

Comparaison des communautés de Carabidae entre une agriculture agroécologique, agriculture de conservation et conventionnelle. Relation entre ces communautés et l'abondance d'une de leur proie, la limace.

Auteur : Oliveri, Mélissa

Promoteur(s) : Serusiaux, Emmanuel; 3914

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en biologie des organismes et écologie, à finalité spécialisée en biologie de la conservation : biodiversité et gestion

Année académique : 2017-2018

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/5461>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Comparaison des communautés de Carabidae entre une agriculture agroécologique, agriculture de conservation et conventionnelle.

Relation entre ces communautés et l'abondance d'une de leur proie, la limace



OLIVERI MELISSA

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENSION DU DIPLÔME DE
2^{ème} MASTER EN BIOLOGIE DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE, À FINALITÉ
SPÉCIALISÉE EN BIOLOGIE DE LA CONSERVATION : BIODIVERSITÉ ET GESTION

Département de Biologie, Écologie, Évolution

Faculté des sciences

ANNÉE ACADÉMIQUE 2017-2018

Promoteurs : Emmanuël Sérusiaux et Alain Peeters

Tableau des matières

Introduction.....	6
Pratiques agricoles	8
Historique de l'agro-écologie	11
Lutte biologique	12
Bande herbeuse.....	14
Aspect morphologique	15
Habitats	17
Les Carabidae comme bioindicateurs	18
Limace.....	19
Description et classification.....	19
Aspect social.....	23
Objectifs	23
Résumé.....	24
Matériels et méthodes	24
Sites d'étude.....	24
Protocole d'échantillonnage	26
Carabidae.....	26
Limaces	27
Période	28
Pièges à fosse vs pièges à bière.....	28
Aspect social	29
Analyse des données.....	29
Les indices de diversité biologique.....	29
Groupement des Carabidae via une analyse multivariée	31
La recherche d'espèces indicatrices des différents groupes.....	32
Lien entre carabe et limace	33
Résultats	33
Carabidae.....	33
Analyses multivariées.....	38
Traits écologiques.....	38
Limaces	38

Lien carabes et limaces.....	39
Aspect social.....	41
Discussion.....	45
Carabidae.....	45
Analyse des indices de diversités.....	48
Analyse multivariée de la composition.....	49
Recherche d'espèces indicatrices.....	51
Limaces.....	51
Analyse des indices de biodiversité.....	52
Lien carabes et limaces.....	52
Aspect social.....	53
Conclusion.....	55
Bibliographie.....	56

Remerciement

Je remercie mon promoteur, M. Alain Peeters pour l'aide qui m'a apporté durant ce mémoire. Il m'a donné l'opportunité de travailler sur un groupe d'arthropode qui est vraiment extraordinaire en diversité. Il m'a permis d'évoluer dans ma passion envers l'entomologie. De plus, j'ai pu faire de nombreuses rencontres avec des agriculteurs et éleveurs qui m'ont donné une autre vision bien plus réaliste de ce dur métier.

Je remercie également M et Mme. Poelinck pour m'avoir accueilli et logé lors de mon stage dans leur magnifique maison en campagne. Ce sont eux qui m'ont facilité la recherche de candidats pour mon questionnaire. Sans eux, je n'aurais jamais pu être en contact avec des agriculteurs.

Je remercie évidemment tous les agriculteurs et agricultrices de m'avoir accordé du temps pour répondre à mes questions. Leur point de vue sur l'agriculture en général et leurs pratiques était très intéressant.

Je remercie aussi M. MarcDufrêne pour m'avoir montré sa collection de Carabidae située à Gembloux et m'autorisé à l'utiliser lors de ce TFE. Je lui suis reconnaissant pour l'aide fourni au niveau du matériel, de l'identification des Carabidae et de l'analyse des données. Je remercie également Mme. Amandine Collignon pour sa précieuse aide dans l'analyse statistique de mes données.

Je remercie aussi Mme. Anne-Laure Degoes qui m'a fourni le matériel nécessaire pour ce stage et a pu répondre à mes questions.

Je remercie particulièrement Emilie Pêcheur et M. Henrick pour la précieuse aide qu'ils m'ont apporté sur la compréhension des Carabidae et le protocole à suivre pour correctement les échantillonner.

Je remercie également Mme. Liliane Leonard et M. Xavier Cucherat pour leurs aides dans l'identification des limaces recueillis.

Je remercie tout particulièrement Mme. Psallidas pour son aide dans la correction de mon mémoire. Mais aussi, mon compagnon, ma famille et mes ami(e)s pour m'avoir soutenue et aider durant ce TFE.

Résumé

L'agriculture biologique et agroécologique est une pratique de plus en plus courante. L'attraction du grand public pour les produits bio et les nombreuses interdictions de produits phytosanitaires par l'Union européenne influencent certainement cette tendance. Dans ces pratiques agricoles, il est important de connaître les différents services écosystémiques qu'offre la biodiversité en milieu agricole. De fait, cette biodiversité peut soustraire certains usages agricoles néfastes aux organismes comme l'utilisation de pesticides, le labour, etc. Un exemple est l'utilisation de Carabidae dont certaines espèces sont des prédateurs naturels des ravageurs de cultures, pour réduire l'utilisation d'insecticide dans les champs. De plus, l'agriculture conventionnelle est la cause d'une perte en biodiversité importante dans les milieux agricoles (diminution de 75 % d'espèces d'oiseaux, disparition d'espèces d'arthropodes notamment en carabides). Cette étude tient à montrer la liaison possible entre conservation et agriculture. En effet, cet arthropode est considéré par de nombreuses études comme un bioindicateur satisfaisant et un prédateur intéressant dans les cultures. Dans ce TFE, l'observation de l'abondance et des communautés en Carabidae et en limaces est effectuée dans trois parcelles de blé avec des pratiques agricoles différentes : agroécologique, conventionnelle et en agriculture de conservation. Les résultats montrent une relation entre les conditions météorologiques et l'abondance des organismes ainsi qu'un lien entre les pratiques agricoles et les communautés présentes. En effet, les parcelles avec des techniques agricoles plus durables ont une abondance d'espèces rares ou peu communes plus élevée que la parcelle intensive. La parcelle agroécologique montre un intérêt avec ces bandes enherbées, il y a un effet de bande. L'abondance en carabe et en espèce est plus élevée à proximité et dans les bandes. La parcelle en conventionnelle est très abondante en organismes, mais sont surtout des espèces communes. Quant à la parcelle de conservation, elle est la parcelle avec le plus de potentiel vu son histoire (10 ans de dépiècement et de traitement avant de passer en agriculture de conservation). Elle présente des espèces rares voire peu communes : *Carabus nemoralis*, *Carabus problematicus*, *Carabus auratus*. Ces espèces plutôt forestières peuvent être liées à la présence d'un bois autour de la parcelle. Au niveau de l'abondance des limaces, il y a une évolution du stade de développement entre avril et mai. L'agriculture agroécologique possède peu de limace due à un dépiècement récent des cultures qui peut fausser les résultats. Un lien a été mis en évidence entre l'abondance des carabes et des limaces dans les parcelles étudiées. Cependant, la variation de l'abondance entre les deux populations est due à des facteurs externes (conditions climatiques, traitements agricoles).

Mots-clés: agroécologie, agriculture de conservation, agriculture conventionnelle, biodiversité, Carabidae, limace.

Abstract

Organic and agroecological farming is an increasingly common practice. The attraction of the general public for organic products and the many bans on phytosanitary products by the European Union certainly influence this trend. In these farming practices, it is important to know the different ecosystem services that biodiversity offers in agricultural areas. Indeed, this biodiversity can remove certain harmful organisms agricultural practices such as the use of pesticides, plowing, etc. An example is the use of Carabidae, some species of which are natural predators of crop pests, to reduce the use of insecticide in the field. In addition, conventional farming is the cause of a significant loss of biodiversity in agricultural environments (75% decrease in bird species, disappearance of arthropod species, notably carabid beetles). This study aims to show the possible link between conservation and agriculture. Indeed, this arthropod is considered by many studies as a satisfactory bioindicator and an interesting predator in crops. In this research, observations of abundance and communities in Carabidae and slugs are made in three plots of wheat with different agricultural practices: agroecological, conventional and conservation agriculture. The results show a relationship between weather conditions and the abundance of organisms as well as a link between farming practices and the communities present. Indeed, plots with more sustainable farming techniques have a higher abundance of rare or unusual species than the intensive plot. The agroecological plot shows an interest with its grass strips, there is a band effect. Abundance in carabid beetles and in species is higher near and in the grass bands. The plot in conventional agriculture is very abundant in organisms, but these are mostly common species. As for the conservation plot, it is the one with the most potential given its history (10 years removing stones) and treatment before moving into conservation agriculture). It presents rare or even uncommon species: *Carabus nemoralis*, *Carabus problematicus*, *Carabus auratus*. These species, mostly found in forests, may be related to the presence woods around the plot. At the level of slug abundance, there is an evolution of the development stage between April and May. The agroecological agriculture has little slug due to a recent crop that can skew the results. A link between the abundance of carabid beetles and slugs was found in the studied plots. However, the variation in abundance between the two populations is due to external factors (climatic conditions, agricultural treatments).

Keywords: agroecology, conservation agriculture, conventional farming, biodiversity, Carabidae, slug

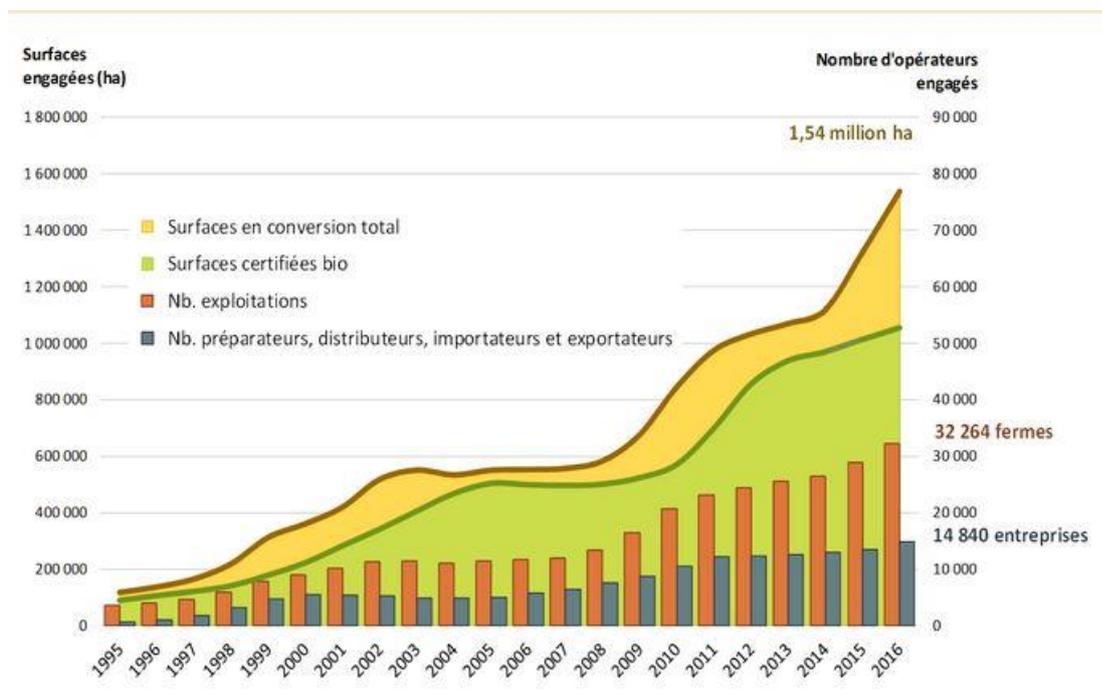
Introduction

Actuellement, nous assistons à la 6^{ème} extinction de masse d'espèces animales et végétales causée principalement par les activités anthropiques. Celle-ci a même donné lieu à une nouvelle période géologique, l'Anthropocène montrant l'influence d'Homo sapiens sur l'évolution des écosystèmes (Pievani, 2013). En effet, à l'échelle globale, la libération de gaz à effet de serre, notamment le méthane et le dioxyde de carbone, provoque divers changements climatiques. A l'échelle locale, les modifications et fragmentations des habitats naturels et semi-naturels occasionnent une vague d'extinction de nombreuses espèces (Dufrêne, 1992).

Au niveau local, les pratiques agricoles sont l'une des causes de la fragmentation de l'habitat et de son homogénéisation. Dans le paradigme d'après-guerre et de la révolution verte, l'agriculture s'est intensifiée et mécanisée via l'import d'intrants chimiques exogènes et la conception de nouvelles machines pour faciliter le travail de l'agriculteur. L'agriculture mixte et diversifiée s'est simplifiée au cours des années. Il résulte de ces changements des externalités positives (un milieu avec moins de ravageurs, à forte productivité), mais aussi des externalités négatives (pollutions diverses, disparition de la biodiversité, érosion des sols, perte de fertilité, etc.). Pour rappel, l'agriculture exploite l'environnement et les ressources « naturelles » pour en extraire une production utile à l'Homme (nourriture, textiles, etc.). Ainsi, les écosystèmes nous fournissent des services écosystémiques (Sylvester & Rhode, 2017 ; Reboud & Malezieux, 2015). Il existe plusieurs définitions pour expliquer ces services. On peut le définir comme les bénéfices que les humains peuvent obtenir directement ou indirectement des fonctions des écosystèmes (Gliessman, 2015) ou encore la gamme de services fournis par les écosystèmes qui est fondamentale pour le bien-être, la santé, la survie et le moyen de subsistance des Hommes (De Groot et al., 2012). Il est à souligner qu'au niveau économique, ces services rapportent 125 000 milliards \$/ an au niveau mondial (TEEB, 2010). Il existe quatre types de services : approvisionnement, culturel, régulation et support). Les services d'approvisionnement sont les produits tirés des écosystèmes tels que la nourriture, les matériaux, les médicaments, etc. Les services de régulation sont les avantages assurés par le bon fonctionnement des écosystèmes comme la pollinisation, la diminution du risque de pullulation, la régulation du climat, etc. Les services

culturels représentent les apports non-matériels de la biodiversité entre la relation de l'Homme avec l'environnement (lieux récréatifs comme les parcs, etc.). Les services de soutien permettent de maintenir les autres services en assurant le bon fonctionnement de la biosphère. Il faut souligner que l'agriculture fournit des services de régulation et culturel. Les services de régulations fournissent un contrôle sur les ravageurs et les cultures, une amélioration de la qualité de l'eau et une régulation du climat. Dans le cadre de ce mémoire, les Carabidae exercent un service de régulation en contrôlant la population de limaces. Les services culturels sont la beauté du paysage, l'éducation, la récréation et le tourisme (Power, 2010).

Pour une majorité d'agriculteurs, l'agriculture et l'écologie restent incompatibles. Néanmoins, de plus en plus d'agriculteurs passent progressivement à l'agriculture biologique. Inventée en 1970 pour s'opposer à l'agrochimie, elle ne cesse de progresser depuis les années 2000 (Figure 1). En France, les surfaces biologiques en 2016 ont franchi la barre symbolique des 5% de la SAU (Surface Agricole Utile). Dans l'UE, cette surface est estimée à 6,2% de la SAU (Agence BIO, 2016).



Source : Agence BIO/OC

Figure 1. Evolution des opérateurs et des surfaces certifiées bio de 1995 à 2016.

Il existe plusieurs techniques pour associer la biodiversité à l'agriculture et avoir ainsi une agriculture plus durable et à long terme (agro-écologie, agriculture biologique, agriculture sans labour, etc.) .Dans le cadre de cette étude, seule l'agro-écologie sera vu en détails.

Pratiques agricoles

Le travail du sol

Le travail du sol se base sur trois critères : la profondeur du travail, la réalisation ou non d'un retournement et le degré de mélange des horizons. (Labreuche et al., 2007)

La profondeur du travail peut être :

- Superficielle, s'effectuant à une profondeur de 0 cm à 15 cm,
- profond, affectant toute l'épaisseur de la couche arable allant de 15 cm à 30 cm de profondeur,
- très profond, concernant le travail à des couches en deçà de la couche arable allant de 40 cm et plus.

Le retournement du sol modifie les horizons du sol et les mélangent. Cette pratique a pour but de remonter les horizons profonds et d'enfouir les résidus végétaux présents à la surface.

Le mélange d'horizon permet un mélange des éléments de surface dans les couches travaillées et crée des perturbations des horizons du sol. (Gobat, 2003; Brown, 1977)

Il existe plusieurs pratiques agricoles pour travailler le sol (Labreuche et al., 2005 ;Labreuche, 2007 ; Barthélémy, 1987) :

- le labour : Technique de retournement des sols et mélange des horizons permettant d'enfouir les résidus des précédentes cultures pour mieux contrôler les ravageurs et les graines adventices et de répartir la fumure et l'amendement sur toute l'épaisseur de la couche arable. Profondeur : 20 à 30 cm)
- le pseudo-labour : Technique ressemblant au labour mais sans retournement de sol. L'objectif est le même que le labour sauf que l'enfouissement des résidus végétaux est partiels.
- Le décompactage : Technique sans retournement du sol ni mélange d'horizons qui a pour but de fragmenter ou fissurer les zones compactes dans les couches

arables pour une meilleure capacité d'infiltration de l'eau et d'enracinement.

(profondeur : 15 cm à 30 cm)

- Le sous-solage : il correspond à un décomptage sur couche profonde s'effectuant souvent après un labour ou un pseudo-labour (40 cm de profondeur) qui permet d'augmenter la perméabilité et la porosité du sol en cassant les couches profondes.
- Le travail superficiel : Il s'effectue à des profondeurs de quelques centimètres. Les résidus de culture sont incorporés uniquement dans les couches travaillées et sans retournement. Il existe deux catégories de travail superficiel ayant chacun un rôle différent : le travail entre 5 et 8 cm et le travail entre 10 et 15 cm. La première catégorie place une plus grande quantité de résidus en surface pour limiter le ruissellement et l'érosion et pour obtenir un meilleur faux semis et un lit de semences plus grossier. La deuxième catégorie produit un meilleur ameublissement du sol, une incorporation des résidus plus aboutis. Plusieurs itérations existent pour travailler le sol superficiel : le faux-semis, le déchaumage, le semi-direct (SD) et le lit de semences. Le premier permet d'éliminer les adventices mécaniquement et de mélanger les graines de la culture précédente. Le second est un travail superficiel s'effectuant à une profondeur de 0 à 10 cm. Les chaumes et les restes de pailles sont enfouis pour améliorer la décomposition du sol et le contrôle des adventices. Il peut s'effectuer dans les parcelles avec ou sans labour. Avec labour, il améliore l'émiettement de la terre et le mélange des résidus. Sans labour, il aide à la préparation du lit de semences. Le troisième est une technique d'implantation des cultures se réalisant à une profondeur de 2 à 10 cm qui s'effectue uniquement sur la ligne de semis. Il existe aussi le semi direct sur couvert végétal (SDV) qui s'effectue uniquement sur le couvert végétal vivant ou mort Le dernier est l'objectif du travail superficiel, ce lit permet d'assurer une germination correcte et améliorer les conditions de levées.

Itérations techniques

Les techniques culturales sans labour (TCSL)

Elles regroupent l'ensemble des pratiques agricoles se caractérisant par l'absence de retournement du sol. Ces techniques agricoles vont du pseudo-labour au semis-direct. Ainsi, le labour a été supprimé de ces techniques. Plusieurs systèmes de production utilisent ces techniques comme l'agriculture biologique ou encore l'agroécologie. Ces techniques ne sont pas nouvelles, elles ont été développées à la fin des années soixante mais leurs usages étaient limités. A partir des années nonante, elles ont été présentées une recrudescence, favorisée par la PAC*. Ces itinéraires sont variés et touchent des degrés différents de simplification du travail du sol allant du travail profond à l'abandon du travail du sol.

Les techniques de conservations du sol (TCS)

Ces itinéraires se limitent à un travail superficiel du sol et réduisent les perturbations verticales du sol. Elles ne présentent pas de retournement du sol ni d'inversion d'horizons. Le concept TCS ne garantit pas une biodiversité ou une durabilité accrue. Ce n'est qu'associé aux services environnementaux, au détriment d'intrants et en réduisant au maximum l'usage de pesticides qu'il est favorable à la biodiversité et durable. Ce type d'association se trouve en agriculture biologique, en agroécologie ou encore en agriculture de conservation. (Chabert, 2017; Soltner, 2000)

L'agriculture de conservation dans sa forme optimale est caractérisée par un travail minimum du sol, la mise en place de rotation et d'associations culturales pertinentes et l'introduction d'un couvert végétal permanent. Ces dispositifs permettent de protéger le sol, de lutter contre les bio-agresseurs et de favoriser l'activité biologique. (Chabert, 2017; FAO, 2011).

Il a été démontré que la réduction du labour a un impact sur la diversité et l'équilibre des communautés en Carabidae par rapport au labour traditionnel (Cárcamo, 1995). De fait, une réduction de cette pratique peut améliorer la diversité en ennemis naturels des ravageurs de cultures à travers une plus grande diversité végétale et une structure plus hétérogène (Stinner & House, 1990).

*PAC : Politique agricole commune = Ensemble des dispositions prises par les institutions de la Communauté européenne en matière agricole (production et fonctionnement des marchés) (Larousse, 2007)

Historique de l'agro-écologie

Agroécologie ou agro-écologie est un concept inventé au départ par les agriculteurs eux-mêmes avant d'être repris par des scientifiques. Ce concept regroupe l'agriculture et l'agronomie. Elle désigne selon l'usage : une discipline scientifique, un mouvement social ou un ensemble de pratiques agricoles. Le terme apparaît pour la première fois en 1928 utilisé par un agronome américain, Basil Bentsen, pour décrire l'utilisation de méthodes écologiques appliquées à la recherche agronomique. Elle continue à se développer dans les années 60-70 en tant que science, mais elle émerge véritablement dans les années 80 pour lutter contre les conséquences désastreuses de la révolution verte (dégradation des sols et de la biodiversité, impact économique, etc.). (Bellon et al, 2009)

Il est difficile de définir l'agroécologie, étant donné que la définition demeure polysémique. Dans un premier temps, l'agroécologie est une tentative d'intégrer les principes de l'écologie à la redéfinition de l'agronomie. Dans un second temps, l'agroécologie s'élargit au système alimentaire (Gliessman, 1998 ; Stassart et al., 2012). Une définition possible est : « L'agroécologie est l'application de l'écologie à l'étude, la conception et la gestion des agroécosystèmes durables » (Gliessman, 1998). Pour rappel, un agroécosystème ou agrosystème est un écosystème modifié par l'Homme à des fins généralement alimentaires (Agro-ecosystemHealth Project,1996).

Cette science a deux enjeux.

- **Le changement d'échelle** : d'un agroécosystème, il faut passer à une parcelle ou un plant.
- **L'interdisciplinarité.**

Elle possède deux axes majeurs pour obtenir une meilleure durabilité des écosystèmes : maintenir ou incorporer de la biodiversité végétale dans les agroécosystèmes et améliorer le fonctionnement du sol (Deguine & Ratnadass, 2013). De plus, l'agroécologie vise à (Reboud et al., 2013) :

- Améliorer les régulations biologiques via les chaînes trophiques : en privilégiant les relations naturelles entre proies-prédateurs pour gérer les ravageurs et favoriser les cultures

- Améliorer les interactions biotiques positives : en valorisant les symbioses naturelles
- Favoriser l'agencement des peuplements : en augmentant les cultures associées et l'utilisation de mélanges floraux limitant la propagation des bio-agresseurs
- Favoriser la complémentarité des systèmes de production : en gérant les produits et les déchets d'un système pouvant être utile à un autre système

En France, l'agroécologie est apparue tardivement dans les années 2000. Cela est dû principalement à une dissociation de l'agronomie et de l'écologie. De plus, il est nécessaire, pour faire évoluer de nouveaux systèmes agricoles basés sur l'agroécologie, de créer, voire d'améliorer les relations entre agriculteurs et scientifiques pour associer étroitement connaissances scientifiques et savoirs locaux (Reboud & Malezieux, 2015).

Lutte biologique

La lutte biologique est définie par l'Organisation Internationale de la Lutte Biologique (OILB) comme « utilisation par l'homme d'ennemis naturels, tels que des prédateurs, des parasitoïdes ou des agents pathogènes pour contrôler des populations d'espèces nuisibles et les maintenir en dessous d'un seuil de nuisibilité ». Elle est une discipline scientifique basée sur la connaissance de la biologie et des relations complexes entre les différents organismes concernés. Cette lutte repose sur le postulat qu'une espèce envahissante se multiplie sans limite dans une aire d'introduction, tant qu'elle ne rencontre pas ses ennemis naturels présents dans son milieu d'origine. Elle ne cherche pas à éradiquer totalement les espèces ravageuses, mais à réduire suffisamment les effectifs pour les amener en dessous d'un seuil de nuisibilité, écologique et/ou économiquement acceptable (Suty, 2010 ; Deback, 1991).

