 0,1	2,0 ± 0,1
AD carnivore	56 796	9	0,5	40,0	***	26,5 ± 0,1	31,4 ± 0,1	18,5 ± 0,1	36,2 ± 0,3	19,0 ± 0,1	18,5 ± 0,1	5,8 ± 0,1	5,2 ± 0,2	12,2 ± 0,2	10,7 ± 0,1	5,2 ± 0,3	7,1 ± 0,2
AD phytophage	5 441	8	0,2	13,3	***	2,2 ± 0,1	2,2 ± 0,1	2,5 ± 0,1	3,4 ± 0,2	2,8 ± 0,1	3,6 ± 0,1	2,0 ± 0,0	3,1 ± 0,1	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,1	1,8 ± 0,2	4,0 ± 0,1
AD small	22 286	9	0,3	22,5	***	1,3 ± 0,1	2,9 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,2 ± 0,3	2,9 ± 0,1	2,2 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,2 ± 0,2	1,4 ± 0,2	1,8 ± 0,1	0,7 ± 0,3	0,5 ± 0,2
AD medium	31 581	8	0,5	40,2	***	25,9 ± 0,1	37,9 ± 0,1	14,1 ± 0,1	30,6 ± 0,3	13,8 ± 0,1	17,2 ± 0,1	5,5 ± 0,1	6,4 ± 0,2	9,2 ± 0,2	7,7 ± 0,1	4,0 ± 0,3	10,5 ± 0,2
AD Large	7 459	9	0,5	38,4	***	2,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,7 ± 0,1	1,8 ± 0,2	2,5 ± 0,1	2,2 ± 0,1	1,1 ± 0,0	1,2 ± 0,1	2,2 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,2	0,9 ± 0,1
AD <i>Poecilus cupreus</i>	27 514	8	0,5	39,0	***	21,9 ± 0,1	32,9 ± 0,1	10,2 ± 0,1	26,5 ± 0,3	10,0 ± 0,1	10,7 ± 0,1	3,5 ± 0,1	4,1 ± 0,2	7,1 ± 0,2	5,2 ± 0,1	2,4 ± 0,3	6,2 ± 0,2
AD <i>Anchomenus Dorsalis</i>	8 009	9	0,4	25,6	***	1,0 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,2	1,6 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,4 ± 0,2	0,0 ± 0,2
AD <i>Brachinus sclopeta</i>	4 971	9	0,2	11,6	***	0,2 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,0	0,1 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,0 ± 0,2	0,2 ± 0,1
AD <i>Pterostichus melanarius</i>	2 781	9	0,5	37,7	***	0,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,0 ± 0,1	0,0 ± 0,1	0,0 ± 0,1
AD <i>Brachinus explodens</i>	2 094	9	0,2	9,7	***	0,1 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,5 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,0 ± 0,1	0,0 ± 0,1	0,0 ± 0,1
AD Espèces rares	17 345	9	0,3	19,2	***	3,6 ± 0,1	5,0 ± 0,1	6,4 ± 0,1	5,9 ± 0,3	6,9 ± 0,1	5,9 ± 0,1	3,2 ± 0,1	4,0 ± 0,2	4,2 ± 0,1	5,2 ± 0,1	6,4 ± 0,3	5,2 ± 0,2

**Tableau 4b** : Prédications par type de culture du modèle avec le facteur culture N pour l'automne. Pour chaque variable à expliquer il y a, la somme de l'AD des relevés sur 10 ans (nombre d'individus), le ratio F (F), le meilleur modèle = classe de culture ayant le plus faible RSS (Residuals Sum of Squares), le coefficient d'adéquation du modèle (R2), la significativité (\*\*\*=P-value<0.001). Les valeurs des prédictions sont exprimées en individus, ce sont les moyennes de l'AD par type de culture, ± l'erreur standard. Le gradient de couleur du vert (valeur la plus élevée) au rouge (valeur la plus basse) est défini par variable à expliquer.

variable a expliquer	Nombre individus	Meilleur modèle	R2	F	P value	> 4 C	<= 4 C	> 4 PT	4 PT	3 PT	2 PT	sol nu
Activité densité (AD)	19 896	5	0,4619	30,79	***	28,5 ± 0,2	19,4 ± 0,4	8,3 ± 0,1	9,5 ± 0,2	17,6 ± 0,2	10,2 ± 0,2	11,9 ± 0,1
Richesse Spécifique	-	5	0,3878	22,98	***	4,1 ± 0,1	3,1 ± 0,2	2,4 ± 0,1	2,5 ± 0,1	3,4 ± 0,1	3,1 ± 0,1	2,7 ± 0,0
AD carnivore	17 456	5	0,4474	29,1	***	15,2 ± 0,2	11,0 ± 0,4	3,9 ± 0,1	4,4 ± 0,2	7,9 ± 0,2	5,2 ± 0,2	6,1 ± 0,1
AD phytophage	2 362	5	0,3188	17,56	***	2,9 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,7 ± 0,1	2,7 ± 0,1	0,8 ± 0,1	1,1 ± 0,1
AD small	984	5	0,1413	6,819	***	0,8 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,0
AD medium	4 659	5	0,3062	16,62	***	2,8 ± 0,1	2,5 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,4 ± 0,2	2,9 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1
AD Large	14 169	5	0,4629	31,52	***	28,5 ± 0,2	17,2 ± 0,2	6,4 ± 0,1	8,1 ± 0,2	11,0 ± 0,2	6,9 ± 0,2	9,7 ± 0,1
AD <i>Pterostichus melanarius</i>	12 262	5	0,4519	30,07	***	19,9 ± 0,2	13,8 ± 0,2	4,9 ± 0,1	6,8 ± 0,2	6,6 ± 0,2	5,5 ± 0,2	7,5 ± 0,1
AD <i>Poecilus cupreus</i>	2 081	4	0,2016	9,94	***	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,5 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,4 ± 0,1
AD <i>Pseudophonus rufipes</i>	1 210	5	0,2712	14,18	***	1,8 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	2,0 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1
AD <i>Nebria brevicollis</i>	1 110	5	0,2658	13,82	***	1,1 ± 0,1	1,0 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,0
AD <i>Trechus quadristriatus</i>	509	5	0,18	8,677	***	0,5 ± 0,1	0,0 ± 0,1	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,0
AD Espèces rares	2 724	5	0,244	12,65	***	1,8 ± 0,1	1,0 ± 0,1	0,9 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,8 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1

**Tableau 5** : Prédictions par type de culture du modèle additif avec les facteurs culture N, culture N-1, travail du sol et adventices pour le printemps. Pour chaque variable à expliquer il y a, la somme de l'AD des relevées sur 10 ans (nombre d'individus), le ratio F (F), le meilleur modèle = classe de culture ayant le plus faible RSS (Residuals Sum Square), le coefficient d'adéquation du modèle (R2), la significativité (\*P< 0.05, \*\*P< 0.01, \*\*\*P <0.001). Les valeurs des prédictions sont exprimées en individus, ce sont les moyennes de l'AD par type de culture, ± l'erreur standard. Le gradient de couleur du vert (valeur la plus élevée) au rouge (valeur la plus basse) est défini par variable à expliquer.

variable à expliquer	Nombre individus	Meilleur modèle	R2	F	P	N							N-1							
						Mélange	Mélange	Céréales	Céréales	Céréales	Céréales	sol nu	Mélange	Mélange	Céréales	Céréales	Céréales	Céréales	> 4 PT	2 PT
						4 sp	2 sp	principale	principale	secondaire	secondaire		4 sp	2 sp	principale	principale	secondaire	secondaire		
								Hiver	Printemps	Hiver	printemps				Hiver	Printemps	Hiver	printemps		
Activité densité (AD)	26 374	9	0,5531	16.69	***	1,7 ± 0,7	5,6 ± 0,9	2,5 ± 0,4	2,7 ± 0,5	0,7 ± 0,7	0,6 ± 0,6	0,4 ± 1,0	4,5 ± 0,3	8,1 ± 0,3	9,7 ± 0,8	10,0 ± 1,3	7,9 ± 0,7	14,1 ± 0,7	2,5 ± 0,4	2,3 ± 0,3
Richesse Spécifique	-	8	0,5403	15.9	***	-0,1 ± 0,4	0,1 ± 0,4	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,3	0,0 ± 0,3	0,0 ± 0,3	0,1 ± 0,5	0,5 ± 0,2	1,1 ± 0,2	2,0 ± 0,4	2,9 ± 0,6	1,8 ± 0,3	3,5 ± 0,4	0,7 ± 0,2	0,3 ± 0,1
AD carnivore	24 211	9	0,5411	15.94	***	1,0 ± 0,7	4,2 ± 0,9	1,1 ± 0,4	1,3 ± 0,5	0,0 ± 0,7	0,0 ± 0,6	0,1 ± 1,1	3,2 ± 0,3	6,4 ± 0,4	6,2 ± 0,8	6,9 ± 1,4	4,9 ± 0,7	8,8 ± 0,8	1,1 ± 0,4	2,0 ± 0,3
AD phytophage	2 046	8	0,387	9.002	***	0,1 ± 0,5	-0,1 ± 0,7	2,9 ± 0,3	3,2 ± 0,3	1,6 ± 0,5	1,2 ± 0,4	0,9 ± 0,8	1,2 ± 0,3	1,5 ± 0,3	2,5 ± 0,6	6,2 ± 0,9	3,2 ± 0,5	4,8 ± 0,5	2,9 ± 0,3	-0,1 ± 0,2
AD small	11 265	9	0,5697	17.78	***	-0,4 ± 0,8	-0,2 ± 1,0	0,3 ± 0,4	0,1 ± 0,5	-0,6 ± 0,8	-0,6 ± 0,7	-0,4 ± 1,2	0,5 ± 0,4	3,6 ± 0,4	6,1 ± 0,9	15,6 ± 1,5	3,6 ± 0,8	7,1 ± 0,9	0,3 ± 0,4	0,6 ± 0,3
AD medium	12 094	8	0,4861	12.99	***	2,9 ± 0,8	9,5 ± 1,0	2,5 ± 0,4	3,3 ± 0,5	2,2 ± 0,8	1,9 ± 0,7	2,5 ± 1,2	4,5 ± 0,4	2,6 ± 0,4	3,5 ± 0,9	3,0 ± 1,5	5,0 ± 0,8	7,7 ± 0,9	2,5 ± 0,4	1,0 ± 0,3
AD Large	2 756	9	0,6071	20.58	***	-0,5 ± 0,5	-0,7 ± 0,7	-0,1 ± 0,3	-0,2 ± 0,3	-0,3 ± 0,5	-0,5 ± 0,4	-0,1 ± 0,7	0,5 ± 0,3	1,2 ± 0,3	0,7 ± 0,5	1,0 ± 0,9	0,4 ± 0,5	2,2 ± 0,5	-0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,2
AD <i>Poecilus cupreus</i>	10 555	8	0,4609	11.83	***	2,3 ± 0,8	7,1 ± 1,0	1,0 ± 0,4	1,7 ± 0,5	0,4 ± 0,7	0,5 ± 0,7	1,7 ± 1,1	3,0 ± 0,3	1,8 ± 0,4	2,9 ± 0,8	2,2 ± 1,4	2,9 ± 0,7	4,5 ± 0,8	1,0 ± 0,4	0,7 ± 0,3
AD <i>Anchomenus dorsalis</i>	4 751	9	0,5157	14.5	***	0,0 ± 0,7	-0,3 ± 0,9	0,3 ± 0,4	-0,1 ± 0,4	-0,6 ± 0,7	-0,5 ± 0,6	-0,2 ± 1,0	1,1 ± 0,3	3,3 ± 0,3	5,8 ± 0,7	14,5 ± 1,2	3,4 ± 0,7	9,2 ± 0,7	0,3 ± 0,4	0,7 ± 0,3
AD <i>Pterostichus melanarius</i>	1 852	9	0,5872	19,03	***	-0,3 ± 0,5	-0,4 ± 0,6	-0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,3	0,4 ± 0,4	0,0 ± 0,4	0,1 ± 0,7	0,0 ± 0,2	0,5 ± 0,2	-0,3 ± 0,5	-0,6 ± 0,8	-0,3 ± 0,4	0,0 ± 0,5	-0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,2
AD <i>Brachinus sclopetata</i>	1 811	9	0,3577	8,058	***	-0,7 ± 0,6	0,0 ± 0,7	-0,3 ± 0,3	-0,2 ± 0,4	-0,5 ± 0,5	-0,5 ± 0,5	-0,4 ± 0,8	-0,4 ± 0,3	0,2 ± 0,3	0,2 ± 0,6	2,8 ± 1,0	0,0 ± 0,5	0,6 ± 0,6	-0,3 ± 0,3	-0,4 ± 0,2
AD <i>Trechus quadristriatus</i>	1 088	9	0,4349	10,75	***	-0,2 ± 0,3	0,2 ± 0,4	-0,2 ± 0,2	-0,1 ± 0,3	-0,4 ± 0,3	-0,2 ± 0,3	-0,3 ± 0,5	-0,3 ± 0,2	-0,2 ± 0,2	-0,1 ± 0,4	-0,2 ± 0,6	-0,2 ± 0,3	-0,3 ± 0,4	-0,2 ± 0,2	0,0 ± 0,1
AD Espèces rares	6 333	9	0,4457	11,19	***	0,4 ± 0,3	0,4 ± 0,4	-0,2 ± 0,2	-0,1 ± 0,3	-0,1 ± 0,3	-0,2 ± 0,3	-0,1 ± 0,5	-0,1 ± 0,2	-0,1 ± 0,2	0,4 ± 0,4	0,1 ± 0,6	0,0 ± 0,3	-0,1 ± 0,4	-0,2 ± 0,2	0,1 ± 0,1