Trois méthodes existent pour effectuer une lutte biologique (Hatt et al., 2015) :

- La méthode classique : importation et établissement de nouveaux ennemis naturels exogènes à l'environnement.
- La méthode augmentative : accroître le nombre d'ennemis naturels endogènes dans l'environnement par la libération d'individus multipliés en laboratoire ou en les attirant par des signaux chimiques émis volontairement.
- La méthode conservatoire : maintenir les ennemis naturels déjà présents et établis dans l'environnement en aménageant des habitats appropriés.

La lutte biologique dite de conservation ou la méthode conservatrice est donc une composante de la lutte biologique (Gurr et al., 2004). Elle consiste à étudier et à tenter de neutraliser les facteurs influençant négativement les ennemis naturels ou auxiliaires de culture. Cette diminution permet d'augmenter leur présence et leur efficacité. Cette lutte est basée sur l'hypothèse de la présence localement d'ennemis naturels. Il y a plusieurs moyens d'action indirecte pour les attirer, les maintenir et les protéger (Sforza et al., 2013):

- Limiter les pesticides surtout à large spectre d'action qui mettent longtemps à se dégrader et persiste dans l'environnement.
- Améliorer la disponibilité en nourriture alternative pour favoriser les espèces parasites et prédatrices (nectar, pollen, résidus). Par exemple, les résidus agricoles peuvent être laissés plutôt qu'enterrés ou brûlés, ce qui attire les décomposeurs et leurs prédateurs (ex : Carabidae).
- Fournir un abri aux ennemis naturels pour hiverner, se reproduire.
- Favoriser un habitat avec la présence d'hôtes, proies de substitution ou d'appoints disponibles. Cet habitat est souvent composé de plantes dites « mauvaises herbes » qui vont avoir un rôle important dans le maintien et la reproduction des auxiliaires de cultures. (par exemple : bande enherbée)

Pour augmenter la présence et l'efficacité des ennemis naturels (Suty, 2010):

- Favoriser la présence de zones boisées près des zones de cultures
- Favoriser la présence de haies composites autour des parcelles
- Favoriser la présence de plantes sauvages productrices de pollen ou de nectar autour des parcelles cultivées ou en interplantation par exemple avec les espèces ligneuses
- Pratiquer les rotations relais (par ex, blé puis coton avec résidus entretemps)
- Pratiquer le compagnonnage végétal ou la culture en bandes, où des plantes présentant des attributs différents sont plantées dans les mêmes parcelles
- Favoriser l'hétérogénéité des paysages

Bande herbeuse

Plusieurs agroécosystèmes ne sont pas favorables à la présence d'ennemis naturels. Pour les favoriser, un aménagement des habitats doit être effectué. L'un de ces aménagements est l'installation de bandes fleuries ou enherbées dans les cultures (Landis et al., 2000).

La bande enherbée est bénéfique aux auxiliaires de cultures pour plusieurs raisons citées antérieurement (ressources alimentaires, abri pour la diapause hivernale et la reproduction, proies alternatives pour les prédateurs/parasites). Cependant, la présence d'une bande ne signifie pas nécessairement une lutte biologique. La présence d'espèces végétale, dans la bande enherbée, capable d'attirer les ennemis naturels, de les maintenir dans le milieu tout en leur laissant la possibilité de migrer dans les cultures adjacentes est le facteur essentiel pour lutter contre les ravageurs. De plus, il est nécessaire d'avoir une compatibilité entre les prédateurs et les variétés végétales ou le décalage temporel entre l'apparition des ennemis naturels et les ravageurs. Ainsi, il est primordial de choisir correctement le mélange à semer dans les bandes enherbées. Il doit, en effet, présenter des traits fonctionnels qui peuvent être multiples. Ces traits peuvent être chimiques, architecturaux ou phénologiques. Le premier permet avec des phéromones particulières d'attirer ou de repousser les insectes. Le deuxième concerne l'aspect morphologique de la plante : sa disponibilité en pollen et nectar et sa couleur attractive. Le troisième concerne l'apparition des ressources alimentaires (date de floraison) (Hatt et al., 2015). Il est à souligner que les mélanges floraux ont des caractéristiques orientées en Europe par les politiques propres à chaque Etat subventionnant leur implantation (Haaland et al., 2011).

Les mélanges peuvent être composés de plantes annuelles mais aussi de plantes pérennes. Dans le deuxième cas, les bandes doivent être entretenues par le fauchage. Cependant, la fauche diminue les auxiliaires de cultures. De fait, il est nécessaire de laisser une partie non-fauchée pour sauvegarder ces arthropodes et maintenir leur biodiversité.

Ces habitats non cultivés sont essentiels aux carabes dans le cadre de la dispersion, l'oviposition, hibernation, reproduction et source de nourriture intermédiaire (Holland & Luff, 2000).

De plus, la présence de partie non cultivée dans les cultures permet de limiter l'érosion des sols et d'effectuer une agriculture plus écologique. Le sol non recouvert est souvent sensible

à l'érosion, notamment pluviale pluviosité donnant lieu à des problèmes au niveau agricole. L'érosion peut abimer les semis obligeant de travailler la parcelle par morceau (à vérifier dans article). Les dégâts ne se limitent pas aux terres agricoles, l'érosion peut toucher des habitations en cas de précipitations importantes et peut toucher les centres d'épurement des eaux. La mise en place d'un recouvrement du sol permet de protéger le sol contre l'érosion et est favorable à la biodiversité (Auzet & Guerrini, 1992).

Carabidae

Les carabidés font partie de l'ordre des Coléoptères. Avec plus de 500 000 espèces décrites, ce groupe est considéré comme le plus riche du monde animal (Du Chatenet, 2005). Chaque année, des espèces nouvelles sont découvertes, surtout dans les régions tropicales. Ces nombreuses espèces de formes et de revêtements incomparables expliquent l'attraction de cet ordre auprès des naturalistes et des collectionneurs. Il y a ainsi plus 60 000 espèces très diversifiées avec 2 700 en Europe dont, 1000 en France. (Desender & Dufrêne, 2006 ; Kromp, 1999).

Aspect morphologique

Les Carabidae du sous-ordre des Adephaga et de la superfamille des Carabidea ont un corps divisé en trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen.

La tête se compose des yeux, des antennes, des pièces buccales avec des mandibules et des palpes maxillaires et labiaux. Les pièces buccales diffèrent suivant le régime alimentaire de l'organisme. Les mandibules et maxilles seront plus grandes, dentées ou ciliées chez les espèces prédatrices et plus réduites chez les espèces coprophages et floricoles. Deux-tiers des carabidés sont carnivores plus ou moins spécialisés et les autres étant soit phytophages, soit omnivores. Le thorax se divise en prothorax portant les pattes antérieures, mésothorax composé des pattes intermédiaires et des élytres et métathorax possédant les pattes postérieures. Chez les Carabidés, les trochanters (deuxième article de la patte) à la base des hanches postérieures sont très développés et les tarsi sont composés généralement de 5 articles. Les pattes locomotrices sont adaptées au mode de vie de l'animal. Les prédateurs coureurs ont des pattes grêles et longues, alors que les espèces volantes auront des pattes réduites. Chez les Carabidae, le mode de locomotion le plus utilisé reste la marche, ils peuvent atteindre une vitesse élevée grâce à leurs longues pattes, même si à l'échelle

écologique leurs déplacements restent locaux. L'abdomen est composé de neuf segments. Lorsque l'insecte ne vole pas, une grande partie de l'abdomen est recouvert par les élytres (Du Chatenet, 2005).

Le mode de dispersion chez les carabidés dépend de leur taille et de leur appareil alaire. Cette dispersion permet de coloniser divers milieux, mais également d'échapper à diverses perturbations anthropiques ou environnementales. Les carabidés peuvent être classés en quatre groupes suivant leur mode de dispersion : les brachyptères, les macroptères, les dimorphiques et polymorphiques. Les brachyptères sont inaptes à voler à cause de la réduction de la paire d'ailes et utilisent la marche pour se déplacer. Ce sont souvent des espèces de grande taille qui peuvent parcourir de grandes distances. On les trouve généralement dans le milieu forestier. Les macroptères ont des ailes fonctionnelles, mais suivant le développement de leurs muscles alaires, ils sont capables ou pas de voler. Ces espèces se localisent dans les milieux instables, tels que les landes, les cultures, etc. Les deux derniers groupes comportent des espèces avec des degrés variables de développement du système alaire (Dufrêne, 1992).

Il existe plusieurs caractéristiques pour différencier les carabidés des autres coléoptères : une taille entre 2 et 35 mm, des pièces buccales de type broyeur et souvent proéminente (prognathe), le prothorax s'articulant avec l'arrière-corps, une hanche postérieure passant sur le premier segment abdominal et débordant sur le deuxième, trochanters postérieurs bien développés, l'abdomen constitué de neuf segments dont la première paire est toujours atrophiée face ventrale, les pattes postérieures non-natatoires, les antennes avec onze articles et les tarses avec cinq articles. Ils ont une métamorphose complète passant par au moins quatre stades (œuf, larve, nymphe et adulte) (Desender&Dufrêne, 2006;Du Chatenet, 2005 ; Jeannel,1941).

Le cycle d'activité saisonnière dépend d'une espèce à l'autre et de la région. En région tempérée, les espèces sont classées en deux catégories : celles qui se reproduisent au printemps et dont les larves vont éclore en automne et celles qui ont une reproduction automnale et dont les larves hibernent pour terminer leur développement au printemps ou automne suivant, si la larve effectue la dormance estivale (Dufrêne, 1992). Les espèces carabiques ont une durée de vie généralement d'un an. Elles meurent le plus souvent après

la reproduction, excepté certaines espèces de grandes tailles qui ont un cycle de vie plus long.



Source personnel

Brachinus crepitans

Habitats

La distribution des coléoptères, notamment des Carabidae en Europe, résulte de l'évolution de diverses lignées. Celles-ci se sont, soit répandues, soit ont régressé suite à divers bouleversements géologiques de ce continent depuis fin du Permien (déplacement des mers, naissance de montagne, période de glaciation, etc.) (Du Chatenet, 2005).

Les carabidés sont présents dans tous les habitats terrestres, allant des milieux naturels et semi-naturels au milieu forestier, voire les milieux perturbés par l'activité humaine. Ce sont, pour la plupart, des insectes terricoles, c'est-à-dire vivant dans ou sur le sol. Les assemblages d'espèces carabiques permettent de caractériser les habitats et sont d'excellents indicateurs de l'intégrité des milieux (Desender & Dufrêne, 2006). En effet, il a été prouvé que les carabidés étaient sensibles à la structure de la végétation, mais aussi aux pratiques agricoles et aux conditions climatiques (Brose, 2003 ; Vingere, 2010).

Les espèces présentes en milieu ouvert sont surtout des phytophages et des carnivores. De nombreuses études ont montré que ces espèces pouvaient jouer un rôle dans la régulation des ravageurs (carnivores) et des adventices (phytophages) (Bohan et al., 2011 ; La densité en espèces de petite taille est plus importante en milieu ouvert (10 individus par m² en moyenne) que celles des espèces de plus grandes tailles (Thiele, 1977).

Les Carabidae comme bioindicateurs

La bioindication est avant tout un concept qui peut s'appliquer dans de nombreux domaines environnementaux et qui peut utiliser de nombreuses méthodes. Le domaine le plus confronté à la bioindication est la conservation de la nature. Dans ce contexte, elle a pour but d'utiliser les organismes vivants de manière à essayer d'évaluer les qualités d'un milieu naturel (Blaise, 1990).

Selon Blandin, un bioindicateur est « un organisme ou un ensemble d'organismes qui, par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques, permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ». Dans le domaine agricole, ces indicateurs permettent aux agriculteurs d'observer et d'évaluer les effets de leurs techniques agricoles et les adapter si nécessaire (Mille Lieux, 2016). De plus, les carabides peuvent jouer un rôle dans le contrôle des ravageurs dans les agroécosystèmes. En effet, ils peuvent lutter contre les pucerons, larves de lépidoptères ou encore limaces connus pour être des nuisibles des cultures (Holland & Luff, 2000).

Dans le cadre de ce TFE, le bioindicateur est défini comme un assemblage d'organismes. Il s'agit d'un assemblage de carabides qui vont renseigner sur l'état et le fonctionnement d'un agroécosystème. Dans ce contexte-ci, il est intéressant d'utiliser un indicateur biologique autre que physico-chimique pour intégrer l'ensemble des perturbations environnementales (utilisation de pesticides, perturbations des horizons du sol, etc.).

Un bioindicateur idéal doit avoir les caractéristiques suivantes (Bispo et al., 2007) :

- Être connu scientifiquement (sa biologie, son écologie, son alimentation, sa reproduction, sa place dans la chaîne trophique, son exposition aux polluants et sa capacité de résistance)
- Être lié ou corrélé à des fonctions de l'écosystème.
- Intégrer des propriétés ou des processus physiques, chimiques et biologiques du sol.
- Pouvoir rendre compte des méthodes de gestion des sols et des différents types de pollution des sols
- Présenter des qualités de mesure (précision, fiabilité, robustesse)

- Être validé (connaissance de l'amplitude des réponses liées aux variations naturelles)
- Être facile à utiliser et d'un coût abordable (échantillonnage et détermination).

Les assemblages de Carabidae sont d'excellents indicateurs d'intégrité du milieu, étant donné qu'ils sont très caractéristiques des habitats occupés (Dufrêne & Desender, 2006). De fait, les carabidés sont extrêmement sensibles aux modifications de l'habitat, d'où une diminution du nombre d'espèces dans les cultures après la baisse d'habitat semi-naturel (Yunhui Lui et al., 2010). De plus, ce sont des arthropodes faciles à attraper, à identifier et présentant une réponse rapide aux différentes pratiques agricoles (Holland & Luff, 2000).

Limace

Description et classification

Les limaces et les escargots terrestres font partie de la classe des gastéropodes et de la sous-classe des pulmonés. Ils sont caractérisés par la torsion de leur masse viscérale. Ils ont une tête comportant les yeux et les tentacules ainsi que la radula et une masse viscérale en partie recouverte par le manteau. Ces organismes se déplacent à l'aide de leur pied ou sole lubrifiée par du mucus laissant une trace caractéristique. Les escargots présentent une coquille externe développée, alors que les limaces ont subi une réduction progressive de leur coquille jusqu'à devenir interne. L'absence de coquille chez les limaces est compensée par leur capacité à s'enfoncer profondément dans le sol (jusqu'à un mètre, voire plus) ou à pénétrer dans les fissures de rochers, les souches pourries. Les limaces sont un groupe polyphylétique montrant une convergence évolutive (Kerney & Cameron, 2015 ; South, 1992). Ce sont des organismes sensibles aux conditions hydriques. Une température élevée provoque une production de mucus plus importante pour se déplacer et augmente la déshydratation (Brun et al, 2014).

La classification des gastéropodes terrestres est largement basée sur les caractéristiques de la coquille, ce qui rend la classification des limaces plus complexe et toujours sous débat. La détermination des limaces se fait par leur pigmentation corporelle et la structure de leurs organes reproducteurs (Slotsbo, 2012). Cependant, la pigmentation peut varier suivant l'âge, le régime alimentaire ou l'environnement, et les organes reproducteurs peuvent être sujets à des variations ontogéniques, saisonnières et physiologiques (Barker, 2001). Plusieurs espèces européennes sont difficiles, voire impossibles à distinguer par de simples aspects

morphologiques. Les techniques moléculaires semblent devenues un outil important dans l'identification des limaces (Slotsbo, 2012).

Dans les études, quatre espèces sont surtout étudiées. Ce sont les espèces de limaces causant le plus de dommages dans les cultures (Revu UFA, 2010 ; Lambion et al., 2004) : *Deroceras reticulatum* (limace grise), *Arion hortensis* (limace des jardins ou limace noire), *Arion lusitanicus* (limace brune portugaise) et *Arion rufus* (la grande loche).

Deroceras reticulatum est un gastéropode terrestre de la famille des Agriolimacidae du genre *Deroceras*. Elle mesure 3.5 à 5 cm à l'état adulte avec une couleur allant du brun au gris à motifs réticulés et avec un mucus incolore à blanchâtre. Les juvéniles se différencient des individus adultes par leur plus petite taille et leur corps de couleur rouge violacé. Cette espèce se retrouve dans les haies, les jardins, les prairies et les zones de culture. Elle vit en surface et est capable de se déplacer de 6 à 7 mètres par nuit. Elle est d'une grande voracité et polyphage. Elle est capable de consommer 1/3 de son poids en une nuit. Elle est connue pour occasionner d'importants dégâts dans l'agriculture. (Kerney & Cameron, 2015 ; Legrand et al., s.d)

Arion hortensis est un gastéropode terrestre de la famille des Arionidae du genre *Arion*. Elle est petite avec une taille adulte entre 2,5 à 4 cm. Elle est caractérisée par sa couleur foncée avec un pied jaune à orange vif et un mucus jaune orangé. Les juvéniles se reconnaissent en générale par leur couleur bleu-gris et leur plus petite taille. Cette espèce très commune vit dans les jardins, les haies et les cultures. Elle se trouve souvent sous les pierres et feuilles mortes ou dans le sol. Elle est capable de se déplacer de 2 à 3 mètres par nuit, elle est omnivore. Sa période de ponte est au printemps. (Kerney & Cameron, 2015 ; Legrand et al.; De Winter, 1984).

Arion lusitanicus fait partie aussi de la famille des Arionidae du genre *Arion*. Cette espèce a été introduite en Europe par la Péninsule Ibérique. Elle est devenue une espèce invasive qui cause de nombreux dégâts dans les cultures agricoles (Kozłowski, 2000 ; Slotsbo & al, 2011). Elle peut atteindre une taille comprise entre 7 à 12 cm. Son corps a une couleur brunâtre à orangée, voire noire et les juvéniles sont reconnaissable par leur couleur variable avec des bandes latérales et leur petite taille. Elle vit dans les lieux cultivés, mais aussi non-cultivés

comme les prairies, haies ou bois. Elle a une capacité de migration élevée, du bord des parcelles vers les cultures (10 m par nuit) (Kerney & Cameron, 2015 ; Eulin, 2004).

Arion rufus fait aussi partie de la famille des Arionidae. Cette espèce est venue d'Amérique du Nord en Europe (Lauren & Whitlow, 2012 ; Hanna, 1966). Elle est principalement présente dans les forêts et prairies. Elle est de grande taille (10-15 voire 20 cm) avec un corps de couleur variable allant du blanc-jaunâtre au rouge brique avec de grandes rides oblongues. Elles se nourrissent essentiellement de plantes fraîches et parfois de charognes. Les juvéniles sont reconnaissable par leur plus petite taille et leur couleur blanchâtre. Elle se retrouve dans pratiquement tous types de milieux (bois, prairies, cultures, etc.) Elle est la cause de nombreux dégâts dans les cultures en se nourrissant des plantes. (Kerney & Cameron, 2015; Lauren & Whitlow, 2012; Eulin, 2004; Hanna, 1966)



Deroceras reticulatum



Arion hortensis



Arion lusitanicus



Arion rufus

Dégâts et solutions pour lutter contre ces ravageurs

Les limaces sont des ravageurs importants des grandes cultures (betteraves, colza mais aussi céréales). Ils peuvent occasionner d'importants dommages suivant la taille de la population, son activité et l'état de la culture (Brun et al., 2014). Ces gastéropodes provoquent la destruction de semis, de jeunes plantules, mais aussi des dégâts qualitatifs sur les feuillages et tiges, souillures et perforations de tubercules (Lambion, 2005).

Pour réduire les ravageurs, les agriculteurs du conventionnel utilisent de nombreux molluscides. Cependant, pour les agriculteurs en culture biologique ou agroécologique, les méthodes sont différentes. Pour limiter ces ravageurs, il faut réduire les facteurs les favorisant (Lambion, 2005) :

- Les choix de l'assolement
- Le travail du sol
- Limiter les abris et l'alimentation
- Favoriser les ennemis naturels (hérissons, Carabidae, oiseaux, etc.)

Certains assolements peuvent aider ces ravageurs à trouver des abris et l'alimentation (par exemple, plantation de colza ou de céréales). Le travail du sol défavorise ces ravageurs. En déchaumant, les œufs enfouis dans le sol sont remis en surface et se déshydratent par l'ensoleillement. Pour limiter les éléments les favorisant, l'agriculteur peut broyer et enfouir dans le sol les débris des récoltes. Les ennemis naturels ont un effet limité sur les ravageurs (Legrand et al.), mais ces auxiliaires de cultures rétablissent la biodiversité et limitent le développement de ces ravageurs dans les cultures.

Si ces mesures agronomiques ne fonctionnent pas, la lutte directe peut être effectuée. Pour l'effectuer correctement, plusieurs informations sur la population de limaces doivent être connues pour en optimiser l'efficacité (Lambion, 2005). L'agriculteur a besoin :

- d'estimer la population de limaces présentes pour savoir quel traitement utiliser.
- de connaître leur activité pour savoir où appliquer le traitement.
- d'évaluer le stade de culture pour relever les dégâts.
- de prendre en compte la météo.

Les traitements peuvent être divers : des pièges à bière, barrière anti-limace, un épandage de matières abrasives, un traitement répété autour des parcelles (répulsifs malodorants) ou encore l'utilisation de nématodes parasites (Lambion et al., 2004). En effet, des études ont montré que le nématode *Phasmarhabditi shermaphrodita* est un agent de contrôle biologique potentiel contre les limaces. Ce parasite est commercialisé et facile d'utilisation : il tue les limaces en diminuant sa faim. (Lambion, 2005 ; Speiser, Zaller & Neudecker, 2001 ; Glen, 1996 ; Wilson, Glen & George, 1993)

Cependant, cette étude s'intéressera uniquement à l'utilisation d'ennemis naturels pour lutter contre ces ravageurs et plus précisément, les Carabidae.

Aspect social

Un aspect social a été apporté dans cette étude. En effet, les problèmes environnementaux liés à l'agriculture sont connus depuis une décennie. Cependant, ce n'est que récemment que ces problématiques sont devenues un enjeu majeur en politique agricole. Des initiatives ont été mises en place, pour réconcilier l'agriculteur à l'environnement via des pratiques agricoles favorables à l'environnement (PAFE). Néanmoins, les agriculteurs ont des difficultés à passer le cap. L'hypothèse est que ces facteurs de blocage sont de deux ordres (Catten & Mermet, 1992):

- Les conditions technico-économiques des systèmes de productions
- Les facteurs psychologiques et sociaux

En effet, les pratiques alternatives ne sont pas assez claires actuellement, et les agriculteurs sont soumis à une forte pression psychologique et sociale en matière d'environnement. Il en résulte l'apparition d'une culpabilité et de dénégation du problème par les agriculteurs. Le problème se trouve dans la relation difficile entre les accusateurs et les agriculteurs qui freinent le changement de pratiques. Mais des études ont montré que les agriculteurs prennent de plus en plus conscience de leur impact sur l'environnement (individuellement ou en groupe) et qu'il y a une évolution des idées (Catten & Mermet, 1992).

Objectifs

Dans cette étude, trois objectifs sont visés :

- Y-a-t-il une différence d'abondance entre les Carabidae dans une parcelle en agroécologie, une parcelle en agriculture de conservation et une parcelle en agriculture conventionnelle ?
- Y-a-t-il une différence d'abondance entre les limaces dans une parcelle en agroécologie, une parcelle en agriculture de conservation et une parcelle en agriculture conventionnelle ?
- Existe-t-il un lien entre la présence d'espèces de carabidés et l'abondance en limace ?

- Y-a-t-il des communautés en Carabidae différentes dans les sites étudiés?
- Y-a-t-il un phénomène d'effet de bande dans la culture agroécologique ?
- Y-a-t-il une évolution dans la façon de penser chez les agricultures/trices sur leur métier ? Pensent-ils pouvoir changer de pratiques agricoles et connaissent-ils l'agroécologie et son potentiel ?

Résumé

L'agroécologie commence à se faire connaître du grand public et des agriculteurs. Quant à l'agriculture biologique, elle a augmenté de 20% en France. Avec une agriculture de plus en plus durable et respectueuse de l'environnement, il est important d'identifier et de comprendre les espèces utiles dans le milieu agricole. L'exemple dans cette étude est l'utilisation d'espèces de carabes pour lutter contre les limaces, un des ravageurs des cultures. Pour cela, il est essentiel de connaître leur biologie et leur activité pour pouvoir mettre en place des structures favorisant leur présence dans le milieu agricole comme les bandes enherbées. Cette lutte biologique est l'une des solutions proposées, pour diminuer dans un premier temps les intrants chimiques dans les cultures.

Matériels et méthodes

Sites d'étude

L'étude s'est déroulée aux Gâtines Rouges dans la commune de La Chaussée-d'Ivry, en Région Centre-Val de Loire dans le département d'Eure-et-Loire.

La ferme des Gâtines Rouges possède 66 hectares divisés en 27 parcelles (Figure 1). Cette ferme était en culture conventionnelle, mais depuis 2 ans, elle est devenue un projet en agroécologie dont le chef est monsieur Philippe Paelinck. En effet, les parcelles sont en non-labour et aucuns pesticides ne sont appliqués. A la place, des bandes enherbées de 3m de large ont été installées tous les 33m autour des parcelles. Ces bandes sont de différentes variétés : mélange de *Dactylis glomerata* (dactyles pelotonnés), *Festuca arundinacea* (fétuques élevées), tournière fleurie avec 15 espèces et mélange de *Trifolium repens* (trèfles blancs), *Medicagosativa* (luzerne). Ces espèces ont été choisies pour leur qualité fourragère et leur facilité d'entretien. Ainsi, ces bandes permettent d'enrichir le milieu en biodiversité,

notamment en arthropodes tels que les Carabidae et profitent à l'agriculteur, étant donné le potentiel de certaines espèces à lutter contre les ravageurs des cultures. Cependant, le projet s'applique au-delà des parcelles. De fait, la ferme présente deux marres qui ont permis d'attirer plusieurs espèces telles que des tritons sp., *Pelophylax ridibundus* (grenouilles rieuses) et de nombreuses espèces d'oiseaux: *Anas platyrhynchos* (canard colvert), *Gallinula chloropus* (gallinule poule d'eau), *Motacilla alba* (bergeronnette grise). Un couple de busards a aussi été observé aux alentours. L'agriculteur pratique aussi de l'apiculture avec la présence de plusieurs ruches d'*Apis mellifera mellifera* dans ces jardins et prochainement, il va recevoir des poules et des brebis. Il pratique aussi la permaculture et souhaite ouvrir dans les années à venir un centre de formation dans ce domaine. L'objectif de toutes ces installations est la vente de produits alimentaires biologiques (viandes, œufs, céréales, etc.) biologiques avec comme effet direct une augmentation de la biodiversité aux alentours.



Source : Philippe Paelinck

Figure 1. Assolement de la ferme des Gâtines Rouges pour 2018 et présentation des parcelles étudiées.

Une parcelle a été retenue pour effectuer l'étude: une parcelle de blé fourrager. Elle est entourée par des bandes enherbées implantées artificiellement et naturellement.

Des parcelles de la même culture qu'à la ferme des Gâtines Rouges ont été choisies en agriculture conventionnelle et en agriculture de conservation pour effectuer une comparaison entre les pratiques agricoles et les communautés en Carabidae et limaces. Ces parcelles se situent aux alentours de la ferme des Gâtines Rouges.

La parcelle en agriculture conventionnelle fait 65 hectares. L'agriculteur n'effectue aucun labour et son application d'intrants chimiques reste limitée.

La parcelle de blé en agriculture de conservation fait 100 hectares mais, les pièges ont été placés dans les 50 premiers hectares. Elle a été en conventionnelle pendant 10 ans et depuis quelques années, elle est en agriculture de conservation. Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'agriculture de conservation est une méthode de gestion des agro-écosystèmes qui a pour but une amélioration soutenue de la productivité, une augmentation des profits ainsi que de la sécurité alimentaire, tout en préservant et en améliorant les ressources et l'environnement. Elle est caractérisée par trois piliers : un travail minimal du sol, l'application d'une couverture végétale permanente du sol par un mulch vivant ou mort (paille) et une diversification des espèces cultivées en association et/ou dans la rotation. De plus, on utilise des intrants chimiques de base est utilisée de manière à ne pas détruire ou perturber les agro-écosystèmes.

Protocole d'échantillonnage

Carabidae

Pour la capture des Carabidae, les pièges à fosse ou piège de type barber (Knapp, M. & Růžička, J., 2012) ont été construits à l'aide de bouteilles transparentes en plastique d'une profondeur de 10 cm et d'un diamètre de 8.2 cm. Elles sont surmontées d'un grillage 1x1 cm. Ces pièges non-attractifs sont efficaces, pour attraper ces insectes souvent nocturnes et se déplaçant rapidement. Ils contenaient une solution : eau, polyéthylène glycol et 5 gouttes de détergent. L'éthylène glycol ou éthane-1,2-diol est le composé chimique le plus simple de la famille des glycols. Il est surtout utilisé comme antigel et fluide réfrigérant. Cette propriété d'antigel lui permet d'être utilisé comme solution de conservation des tissus organiques à

basse température. Cependant, l'éthylène glycol étant difficile à trouver et toxiques, du polyéthylène glycol ou macrogol a été utilisé. Cette substance moins dangereuse est composée des monomères d'éthylène glycol. Elle possède la propriété de conserver les organismes (Yue et al., 2012). Le détergent permet de diminuer la tension superficielle pour éviter la flottabilité des carabes. Ces pièges ont été placés de façon systématique dans les parcelles de blé. Dans la parcelle de blé en agriculture agroécologique, trois placettes de sept pièges ont été disposées en diagonale et séparée d'une distance de 15 m sauf dans les bandes enherbées, où la distance était de 5m (Figure 2). Dans la culture conventionnelle et la culture en agriculture de conservation, trois placettes de cinq pièges ont été disposées en place de façon systématique et distante de 15 m (cela évite les pseudorépétitions). Au total, 51 pièges à fosses ont été installés.

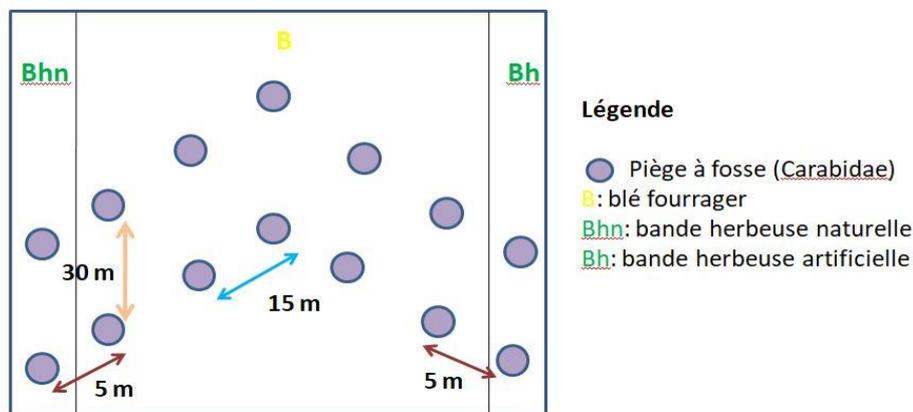


Figure 2. Disposition des pièges à fosse dans la parcelle agroécologie. Les autres parcelles ont deux pièges en moins par rangée à cause de l'absence de bandes herbeuses.

Limaces

Pour capturer les limaces, des pièges attractifs composés d'une bouteille en plastique remplie d'une solution (50 ml de bière et du sel) surmontée d'une tuile arrondie ont été installés. Ces pièges attractifs sont mis en place en même temps que les pièges à carabe. Nous avons ainsi douze pièges ont été installés dans la parcelle de blé fourrager dans la ferme des Gâtines Rouges et neuf pièges dans la parcelle conventionnelle et d'agriculture de conservation. Ils sont distants de 15 m horizontalement et 30 m verticalement, excepté dans les bandes herbeuses de 5 m (Figure 3). Au total, 30 pièges attractifs à limaces.

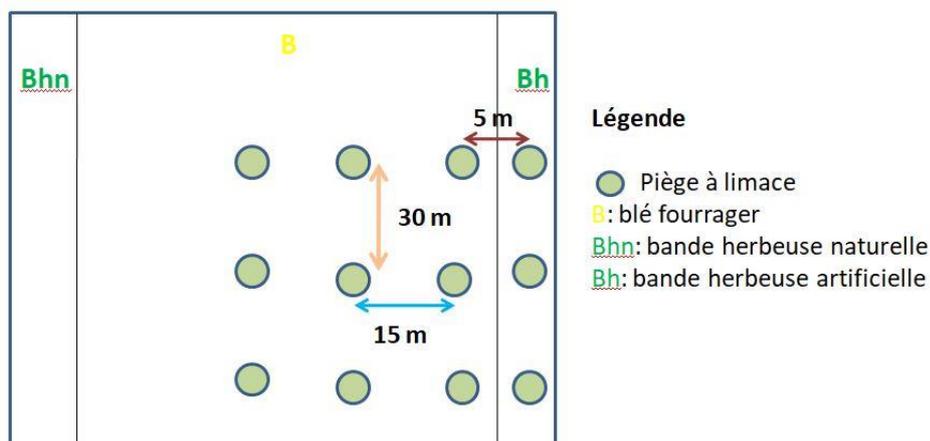


Figure 3. Disposition des pièges à bière dans la culture agroécologique. Dans les autres cultures, un piège est retiré par rangée à cause de l'absence de bandes herbeuses.

Période

Ces pièges sont installés normalement sur une période de dix jours. Cependant, les conditions climatiques défavorables et l'empierrement important des terrains ont diminué la durée à 8 jours sur place.

Pièges à fosse vs pièges à bière

Les pièges à carabes et à limaces ont été placés en même temps dans les différents sites d'étude. Pour éviter tous biais des pièges attractifs sur les pièges non attractifs, une distance minimum a été mis en place : 30 m dans la parcelle agroécologique et 15m dans la parcelle conventionnelle et en agriculture de conservation (dû au nombre d'hectare différents). Le nombre de piège n'est pas équivalent entre les carabes et les limaces à cause de la différence de mobilité entre eux et de leur abondance. En effet, les pièges étant attractifs pour les limaces, leur nombre est concentré par rapport aux pièges non-attractifs des carabes. De plus, les espèces de Carabidae étant plus mobiles, il est préférable de disperser les pièges pour augmenter les chances de capture. Les pièges de type barberont été placés sur une durée de 10 jours, avant d'être retirés pour déterminer les espèces de carabes via des clés de détermination. Les pièges à bière sont retirés tous les quatre jours pour remplacer la solution et identifier les limaces présentes. En effet, le sel a une propriété de conservation plus faible que le polyéthylène glycol. Il faut donc change régulièrement la solution saline. Les périodes d'échantillonnage ont eu lieu mi-avril, mi-mai (et mi-juin).

Aspect social

Pour déterminer s'il existe effectivement un changement progressif de point de vue, des agriculteurs dans la Chaussée d'Ivry ont été interrogés, notamment sur la connaissance des pratiques agroécologiques. Les avis ont été récupérés à l'aide d'un questionnaire (annexe I).

Analyse des données

Pour analyser les données récoltées, des analyses statistiques ont été effectuées dans le logiciel R et Excel. Afin de mesurer l'impact des techniques agricoles sur la biodiversité locale en Carabidae et en limaces, plusieurs approches statistiques ont été effectuées : une analyse des indices de diversité biologique pour quantifier la richesse spécifique, une analyse multivariée pour construire les communautés présentes dans chaque parcelle, une recherche d'espèces indicatrices pour chaque communauté établie et une relation entre l'abondance des carabes et limaces pour lier la présence d'espèces carabiques avec l'abondance des limaces.

Les indices de diversité biologique

Pour quantifier la richesse spécifique et déterminer la biodiversité locale dans différentes pratiques agricoles, plusieurs indices de diversité biologique ont été calculés :

- L'indice de Gleason est basé sur l'hypothèse d'une croissance logarithmique du nombre de taxons en fonction de l'effort d'échantillonnage et se calcule comme suit :

$$G = S-1/\log_n N$$

Avec S, nombre d'espèces recensées dans la parcelle et N, nombre d'individus attrapés et identifiés. L'indice est représenté par la pente de la droite obtenue par métrique semi-logarithmique. Plus la pente est importante, plus la diversité est élevée.

- Les courbes d'accumulation et raréfaction permettent d'estimer et comparer les richesses spécifiques obtenues dans les différents milieux étudiés. La courbe d'accumulation permet de voir le nombre d'espèces découvertes en fonction de l'effort d'échantillonnage. La courbe de raréfaction permet de lisser la courbe

d'accumulation, en calculant le nombre moyen d'espèces trouvées dans des sous-échantillons formés à partir de l'inventaire complet des effectifs.

- L'indice α de Berger-Parker se focalise sur la plus grande abondance, en prenant en compte le nombre relatif d'individu d'une espèce. Son calcul est :

$$\alpha = \text{Max} (n_i/N)$$

Avec n_i , l'abondance d'une espèce i dans le site étudié et N , la somme des abondances de toutes les espèces.

- L'indice de Chao est un estimateur non-paramétrique qui dépend donc uniquement de la fréquence des classes plus rares des espèces observées pour extrapoler le nombre d'espèces présentes, mais non-répertoriées. Sa formule est :

$$S_{\text{est}} = S_{\text{obs}} + (a^2/b)$$

Où S_{est} est le nombre d'espèces estimées, S_{obs} est le nombre d'espèces recensées, a représente des espèces représentées par un seul individu, et b montre des espèces à deux individus.

- L'indice de Shannon permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité des parcelles étudiées. Ainsi, on peut caractériser la biodiversité en tenant compte du nombre d'espèces et de l'équilibre de la répartition de celles-ci. Voici son calcul :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Avec $p_i = n_i / N$, n_i est le nombre d'individus pour une espèce i , et N est l'effectif total (nombre total d'individus) de la parcelle étudiée.

- L'indice de Simpson calcule une probabilité que deux individus appartiennent à la même espèce dans une communauté donnée. Plus l'indice tend vers 1, plus la diversité est élevée.

$$E = 1 - \sum_{s=1}^S p_s^2$$

Où p_s^2 est la fréquence des individus élevée au carré, S est le nombre d'espèce du site étudié.

Groupement des Carabidae via une analyse multivariée

L'analyse multivariée est très utilisée pour synthétiser et organiser la structure intrinsèque d'un grand fichier de données. Elle rend la création d'un groupement cohérent des données recueillies possible.

Dans le cadre de cette étude, un triage et une classification des données vont être fait via une méthode d'ordination et une méthode de classification.

La première méthode est une méthode d'ordination qui va structurer les éléments étudiés selon un gradient. Il y en a deux types : analyse des correspondances (CA) et analyse non-symétrique des correspondances (NSCA). La CA met en évidence des dépendances ou correspondances entre des données contenues dans un tableau multidimensionnel. La NSCA est une analyse dérivée de CA qui tient compte de la variation de données catégoriques, c'est-à-dire des éléments classés dans plusieurs catégories (Cheset et al., 2007; Light et al., 2012). Ces analyses réduisent la masse d'informations initiales en associant des caractères aux éléments, pour ensuite être hiérarchisées. C'est pourquoi, une matrice de distance est réalisée en mettant les éléments dans un nouvel espace caractérisé par un nombre minimum d'axes principaux orthogonaux. L'analyse en coordonnées principale produit les coordonnées des éléments sur les axes les plus adéquats à partir de la matrice de distance. Avec cette analyse, on peut d'extraire les facteurs principaux qui expliquent le mieux le jeu de données, tout en respectant les distances entre les éléments. Ici, le jeu de données met en évidence les espèces présentes dans les trois parcelles étudiées. Selon Legendre (2012), l'indice de similarité de Bray-Curtis semble mieux adapté pour des jeux de données traitant de l'abondance des espèces.

La deuxième méthode recherche les structures locales à l'aide d'un regroupement de jeu de données (Dufrêne, 1992). Cette classification permet d'assembler entre elles des éléments semblables au moyen de la méthode de classification hiérarchique agglomérative. Cette méthode rassemble les éléments, pour former des groupes de plus en plus importants en

agglomérant les données deux à deux. Pour agglomérer, plusieurs méthodes de calcul de distances sont possibles (Triola et al., 2012) :

- (1) Lien simple : il rassemble les données les plus proches (distance minimale entre les éléments).
- (2) Lien complet : il regroupe les données les plus éloignées (distance maximale entre les éléments).
- (3) Lien moyen : il associe les données par le calcul de la distance moyenne.
- (4) Algorithme Ward : il introduit la notion d'inertie, attribuant un poids à chaque observation.

Les résultats de cette méthode sont visualisés à l'aide d'un dendrogramme. Les éléments assemblés dans ce TFE sont les pièges placés dans les trois cultures.

La recherche d'espèces indicatrices des différents groupes

Après la formation de groupes, la recherche d'espèces indicatrices de chaque groupe peut être faite, soit à l'aide de la méthode développée par Dufrêne et Legendre (1997), soit avec la méthode d'IndVal. Cette méthode octroie une valeur allant de 0% à 100% à chaque espèce suivant sa qualité en tant qu'indicateur. Ce pourcentage s'obtient en tenant compte de deux paramètres : la spécificité et la fidélité d'une espèce. La spécificité désigne la présence d'une espèce uniquement sur certains milieux, elle est maximale si l'espèce se trouve uniquement sur un site particulier. La fidélité est maximale lorsqu'une espèce est toujours retrouvée sur le même type de site. Une valeur élevée de l'indicateur montre des espèces présentes exclusivement dans un seul groupe et présent dans tous les sites appartenant à ce groupe.

Cette méthode extrait les taxons caractéristiques de chaque groupe et leur donne une valeur d'indication. Elle nous permet aussi de visualiser la présence ou non d'espèces rares.

Toutes les méthodes statistiques utilisées précédemment sont valables uniquement pour les Carabidae. Seul l'indice de Gleasonet Chao sont calculés pour les limaces. Le premier indice est pour obtenir une courbe d'accumulation dans chaque parcelle étudiée et la comparer

ainsi avec la courbe d'accumulation obtenue chez les carabidés. Le deuxième indice est pour tenir compte des espèces non-répertoriées.

Lien entre carabe et limace

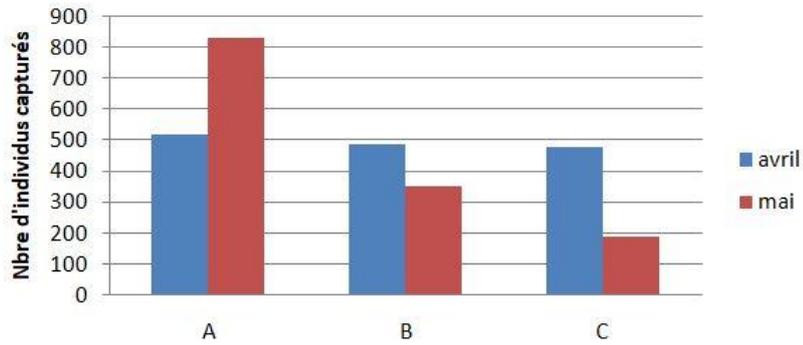
Pour associer l'abondance des carabes et des limaces dans les cultures étudiées, un test de corrélation est effectué. Cette méthode permet d'analyser des données en paires et de déterminer une association possible entre les deux variables (x et y). Pour mesurer l'intensité de l'association, un coefficient de corrélation r allant de 1 à -1 est calculé. Par la suite, le coefficient de détermination est établi. Ce coefficient de détermination, représentant la proportion de la variation, est expliqué par l'association linéaire des deux variables. Enfin, pour d'écrire l'association obtenue, une régression linéaire est établie pour avoir la droite de régression (Triola et al., 2012).

Résultats

Carabidae

Au total, les pièges à fosse ont permis de capturer 2867 carabes avec 57 espèces différentes dont 1490 individus pour le mois d'avril et 1377 individus pour le mois de mai. La distribution des individus selon les trois parcelles est montrée dans le tableau 1 avec la distribution des abondances des différentes espèces (graphique a). Les détails des captures et de l'efficacité moyenne par pièges, montrant le nombre d'individus attrapés par piège et par jour, sont en annexe 3.

Abondance des carabes dans les trois parcelles

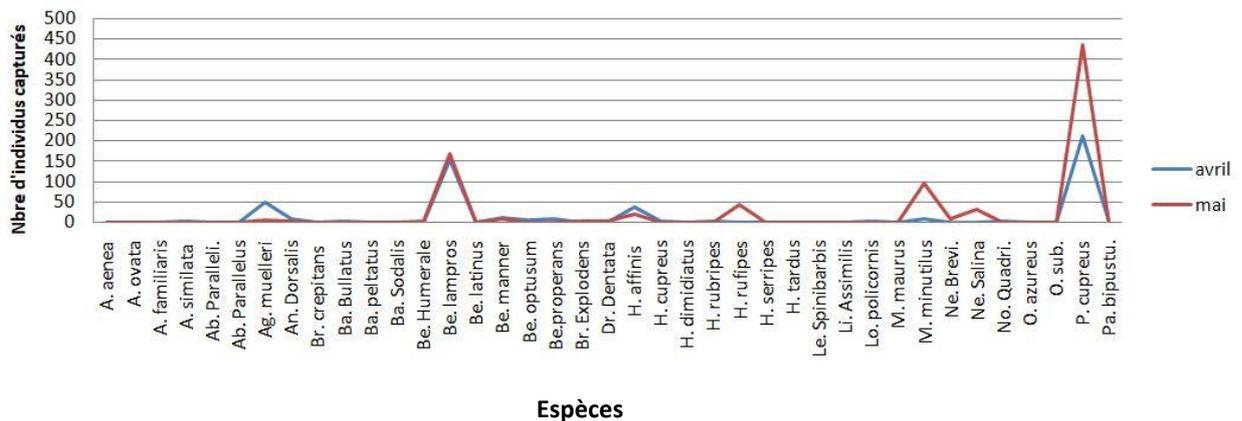


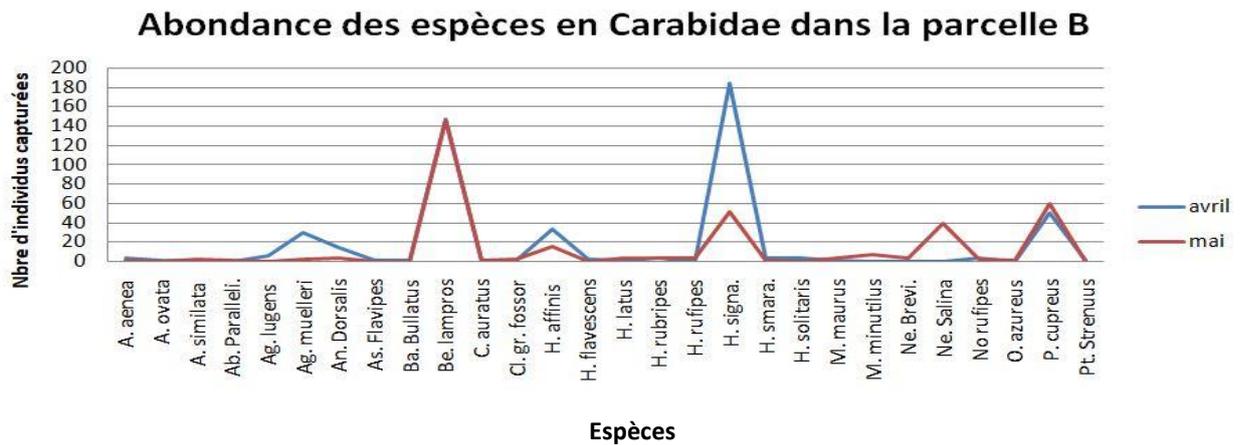
	A	B	C	Total
Avril	522	490	478	1490
Mai	833	353	191	1377

Tableau 1. Répartition des carabidés selon les trois parcelles sur les deux mois d'étude. (A) agriculture agroécologique, (B) agriculture conventionnelle et (C) agriculture de conservation.

On observe une diminution du nombre d'individus dans les parcelles entre avril et mai excepté dans la parcelle A, où il y a une augmentation de 59% du nombre d'individus. Les codes relatifs aux espèces sont donnés en annexe 2.