## 4 Discussion

### 4.1 Influence de la saison dans l'activité et la diversité des carabes

#### Activités-densités

L'ADC au printemps est plus sensible au type de culture, alors qu'à l'automne, elle serait plus contrôlée par l'année et la parcelle, ainsi que par des facteurs non intégrés dans ce modèle. De telles observations peuvent s'expliquer par différentes raisons, parmi lesquelles l'influence positive de la diversité des cultures sur l'activité des carabes (Rusch *et al.*, 2015, 2016) qui s'exercerait plus au printemps dans le cas de Mirecourt. En effet, depuis 2004, les cultures étaient plus nombreuses et diversifiées au printemps, alors qu'à l'automne seules les cultures intermédiaires étaient présentes. De plus, les communautés de carabes sont différentes entre les saisons du fait du cycle biologique de chaque espèce (Marrec *et al.*, 2015; Welch & Harwood 2014). Par ailleurs, le facteur année dans les modèles comprend une partie de la variance liée au climat, il est possible que les communautés de carabes à l'automne puissent être plus sensibles au facteur climatique qu'au printemps. Néanmoins, beaucoup d'études montrent que l'ADC dépend également du travail du sol (Kosewska *et al.*, 2014) et de la présence d'adventices (Eyre *et al.*, 2012), ce qui n'est pas pris en compte dans ces premiers modèles.

Les prédictions de ce modèle ne sont pas comparables culture par culture au printemps et à l'automne, car elles sont différentes entre les saisons. Au printemps, les céréales s'avèrent les plus favorables notamment les céréales principales de printemps. Néanmoins, ces céréales sont des réensemencements de blés de printemps sur des blés hiver n'ayant pas levé eu égard aux aléas climatiques. Cela ne représente donc pas un cas courant sur la ferme et donc ne permet pas les interprétations. D'après les prédictions du modèle (tableau 4), les carabes au printemps ne sont pas favorisés par les cultures les plus diversifiées (mélange 4 espèces) mais le sont à l'automne. Cela paraît tout à fait cohérent car au printemps, les carabes peuvent se nourrir des nombreuses espèces nuisibles qui apparaissent à cette période, notamment sur céréales, mais à l'automne, ces dernières étant encore peu développées au moment des relevés, ces insectes prédateurs doivent rechercher des ressources alimentaires alternatives (Welch & Harwood, 2014). Il est donc probable qu'ils se tournent vers des cultures plus diversifiées.

#### Richesse spécifique

La richesse spécifique n'est pas influencée par le type de culture, et encore moins à l'automne qu'au printemps. D'après les résultats elle serait liée à la parcelle et à l'année. Les prédictions de la richesse spécifique au printemps ne montrent pas de type de culture plus favorable qu'une autre. En effet, les études sur le sujet montrent que la richesse spécifique dépend plus de la structure du paysage et notamment de sa diversité (Rusch *et al.*, 2016). Cette diversité d'habitats permettrait une variabilité spatiale et temporelle des ressources et donc une diversité des prédateurs comme les carabes (Woodcock *et al.*, 2010). Par ailleurs, il se pourrait qu'au vu de la dominance de quelques espèces dans les relevés, il y ait une forte compétition inter spécifique (Straub *et al.*, 2008). En effet, il est probable que les espèces présentes en nombre soient les espèces s'adaptant le mieux aux perturbations et ayant le régime alimentaire le plus large, ne laissant que peu de place aux autres espèces dans la niche écologique.

## 4.2 Influence de la taille et du régime alimentaire dans l'activité des carabes

### Régime alimentaire

Le type de culture est 4 fois plus important pour les carabes carnivores que pour les carabes phytophages pour le premier modèle au printemps (tableau 2). Cette différence est moins marquée à l'automne. Le modèle des carabes phytophage explique très peu la variance totale sur les deux saisons, on peut faire l'hypothèse qu'ils sont impactés par un facteur autre que ceux intégrés au modèle. En effet, il semble que le facteur le plus explicatif est la parcelle. Au contraire, les carabes carnivores sont bien influencés par le type de culture, ils dépendent de celle-ci pour trouver des ressources alimentaires au printemps lors de la reproduction, mais ce n'est pas le cas à l'automne. Cela peut être lié à l'hibernation ou à la migration de certaines espèces (Welch & Harwood, 2014).

Les seconds modèles (tableau 3) ont des parts de variances par facteur différent suivant le régime alimentaire. Alors que les carabes carnivores sont expliqués par les facteurs culture en place et le travail du sol, les carabes phytophages sont expliqués par les cultures précédentes et l'abondance d'adventices. De plus, les prédictions montrent que les carabes phytophages sont favorisés par les céréales. Cela peut être dû à l'influence des adventices qui est un facteur important pour les carabes phytophages. En effet, le couvert végétal des monocultures de céréales est moins dense que celui des mélanges, il devrait y avoir plus d'adventices et donc plus de ressources diversifiées pour les espèces phytophages.