Abondance des espèces en Carabidae dans la parcelle A





Graphique a. L'abondance des espèces sur les trois sites étudiées

Ces graphiques montrent l'abondance de quelques espèces uniquement avec peu de variation entre le mois d'avril et mai. Dans les trois parcelles, deux espèces reviennent en avril comme en mai : *Bembidion lampros* et *Poecilus cupreus*. La première espèce varie faiblement entre le mois d'avril et mai, contrairement à la deuxième. Ici, son nombre d'individus capturés chute, surtout dans la parcelle agroécologique et de conservation. Les autres espèces présentes varient selon le mois et le site étudié.

Dans la parcelle A en avril, les espèces les plus abondantes sont *Bembidion lampros*, *Harpalus affinis*, et *Poecilus cupreus*. Au mois de mai, *Agonum muelleri*, *Harpalus rufipes*, *Microleste minutulus* et *Nebria salina* sont apparus.

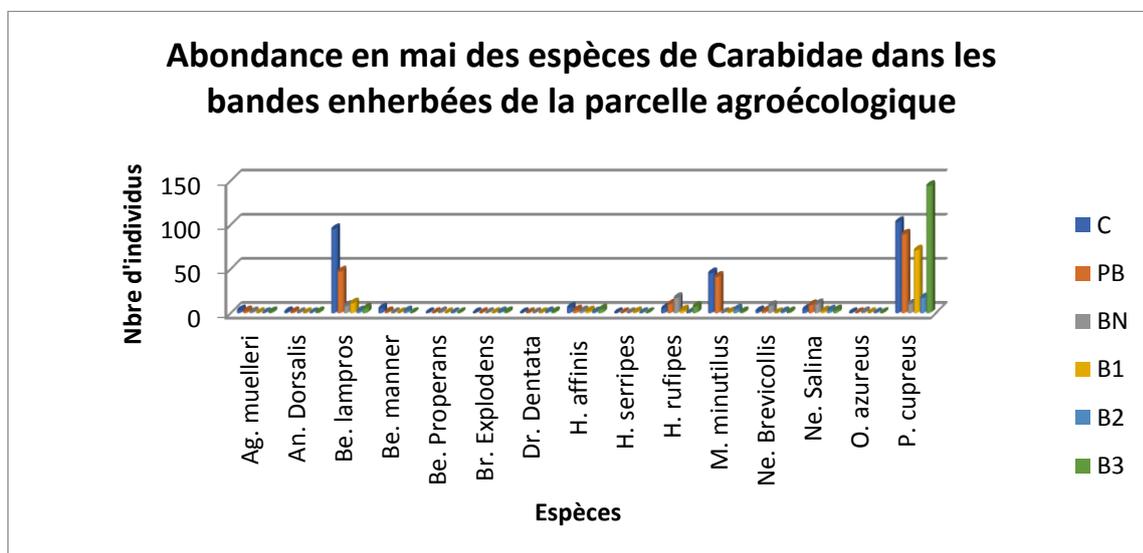
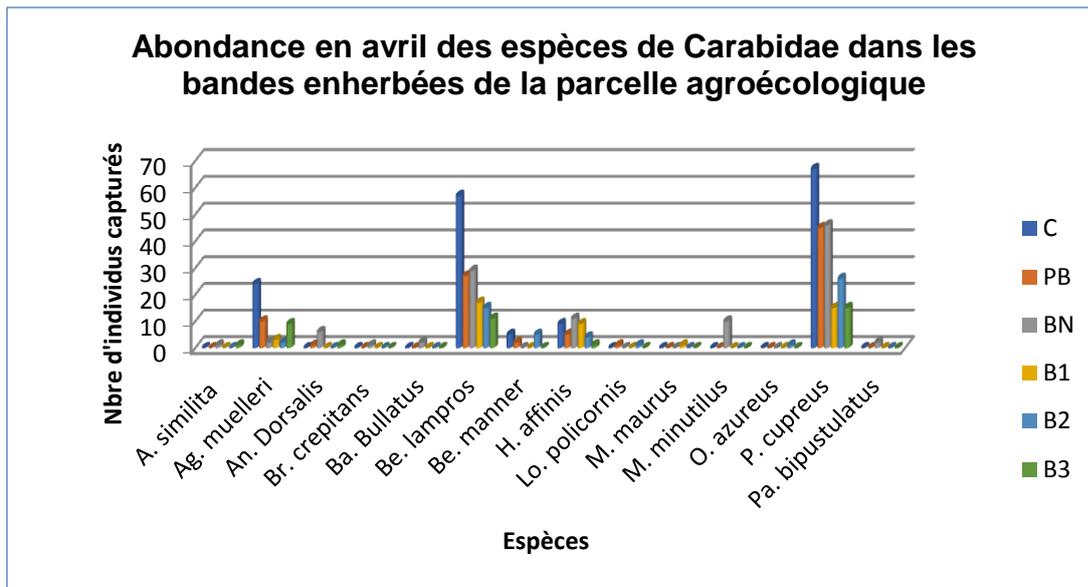
Dans la parcelle B, *Agonum muelleri*, *Harpalus affinis* et *Harpalus signaticornis* sont surtout présents en avril alors que *Nebria salina* n'apparaît qu'en mai.

Dans la parcelle C, *Abax parallelipedus* et *Harpalus affinis* sont plus abondants que les autres. Cependant, au mois de mai, *Harpalus affinis* disparaît au profit de *Nebria salina*. Ce site recèle aussi des espèces peu courantes en milieu agricole, le genre carabus avec trois espèces. En avril, *Carabus nemoralis* a pu être capturées et en mai, *Carabus auratus* et *problematicus* ont pu être attrapées. Il est a signalé que *Carabus auratus* a été aussi observé dans la parcelle conventionnelle.

Au niveau des bandes enherbées de la parcelle en agroécologie, des espèces ont été trouvées exclusivement dans ces bandes et aux alentours. Les détails de leurs répartitions entre les bandes enherbées et leurs alentours sont décrits dans le tableau 2 en annexe 4. En avril, les carabes trouvés uniquement dans les bandes ou proches de ces bandes sont : *Amara similata*, *Anchomenus dorsalis*, *Brachinus crepitans*, *Badister bullatus*, *Loricera policornis* et *Ophonus azureus*. En mai, *Anchomenus dorsalis*, *Bembidion properans*, *Brachinus eximius*, *Drypta dentata*, *Harpalus serripes* et *Ophonus azureus*, sont présents. La plupart de ces espèces sont communes en France, excepté *Brachinus crepitans*, *Brachinus eximius*, *Harpalus serripes*, *Microleste maurus* et *Microleste minutulus* qui sont considérées comme rares. Leur abondance est représentée dans le Graphique b.

	PB	BN	B1	B2	B3	Total
Avril	91	110	45	54	38	338
Mai	205	58	91	32	169	555

Tableau 2. La répartition des carabidés dans les bandes enherbées et leurs alentours. (PB) à 5m des bandes, (BN) bande herbeuse naturelle, (B1) mélange de *Dactylis glomerata* et *Festuca arundinacea*, (B2) tournière fleurie et (B3) mélange *Trifolium repens* et *Medicago sativa*.



Graphique b. Abondance des espèces carabiques dans les bandes enherbées de la culture en agroécologie. (C) culture.

Les espèces les plus abondantes sont approximativement les mêmes entre avril et mai. Ce sont *Bembidion lampros* et *Poecilus cupreus* qui dominent surtout dans les cultures et près des bandes. *Microleste minutillus* apparaît surtout abondant dans la bande enherbée naturelle en avril, avant de s'avancer dans les cultures en mai. *Agonum muelleri* est présent en avril tant dans la culture que dans les bandes enherbées. *Harpalus rufipes* se trouve généralement dans la bande naturelle et ses alentours.

Les indices de diversité biologique dans les trois parcelles et les bandes herbeuses sont repris dans les tableaux 3 et 4 en annexe 5.

Une courbe d'accumulation et raréfaction a été effectuée pour comparer la richesse spécifique des trois sites étudiés entre avril et mai (annexe 6, Graphique c,d,e,f).

Analyses multivariées

La classification hiérarchique agglomérative permet d'obtenir des dendrogrammes pour le mois d'avril et mai (annexe 7, Graphique h). Trois groupes ont été formés en lien avec les pratiques agricoles des sites étudiés.

Après le regroupement du jeu de données, les espèces indicatrices ont été identifiées via la méthode InDval. Les espèces indicatrices associées à leurs valeurs InDval sont représentées dans le tableau 5 en annexe 8.

La méthode d'ordination utilisée est la CA (analyse en correspondance) et la NSCA (analyse en correspondance non-symétrique). Les graphiques obtenus selon les stations et selon les espèces sont représentés en annexe 9 (Graphique g et h).

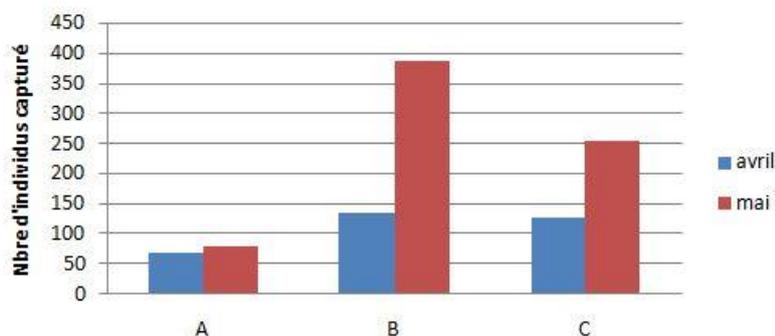
Traits écologiques

Les différentes espèces récoltées associées à leurs principaux traits écologiques et la comparaison de ces traits dans les différentes cultures étudiées sont répertoriés en annexe 10 (Tableau 6 et Graphique i et j).

Limaces

Au total, 1057 limaces ont été capturées à l'aide des pièges à bière. 332 limaces ont été attrapées en avril et 725 ont été récupérées en mai. La diversité en limaces est faible, quatre espèces ont été identifiées : *Arion distinctus*, *Arion circumscriptus*, *Deroceras reticulatum* et *Limax maximus*. Les détails sont donnés dans le tableau 6 et le graphique ci-joint.

Abondance des limaces sur les trois parcelles



	A	B	C	Total
Avril	69	135	128	332
Mai	81	389	255	725

Tableau 7. Répartition des limaces selon les trois parcelles sur les deux mois d'étude. (A) agriculture agroécologique, (B) agriculture conventionnelle et (C) agriculture de conservation.

La distribution des espèces de limaces dans les trois parcelles étudiées est montrée en annexe 11.

Les indices de biodiversité ont aussi été calculés chez les limaces, ils sont repris en annexe 12.

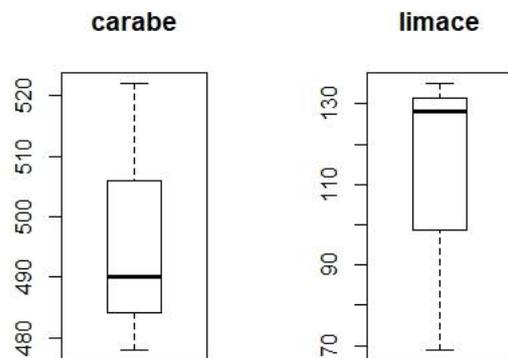
Lien carabes et limaces

Avant d'effectuer le test, une visualisation des données est réalisée (Tableau 10 et Graphique I).

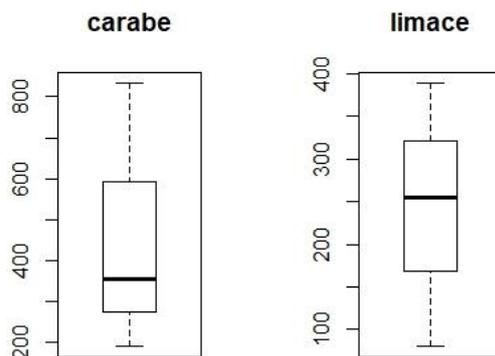
Avril							
	Min	Écart-type	Q1	Médian	Moyenne	Q3	Max
Carabe	478	22,74	484	490	496,7	506	522
Limace	69	36,25	98,5	128	110,7	131,5	135
Mai							
	Min	Écart-type	Q1	Médian	Moyenne	Q3	Max
Carabe	191	333,87	272	353	459	593	833
Limace	81	154,43	168	255	241	322	389

Tableau 10. Informations sur les jeux de données en avril et mai.

(a)



(b)



Graphique I. Boîtes à moustache des données en avril (a) et mai (b)

Le test de corrélation nous donne une p-valeur et un coefficient de corrélation pour les données d'abondance des carabes et des limaces, d'avril et de mai. En avril, le coefficient de corrélation obtenu est de -0,93 avec une p-valeur de 0,23 (seuil de signification, $\alpha=0,05$) et le coefficient de détermination (r^2) est de 0,87. En mai, le coefficient vaut -0,76 avec une p-valeur de 0,44 (seuil de signification, $\alpha=0,05$) et le coefficient de détermination (r^2) est de 0,59. Par la suite, une régression est réalisée pour d'écrire l'association obtenue (annexe 13, Graphique m).

Aspect social

Les agriculteurs qui ont accepté l'interview ont tous des pratiques agricoles différentes allant des pratiques innovantes comme l'agroécologie aux pratiques conventionnelles bien connues (annexe 14, Tableau 11).

Le premier couple d'agriculteurs interrogé exerce ce métier depuis 1989. Ils ont commencé avec de l'agriculture intensive durant 20 ans, avant d'évoluer vers une pratique de conservation. Ce changement s'explique par une perte de personnel et une amélioration des cultures avec cette nouvelle pratique. Ainsi, ils ont appliqué l'agriculture de conservation jusqu'au bout.

Ils ont 300 hectares de culture répartis pour l'année 2017-2018 avec 100 hectares de blé, 20 hectares d'orge de printemps, 80 hectares de maïs, 40 hectares de colza oléagineux, 11 hectares de féveroles d'hiver, 17 hectares de féveroles de printemps et 32 hectares de pois protéagineux. Ils possèdent aussi des cultures anecdotiques pour réaliser les couverts végétaux : avoine, vesce et pois fourrager. Ils effectuent des rotations de cultures pour simplifier le travail et mieux gérer l'enherbement des parcelles. Pour lutter contre les ravageurs, ils appliquent uniquement du Gaucho (insecticide systémique*) dans les céréales d'automne et du slug (anti-limace) qu'ils appliquent sur le colza et le blé. Ils comptent surtout sur les ennemis naturels pour réguler les populations de ravageurs comme les Carabidae. Cependant, dans les parcelles de blé et maïs, les carabes se laissent déborder par les limaces, obligeant les exploitants à effectuer un travail superficiel du sol (scalpage ou bêche roulante) pour une meilleure régulation (les œufs sont mis au soleil). De plus, aucun labour n'est réalisé sur leur exploitation.

Ces agriculteurs avouent avoir plus de difficulté à lutter contre les ravageurs qu'en conventionnelle. Toutefois, ils ne regrettent pas leur décision, ils apprécient le côté « vivant » de leurs cultures. De plus, ils souhaitent se diriger vers l'agriculture biologique notamment à cause de la future interdiction du glyphosate, les obligeant à effectuer un travail mécanique de leurs cultures.

Leur avis sur l'évolution de l'agriculture est simple. Selon eux, l'agriculture conventionnelle va devoir modifier sa structure avec des exploitations de plus en plus grandes, pour amortir la baisse des prix au niveau de la production. Au niveau de l'évolution de l'agriculture biologique, ils espèrent un avenir prometteur car ils souhaitent s'y lancer. Quant à l'agroécologie, ils connaissent le terme via leur voisin qui le pratique. Pour eux, l'agroécologie est naissante et évolue de façon lente et progressive.

L'exploitant en agroécologie est devenu récemment agriculteur. En 2011, il a repris avec sa femme une ferme familiale sans connaissances préalables sur l'agriculture. Cette exploitation était une monoculture de blé sur blé et orge sur orge. En 2011, ils ont changé l'assolement pour une rotation colza, blé et orge. En 2016, ils passent à une agriculture biologique avec arrêt du labour. Ils divisent ces trois grandes parcelles en 27 petites parcelles. Les plantes cultivées installées vont dépendre des besoins agronomiques et des opportunités commerciales. De plus, ils souhaitent faire de l'élevage de brebis pour pâturer ces prairies temporaires et quelques cultures. Toutes les cultures n'ont pas encore été installées. Ils possèdent : des prairies temporaires, blé, féverole de printemps, épeautre et maïs. Ces cultures sont entourées tous les 60 m de bandes enherbées comme expliquées ultérieurement. Aucun insecticide n'est utilisé et seul le phosphate sphérique ou sluxx est appliqué si nécessaire pour lutter contre les limaces.

Pour eux, il est trop tôt pour envisager une comparaison entre leurs anciennes et nouvelles pratiques agricoles. Cependant, les pratiques agroécologiques n'auraient pas pu se développer sur ces terres sans une agriculture intensive ultérieure. En effet, les terres agricoles de la région sont considérées comme difficiles à cause de l'empierrement important et l'hydromorphie régulière du sol. L'entrée d'intrants chimiques, d'un labour profond et d'un drainage a rendu ces terres plus propices à des pratiques plus respectueuses de l'environnement.

Au niveau des différentes pratiques agricoles, M. Paelinck pense que l'agriculture conventionnelle est obligée d'évoluer vu les nombreuses interdictions de produits phytosanitaires. Cependant, le changement dépendra des pays, étant donné que certains gouvernements sont fort attachés à leur agriculture conventionnelle, et les lobbys exercent des pressions non-négligeables. Pour l'agriculture biologique, il remarque une forte demande en France. Néanmoins, la politique agricole française ne donne pas une direction

claire dans ce domaine et ne montre aucune ambition écologique ni aucun intérêt pour l'agriculture familiale. Par conséquent, plusieurs agriculteurs passent au bio par obligation plutôt que par conviction, et ce sont les grandes exploitations qui sont favorisées. De plus, les primes pour passer en agriculture biologique ne sont pas les mêmes d'une région à l'autre. Actuellement, les agriculteurs aux pratiques plus écologiques sont surtout aidés par les prix des produits bio. Pour retrouver un rendement et une qualité nourricière corrects avec des pratiques biologiques, il faut réinventer les techniques comme l'utilisation de l'élevage pour pâturer les terres.

L'agriculteur pratiquant l'agriculture conventionnelle est seul dans ces trois parcelles (blé, escourgeon et colza). Ces cultures varient suivant les années, la demande, les prix des différents produits et de la possibilité de cultiver dans ces terrains. Il pratique le labour profond une année sur deux pour différentes raisons : une facilité du travail, un désherbage efficace et une certaine fertilité en évitant le labour chaque année. Il utilise plusieurs insecticides dont le Gaucho qu'il applique sur son exploitation. Le colza est la culture qui en reçoit le plus, étant la proie de nombreux ravageurs dont les carabes eux-mêmes (2-3 applications en automne et 3-4 applications au printemps). L'application n'est pas préventive, elle dépend de la présence des ravageurs et des informations données par les agriculteurs voisins. L'anti-limace utilisée est le métarex avec une application suivant les années et la présence de limaces.

Pour lui, l'agriculture conventionnelle ne disparaîtra pas, elle évoluera. Quant à l'agriculture biologique, elle est uniquement viable grâce au prix du marché des produits biologiques. Si leur nombre augmente, les prix diminueront ainsi que leur rentabilité. Actuellement, il faut installer de grandes exploitations pour avoir une qualité de vie et un rendement suffisant. De plus, ces pratiques plus respectueuses diminuent la production de viande, étant donné une diminution du rendement des céréales servant à l'alimentation des bêtes d'élevage. Cependant, il considère que la difficulté entre agriculture conventionnelle et biologique est équivalente, mais avec certaines différences.

La vraie problématique est la diminution des terres cultivables avec une population qui augmente. La solution est un changement des habitudes alimentaires. L'autre problématique est la difficulté pour les jeunes de commencer directement en agriculture

biologique contrairement à des agriculteurs plus expérimentés ayant plus de moyens pour se lancer.

En ce qui concerne l'agroécologie, il en a seulement entendu parler.

Le couple d'éleveurs pratiquant en parallèle de l'agriculture intensive exploite 170 hectares dont 50 hectares en prairies, 50 hectares de blé, 10 hectares de colza, 10 hectares de pois, 30 hectares d'escourgeon et 20 hectares d'orge de printemps et d'hiver. Il effectue un labour profond qu'il diminue progressivement, mais ce labour ne disparaîtra pas. En effet, le labour est nécessaire pour lutter contre le salissement des vulpins. L'insecticide est utilisé de façon préventive dans la culture de colza et pois avec deux applications par an, les autres étant localisées. L'anti-limace n'est appliqué qu'autour des parcelles et dans les zones humides. Les limaces ne sont pas un problème dans leurs cultures grâce aux débris végétaux qui sont laissés sur place.

L'agriculture conventionnelle doit évoluer, étant donné les interdictions et la montée de l'agriculture biologique. L'agriculture biologique est une filière peu développée. Tous les exploitants ne peuvent pas pratiquer cette agriculture par manque de développement pour concevoir des produits finis et attestés bio. De plus, le gouvernement veut des changements trop rapides envers les pratiques des agriculteurs, alors que l'évolution se fait lentement. Les difficultés sont plus ou moins semblables entre l'agriculture conventionnelle et biologique. D'après eux, les agriculteurs « bio » doivent surveiller davantage les ravageurs des cultures. Quant à l'agroécologie, le couple ne connaît que le terme uniquement.

Pour eux, l'élevage est plus intéressant que l'agriculture pour la sûreté des prix. L'agriculture dépend des courbes mondiales avec un prix qui varie suivant les années et les produits, alors que le prix de la viande reste fixe.

L'agriculteur conventionnel effectuant du non-labour cultive 138 hectares d'orge de printemps et hiver, 102 hectares de colza et 65 hectares de blé. Il utilise du Proteus (néonicotinoïdes**) et des insecticides bas de gamme dans ces cultures. Ils sont préventifs dans la culture de colza et dans les autres uniquement suivant la présence des ravageurs. Il utilise aussi de l'anti-limace, le métarex, de façon systématique autour des champs et dans la parcelle de colza appliquée une fois par an. Dans les autres parcelles, il n'en met qu'en présence de limaces sur ces champs. Concernant le labour, il n'en effectuait plus.

Cependant, vu l'interdiction d'épandre les produits phytosanitaires de plus en plus nombreux et la résistance développée par les « mauvaises herbes » aux herbicides, il considère le labour comme étant nécessaire pour lutter contre le salissement en vulpins et les ravageurs.

Lui aussi observe que l'agriculture conventionnelle est obligée d'évoluer. L'agriculture biologique est une pratique que l'on doit effectuer par conviction et non par obligation. Les difficultés rencontrées entre les deux pratiques sont équivalentes. L'agroécologie est un terme connu mais peu expliqué.

*Un traitement systémique (parfois appelé « endothérapie ») est un traitement curatif ou préventif réalisé au moyen d'un [produit chimique](#) ([fongicide](#), [pesticide](#), [désherbant](#)) pour protéger un organisme (végétal le plus souvent) contre certains de ses agresseurs.

**Insecticide affectant le système nerveux central des insectes.

Discussion

Carabidae

Un total de 51 pièges dans les parcelles a été déposé sur trois sites agricoles, avec une efficacité moyenne de 3,5 individus par jour. Le nombre d'individus attrapés en fonction des trois sites est homogène (p -valeur $>0,05$).

La différence d'abondance entre le mois d'avril et mai pour les Carabidae s'explique par un lien avec les conditions climatiques des sites étudiés (Brose, 2003 ; Vingere, 2010). De fait, une pluviosité pratiquement nulle est la cause de cette diminution. A l'exception de la parcelle agroécologique, où l'abondance du mois de mai est supérieure à celle du mois d'avril. L'analyse détaillée de l'abondance dans la parcelle agroécologique (A) explique cette exception. En effet, les carabes présents à proximité des bandes et dans les bandes constituent 22% des carabes récoltés pour le mois de mai et 40% pour le mois d'avril. Ainsi, les carabes ont mieux survécu à la sécheresse grâce à la présence de zones non-cultivables (bandes enherbées et prairie temporaire). En effet, les bandes herbeuses sont suivies d'une prairie temporaire pouvant servir aussi aux carabidés. Ils y trouvent abris et couvert, contrairement à ce qui se passe dans la culture même (Holland & Luff, 2000).

Les espèces piégées sont pour la plupart des espèces de milieux ouverts que l'on trouve dans les cultures ou les prairies (Holland & Luff, 2000 ; Du Chatenet, 2005). Ces espèces sont en

grande partie communes dans les milieux ouverts en France (INPN ; Du Chatenet, 2005).

Dans les trois sites étudiés, les espèces sont en majorité des macroptères prédateurs généralistes. Deux espèces composent 62,29% des effectifs dans les trois parcelles étudiées au cours des deux mois : *Poecilus cupreus* (38,96%) et *Bembidion lampros* (23,33%).

Pour le mois d'avril, cinq espèces constituent 80% des individus piégés : *Agonum muelleri*, *Bembidion lampros*, *Harpalus affinis*, *Harpalus signaticornis*, *Poecilus cupreus*. Pour quatorze espèces, un seul individu a été piégé : *Amara ovata*, *Amara familiaris*, *Brachinus crepitans*, *Badister bullatus*, *Badister peltatus*, *Bembidion latinus*, *Carabus nemoralis*, *Calathus melanocephalus*, *Clivina fossor*, *Harpalus latus*, *Limodromus assimilis*, *Notiophilus biguttatus*, *Ophonus subquadratus*, *Oodes helopioides*.

Pour le mois de mai, quatre espèces composent 80% des effectifs : *Bembidion lampros*, *Microlestes minutulus*, *Nebria salina* et *Poecilus cupreus*. Pour six espèces, un seul individu a été capturé : *Amara aenea*, *Asaphidion flavipes*, *Bembidion properans*, *Carabus problematicus*, *Harpalus dimidiatus*, *Harpalus serripes*.

Il existe une différence de présence en carabidés entre avril et mai. En effet, certaines espèces ont été capturées qu'en avril ou en mai (Tableau 5).

Des espèces rares ont été trouvées : *Badister bullatus*, *Badister peltatus*, *Bembidion mannerheimii*, *Brachinus explodens*, *Carabus auratus* (rare dans les cultures), *Calathus melanocephalus*, *Limodromus assimilis*, *Microleste maurus*, *Microleste minutulus*. Ces espèces ont surtout été trouvées dans les parcelles avec des pratiques agricoles plus durables (parcelle A et C). Certaines de ces espèces ont déjà servi comme espèces bioindicatrices, comme *Carabus auratus* ou *Harpalus affinis* étant donné leur présence surtout dans les milieux cultivés selon les principes de l'agriculture biologique (Solagro, 2012). La présence de carabes phytophages permet une régulation des espèces adventices (Bohan et al., 2011). Des individus phytophages sont présents dans les trois sites étudiés mais ils sont plus abondants en agriculture conventionnelle (15%). Des carabes plutôt forestiers ont aussi été attrapés : *Carabus nemoralis* et *Carabus problematicus*. Ces carabes ont été trouvés uniquement dans la parcelle en agriculture de conservation (C) qui est près d'un bois.

Selon les clés employées, de nombreuses espèces sont considérées comme absentes dans la région, mais l'étude a démontré qu'elles étaient présentes (Tableau 5). En effet, il est à souligner que peu d'études ont été faites dans la région, et ce TFE est la première étude sur les carabes dans la Chaussée d'Ivry.

Les espèces rares et peu communes ou absentes constituent en tout 63% des espèces attrapées. Dans les recensements effectués, une hétérogénéité est constatée au sein d'un site avec un grand nombre de carabes rares et peu de carabes communs. Cette hétérogénéité est plus importante dans les cultures agroécologiques et en agriculture de conservation. Ainsi, les assemblages d'espèces de carabes sont des systèmes ouverts avec un équilibre local rarement atteint (Dufrêne, 1992).

Au niveau des bandes enherbées de la parcelle agroécologique, l'abondance reste constante entre le mois d'avril et de mai. Cependant, les espèces sont légèrement différentes d'un mois à l'autre. Cinq espèces sont uniquement présentes en avril : *Amara similata*, *Brachinus crepitans*, *Badister bullatus*, *Loricera policornis*, *Microleste maurus* et *Panageus bipustulatus*. Sept espèces n'apparaissent qu'en mai : *Bembidion properans*, *Brachinus explodens*, *Drypta dentata*, *Harpalus serripes*, *Harpalus rufipes*, *Nebria brevicollis* et *Nebria salina*. Ces espèces sont pour la plupart rares, voire considérées comme absentes dans la région et sont présentes uniquement dans les bandes ou à proximité de celles-ci. De fait, neuf espèces sont exclusivement présentes dans les bandes au mois d'avril (les espèces citées plus haut en ajoutant *Anchomenus dorsalis* et *Ophonus azureus*). En mai, il n'y a que quatre espèces présentes : *Bembidion properans*, *Brachinus explodens*, *Drypta dentata* et *Harpalus serripes*. L'abondance est importante à proximité des bandes (5m) avec 26,92 % en avril et 36,93% en mai. Ainsi, il existe un effet de bande dans cette parcelle sur l'abondance en carabidés. Il y a une plus grande abondance en carabes à proximité et dans les bandes qu'en culture.

La bande herbeuse naturelle abrite une partie des carabes, surtout en avril. Au niveau des bandes artificielles, la composition de la bande joue sur la présence de carabes. Par ordre croissant d'abondance, la bande B3 (mélange *Trifolium repens* et *Medicago sativa*), puis la bande B1 (mélange de *Dactylis glomerata* et *Festuca arundinacea*) et finalement la bande B2 (tournerie fleurie) sont occupées en carabes. Le mélange trèfle blanc et luzerne cultivée est le plus apprécié par rapport aux deux autres, surtout en mai. Ainsi, il existe un lien entre la

composition végétale des bandes et la présence de carabidés (Landis et al., 2000 & Hatt et al., 2015). L'abondance des carabes dans les bandes est montrée dans le tableau 2.

Au niveau des pratiques agricoles, il existe quelques différences dans les communautés de carabidés entre les trois sites. Ces communautés sont aussi liées à la présence de zones non-cultivées (bande enherbée, prairie temporaire, bois). De plus, l'abondance en espèces entre les pratiques conventionnelles et extensives est quasi identique. L'application d'un labour peut avoir un effet sur les communautés de carabes. Cet effet varie suivant l'espèce, la culture et la localité. Certaines études montrent qu'il y a plus d'abondance dans les cultures avec labour traditionnelle, voire une équivalence avec les cultures à labour minimal. (Carcamo, 1995).

Analyse des indices de diversités

L'analyse du nombre d'espèces par parcelle montre un nombre d'espèces plus élevé dans les parcelles aux pratiques plus durables et écologiques que dans la parcelle intensive. Les espèces sont significativement plus nombreuses dans la parcelle en agriculture de conservation (28 espèces) que dans les deux autres parcelles : agroécologie (26 espèces) et conventionnelle (22 espèces). Cependant, une inversion du nombre d'espèce s'effectue entre le mois d'avril et de mai pour la parcelle agroécologique (21 espèces) et la parcelle en agriculture de conservation (18 espèces), due certainement à deux principaux facteurs: sécheresse et présence d'abris (bandes enherbées et prairie temporaire). Quant à la parcelle intensive, le nombre d'espèces reste constant malgré la sécheresse et l'application d'insecticide.

L'indice de Gleason est proportionnel au nombre de taxons : plus le nombre d'espèces, augmente plus l'indice augmente.

Les courbes d'accumulation- raréfaction montrent que la richesse spécifique maximale n'est pas encore atteinte. En effet, le plateau n'a pas été atteint durant les deux mois. Il faut un effort d'échantillonnage plus important pour atteindre la richesse spécifique maximale des parcelles étudiées. Au niveau des bandes enherbées de la culture en agroécologie , le plateau est rapidement atteinte.

L'indice α de Berger-Parker est en relation avec la présence d'espèces abondantes. En avril, la parcelle en agriculture de conservation a l'indice le plus élevé. Cela signifie qu'elle comporte plus d'espèces abondantes que les autres parcelles. Par contre, en mai, la parcelle avec des espèces plus abondantes est celle en agroécologie. Cependant, un lien apparaît avec le nombre d'espèces, étant donné une diminution de l'indice en parallèle avec celle du nombre d'espèces. En effet, la parcelle C en est un exemple. Le nombre et l'abondance d'espèces sont élevés en avril mais s'écroule en mai.

L'indice de Chao qui prend en compte les espèces non-répertoriées, est plus élevé dans la parcelle C que dans les deux autres parcelles. Cela signifie qu'un plus grand nombre d'espèces non-attrapées est présent dans la culture en agriculture de conservation. Viennent ensuite la parcelle en agroécologie et la parcelle intensive. Néanmoins, une différence importante est visible entre le mois d'avril et de mai dans le champ en agriculture conventionnelle : le nombre d'espèces non-répertoriées a chuté. Ce changement peut s'expliquer par l'ajout de produits phytosanitaires : un enrichissement en azote et de l'anti-limace. Ces produits associés à la sécheresse du mois ont certainement causé une diminution de la population en carabes dans cette culture.

L'indice de Shannon qui quantifie l'hétérogénéité, la rend plus importante dans la parcelle C en avril et dans la parcelle A en mai. Ce sont les parcelles avec des pratiques agricoles moins agressives qui ont une meilleure représentation des espèces en cultures.

L'indice de Simpson est le plus élevé dans la parcelle C en avril, avant de s'effondrer en mai. Dans les deux autres parcelles, l'indice diminue en mai dans la parcelle A et reste constant dans la parcelle B. La culture en agriculture de conservation est la plus riche en diversité en période de sécheresse. L'indice y serait resté élevé. La deuxième parcelle avec une diversité abondante est la culture intensive avec des carabes moins touchés par le facteur externe.

Analyse multivariée de la composition

La classification hiérarchique avec la méthode de Ward montre une structure homogène des données contrairement aux autres méthodes (UPGMA, simple, complet). Le dendrogramme en avril montre une nette différence entre les parcelles aux pratiques agricoles plus respectueuses (agroécologie et agriculture de conservation) et les parcelles aux pratiques

conventionnelles. Par contre le dendrogramme du mois de mai indique une division claire et nette entre les trois méthodes agricoles.

L'ordination montre un regroupement du jeu de données suivant les axes. L'axe 1 correspond aux pratiques agricoles utilisées dans les sites. En effet, sur les graphiques en CA comme en NSCA, les trois traitements agricoles sont bien séparés, surtout au mois d'avril. Sur le graphique en CA pour avril, les traitements sont, en commençant à gauche : agriculture de conservation, agroécologie et agriculture conventionnelle. Avec la NSCA, l'ordre entre l'agriculture de conservation et l'agriculture conventionnelle est inversé. Dans les analyses, la variabilité expliquée sur l'axe 1 est de 9% pour CA et de 39% pour NSCA. L'analyse non-symétrique explique mieux la variabilité des données. Pour le mois de mai, cette division s'observe aussi, mais les données sont plus regroupées vers le centroïde. L'axe révèle en CA 10% et en NSCA 26% de la variabilité des données. Ainsi, les 90% et 74% restants sont expliqués par d'autres facteurs.

L'axe 2 représente l'abondance des espèces qui sont mieux représentées en avril via l'analyse des correspondances (CA). En effet, le graphique du premier recensement montre très bien cette division. *Bembidion lampros* et *Poecilus cupreus* qui sont des espèces fort abondantes dans les parcelles, sont localisées près du centroïde. Alors que *Badister sodalis* et *Bembidion properans* trouvés uniquement dans les parcelles agroécologiques et de conservation sont situés à l'extrémité. Cette séparation entre espèces abondantes et peu abondantes est aussi visible avec l'analyse en correspondance non symétrique mais une inversion est faite entre les espèces abondantes et peu abondantes proche du centre. Les espèces abondantes sont aux extrémités alors que les espèces avec peu d'individus sont proches du centroïde. Cependant, l'axe 2 n'explique que 7% pour CA et 16% pour NSCA de la variabilité. Le graphique en CA et NSCA du deuxième recensement montre une séparation des abondances moins marquées. Pour le deuxième recensement, 8% (CA) et 19% (NSCA) de la variabilité sont expliqués par l'axe 2. Cette axe peut regrouper d'autres éléments que l'abondance pour expliquer la variation mais ils sont extérieures à l'étude. Dans ce cas-ci aussi, la variabilité des données est expliquée par d'autres facteurs.

Recherche d'espèces indicatrices

Après la formation des trois groupes, les espèces indicatrices ont été obtenues par la méthode InDval. Pour les trois groupes séparant les différents traitements, il y a une différence entre les deux mois d'études. En avril, la culture intensive ne présente pas d'espèces indicatrices (valeurs InDval faibles). Dans le groupe « bio » (agroécologie et conservation), les espèces sont des prédateurs généralistes pouvant se trouver dans un large panel d'habitats (cultures, prairies, bois, etc.) avec une reproduction automnale. Dans la culture agroécologique, on trouve une espèce peu connue (*Harpalus signaticornis*) dans la région et une espèce prédatrice très commune également à reproduction automnale (*Bembidion lampros*). Au mois de mai, des espèces indicatrices sont présentes dans les trois cultures. En agroécologie et en culture conventionnelle, des espèces communes prédatrices macroptères se retrouvent dans les habitats boisés à ouverts généralement humides, excepté *Microleste minutilus* qui est une espèce rare peu connue. Elles ont une période d'activité surtout printanière (reproduction automnale). L'agriculture de conservation comprend les mêmes espèces indicatrices qu'en avril.

Limaces

Au total, 30 pièges à bière ont été placés sur les trois parcelles agricoles, avec une efficacité moyenne de 2,18 individus par jour. Le nombre d'individus en fonction des trois cultures reste homogène (p -valeur $> 0,05$).

Au niveau de l'abondance des limaces, une inversion de l'abondance s'observe entre le mois d'avril et mai par rapport aux carabidés. Elle est due aussi aux conditions climatiques. Après la reproduction, l'humidité du sol joue un rôle important dans l'éclosion (Kerney & Cameron, 2015). La faible pluviosité dans la région et une température avoisinant les 25 à 30 °C ont permis aux œufs d'éclore plus rapidement. En effet, la période d'incubation des œufs dépend de la température ambiante. La rosée du matin et l'humidité gardée par certaines parcelles (parcelle en agriculture de conservation) ont augmenté le nombre d'individus au courant du mois de mai. Il faut aussi souligner que l'abondance en limaces en agroécologie est faussée par l'application d'un dépiècement avant l'étude qui a tué une grande partie des limaces en culture.

Les espèces découvertes sont des espèces présentes dans les milieux ouverts. Elles sont connues pour leurs dégâts dans les cultures. Néanmoins, les espèces présentes dans les sites ne sont pas les mêmes espèces présentées par les études antérieures à l'exception de *Deroceras reticulatum*. *Arion circumscriptus* et *Arion distinctus* ressemblent à *Arion hortensis* avec des traits et une couleur orangée voire blanchâtre du pied (Kerney & Cameron, 2015).

L'analyse montre une dominance importante de *Deroceras reticulatum* dans les trois parcelles et dans les bandes enherbées artificielles, surtout au cours du mois de mai (>90%). Une limace plutôt forestière est ramassée dans la parcelle C, *Limax maximus*. Cela est dû à la présence de bois aux alentours.

Analyse des indices de biodiversité

Le nombre d'espèces dans les trois sites étudiés restent constant entre le mois d'avril et mai.

Les indices renseignent qu'il y a une légère diminution en espèces dans la parcelle agroécologique avec un indice de Gleason plus faible au mois de mai. L'indice Chao est aux alentours du nombre d'espèces trouvées dans les parcelles, à l'exception de la parcelle A où des espèces non-répertoriées sont présentes au mois d'avril. Les courbes d'accumulation-raréfaction montrent qu'une grande partie de la richesse spécifique a pu être atteinte grâce à l'effort d'échantillonnage (plateau).

Lien carabes et limaces

Les informations sur les données montrent une différence entre l'abondance des deux populations. Les boîtes à moustaches semblent indiquer une abondance plus importante chez les Carabidae que chez les limaces. Cette observation est appuyée par les autres données obtenues (maximum, minimum, quartiles).

La largeur des boîtes représente la largeur des données. Cette dernière ne semble pas différente. Cela renforce l'observation que les écarts types sont peu différenciés.

Le test de corrélation est effectué. Il prouve l'existence d'un lien entre les données d'abondance des limaces et des carabes. La signification de la corrélation est également vérifiée (p -valeur > 0,05). La relation négative est plus importante en avril qu'en mai. Cela est lié avec l'abondance en limace qui était plus importante en mai qu'en avril. Le coefficient de

détermination d'avril renseigne que 87% de la variation de l'abondance en limace peuvent être expliqués par l'association linéaire entre l'abondance des carabes et des limaces. Cela indique que 13% de la variation de l'abondance en limace sont expliqués par d'autres facteurs que les carabes. En mai, 59% de la variation en limace sont justifiés par l'association des abondances. Les 41% restants sont définis par d'autres facteurs. Ainsi, l'association a plus d'importance sur l'abondance en limace en avril.

La droite de régression renseigne sur la direction de l'association qui est négative et plus prononcée en avril qu'en mai. Ces résultats nous montrent un lien entre l'abondance des limaces par rapport à l'association des deux abondances. Toutefois, d'autres facteurs externes jouent un rôle sur l'abondance des organismes (conditions météorologiques, pesticides, etc.).

Pour mieux exploiter les données, d'autres études devraient être réalisées, en utilisant des limaces comme appâts, pour mesurer le taux de prédation des Carabidae. Ce taux permettra de montrer une relation proie-prédateur au moyen du modèle proie-prédateur de Lotka-Volterra (1931). Ce dernier est une équation qui décrit la dynamique entre les proies et les prédateurs.

Aspect social

Les agriculteurs voient le potentiel des ennemis naturels. Ils connaissent l'avantage d'avoir des Carabidae dans les cultures excepté dans le colza. Cependant, les exploitants voient les limites du carabe par rapport au taux élevé des ravageurs. Il serait donc opportun de les aider pour rééquilibrer. De plus, il est à souligner que certaines espèces de carabes sont phytophages et/ou de régimes mixtes. Ainsi, ils peuvent aussi s'attaquer aux plantes de culture telles que le colza.

L'importance de la conservation est surtout comprise par les exploitants plus respectueux de l'environnement. Le terme agroécologie est connu de tous, mais sa signification et son utilité en agriculture sont peu connues.

La perception des différences entre les pratiques agricoles varient selon les exploitants. Les agriculteurs conventionnels pensent que la difficulté des pratiques conventionnelles et « bio » sont équivalente par contre les agriculteurs « bio » voient une réelle difficulté par

rapport aux techniques du conventionnelles. En effet, l'absence de labour et d'insecticides obligent les agriculteurs biologiques à trouver d'autres solutions plus respectueuses et avantageuses pour la biodiversité. Ces techniques ne sont pas toujours aisées à trouver.

Tous les agriculteurs interrogés pointent du doigt le paradoxe entre le manque de prise en main des méthodes agricoles par le monde politique français en parallèle avec une pression sur les agriculteurs pour changer de modèle agricole via les interdictions des produits phytosanitaires (exemple : Gaucho, glyphosate, etc.). Ces interdictions sont de réels problèmes pour les agriculteurs surtout conventionnels car ils ne trouvent pas d'autres produits plus respectueux, mais aussi efficace pour les remplacer. Ces restrictions touchent aussi l'agriculture de conservation, où certains produits sont tolérés comme le Gaucho. A cause de ce manque de logique de la politique agricole, de l'absence de solutions de remplacement des produits phytosanitaires et des pressions, plusieurs agriculteurs « bio » que conventionnels sont dépassés par les événements et expriment un sentiment de rôle-bol (Catten & Mermet, 1992).

De nos jours, les agriculteurs deviennent de plus en plus des gestionnaires rémunérés via les nouvelles méthodes agroécologiques (bandes enherbées, absence de labour, etc.).

Cependant, ces agriculteurs ne sont pas toujours à l'aise avec ce nouveau rôle. Certains ne font pas encore le lien pour certain entre l'installation d'une bande enherbée, par exemple et la production agricole. Pour ces agriculteurs, leur métier perd son sens premier (nourrir la population) (Mille lieux, 2017). Dans cette région, les agriculteurs comprennent l'importance de la biodiversité, mais le changement de pratique pour mieux la respecter tout en faisant son rendement est encore difficilement accepté, excepté par les agriculteurs en agroécologie et en agriculture de conservation. Le changement d'opinion évolue lentement.

Conclusion

Les résultats obtenus sont en étroite relation avec les conditions climatiques, les pratiques agricoles utilisées et la proximité avec des zones non-cultivées. Dans cette étude, les parcelles aux pratiques plus respectueuses de l'environnement ont montré un meilleur potentiel de conservation d'espèces rares que la culture intensive. D'autres recherches doivent encore être effectuées sur le long terme pour compléter cette étude. En effet, les communautés en Carabidae peuvent être différentes selon la période de l'année étudiée. Ainsi, il est essentiel d'effectuer des captures sur de plus longues durées. On pourra ainsi comparer les relevés en automne avec les communautés de printemps. Ces relevés permettront aussi d'effectuer un meilleur lien entre les carabes et les limaces. D'autres espèces peuvent aussi être étudiées pour leur capacité à limiter les ravageurs. On peut les associer aux carabes pour augmenter l'efficacité. En effet, les carabidés ne sont pas les seuls prédateurs naturels des ravageurs de cultures (araignées, acariens, parasites, etc.).

Au niveau social, il va falloir mettre en place des solutions pour associer agriculture, environnement et conservation. Pour cela, il faut une écoute et une entente entre les agriculteurs et les autres acteurs (politiques, scientifiques, société). Une évolution des opinions a lieu, mais est freinée par une pression sociétale importante et un manque de logique dans la politique agricole française.

Bibliographie

Image

<https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1491-carabe-dore-jardiniere-precieux-auxiliaire-potager.html>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Deroceras_reticulatum

<http://www.habitas.org.uk/molluscireland/species.asp?ID=31>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Arion_lusitanicus

https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Arion_rufus_1653.JPG

Articles

Bibliographie

Agence Française pour le Développement et la Promotion de l'Agriculture Biologique. (2016). Chiffres de la bio en France. Retrieved from : <http://www.agencebio.org/la-bio-en-france>

Agence Française pour le Développement et la Promotion de l'Agriculture Biologique. (2016). En Europe et dans le monde. Retrieved from : <http://www.agencebio.org/la-bio-en-europe-et-dans-le-monde>

Agro-ecosystem Health Project. (1996). Agroecosystem health. *University of Guelph*.

Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74(1–3), 19–31. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)

Andújar, C. , Faille, A., Pérez-González, S., Zaballos, J. P., Vogler, A. P., & Ribera, I. (2016). Gondwanian relicts and oceanic dispersal in a cosmopolitan radiation of euedaphic ground beetles. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 99, 235-246.

Auzet, A.-V., Guerrini, M.-C., & Muxart, T. (1992). L'agriculture et l'érosion des sols : importance en France de l'érosion liée aux pratiques agricoles. *Économie Rurale*, 208(1), 105–110. <http://doi.org/10.3406/ecoru.1992.4464>

Bairoch, P. (1989). Les trois révolutions agricoles du monde développé : rendements et productivité de 1800 à 1985. *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, 44, n° 2, 317-353.

Baker, A. N., & Dunning, R. A. (1975). Some effects of soil type and crop density on the activity and abundance of the epigeic fauna, particularly Carabidae, in sugar-beet fields. *Journal of Applied Ecology*, 12, 809-818.

Bernard, J. L., Granval, P., & Pasquet, G. (1998). Les bords de champs cultivés : pour une

approche cohérente des attentes cynégétiques, agronomiques et environnementales. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 34, 21–32.

Berry, D., & Chabert, A. (2004). Lutte contre les limaces en maraichage biologiques : tests de différents produits. *Journée Techniques Nationales Fruits et Légumes Biologiques*, p.87-90.

Bispo, A., Grand, C., & Galsomies, L. (2009). Le programme ADEME "Bioindicateurs de qualité des sols"; Vers le développement et la validation d'indicateurs biologiques pour la protection des sols. *Étude et Gestion Des Sols*, 16(3–4), 145–158.

Blandin, P. (1986). Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bull. Ecol.*, 17, 215–307.

Bohan, A. D., Boursault, A., Brooks, D. R., & Petit, S. (2011). National - scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *Journal of Applied Ecology* , 48, 888 – 898.

Brague-Bouragba, N., Brague, A., & Lieutier, F. (2007). Comparaison des peuplements de Coléoptères et d'Araignées en zone reboisée et en zone steppique dans une région présaharienne. *Comptes rendus-Biologies*, 330(12), 923-939.

Bredart, D., Hatt, S., Méhu, M., Francis, F., & Stassart, P.M. (2017). Les savoirs des paysans pour coordonner la conservation de la nature et de l'agriculture. *Mille Lieux*, 7, 16-21.

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.

Brown, J. L. (1977). Etude de la perturbation des horizons du sol par un arbre qui se renverse et de son impact sur la pédogénèse. *Can. J. Soil Sci.*, 57, 173-186.