### Taille

Les prédictions des premiers modèles (tableau 4) montrent que les petits carabes et ceux de taille moyenne sont favorisés par les mélanges de deux espèces tandis que les grands carabes préfèrent les céréales secondaires d'hiver. Cela confirme les résultats de Ribera *et al.*, (2001) qui montraient une relation entre les traits de vie des carabes et les caractéristiques environnementales. Les carabes de grande taille peuvent être impactés négativement par les cultures denses, tels les mélanges, qui les freinent dans leur activité de chasse (Brose, 2003). Une étude réalisée en bandes enherbées conforte cette hypothèse en montrant qu'une proportion de sols nus peut favoriser les carabes de grande taille (Rouabah *et al.*, 2014).

Il est déjà admis que les perturbations, et notamment le travail du sol, affectent plus les carabes de grande taille que ceux de petite taille (Hanson *et al.*, 2016). Les résultats des modèles avec le facteur travail du sol de cette étude ne permettent pas de retrouver cette observation. En effet, ces modèles montrent que la part de la variance expliquée par le travail du sol est plus importante pour les petits carabes que pour ceux de moyenne taille et les grands. Différentes raisons peuvent expliquer cela. Tout d'abord, le facteur travail du sol dans ces modèles correspond au delta entre la date du dernier semis et la date du relevé, car pour cette étude il est considéré qu'avant chaque semis un travail du sol est effectué et que le semis lui-même est un travail du sol. Dans notre modèle, il n'y a pas de distinction du type d'intervention, or la littérature montre que la fréquence et la profondeur du travail du sol peuvent influencer l'ADC (Thorbeck & Bilde, 2004). Cependant l'écart très élevé entre le nombre de grands et petits carabes piégés au printemps (les grands carabes sont quatre fois inférieurs en nombre), peut aussi expliquer au moins en partie de tels résultats.

#### 4.3 Influence des adventices sur l'activité et la diversité des carabes

Il n'est plus à démontrer que la répartition des espèces de carabes dépend de la disponibilité des ressources (Lövei & Sunderland, 1996). Les résultats montrent que les adventices influent sur la variance des carabes phytophages, de *Trechus quadristriatus* et des espèces les plus rares. Ces résultats sont intéressants notamment pour les espèces phytophages. En effet, les adventices constituent une ressource alimentaire particulièrement pour les espèces granivores. Plusieurs études montrent l'importance du service de prédation des carabes sur les graines d'adventices (Trichard *et al.*, 2013; Kulkarni *et al.*, 2015). Dans une étude comparant plusieurs systèmes agricoles, Ekroos, (2010) montre que, sur les fermes en polyculture élevage biologique, il y a plus d'adventices que sur les cultures conventionnelles, ce qui offre une abondance de ressource et favorise les carabes. On peut supposer aussi que la diversité floristique due aux adventices permet une diversité faunistique des herbivores en leur sein plus importante, ce qui peut permettre aux espèces de prédateurs les plus rares (souvent de régime alimentaire spécialisé) de s'alimenter.

#### 4.4 Influence des cultures précédentes sur les activités des carabes

Le type de rotation est connu pour avoir un effet considérable sur l'activité des carabes (Eyre *et al.*, 2013). Dans cette étude, les analyses se sont limitées à l'effet de la culture précédente (N-1) sur l'activité des carabes.

Les cultures précédentes dans les modèles sont aussi, voire plus importantes que la culture en place. Elles sont donc importantes dans le cycle de vie des carabes. Plusieurs études confirment l'importance d'un couvert végétal durant l'hiver et au début du printemps pour les carabes (Rourke *et al.*, 2008). Les prédictions au printemps informent que les cultures les plus favorables sont les céréales de printemps. Les semis étant réalisés en mars pour celles de printemps, elles pourraient fournir le couvert indispensable à la survie et au développement des carabes. Cependant les interprétations semblent difficiles sans prendre en compte les interactions entre les cultures. Le problème étant qu'avec un modèle en interaction, certaines d'entre elles seraient non représentées ou avec un nombre de relevés trop faibles.

#### 4.5 Influence des cultures mixtes en céréales/légumineuses sur l'activité des communautés de carabes.

Au printemps, les cultures dans ce modèle sont plus favorables pour l'activité des carabes que les prairies, ce qui a déjà été observé sur les insectes par Batary *et al.*, (2011). Cela s'observe également lors des piégeages, mais ces résultats sont à prendre avec précautions car la structure végétale des deux systèmes est différente. L'analyse de ces résultats est axée sur les cultures, et particulièrement les cultures mixtes.

Une étude précédente a montré que les cultures associées céréales/légumineuses affectent positivement l'abondance des carabes dans les cultures biologiques (Asiry, 2013). Les carabes y sont favorisés par les céréales principales de printemps en termes d'abondance, mais également de diversité, ce qui a déjà été observé pour les petits carabes (Eyre *et al.*, 2015).

Cependant, les cultures associées sont également favorables à l'activité des carabes dans ce modèle, les prédictions montrent que les mélanges de deux espèces sont plus favorables que les mélanges 4 espèces. Or, nos hypothèses étaient que la diversité végétale favoriserait l'ADC (Letourneau *et al.*, 2011). Aucune étude ne s'est intéressée à l'effet du nombre d'espèces dans les mélanges culturels sur les carabes, néanmoins plusieurs hypothèses peuvent être proposées. La densité des mélanges 4 espèces peut avoir un impact sur le déplacement et la chasse des carabes. Les mélanges quatre espèces sont plus denses que les mélanges deux espèces, ce qui limite le développement des adventices, et donc peut limiter les ressources pour les carabes phytophages. De plus, un des avantages des cultures mixtes est de limiter la pression de prédation. La diversité végétale par « effet bottom-up » permettrait de contrôler les herbivores ravageurs généralistes, alors que les spécialistes seraient contrôlés par la prédation (Dassou & Tixier, 2016). On peut alors supposer que les mélanges quatre espèces limitent l'abondance des ravageurs généralistes, ce qui diminuerait alors les ressources alimentaires pour les carabes (qui sont eux-mêmes des prédateurs généralistes). Ainsi, les mélanges 4 espèces apparaîtraient moins favorables aux carabes que les mélanges deux espèces moins diversifiées, et donc avec plus d'herbivores généralistes. Les mélanges deux espèces pourraient constituer un équilibre entre un contrôle de type « bottom up » et « top down ».