Butterfield, J. E. L., & Coulson, J. C. (1983). The carabid communities on peat and upland grasslands in northern England. *Holarctic Ecology*, 6, 163-174.

Calandra, D. M., Mauro, D. Di, Cutugno, F., & Martino, S. Di. (2016). Navigating wall-sized displays with the gaze: A proposal for cultural heritage. *CEUR Workshop Proceedings*, 1621(June), 36–43. <http://doi.org/10.1023/A>

Càrcamo, H.A. (1995). Effect of tillage on ground beetles (Coleoptera : Carabidae) : a farm-scale study in Central Alberta. *The Canadian Entomologist*, 127, 631-639.

Cas, L. E., Noctuelle, D. E. L. A., & Tomate, D. E. L. A. (n.d.). La dispersion des insectes, un paramètre important pour le contrôle des ravageurs, 13–19.

Cattan, A. (1992). L'adoption par les agriculteurs de pratiques agricoles favorables à l'environnement : identification des facteurs de blocage, 38–41.

Chabert, A.(2017). Expression combinée des services écosystémiques en systèmes de production agricole conventionnels et innovants : étude des déterminants agroécologiques de gestion du sol, des intrants et du paysage. *Institut National Polytechnique de Toulouse*.

Chailleux, A. (2016). Importance des interactions multi- trophiques dans les agrosystèmes pour la mise au point d ' une lutte biologique contre une espèce invasive.

Chambon, J., Genestier, G., Martinez, M., Pineau, C., Cocquempot, C., Coste, J., ...
Cocquempot, C. (1982). Recherches sur les biocénoses céréalières II . - Incidence des interventions insecticides sur les composants de l ' entomofaune To cite this version :
HAL Id : hal-00884399 II . - *Incidence des interventions insecticides sur les composants de l ' entomofa*.

Chessel, D.,& Gimaret, C. (2007). Analyse non symétrique des correspondances. *Ade-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>

De Groot R., Brander L., Van der Ploeg S., Costanza R., Bernard F., Braat L., Christie M., Crossman, N., Ghermandi A., Hein, L., Hussain, S., Kumae, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L. C., Brink, P.T., & Van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1, 50-61.

Debach, P. (1991). *Biological control by natural enemies (2e éd.)*. Cambridge University Press.

Deguine, J. & Ratnadass, A. (2013). *La gestion des habitats, pilier de l'agro-écologie*.

De Sainte Marie, C. (2014). Rethinking agri-environmental schemes. A result-oriented approach to the management of species-rich grasslands in France. *Journal of Environmental Planning and Management*, 57(5), 704–719.
<http://doi.org/10.1080/09640568.2013.763772>

Diwo-Allain, S., & Bout, A. (2004). Impact des aménagements paysagers et des techniques culturelles sur les carabes, auxiliaires de cultures. *Journée Techniques Nationales Fruits et Légumes Biologiques*, p.91-97.

Dostal, A.(2011). Taxonomic remarks about *Semiclivina* (Kult, 1947) new status, with description of *Uroclivina* subgen. n., and of two new species from South America (Coleoptera, Carabidae, Scaritinae, Clivinini). *ZooKeys*, 132, 33-50.

Du Chatenet, G. (2005). Coléoptère d'Europe : Carabes, Carabiques et Dytiques : Vol. 1. *Adephaga. N.A.P édition*.

Dufrène, M. (1992). *Biogéographie et Écologie des Communautés de Carabidae en Wallonie*,

- Dufrêne, M., & Desender, K. (2006). L'érosion de la biodiversité: les carabides.
- Dufrêne, M., Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.*, 67, 345–366.
- Dumont, A., Stassart, P., Vanloqueren, G., & Baret, P. (2014). Clarifier les dimensions socio-économiques et politiques de l'agroécologie: au-delà des principes, des compromis? *Philagri.Net*, 1–23.
- Eric Lichtfouse, M. H. N., & Debaeke, P. (2008). Sustainable Agriculture Volume 2. *Vasa*.
<http://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0>
- Erwin, T.L., Ball, G.E., & Whitehead, D.R. (1979). Carabid Beetles: their Evolution, Natural History and Classification.
- Eulin, J.-L. (2004). Les Limaces de Vendée (Mollusca : Gastropoda : Pulmonata), détermination et répartition. *Le Naturaliste Vendéen*, 4, 81–119.
- Franoux, L. (2015). Gestion agro-écologique du puceron *Aphis Gossypii* en culture de melon Biodiversité fonctionnelle et bandes fleuries.
<http://doi.org/10.13140/RG.2.1.3500.4564>
- Gimaret-Carpentier, C., Chessel, D., & Pascal, J.P. (1998). Non-symmetric correspondence analysis : an alternative for species occurrences data. *Plant Ecology*, 138, 97-112.
- GLEN, D. (1997). Des nématodes font la guerre aux limaces. *Biofutur*, n°170, pp.27-29.
- Gliesman, S. (2016). Agroecology and sustainable food systems. *Taylor & Francis*, 40, NO. 3, 187-189.
- Gliessman, S. (1998). Agroecology : ecological Processes in Sustainable Agriculture. *Chelsea, MI : Ann Arbor Press*.
- Guevara, M. R., Hartmann, D., & Mendoza, M. (2017). Diversity Measures for Complex Systems.
- Griffon, M. (2017). Éléments Théoriques En Agroécologie : L'Intensivité Écologique. *Ocl*, 24(3), D302. <http://doi.org/10.1051/ocl/2017016>
- Hatt, S., Uyttenbroeck, R., Bodson, B., Piqueray, J., Monty, A., & Francis, F. (2015). Des bandes fleuries pour la lutte biologique : état des lieux , limites et perspectives en Wallonie – Une synthèse bibliographique . *Entomologie Faunistique*, 68, 159–168.
- Holland, J.M., & Luff, M.L. (2000). The effects of agricultural practices on Carabidae in temperate agroecosystems. *Integrated Pest Management Reviews*, 5, 109-129.
- Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN). Retrieved from :
https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/222539

- Jeannel, R. (1941). Coléoptère carabiques, première partie. *Faune de France*, vol 39.
- Jeannel, R. (1941). Coléoptère carabiques, seconde partie. *Faune de France*, vol 40.
- Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques (2004). *Culture*.
- Kenneth, M., Sylvester, & Paul W. Rhode. (2017). Making Green Revolutions: Kansas Farms, Recovery, and the New Agriculture, 1918–1981. *Agricultural History*, 91(3), 342.
<http://doi.org/10.3098/ah.2017.091.3.342>
- Kerney, M.P., & Cameron, R.A.D. (2015). Escargot et limaces d'Europe. *Delachaux et Niestlé*.
- Knapp, M., & Růžička, J. (2012). The effect of pitfall trap construction and preservative on catch size, species richness and species composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *European Journal of Entomology*, 109(3), 419–426.
<http://doi.org/10.14411/eje.2012.054>
- Kozłowski, J., & Jaskulska, M. (2014). The effect of grazing by the slug *Arion vulgaris*, *Arion rufus* and *Deroceras reticulatum* (Gastropoda: Pulmonata: Stylommatophora) on leguminous plants and other small-area crops. *Journal of Plant Protection Research*, 54(3), 258-266.
- LABREUCHE, J., LE SOUDER, C., CASTILLON, P., OUVRY, J. F., REAL, B., GERMON, J. C., & TOURDONNET, S. (2007). Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturales Sans labour (TCSL) en France. ADEME-ARVALIS Institut Du Végétal-INRA-APCA-AREAS-ITB-CETIOM- IFVV, 1–88.
- Lambion, J., Berry, D., & Chabert, A. (2004). Limaces et escargots en bio : Comment limiter les dégâts ? *Journées Techniques Nationales Fruits et Légumes Biologiques*, p.83-87.
- Lambion, J. (2007). Limaces et escargots en agriculture biologique : quelles alternatives au metaldehyde ? AFPP – 7e Conférence Internationale Sur Les Ravageurs En Culture Montpellier – 26 et 27 Octobre 2005, 8.
- Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). HABITAT MANAGEMENT TO CONSERVE NATURAL ENEMIES OF ARTHROPOD PESTS, 175–201.
- Lauren, H. Z. G., & Whitlow, W. L. (2012). Ecological Effects of Invasive Slugs, *Arion rufus*, on Native Cascade Oregon Grape, *Mahonia nervosa*. *Northwest Science*, 86(1), 1–8.
<http://doi.org/10.3955/046.086.0101>
- Legendre, L., & Legendre, P. (1984). Ecologie numérique. 2. La structure des données écologiques.
- Legendre, P., & Fortin, M.-J. (1989). Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, 80, 107-138.
- Legendre, P. (1987). Constrained clustering. *Developments in Numerical Ecology*, p.289-307.

- Legendre, P. (1990). Quantitative methods and biogeographic analysis. *Evolutionary Biogeography of the Marine Algae of the North Atlantic*, Garbary, p.9-34.
- Legendre, P. (1993). Spatial autocorrelation : trouble or new paradigm ?. *Ecology*.
- Legrand, M., Delanote, L., Delebecq, A., Ducatillon, C., Grebert, D., & Vercaigne, J. (2005). Comment lutter contre les limaces en maraîchage biologique ?. *Vetabio*.
- Light, R. J., & Margolin, B. H. (2012). An analysis of variance for categorical data. *Journal of the American Statistical Association*.
- Liu, Y., Axmacher, J. C., Wang, C., Li, L. & Yu, Z. (2010). Ground Beetle (Coleoptera: Carabidae) Assemblages of Restored Semi-natural Habitats and Intensively Cultivated Fields in Northern China. *Restoration Ecology*, 20, 234-239.
- Marcon, E. (2016). Mesure de la biodiversité.
- Malézieux, E., & Ozier-Lafontaine, H. (2013). Agro-écologie : quels principes dans les agro-écosystèmes tropicaux ?. *Seminaire Agroécologie INRA*.
- OHS. (2017). Conseils et semences. Retrieved from :
https://www.hauenstein.ch/fileadmin/autoren/PDF/Ldw/Rat_und_Saat/OH_Rat_und_Saat_2017_FR_Web_A4_klein.pdf
- Pfiffner, L., & Niggli, U. (1996). Effects of Bio-dynamic, Organic and Conventional Farming on Ground Beetles (Col. Carabidae) and Other Epigeic Arthropods in Winter Wheat. *Biological Agriculture and Horticulture*, 12(4), 353–364.
<http://doi.org/10.1080/01448765.1996.9754758>
- Pievani, T. (2014). The sixth mass extinction: Anthropocene and the human impact on biodiversity. *Rendiconti Lincei*, 25(1), 85–93. <http://doi.org/10.1007/s12210-013-0258-9>
- Piqueray, J., Richard, C., Walot, T., Le Roi, A., de Tillesse, M., Hance, T., & Mahy, G. (2013). Proceedings of the conference: “Nature, conditionnalité et verdissement de la PAC : un tournant wallon ?”. 9th November 2011. Espace Senghor, Gembloux, Belgium. *Biotechnologie Agronomie Société Et Environnement*, 17(2), 344–351.
- Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2959–2971. <http://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>
- Reboud, X., Malezieux, E., Reboud, X., & Malezieux, E. (2016). Vers une agroécologie biodiverse : enjeux et principaux concepts mobilisés To cite this version : HAL Id : hal-01298955.
- Reboud, X., Baudry, J., & Gascuel, C. (2013). Interactions biotiques et agro-écologie du paysage. *INRA*.

- Rhino, B., Vinatier, F., Thibaut, C. & Amour, C. (2010). La dispersion des insectes, un paramètre important pour le contrôle des ravageurs. *Les cahiers du PRAM*.
- Ronzon, B. (2006). Biodiversité et lutte biologique Comprendre quelques fonctionnements écologiques dans une parcelle cultivée , pour prévenir contre le puceron de la salade. Extrait d'un Mémoire de Fin d'étude.
- Sauvion, N., Catlatayud, P., Thiéry, D., & Marion-Poll, F.(2013). Interactions insectes-plantes. *IRD edition & Edition Quae*.
- Simon, S., Marliac, G., & Capowiez, Y. (2015). Quelles pratiques agroécologiques pour contrôler les bioagresseurs dans un système pérenne, le verger de pommiers ?. *Innovations Agronomiques*, 43, 29–40. <http://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2008.01526>.
- Solagro .(2012). Les carabes, indicateurs de la biodiversité fonctionnelle d'une exploitation agricole.
- Speizer, B., Zaller, J. G., & Neudecker, A. (2001). Size-specific susceptibility of the pest slugs *Deroceras reticulatum* and *Arion lusitanicus* to the nematode biocontrol agent *Phasmarhabditis hermaphrodita*. *BioControl*, 46, 311-320.
- Stinner, B.R., & House, G. H. (1990). Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annual Review of Entomology*, 35, 299-318.
- Sukhdev, P., Wittmer H., Schröter-Schlaack C., Nesshöver C., Bishop J., Brink P. T., Gundimeda H., Kuma P., & Simmons B. (2010). TEEB (2010) The Economics of Ecosystems and Biodiversity : Mainstreaming the Economics of Nature : A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB.
- Suty, L. (2010). La lutte biologique. *Editions Quae* .
- Sylvester, K. M., & Rhode, P. W.(2017). Making Green Revolutions : Kansas Farms, Recovery, and the New Agriculture, 1918-1981. *Agricultural History*, 91, n°3, 342-368.
- Slotsbo, S. (2012). Ecophysiology and life history of the slug *Arion lusitanicus*, 1–83.
- Stassart, P. M., Baret, P., Grégoire, J.-C., Hance, T., Mormont, M., Reheul, D., & Stilmant, D. (2012). L'agroécologie : Trajectoire et potentiel pour une transition vers des systèmes alimentaires durables. *Agroécologie Entre Pratiques et Sciences Sociales*, 1–21.
- Fiche technique. (2010). Limaces en grandes cultures. p. 47–50.
- Triola, M. M., & Triola, M. F. (2012). Biostatistique pour les sciences de la vie et de la santé. *Pearson*.
- Tschumi, M., Herzog, F., Tschumi, M., Albrecht, M., Dubsky, V., & Jacot, F. H. K. (2016). Les bandes fleuries pour auxiliaires limitent les ravageurs dans les grandes cultures. *Recherche Agronomique Suisse*, 7(6), 260–267.

- Vayssières, J. F., Delvare, G., Maldès J. M., & Aberlenc, H. P. (2011). Inventaire préliminaire des arthropodes ravageurs et auxiliaires des cultures maraichères sur l'île de la Réunion. *International Journal of Tropical Insect Science*, 21, 1-22.
- Vingere, J. (2010). Importance agro-écologique de la mise en place d'un réseau de bandes enherbées en zone de grandes cultures. *Université de Caen Basse Normandie*.
- Volterra, V. (1931). Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together. *Animal Ecology*.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. *Sustainable Agriculture*, 2, 27-43.
http://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_3
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J. F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 1-20. <http://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>
- Wood, S. A., Karp, D. S., DeClerck, F., Kremen, C., Naeem, S., & Palm, C. A. (2015). Functional traits in agriculture: Agrobiodiversity and ecosystem services. *Trends in Ecology and Evolution*, 30(9), 531-539. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.013>
- Wilson, M. J. ; Glen, D. M., & George, S. K. (1993). The rhabditid nematode *Phasmarhabditis hermaphrodita* as a potential biological control agent for slugs. *Biocontrol Science and Technology*, 3, 503-511.
- Yue, H., Zhao, Y., Ma, X., & Gong, J. (2012). Ethylene glycol: properties, synthesis, and applications. *Chemical Society Reviews*, 41, 4218-4244.

Annexes

1. Questionnaire:

Les cultures

1. Quelles surfaces en culture arable avez-vous?
2. Combien de parcelles de culture arable avez-vous ?
3. Que cultivez-vous dans les parcelles arables?
4. Est-ce que vous labouré ces parcelles ? Pourquoi ?
5. Utilisez-vous des insecticides ?
Si oui, lesquels et combien de fois par an ?
6. Utilisez-vous de l'anti-limace ?
Si oui, le ou lesquels et combien de fois par an ?
7. Quels sont les rendements moyens sur ces cultures ?

Avis sur l'agriculture biologique et l'agroécologie

1. Pour vous, qu'est-ce que l'agriculture biologique ?
2. Que pensez-vous de l'agriculture biologique?
3. Rencontre-t-on des problèmes en pratiquant l'agriculture biologique ? (ravageurs, maladies, etc.)
4. Pourquoi avez-vous été attiré par l'agriculture biologique (prime ou autre) ?
5. Que pensez-vous des techniques de non-labour ?
6. Souhaiteriez-vous passer en non-labour un jour ?
7. Avez-vous entendu parler de l'agroécologie? Oui-non
Si oui, que pensez-vous de cette pratique?
8. Pour vous, l'agriculture conventionnelle a-t-elle un avenir ?
9. Que pensez-vous de l'avenir de l'agriculture biologique ? (véritable solution, effet de mode, etc.)
10. Est-ce que l'agroécologie a un avenir ?

2. Code pour les espèces de carabidés.

Espèces	Code	
<i>Abaxparallelipedus</i>	Ab. paralleli.	
<i>Abaxparallelus</i>	Ab. parallelus	
<i>Agonummuelleri</i>	Ag. muelleri	
<i>Amara aenea</i>	A. aenea	
<i>Amara familiaris</i>	A. familiaris	
<i>Amara ovata</i>	A. ovata	
<i>Amara similata</i>	Ab. similata	
<i>Anchomenusdorsalis</i>	An. dorsalis	
<i>Asaphidionflavipes</i>	As. flavipes	
<i>Badisterbullatus</i>	B. bullatus	
<i>Badisterpeltatus</i>	B. peltatus	

<i>Badistersodalis</i>	B. sodalis	
<i>Bembidionhumerale</i>	Be. humerale	
<i>Bembidionlampros</i>	Be. lampros	
<i>Bembidionlatinus</i>	Be. latinus	
<i>Bembidionmannerheimii</i>	Be. manner.	
<i>Bembidionoptusum</i>	Be. optusum	
<i>Bembidionproperans</i>	Be. properans	
<i>Brachinuscrepitans</i>	Br. crepitans	
<i>Brachinusexplodens</i>	Br. explodens	
<i>Calathus gr. Melanocephalus</i>	Ca. melano.	
<i>Carabusauratus</i>	C. auratus	
<i>Carabusnemoralis</i>	C. nemoralis	
<i>Carabusproblematicus</i>	C. problem.	
<i>Clivina gr. Fossor</i>	Cl. fossor	
<i>Dryptadentata</i>	Dr. dentata	
<i>Harpalus affinis</i>	H. affinis	
<i>Harpaluscupreus</i>	H. cupreus	
<i>Harpalusdimidiatus</i>	H. dimidiatus	
<i>Harpalusflavescens</i>	H. flavescens	
<i>Harpaluslatus</i>	H. latus	
<i>Harpalusrubripes</i>	H. rubripes	
<i>Harpalusrufipes</i>	H. rufipes	
<i>Harpalusserripes</i>	H. serripes	
<i>Harpalussignaticornis</i>	H. signa.	
<i>Harpalus smaragdinus</i>	H. smara.	
<i>Leistusspinibarbis</i>	Le. spinibarbis	
<i>Limodromus assimilis</i>	Li. assimilis	
<i>Loricera policornis</i>	Lo. policornis	
<i>Microlestemaureus</i>	M. maureus	
<i>Microlesteminutilus</i>	M. minutilus	
<i>Nebriabrevicollis</i>	Ne. brevi.	
<i>Nebria salina</i>	N. salina	
<i>Notiophilusbiguttatus</i>	No. bigu.	
<i>Notiophilusquadripunctatus</i>	No. quadri.	
<i>Notiophilusrufipes</i>	No. rufipes	
<i>Oodeshelopioides</i>	Oo. helo.	
<i>Ophonusazureus</i>	O. azureus	
<i>Ophonussubquadratus</i>	O. sub.	
<i>Panageusbipustulatus</i>	Pa. bipustu.	
<i>Poeciluscupreus</i>	P. cupreus	
<i>Pterostchusdiligens</i>	Pt. diligens	
<i>Pterostchusstrenuus</i>	Pt. strenuus	
<i>Pterostichusmadidus</i>	Pt. madidus	

3. Résultats des carabidés dans les 51 pièges sur une période de 8 jours en avril (a) et en mai (b). (Ag) agroécologie, (Conv) Conventionnelle, (Cons) agriculture de conservation, (Nbreind.) nombre d'individus, (Nbre espèce) Nombre d'espèces, (eff./jour) efficacité moyenne par piège .

(a)

Placette	Piège	Nbre ind	Nbre espèce	eff./jour
Ag1	A1	42	9	5,25
	A2	32	6	4
	A3	10	4	1,25
	A4	13	5	1,62
	A5	25	4	3,12
	A6	13	7	1,62
	A7	45	5	5,62
Total		180	17	22,48
Ag2	A8	15	7	1,87
	A9	15	5	1,87
	A10	14	3	1,75
	A11	34	3	4,25
	A12	15	3	1,87
	A13	22	5	2,75
	A14	54	7	6,75
Total		169	13	21,11
Ag3	A15	52	6	6,5
	A16	19	6	2,37
	A17	14	6	1,75
	A18	20	6	2,5
	A19	21	3	2,62
	A20	12	6	1,5
	A21	38	6	4,75
Total		176	13	21,99

Placette	Piège	Nbre ind	Nbre espèce	eff./jour	Placette	Piège	Nbre ind	Nbre espèce	eff./jour
Conv1	B1	23	8	2,87	Cons1	C1	20	10	2,5
	B2	33	8	4,12		C2	40	10	5
	B3	49	7	6,12		C3	65	5	8,12
	B4	14	5	1,75		C4	36	5	4,5
	B5	24	6	3		C5	53	6	6,62
Total		143	15	17,86	Total		214	19	26,74
Conv2	B6	27	7	3,37	Cons2	C6	11	6	1,37
	B7	27	6	3,37		C7	20	7	2,5
	B8	21	5	2,62		C8	20	5	2,5
	B9	13	9	1,62		C9	40	4	5
	B10	7	6	0,87		C10	29	6	3,62
Total		95	13	11,85	Total		120	13	14,99
Conv3	B11	55	8	6,87	Cons3	C11	19	7	2,37
	B12	43	6	5,37		C12	19	7	2,37
	B13	45	6	5,62		C13	19	7	2,37
	B14	29	6	3,62		C14	28	6	3,5
	B15	20	7	2,5		C15	61	6	7,62
Total		192	12	23,98	Total		146	18	18,23

(b)

Placette	Piège	Nbre ind	Nbre espèce	eff./jour
Ag1	A1	20	6	2,5
	A2	11	5	1,37
	A3	33	6	4,12
	A4	30	3	3,75
	A5	26	4	3,25
	A6	24	6	3
	A7	91	7	11,37
Total		235	14	4,19
Ag2	A8	5	4	0,62
	A9	14	7	1,75
	A10	43	6	5,37
	A11	18	4	2,25
	A12	29	6	3,62
	A13	30	4	3,75
	A14	32	9	4
Total		171	15	3,05
Ag3	A15	36	6	4,5
	A16	40	5	5
	A17	33	6	4,12
	A18	33	6	4,12
	A19	29	6	3,62
	A20	69	6	8,62
	A21	169	11	21,12
Total		409	13	7,3

Placette	Piège	Nbre ind	Nbre espèce	eff./jour	Placette	Piège	Nbre ind	Nbre espèce	eff./jour
Conv1	B1	14	6	1,75	Cons1	C1	10	5	1,25
	B2	21	5	2,62		C2	14	6	1,75
	B3	18	4	2,25		C3	3	3	0,37
	B4	21	6	2,62		C4	7	4	0,87
	B5	29	10	3,62		C5	20	8	2,5
Total		103	16	2,57	Total		54	14	1,35
Conv2	B6	34	6	4,25	Cons2	C6	18	9	2,25
	B7	26	9	3,25		C7	15	8	1,87
	B8	19	5	2,37		C8	18	6	2,25
	B9	28	8	3,5		C9	15	6	1,87
	B10	16	6	2		C10	13	3	1,62
Total		123	14	3,07	Total		79	13	1,97
Conv3	B11	17	5	2,12	Cons3	C11	6	4	0,75
	B12	44	9	5,5		C12	7	5	0,87
	B13	20	7	2,5		C13	10	6	1,25
	B14	36	8	4,5		C14	19	5	2,37
	B15	10	4	1,25		C15	16	6	2
Total		127	13	3,17	Total		58	10	1,45

4. Répartition des carabidés dans les bandes enherbées

Tableau 2. Répartition des espèces carabiques dans les bandes enherbées de la parcelle agroécologique. (C) culture, (PB) 5m des bandes, (BN) bande enherbée naturelle, (B1) mélange de *Dactylis glomerata* et *Festucaarundinacea*, (B2) tournière fleurie et (B3) mélange *Trifolium repens* et *Medicagosativa*. Statut : (c) commun, (r) rare, (abs) pas présent.

Avril

Taxon	C	PB	BN	B1	B2	B3	Statut
A. similita	0	0	1	0	0	0	1 c
Ag. muelleri	24	10	2	3	2	2	9 c
An. Dorsalis	0	1	6	0	0	0	1 c
Br. crepitans	0	0	1	0	0	0	0 r
Ba. Bullatus	0	0	2	0	0	0	0 c
Be. lampros	57	27	29	17	15	11	11 c
Be. manner	5	2	0	0	5	0	0 r
H. affinis	9	5	11	9	4	1	1 c
Lo. policornis	0	1	0	0	1	0	0 c
M. maurus	0	0	0	1	0	0	0 r
M. minutilus	0	0	10	0	0	0	0 r
O. azureus	0	0	0	0	1	0	0 c
P. cupreus	67	45	46	15	26	15	15 c
Pa. bipustu.	0	0	2	0	0	0	0 c
Total individus	162	91	110	45	54	38	
Pourcentage (%)	47,9289941	26,9230769	32,5443787	13,3136095	15,9763314	32,5443787	

Mai

Taxon	C	PB	BN	B1	B2	B3	Statut
Ag. muelleri	3	2	1	0	0	0	1 c
An. Dorsalis	1	1	0	0	0	0	1 c
Be. lampros	95	47	8	11	2	5	5 c
Be. manner	5	1	0	0	2	0	0 r
Be. Properans	0	0	1	0	0	0	0 c
Br. Explodens	0	0	0	0	1	1	1 r
Dr. Dentata	0	0	0	0	1	1	1 c
H. affinis	6	3	2	2	1	4	4 c
H. serripes	0	0	0	1	0	0	0 abs
H. rufipes	5	10	17	3	0	7	7 c
M. minutilus	45	41	0	1	4	1	1 r
Ne. Brevi.	2	2	8	0	1	1	1 c
Ne. Salina	4	9	10	2	3	3	3 c
O. azureus	0	0	1	0	0	0	0 c
P. cupreus	103	89	10	71	17	144	144 c
Total individus	269	205	58	91	32	169	
Pourcentage (%)	48,4684685	36,9369369	10,4504505	16,3963964	5,76576577	30,4504505	

5. Résultats des indices de diversité spécifique.

Tableau 3. Les indices de diversité spécifique obtenus pour les Carabidae dans chaque parcelle.

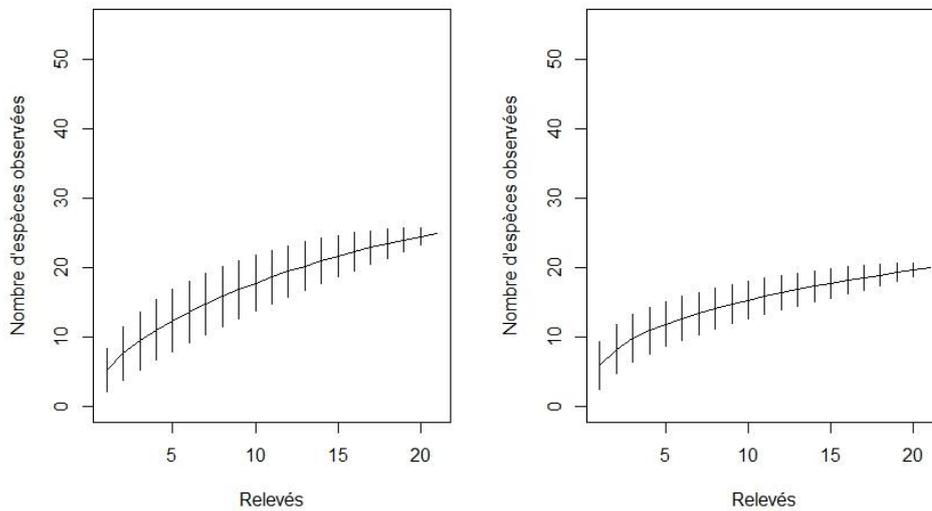
Parcelle en agriculture agroécologique (A)					
Avril					
Nbre d'espèces	Chao	Gleason	Shannon	Simpson	α
26	33.94	9.20	1.73	0.73	0.41
Mai					
Nbre d'espèces	Chao	Gleason	Shannon	Simpson	α
21	30.64	6.85	1.53	0.67	0.52
Parcelle en agriculture conventionnelle (B)					
Avril					
Nbre d'espèces	Chao	Gleason	Shannon	Simpson	α
22	37.55	7.81	1.76	0.75	0.37
Mai					
Nbre d'espèces	Chao	Gleason	Shannon	Simpson	α
22	24.80	8.24	1.88	0.76	0.41
Parcelle en agriculture de conservation (C)					
Avril					
Nbre d'espèces	Chao	Gleason	Shannon	Simpson	α
29	47.29	10.45	1.36	0.51	0.69
Mai					
Nbre d'espèces	Chao	Gleason	Shannon	Simpson	α
18	29.43	7.45	2.08	0.83	0.25

Tableau 4. Les indices de diversité spécifique obtenus pour les Carabidae dans les bandes enherbées de la parcelle en agriculture agroécologique.

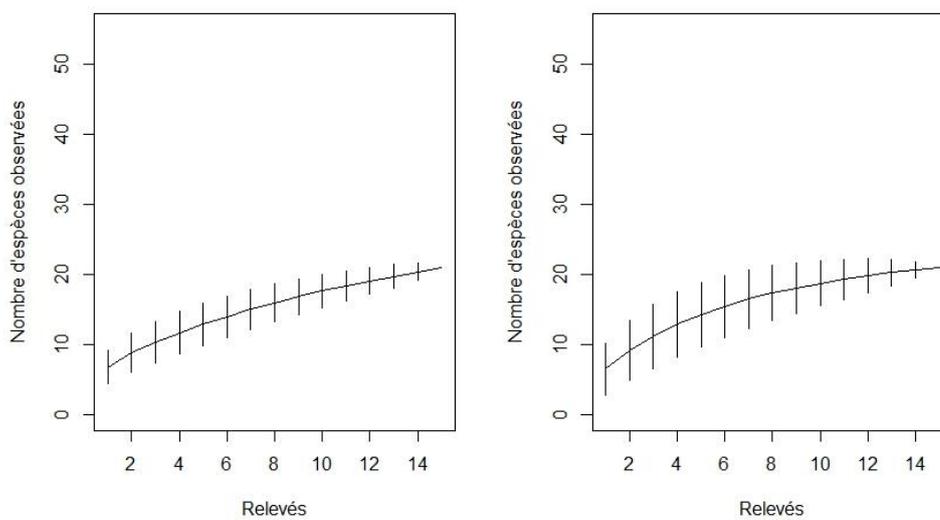
Avril					
Nbre d'espèces	Chao	Gleason	Shannon	Simpson	α
7	7	2.37	1.52	0.76	0.32
Mai					
Nbre d'espèces	Chao	Gleason	Shannon	Simpson	α
7	11.2	2.19	1.43	0.73	0.37

6. Courbes d'accumulation-raréfaction des trois sites d'études

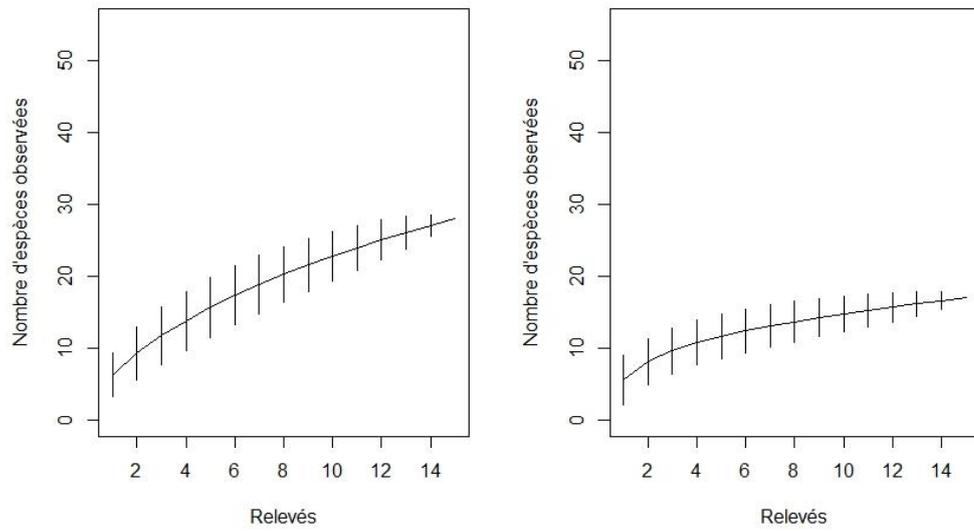
Graphique c. Courbes d'accumulation-raréfaction de la parcelle A en avril (gauche) et en mai (droite).



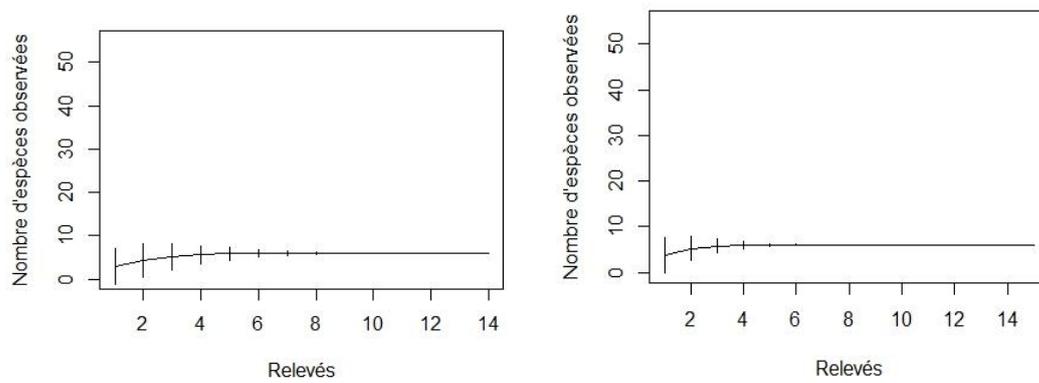
Graphique d. Courbes d'accumulation-raréfaction de la parcelle B en avril (gauche) et mai (droite).



Graphique e. Courbes d'accumulation-raréfaction dans la parcelle C en avril (gauche) et mai (droite).



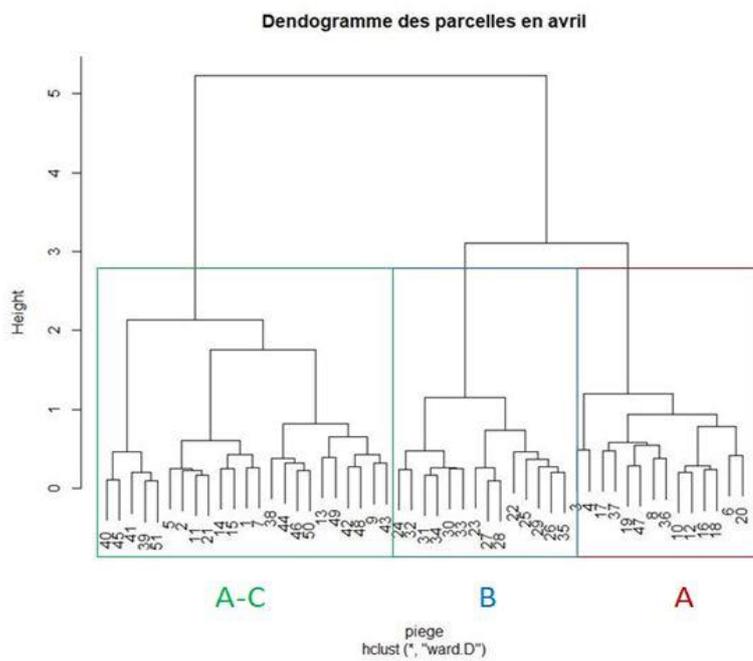
Graphique f. Courbes d'accumulation-raréfaction dans les bandes enherbées de la culture en agroécologie en avril (gauche) et mai (droite).



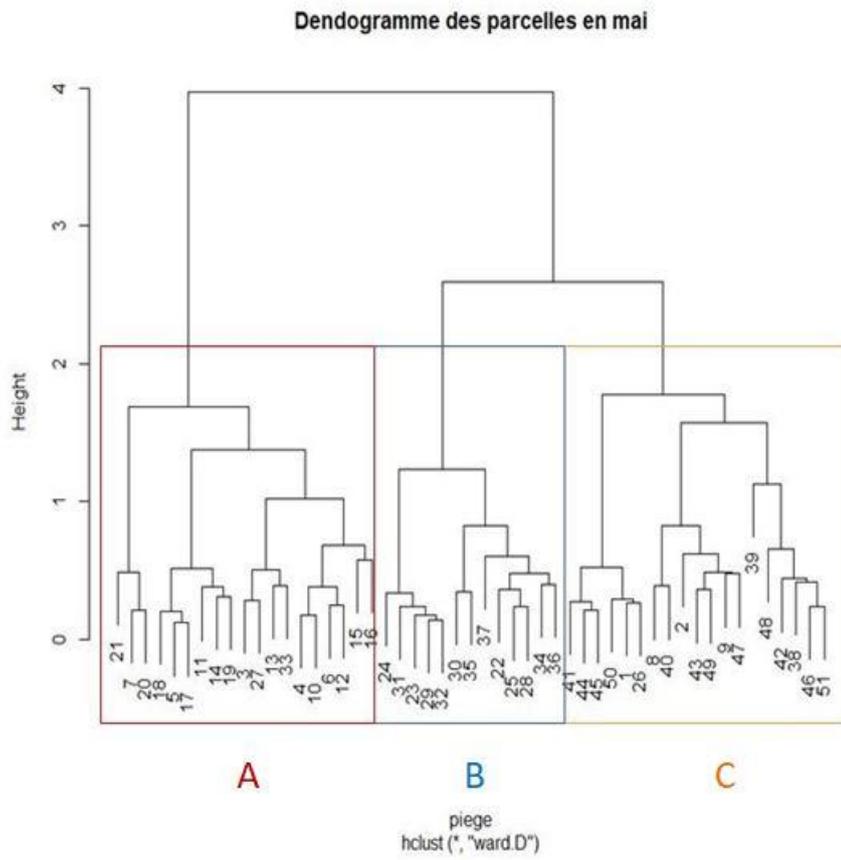
7. Analyse multivariée : résultats de la classification hiérarchique

Graphique h. Dendrogrammes des parcelles en avril (a) et en mai (b). (a) brun : pratique agroécologique, bleu : pratique conventionnelle, vert : pratique agroécologique et en agriculture de conservation. (b) orange : pratique en agriculture de conservation, bleu : pratique conventionnelle, brun : pratique agroécologique.

(a)



(b)



8. Espèces indicatrices obtenues via les valeurs InDval.

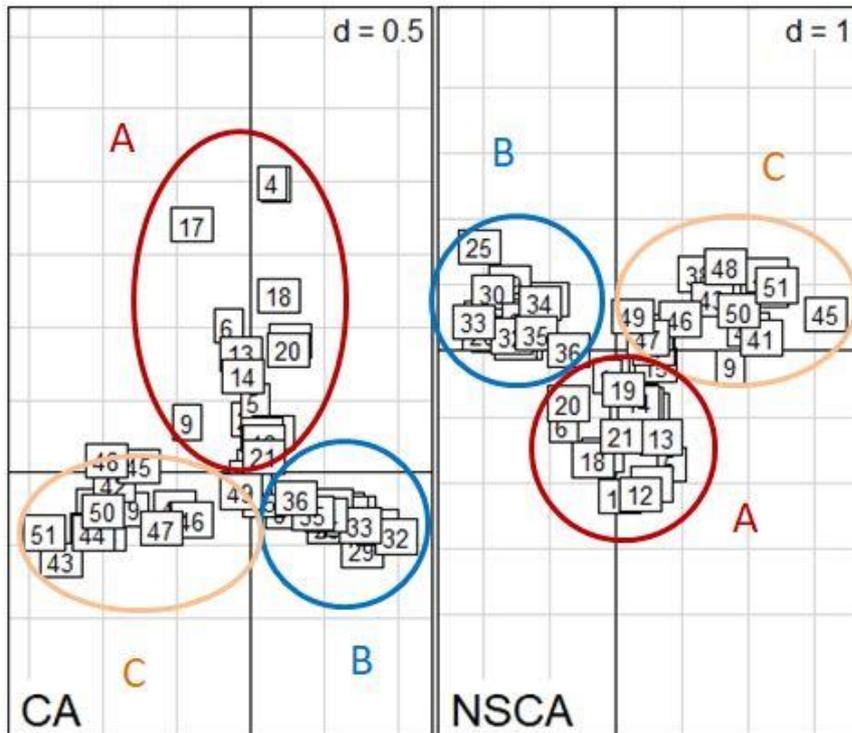
Tableau 5. Les valeurs InDval pour les trois groupes obtenus par la classification hiérarchique agglomérative. (bio) agroécologie et agriculture de conservation.

Avril		
Groupe	Espèces indicatrices	Valeur InDval
1 (bio)	<i>Poecilus cupreus</i>	73%
	<i>Abax parallelipedus</i>	52%
2 (conventionnelle)	<i>Bembidion lampros</i>	23%
	<i>Bembidion properans</i>	21%
	<i>Agonum muelleri</i>	21%
	<i>Poecilus cupreus</i>	15%
	<i>Notiophilus quadripunctatus</i>	14%
3 (agroécologie)	<i>Harpalus signaticornis</i>	96%
	<i>Bembidion lampros</i>	51%
Mai		
Groupe	Espèces indicatrices	Valeur InDval
1 (agroécologie)	<i>Abax parallelipedus</i>	59%
	<i>Nebria brevicollis</i>	40%
	<i>Nebria salina</i>	38%
2 (conventionnelle)	<i>Poecilus cupreus</i>	82%
	<i>Microleste minutulus</i>	67%
	<i>Bembidion lampros</i>	46%
3 (conservation)	<i>Harpalus signaticornis</i>	65%
	<i>Bembidion lampros</i>	39%

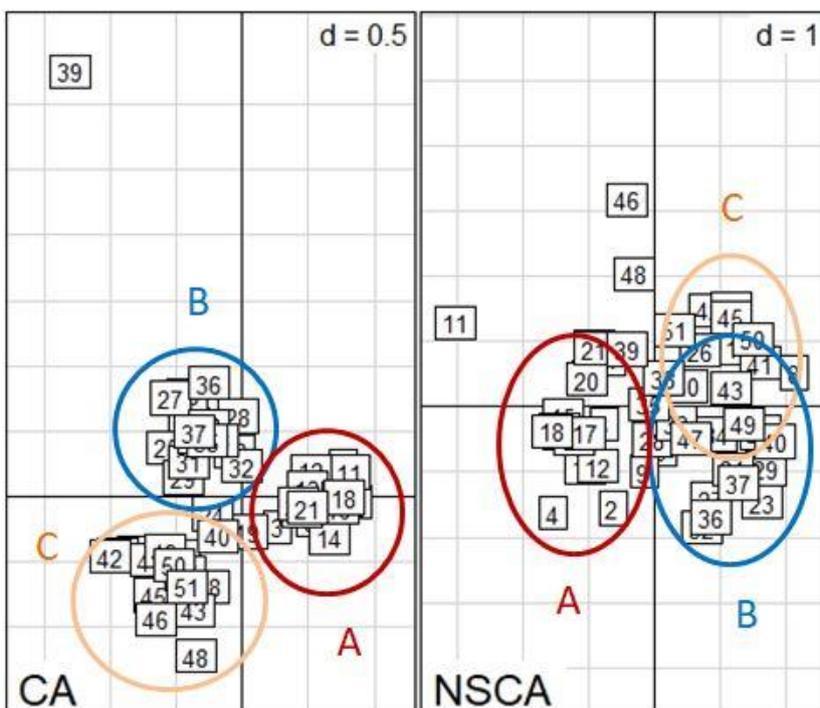
9. Analyse multivariée : résultats de l'ordination

Graphique g. Ordination selon les parcelles en avril (a) et mai (b). (A) agroécologie, (B) agriculture conventionnelle et (C) agriculture de conservation.

(a)



(b)



10. Résumé des traits écologiques des espèces attrapées

Tableau 6. Tableau résumant les traits écologiques des carabidés intéressant dans le cadre de ce TFE.

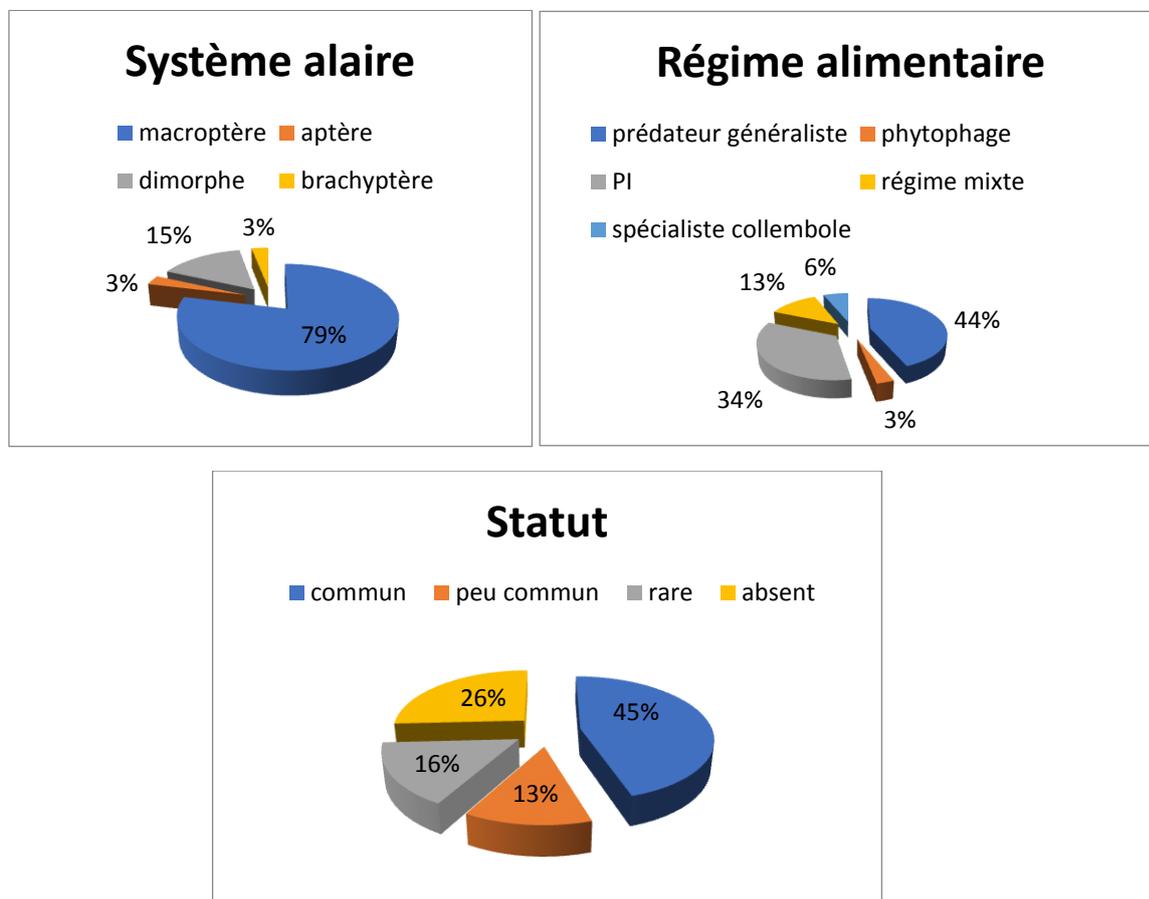
Système alaire : (a) aptère, (br) brachyptère, (d) dimorphe, (m) macroptère. Régime alimentaire : (phyto) phytophage, (pred. gen.) prédateur généraliste, (régime mix) régime mixte, (special col.) spécialiste collembole et (PI) pas information. Activité : (PA) pratiquement toute l'année. Statut : (c) commun, (pc) peu commun, (abs) absence et (r) rare.