Comme le montrent certaines études concernant l'influence des cultures sur les communautés de carabes (Eyre *et al.*, 2012, 2015), chaque espèce réagit différemment au type de culture. Les résultats confirment cela, au printemps *P.cupreus*, *A. Dorsalis*, *B sclopeta* semblent favorisées par les mélanges deux espèces, mais également les monocultures. *A. Dorsalis* est un grand prédateur de pucerons, il est donc probable que la monoculture et les mélanges deux espèces qui sont plus sujettes à la présence de ces ravageurs (effet «bottom-up») par rapport au mélange 4 espèces favorisent leur AD. En ce qui concerne *P.Cupreus* il se développe à l'intérieur des parcelles et à un grand intervalle de tolérance vis-à-vis des conditions environnementales y compris des perturbations (Rouabah *et al.*, 2014), il n'est pas étonnant qu'il ne soit pas impacté par les cultures par rapport aux prairies. A cela s'ajoute le fait que les espèces carnivores comme *P.Cupreus*, *A.Dorsalis* et *B.Sclopeta* cherchant activement leur proie ont besoin d'une végétation ouverte pour se déplacer rapidement (Rouabah *et al.*, 2014), les mélanges 4 espèces peuvent alors les contraindre dans leur déplacement.

Les espèces les plus rares semblent favorisées par les céréales hiver et également par les prairies temporaires de 3 espèces. Mais les analyses plus détaillées pour ce groupe n'ont pas été effectuées il n'est donc pas possible de faire des interprétations au niveau spécifique. Néanmoins, une analyse multivariée de type non-metric dimension scaling (NMDS) a été faite, cependant aucun groupe de carabes ne semble particulièrement lié à un type de culture.

## Conclusion

La ferme expérimentale de Mirecourt pratique une agriculture biologique. Elle intègre au sein de ses systèmes de cultures, des cultures mixtes. Ce type de pratique présente plusieurs avantages dont le contrôle des ravageurs de différentes façons : par dilution des ressources pour les ravageurs (effet « bottom-up ») mais également en favorisant les ennemies naturelles (effet « top-down ») telles que les carabes. Le travail présenté ci-dessus s'intègre au sein du projet ENSEMBLE visant à mettre à jour et améliorer les critères de performances de cette exploitation. L'objectif de ce travail était de savoir si les cultures mixtes et les pratiques culturales associées favorisaient les carabes et ainsi permettaient d'améliorer le service écosystémique de régulation biologique de type « top-down ». Pour cela, un jeu de données de dix ans était mis à disposition. À partir de ces données des modèles linéaires ont été construits et les résultats analysés. Malgré le fait que les modèles permettent d'expliquer seulement une partie de la variance de l'ADC, ils permettent de donner des indications sur le fonctionnement des carabes dans les agrosystèmes. Dans le contexte de la ferme de Mirecourt cela a permis de montrer que le type de culture est le facteur le plus explicatif au printemps, mais pas à l'automne, et que les mélanges céréales / légumineuses deux espèces étaient plus favorables que les mélanges à quatre espèces. Toutefois, la réponse aux types de culture dépend également de la taille et du régime alimentaire des carabes. Les carabes phytophages et les grands carabes sont plus favorisés par les céréales que les mélanges, néanmoins les carabes de petite et moyenne taille sont favorisés par les mélanges. Par ailleurs, les résultats montrent également que les perturbations liées au travail du sol influent sur l'ADC tout comme l'abondance des adventices. Cette étude permet de voir que chaque espèce réagit différemment et qu'il faudrait approfondir cette étude avec une approche plus spécifique. Ces résultats mettent également en évidence le fait que les variables explicatives doivent être affinées, particulièrement pour le travail du sol et l'abondance des adventices. Cela permettra probablement d'améliorer les modèles et ainsi la fiabilité des prédictions. À terme, la gestion des mélanges de culture pour favoriser au maximum les ennemies naturels pourrait permettre d'optimiser le service de régulation et donc d'augmenter la production.

## Annexes :

### Annexe 1 : Classe de taille et régime alimentaire de chaque espèce relevée

Espèce	Régime alimentaire	Taille	Espèce	Régime alimentaire	Taille
Abax parallelepipedus Piller et Mitterpacher 1783	C	L	Harpalus melancholicus Dejean 1829	P	M
Abax parallelus Duftschmid 1812	C	L	Harpalus oblitus Dejean 1829	P	M
Acupalpus	C	ND	Harpalus rubripes Duftschmid 1812	P	M
Acupalpus meridianus LinNAeus 1761	C	S	Harpalus serripes Quensel in Schönherr 1806	P	M
Agonum muelleri Herbst 1784	C	S	Leistus ferrugineus LinNAeus 1758	C	S
Agonum sexpunctatum LinNAeus 1758	C	S	Leistus fulvibarbis Dejean 1826	C	S
Agonum viridicupreum Goeze 1777	C	S	Leistus spinibarbis Fabricius 1775	C	M
Amara	P	ND	Limodromus assimilis Paykull 1790	C	M
Amara aenea De Geer 1774	P	S	Loricera pilicornis Fabricius 1775	C	S
Amara anthobia. A.Villa et G.B.Villa 1833	P	S	Metallina lampros Herbst 1784	C	S
Amara communis Panzer 1797	P	S	Metallina properans Stephens 1828	C	S
Amara convexior Stephens 1828	P	S	Microlestes	C	S
Amara curta Dejean 1828	P	S	Microlestes maurus Sturm 1827	C	S
Amara eurynota Panzer 1797	P	M	Microlestes minutulus Goeze 1777	C	S
Amara familiaris Duftschmid 1812	P	S	Nebria brevicollis Fabricius 1792	C	M
Amara fulvipes Audinet Serville 1821	P	M	Nebria salina Fairmaire et Laboulbene 1854	C	M
Amara lucida Duftschmid 1812	P	S	Notiophilus	C	S
Amara lunicollis Schiödt 1837	P	S	Notiophilus aquaticus LinNAeus 1758	C	S
Amara montivaga Sturm 1825	P	S	Notiophilus biguttatus Fabricius 1779	C	S
Amara nitida Sturm 1825	P	S	Notiophilus palustris Duftschmid 1812	C	S
Amara ovata Fabricius 1792	P	ND	Notiophilus quadripunctatus Dejean 1826	C	S
Amara plebeja Gyllenhal 1810	P	S	Notiophilus substriatus C.R Waterhouse 1833	C	S
Amara similata Gyllenhal 1810	P	S	Ocydromus (Peryphanes) latinus Netolitzky 1911	ND	ND
Anchomenus dorsalis Pontoppidan 1763	C	S	Ocydromus deletus Audinet-Serville 1821	ND	ND
Anisodactylus binotatus Fabricius 1787	P	M	Ocydromus latinus Netolitzky 1911	ND	ND
Anisodactylus signatus panzer 1796	P	M	Ophonus ardosiacus Lutshnik 1922	ND	ND
Asaphidion	P	ND	Ophonus azureus Fabricius 1775	P	S
Badister	C	S	Ophonus parallelus Dejean 1829	P	S
Badister bullatus Schrank 1798	C	S	Ophonus rufibarbis Fabricius 1792	P	S
Badister lacertosus Sturm 1815	C	S	Ophonus sp	ND	ND
Badister sodalis Duftschmid 1812	C	S	Paratachys bistriatus Duftschmid 1812	P	S
Badister unipustulatus Bonelli 1813	C	S	Peduis longicollis Duftschmid 1812	C	S
Bembidion	C	S	Philochthus biguttatus Fabricius 1779	C	S
Bembidion quadrimaculatum LinNAeus 1761	C	S	Philochthus guttula Fabricius 1792	C	S
Brachinus	C	S	Philochthus iricolor Bedel 1879	C	S
Brachinus crepitans LinNAeus 1758	C	S	Philochthus lunulatus Geoffroy in Fourcroy 1785	C	S
Brachinus elegans Chaudoir 1842	C	S	Philochthus mannerheimii C.R. Sahlberg 1827	C	S
Brachinus explodens Duftschmid 1812	C	S	Phyla obtusa Audinet-Serville 1821	C	S
Brachinus sclopetata Fabricius 1792	C	S	Poecilus cupreus LinNAeus 1758	C	M
Calathus fuscipes Goeze 1777	P	M	Poecilus versicolor Sturm 1824	C	M
Calathus melanocephalus LinNAeus 1758	P	S	Polistichus connexus Geoffroy in Fourcroy 1785	P	S
Carabus auratus LinNAeus 1761	C	L	Pseudophonus rufipes De Geer 1774	P	L
Carabus coriaceus LinNAeus 1758	C	L	Pterostichus	C	L
Carabus monilis Fabricius 1792	C	L	Pterostichus anthracinus Illiger 1798	C	M
Carabus nemoralis O.F. Müller 1764	C	L	Pterostichus cristatus L. Dufour 1820	C	L
Chlaenius nigricornis Fabricius 1787	C	M	Pterostichus macer Marsham 1802	C	L
Cicindela campestris LinNAeus 1758	C	L	Pterostichus madidus Fabricius 1775	C	L
Clivina fossor LinNAeus 1761	C	S	Pterostichus melanoarius Illiger 1798	C	L
Demetrius atricapillus LinNAeus 1758	C	S	Pterostichus nigrita Paykull 1790	C	ND
Diachromus germanus LinNAeus 1758	C	S	Pterostichus oblongopunctatus LinNAeus 1758	ND	ND
Drypta dentata Rossi 1790	C	ND	Pterostichus ovoideus Sturm 1824	C	S
Harpalus	P	M	Pterostichus strenuus Panzer 1796	C	S
Harpalus (Cryptophonus) litigiosus Dejean 1829	P	M	Pterostichus verNALis Panzer 1796	C	S
Harpalus affinis Schrank 1781	P	M	Stenolophus mixtus Herbst 1784	C	S
Harpalus atratus Latreille 1804	P	M	Stenolophus teutonius Schrank 1781	C	S
Harpalus cupreus Dejean 1829	P	M	Stomis pumicatus Panzer 1796	C	S
Harpalus dimidiatus P. Rossi 1790	P	M	Syntomus obscuroguttatus Duftschmid 1812	C	S
Harpalus distinguendus Duftschmid 1812	P	M	Synuchus vivalis Illiger 1798	C	S
Harpalus honestus Duftschmid 1812	P	M	Trechoblemus micros Herbst 1784	C	S
Harpalus latus LinNAeus 1758	P	M	Trechus quadristriatus Schrank 1781	C	S
Harpalus luteicornis Duftschmid 1812	P	S	Zezea plebeja Gyllenhal 1810	P	M

## Bibliographie

- Asiry, K. A. (2013). **Role of cereal-legume abundance intercropping on invertebrate community.** *International journal of environmental science and engineering*, 4, 1–16.
- Baguette, M., & Hance, T. (1997). **Carabid Beetles and Agricultural Practices: Influence of Soil Ploughing.** *Biological Agriculture & Horticulture*, 15(1-4), 185–190. <http://doi.org/10.1080/01448765.1997.9755193>
- Bedoussac, L., Journet, E. P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., Justes, E. (2015). **Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming.** A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 911–935. <http://doi.org/10.1007/s13593-014-0277-7>
- Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S. G. (2013). **Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security.** *Trends in Ecology and Evolution*, 28(4), 230–238. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>
- Brose, U. (2003). **Bottom-up control of carabid beetle communities in early successional wetlands: mediated by vegetation structure or plant diversity?** *Oecologia*, 135(3), 407–413. <http://doi.org/10.1007/s00442-003-1222-7>
- Chappell, M. J., & LaValle, L. A. (2011). **Food security and biodiversity: Can we have both? An agroecological analysis.** *Agriculture and Human Values*, 28(1), 3–26. <http://doi.org/10.1007/s10460-009-9251-4>
- Cole, L. J., McCracken, D. I., Dennis, P., Downie, I. S., Griffin, A. L., Foster, G. N., Waterhouse, T. (2002). **Relationships between agricultural management and ecological groups of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) on Scottish farmland.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93(1-3), 323–336. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00333-4](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00333-4)
- Cole, L. J., McCracken, D. I., Downie, I. S., Dennis, P., Foster, G. N., Waterhouse, T., Kennedy, M. P. (2005). **Comparing the effects of farming practices on ground beetle (Coleoptera: Carabidae) and spider (Araneae) assemblages of Scottish farmland.** *Biodiversity and Conservation*, 14(2), 441–460. <http://doi.org/10.1007/s10531-004-6404-z>
- Conforti, P. (2011). *Looking ahead in world food and agriculture: Perspectives to 2050.* *FAO Rome*. <http://doi.org/10.1007/978-94-007-7927-3>
- Coquil Xavier, Jean-Louis Fiorelli, A. B. and C. M. (2014). **Experiencing Organic Mixed Crop Dairy Systems: A Step-by-Step Design Centred on a Long-term Experiment.** *Prototype for Sustainable Agricultures*, 9789400779, 1–489. <http://doi.org/10.1007/978-94-007-7927-3>
- Dassou, A. G., & Tixier, P. (2016). **Response of pest control by generalist predators to local-scale plant diversity: A meta-analysis.** *Ecology and Evolution*, 6(4), 1143–1153. <http://doi.org/10.1002/ece3.1917>
- Duraiappah, A. K., Naeem, S., Agardy, T., Ash, N. J., Cooper, H. D., Díaz, S., ... (2005) **Millennium Ecosystem Assessment.** *Ecosystems and human well-being. Ecosystems* (Vol. 5). <http://doi.org/10.1196/annals.1439.003>
- Eyre, M. D., Luff, M. L., Atlihan, R., & Leifert, C. (2012). **Ground beetle species (Carabidae, Coleoptera) activity and richness in relation to crop type, fertility management and crop protection in a farm management comparison trial.** *Annals of Applied Biology*, 161(2), 169–179. <http://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2012.00562.x>

- Eyre, M. D., Luff, M. L., & Leifert, C. (2013). **Crop, field boundary, productivity and disturbance influences on ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the agroecosystem.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *165*, 60–67. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2012.12.009>
- Eyre, M. D., McMillan, S. D., & Critchley, C. N. R. (2015). **Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) as indicators of change and pattern in the agroecosystem: Longer surveys improve understanding.** *Ecological Indicators*. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.009>
- Hanson, H. I., Palmu, E., Birkhofer, K., Smith, H. G., & Hedlund, K. (2016). **Agricultural land use determines the trait composition of ground beetle communities.** *PLoS ONE*, *11*(1). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0146329>
- Holland, J. M., & Reynolds, C. J. M. (2003). **The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land.** *Pedobiologia*, *47*(2), 181–191. <http://doi.org/10.1078/0031-4056-00181>
- Iverson, A. L., Marin, L. E., Ennis, K. K., Gonthier, D. J., Connor-Barrie, B. T., Remfert, J. L., ... Perfecto, I. (2014). **Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis.** *Journal of Applied Ecology*, *51*(6), 1593–1602. <http://doi.org/10.1111/1365-2664.12334>
- Kosewska, A., Skalski, T., & Nietupski, M. (2014). **Effect of conventional and non-inversion tillage systems on the abundance and some life history traits of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) in winter triticale fields.** *European Journal of Entomology*, *111*(5), 669–676. <http://doi.org/10.14411/eje.2014.078>
- Kromp, B. (1999). **Carabid beetles in sustainable agriculture: A review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *74*(1-3), 187–228. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00037-7](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00037-7)
- Kulkarni, S. S., Dossall, L. M., & Willenborg, C. J. (2015). **The Role of Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae) in Weed Seed Consumption: A Review.** *Weed Science*, *63*(2), 335–376. <http://doi.org/10.1614/WS-D-14-00067.1>
- Letourneau D.K. et al., 2011. (2011). **Does plant diversity benefit agroecosystems ? A synthetic review.** *Ecological Society of America*, *21*(1), 9–21. <http://doi.org/10.1890/09-2026.1>
- Lithourgidis, A. S., Dordas, C. A., Damalas, C. A., & Vlachostergios, D. N. (2011). **Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture.** *Australian Journal of Crop Science*, *5*(4), 396–410. <http://doi.org/1835-2707>
- Lövei, G. L., & Sunderland, K. D. (1996). **Ecology and behavior of ground beetles.** *Annual Review of Entomology*, *41*(February), 231–256. <http://doi.org/10.1146/annurev.en.41.010196.001311>
- Marrec, R., Badenhausser, I., Bretagnolle, V., Burger, L., Roncoroni, M., Guillon, N., & Gauffre, B. (2015). **Crop succession and habitat preferences drive the distribution and abundance of carabid beetles in an agricultural landscape.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *199*, 282–289. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.005>
- Melnychuk, N. a, Olfert, O., Youngs, B., & Gillott, C. (2013). **Abundance and diversity of Carabidae (Coleoptera) in different farming systems.** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *95*, 69–72. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00119-6](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00119-6)
- Norton, L., Johnson, P., Joys, A., Stuart, R., Chamberlain, D., Feber, R., ... Fuller, R. J. (2009). **Consequences of organic and non-organic farming practices for field, farm and landscape complexity.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *129*(1-3), 221–

227. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2008.09.002>
- Parker, J. E., Snyder, W. E., Hamilton, G. C., & Saona, C. R. (2013). **Companion Planting and Insect Pest Control.** *Weed and Pest Control - Conventional and New Challenges*, 1–30. <http://doi.org/10.5772/55044>
- Rahman, M. L., Tarrant, S., McCollin, D., & Ollerton, J. (2015). **Vegetation cover and grasslands in the vicinity accelerate development of carabid beetle assemblages on restored landfill sites.** *Zoology and Ecology*, 25(4), 347–354. <http://doi.org/10.1080/21658005.2015.1068521>
- Ribera, I., Doledec, S., Downie, I. S., Foster, G. N., & Apr, N. (2001). **Effect of Land Disturbance and Stress on Species Traits of Ground Beetle Assemblages.** *Society*, 82(4), 1112–1129. [http://doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[1112:EOLDAS\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[1112:EOLDAS]2.0.CO;2)
- Rouabah, A., Lasserre-Joulin, F., Amiaud, B., & Plantureux, S. (2014). **Emergent effects of ground beetles size diversity on the strength of prey suppression.** *Ecological Entomology*, 39(1), 47–57. <http://doi.org/10.1111/een.12064>
- Rourke, M. E. O., Liebman, M., & Rice, M. E. (2008). **Ground Beetle ( Coleoptera : Carabidae ) Assemblages in Conventional and Diversified Crop Rotation Systems .** *Environ. Entomol.*, 37(1), 121–130. [http://doi.org/10.1603/0046-225X\(2008\)37](http://doi.org/10.1603/0046-225X(2008)37)
- Rusch, A., Bommarco, R., Chiverton, P., Öberg, S., Wallin, H., Wikteliuss, S., & Ekbom, B. (2013). **Response of ground beetle (Coleoptera, Carabidae) communities to changes in agricultural policies in Sweden over two decades.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 176, 63–69. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2013.05.014>
- Rusch, A., Bommarco, R., Jonsson, M., Smith, H. G., & Ekbom, B. (2013). **Flow and stability of natural pest control services depend on complexity and crop rotation at the landscape scale.** *Journal of Applied Ecology*, 50(2), 345–354. <http://doi.org/10.1111/1365-2664.12055>
- Rusch, A., Hawro, V., Holland, J. M., & Winqvist, C. (2016). **Agricultural landscape simplification reduces natural pest control : A quantitative synthesis, (February).** <http://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>
- Scheller, H. V. (1984). **The role of ground beetles (Carabidae) as predators on early populations of cereal aphids in spring barley.** *Zeitschrift Für Angewandte Entomologie*, 97, 451–463. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-0418.1984.tb03775.x/abstract>
- Scherber, C., Eisenhauer, N., Weisser, W. W., Schmid, B., Voigt, W., Fischer, M., ... Tscharrntke, T. (2010). **Bottom-up effects of plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment.** *Nature*, 468(7323), 553–556. <http://doi.org/10.1038/nature09492>
- Straub, C. S., Finke, D. L., & Snyder, W. E. (2008). **Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals?** *Biological Control*, 45(2), 225–237. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.05.013>
- Thorbeck, P., & Bilde, T. (2004). **Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management.** *Journal of Applied Ecology*, 41(3), 526–538. <http://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00913.x>
- Trichard, A., Alignier, A., Biju-Duval, L., & Petit, S. (2013). **The relative effects of local management and landscape context on weed seed predation and carabid functional groups.** *Basic and Applied Ecology*, 14(3), 235–245. <http://doi.org/10.1016/j.baae.2013.02.002>
- Welch, K. D., & Harwood, J. D. (2014). **Temporal dynamics of natural enemy-pest**

**interactions in a changing environment.** *Biological Control*, 75, 18–27.

<http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.01.004>

Woodcock, B. A., Redhead, J., Vanbergen, A. J., Hulmes, L., Hulmes, S., Peyton, J., ...  
Heard, M. S. (2010). **Impact of habitat type and landscape structure on biomass,  
species richness and functional diversity of ground beetles.** *Agriculture, Ecosystems  
and Environment*, 139(1-2), 181–186. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2010.07.018>

## Résumé

Les pratiques agricoles intensives ont des effets néfastes sur la biodiversité, et par conséquent, sur les différents services écosystémiques qu'elle assure. L'enjeu actuel est de recréer des conditions favorables à la diversité au sein de la chaîne trophique, et plus particulièrement au niveau des communautés végétales. Dans les systèmes cultivés, l'association de cultures peut améliorer la régulation des ravageurs de cultures par un effet de dilution (*bottom-up*) mais peut également favoriser les antagonistes des ravageurs tels que les prédateurs (régulation *top-down*). L'étude s'intéresse aux carabes, connus pour leur capacité de prédation de pucerons, de limaces et de graines d'adventices. Des relevés réguliers de ces arthropodes auxiliaires de cultures ont été effectués pendant 10 ans (2006-2016) sur la ferme expérimentale et biologique de l'INRA (Institut National de Recherche Agronomique) de Mirecourt, suite à sa conversion à l'agriculture biologique. L'application de modèles linéaires a permis de prédire l'effet des cultures mixtes sur l'activité-densité (AD) des carabes (ADC). Les résultats principaux sont : (1) Les mélanges céréales /légumineuses deux espèces étaient plus favorables que les mélanges à quatre espèces. (2) Les carabes phytophages et les grands carabes sont plus favorisés par les céréales que les mélanges, néanmoins les carabes de petite et moyenne taille sont favorisés par les mélanges par rapport aux céréales. (3) Les perturbations liées au travail du sol influent sur l'ADC tout comme l'abondance des adventices. Cependant, les modèles doivent être affinés particulièrement pour les variables explicatives de travail du sol et de l'abondance d'adventice. Cela permettra d'optimiser le service de régulation des ravageurs en culture mixtes.

**Mots clés :** Associations de cultures, carabes, contrôle biologique, pratiques agricoles, adventices.

## Abstract

Agricultural practices have damaging effects on biodiversity and consequently on ecosystem services. Current issues are to create better conditions to enhance biodiversity on the trophic chain and particularly in plant communities. In cultivation systems, intercrops can enhance pests regulation by dilution effect (*bottom-up*) or by increasing natural enemies (*top-down* effect). This study focused on ground beetles famed to be a great predator of aphids, slugs and weed seeds. Data about arthropod fauna have been collected during ten years at the INRA experimental Mirecourt farm after organic conversion. Linear models application permit to predict intercrops effect on ground beetles activity density. The main results are : (1) Intercrop two species are better than intercrop four species. (2) Phytophage and large ground beetles are better improved by cereals than intercrop, nevertheless, small and medium ground beetles are improved by intercrop. (3) Disturbance due to tillage impacts carabids activity-density as well as weeds abundance. However models must be improved, in particular for tillage variable and weeds abundance variable, in order to optimize intercrop pests control.

**Key words :** Intercrop, ground beetles, pest control, agricultural practices, weeds.