Taxon	Code	Taille	Système alaire	Régime al.	Activité	Statut	A (avril)	B (Avril)	C (Avril)	A (Mai)	B (Mai)	C (Mai)
<i>Amara aenea</i>	A. aenea	8 à 10	m	phyto	avril-oct	c		x			x	
<i>Amara familiaris</i>	A. familiaris	6	m	phyto	avril-oct	pc			x			
<i>Amara ovata</i>	A. ovata	8	m	phyto	avril-oct	c		x				
<i>Amara similata</i>	A. similata	7 à 10	m	phyto	avril-sept	c	x	x	x		x	
<i>Abax parallelipipedus</i>	Ab. paralleli.	13 à 17	a	pred. gen.	avril-oct	c			x	x	x	
<i>Abax parallelus</i>	Ab. parallelus	14	a	PI	PI	abs						x
<i>Agonum muelleri</i>	Ag. muelleri	8 à 9	m	pred. gen.	avril-sept	c	x	x	x	x	x	
<i>Anchiomenus dorsalis</i>	An. Dorsalis	7 à 8	m	pred. gen.	avril-oct	c	x	x	x	x	x	
<i>Asaphodion flavipes</i>	As. Flavipes	4	m	specia. col	mars-juillet	c		x	x			x
<i>Brachinus crepitans</i>	Br. crepitans	9	m	pred. gen.	PA	abs	x					
<i>Badister bullatus</i>	Ba. bullatus	7	m	pred. gen.	PA	pc	x	x				
<i>Badister peltatus</i>	Ba. peltatus	6	m	pred. gen.	PA	r	x					
<i>Badister sodalis</i>	Ba. sodalis	6	m	pred. gen.	avril-oct	r	x					
<i>Bembidion humerale</i>	Be. humerale	4	d	PI	PA	abs				x		
<i>Bembidion lampros</i>	Be. lampros	4	d	pred. gen.	mars-sept	c	x	x	x	x	x	
<i>Bembidion latinus</i>	Be. latinus	6	m	PI	PA	abs	x					
<i>Bembidion manneheimii</i>	Be. manner	4	d	pred. gen.	PA	r	x			x		
<i>Bembidion optatum</i>	Be. optatum	3 à 4	d	pred. gen.	avril-oct	c	x		x			
<i>Bembidion properans</i>	Be. properans	4	d	pred. gen.	avril-aout	c	x		x			
<i>Brachinus expoldens</i>	Br. expoldens	8 à 9	m	pred. gen.	?	r				x		
<i>Carabus auratus</i>	C. auratus	19 à 21	a	pred. gen.	avril-sept,oct	lc					x	x
<i>Carabus nemoralis</i>	C. nemoralis	22	a	pred. gen.	avril-oct	pc			x			
<i>Carabus problematicus</i>	C. problem.	25	a	PI	février-oct	pc						x
<i>Colathus gr. melanocephalus</i>	Ca. melano.	7,5	a	pred. gen	avril-oct	r			x			
<i>Clivina gr. Fossor</i>	Cl. gr. fossor	6 à 7	d	pred. gen	avril-oct	pc		x			x	
<i>Drypta dentata</i>	Dr. Dentata	7 à 9	m	PI	avril-oct	pc				x		
<i>Harpalus affinis</i>	H. affinis	8 à 11	m	régime mix	PA	c	x	x	x	x	x	
<i>Harpalus cupreus</i>	H. cupreus	11 à 15	m	PI	mars-mai	abs	x					
<i>Harpalus dimidiatus</i>	H. dimidiatus	10 à 13	m	PI	PI	abs				x		
<i>Harpalus flavescens</i>	H. flavescens	11 à 12	m	PI	juin-setp	abs		x				x

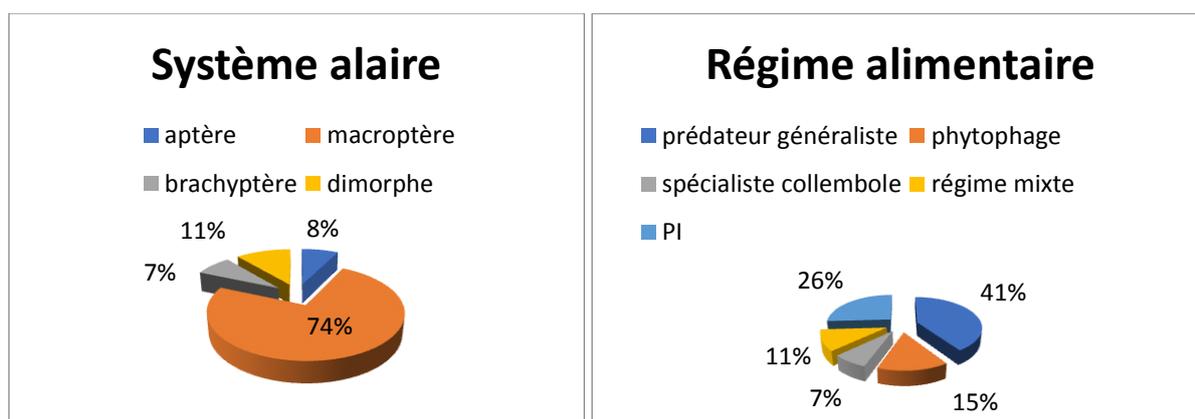
Taxon	Code	Taille	Système alaire	Régime al.	Activité	Statut	A (Avril)	B (Avril)	C (Avril)	A (Mai)	B (Mai)	C (Mai)
<i>Harpalus latus</i>	H. latus	8 à 11	m	phyto	avril-sept	abs		x			x	
<i>Harpalus rubripes</i>	H. rubripes	8 à 13	m	régime mix	avril-oct	pc	x	x	x		x	
<i>Harpalus rufipes</i>	H. rufipes	13 à 16	m	régime mix	avril-oct	c			x	x	x	x
<i>Harpalus serripes</i>	H. serripes	11	m	PI	PI	abs	x					
<i>Harpalus signaticornis</i>	H. signa.	6 à 8	m	PI	PI	abs		x	x	x	x	x
<i>Harpalus smaragdinus</i>	H. smara.	9 à 12	m	PI	PI	abs		x		x	x	x
<i>Harpalus solitarius</i>	H. solitarius	10	m	PI	PI	abs		x				
<i>Harpalus tardus</i>	H. tardus	10	m	régime mix	avril-oct	pc	x		x			
<i>Leistus spinibarbis</i>	Le. spini.	11 à 12	a	PI	avril-oct	abs			x			
<i>Limodromus assimilis</i>	Li. assimilis	11	m	pred. gen.	avril-oct	r			x			
<i>Loricera policornis</i>	Lo. policornis	8	m	specia. col	mars-août	c	x					
<i>Microleste maurus</i>	M. maurus	3 à 4	m	PI	PI	r	x	x	x	x	x	x
<i>Microleste minutulus</i>	M. minutulus	2 à 4	m	PI	PI	r	x		x	x	x	x
<i>Nebria brevicollis</i>	Ne. brevi.	11 à 14	m	pred. gen.	avril-oct	c			x	x	x	x
<i>Nebria salina</i>	Ne. salina	11 à 13	m	pred. gen.	avril-oct	c	x		x	x	x	x
<i>Notiophilus rufipes</i>	No rufipes	5	d	specia. col	avril-oct	pc		x	x	x	x	x
<i>Notiophilus biguttatus</i>	No. bigutta.	5	d	specia. col	avril-oct	c			x			
<i>Notiophilus quadripunctatus</i>	No. quadri.	2	m	specia. col	PA	c	x					
<i>Ophonus azureus</i>	O. azureus	10 à 11	m	PI	fin été	abs	x		x	x	x	
<i>Ophonus subquadratus</i>	O. sub.	2 à 5	m	PI	PI	abs	x					
<i>Oodes helopioides</i>	Oo. helo.	7	m	PI	février-août	pc			x			
<i>Poecilus cupreus</i>	P. cupreus	11 à 14	m	pred. gen.	PA	c	x	x	x	x	x	x
<i>Panageus bipustulatus</i>	Pa. bipustu.	4	m	PI	PA	pc	x					
<i>Pterostichus diligens</i>	Pt. diligens	6	m	pred. Gen.	mars-août	c			x			
<i>Pterostichus madidus</i>	Pt. madidus	15	a	pred. gen.	avril-oct	c			x			
<i>Pterostichus strenuus</i>	Pt. strenuus	7	d	pred. gen.	avril-oct	c		x	x			

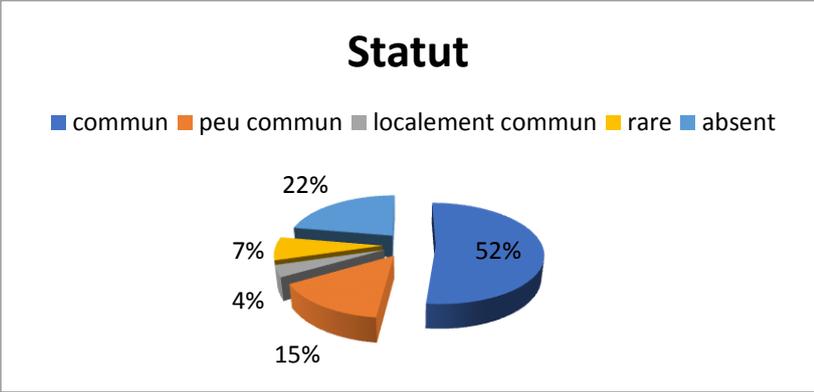
Graphique j. Les traits écologiques des Carabidae dans les trois cultures étudiées. (a) culture agroécologique, (b) culture en agriculture conventionnelle et (c) culture en agriculture de conservation.

(a)

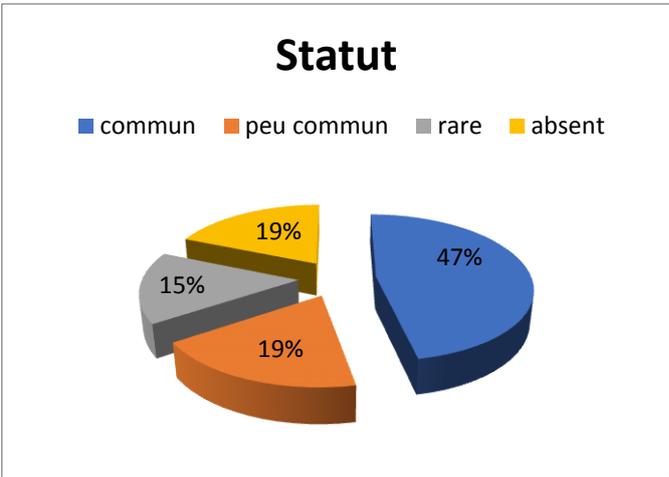
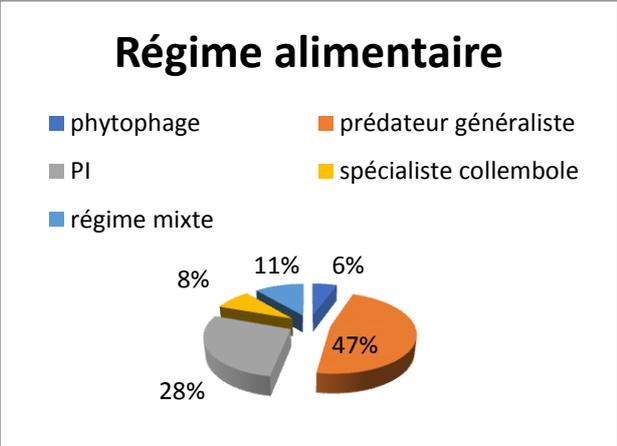
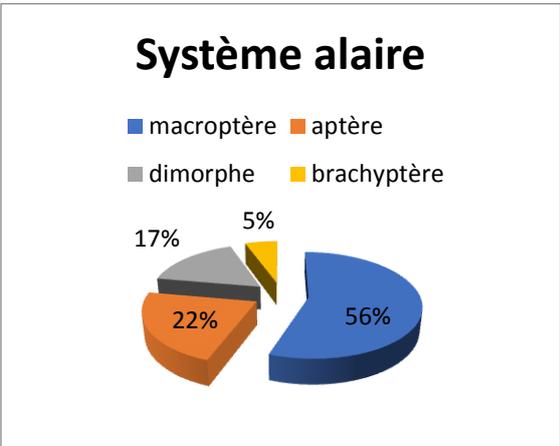


(b)

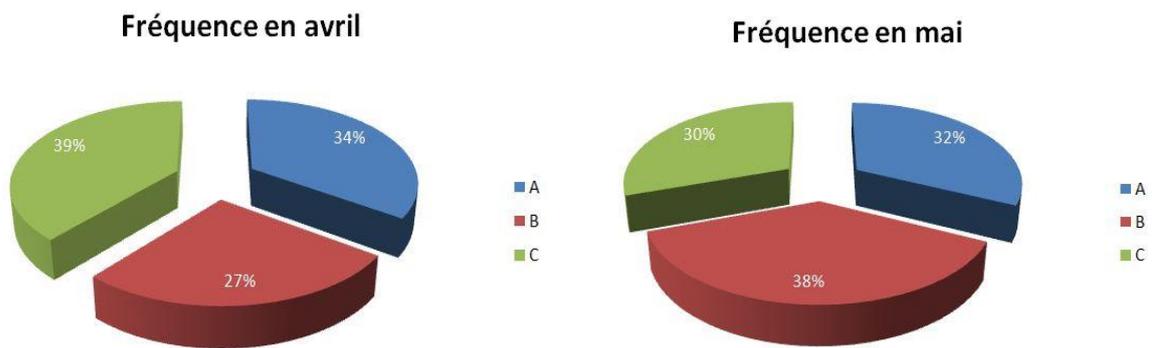




(c)

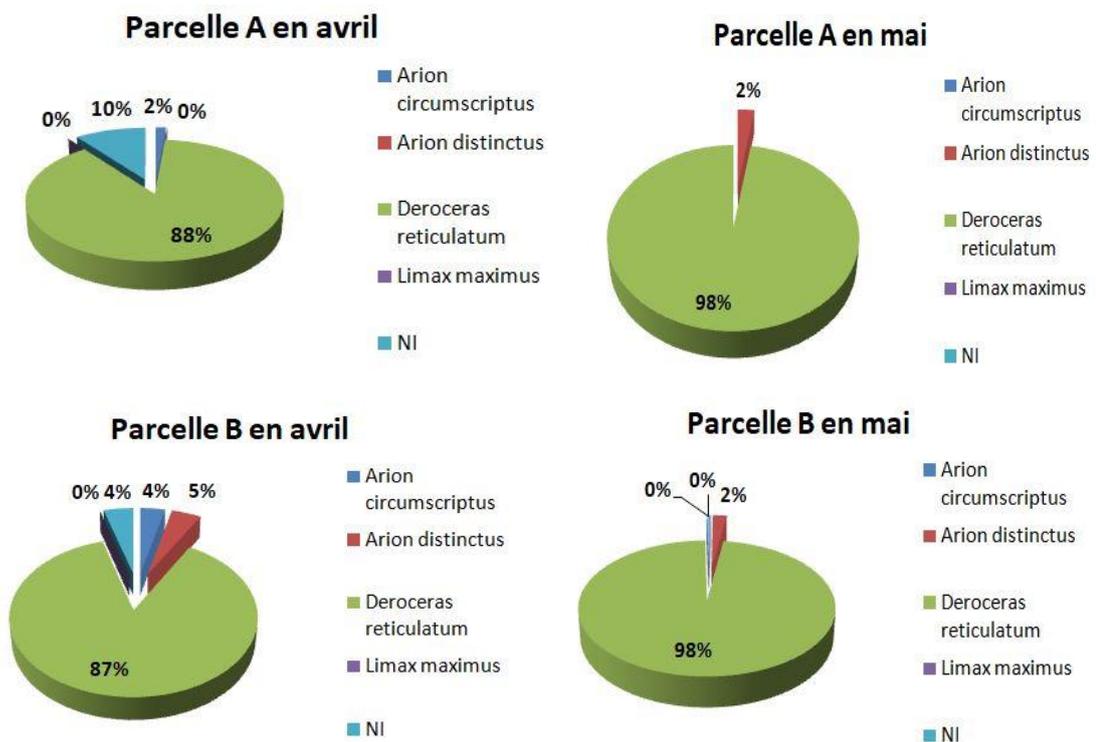


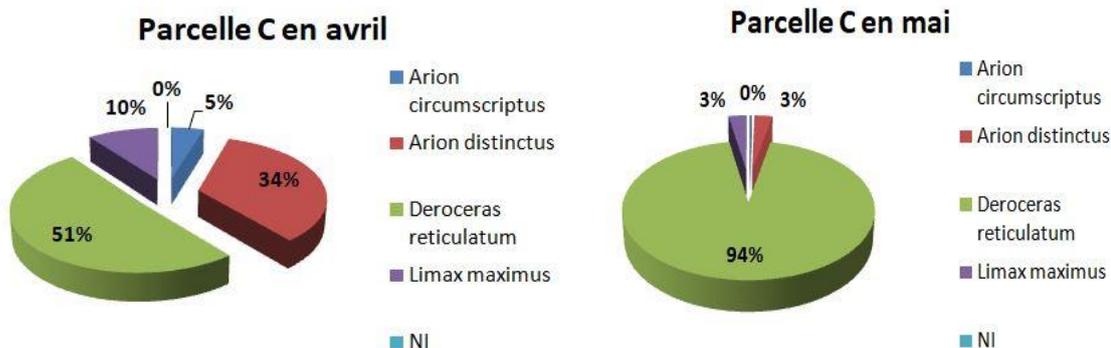
Graphique j. Fréquence en carabidés dans les différentes parcelles.



11. Traits écologiques des limaces

Graphique k. Distribution des espèces de limaces suivant les parcelles et le mois. (NI) Non-identifié.





12. Les indices de biodiversité chez les limaces

Tableau 8. Les indices de diversité spécifique obtenus pour les limaces dans chaque parcelle.

Parcelle en agriculture agroécologique		
Avril		
Nbre d'espèces	Chao	Gleason
5	9.12	2.17
Mai		
Nbre d'espèces	Chao	Gleason
3	3.46	1.05
Parcelle en agriculture conventionnelle		
Avril		
Nbre d'espèces	Chao	Gleason
5	5	1.88
Mai		
Nbre d'espèces	Chao	Gleason
5	5.89	1.54
Parcelle en agriculture de conservation		
Avril		
Nbre d'espèces	Chao	Gleason
5	5.44	1.90
Mai		
Nbre d'espèces	Chao	Gleason
5	5	1.66

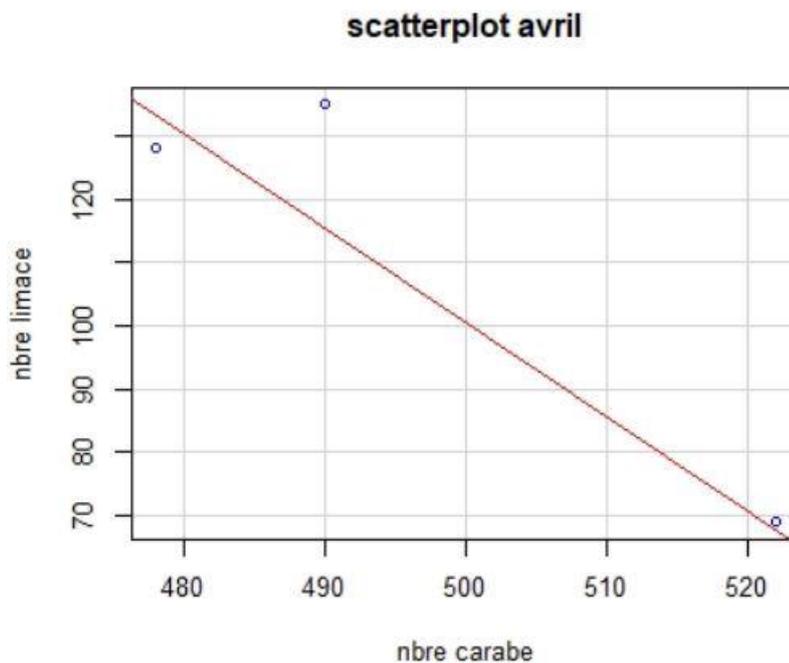
Tableau 9. Les indices de diversité spécifique obtenus pour les limaces dans la bande enherbée de la parcelle en agriculture agroécologique.

Avril		
Nbre d'espèces	Chao	Gleason
4	6	1.67
Mai		
Nbre d'espèces	Chao	Gleason
2	2	0.53

13. Résultats des tests de corrélation entre l'abondance des limaces et des carabes.

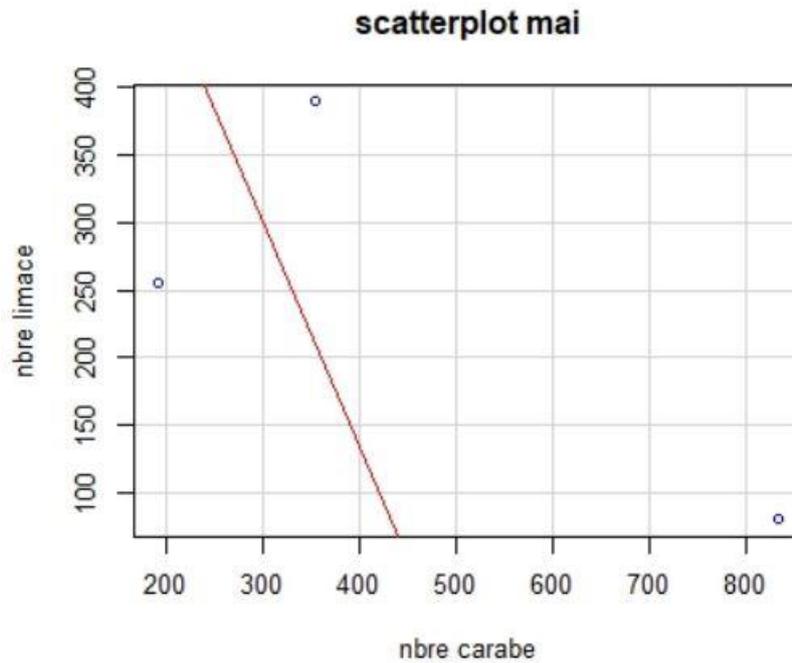
Graphique m. Scatterplots avec la droite de corrélation montrant l'association entre limaces et carabes en avril (a) et mai (b). (nbre carabe) nombre de carabes, (nbre limace) nombre de limaces.

(a)



Parcelle	Abondance en carabe	Abondance en limace
A	522	69
B	490	135
C	478	128

(b)



Parcelle	Abondance en carabe	Abondance en limace
A	833	81
B	353	389
C	191	255

14. Résultats des interviews

Tableau 11. Détails sur les parcelles des agriculteurs interrogés.

	Agriculture de conservation						
	Culture et Surface (380 Ha)						
	Blé (100Ha)	Orge (20 Ha)	Maïs (80 Ha)	Colza (80 Ha)	Pois (40 Ha)	Féverole (32 Ha)	Culture anecdotique (28 Ha)
Insecticide	Gauchaux						
Nbre d'appli/an d'insecticide	1x/an						
Préventif (P)/ Non préventif (NP)	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Localisé (L)/ Non localisé (NL)	L (céréale d'automne)						
Anti-limace	Sluwx						
Nbre d'appli/an d'anti-limace	1x/an	/	/	1-2x/an	/	/	/
Localisé (L)/ Non localisé (NL)	NL	NL	NL	NL	NL	NL	NL
Labour (La)/Non labour (Nla)	Nla	Nla	Nla	Nla	Nla	Nla	Nla

	Agroécologie						
	Culture et Surface (66 Ha)						
	Maïs	Féverole	Blé	Escourgeon	Colza	Prairie	
Insecticide	/						
Nbre d'appli/an d'insecticide	/						
Préventif (P)/ Non préventif (NP)	/						
Localisé (L)/ Non localisé (NL)	/						
Anti-limace	Sluux						
Nbre d'appli/an d'anti-limace	/						
Localisé (L)/ Non localisé (NL)	/						
Labour (La)/Non labour (Nla)	/						
	Agriculture conventionnelle avec labour						
	Culture et Surface (351 Ha)						
	Blé (117 Ha)	Escourgeon (117 Ha)	Colza (117 Ha)				
Insecticide	Gaucho et autres						
Nbre d'appli/an d'insecticide	1x/an	1x/an	5-7x/an				
Préventif (P)/ Non préventif (NP)	NP	NP	NP				
Localisé (L)/ Non localisé (NL)	NL	NL	NL				
Anti-limace	Métarex						
Nbre d'appli/an d'anti-limace	Variable						
Localisé (L) / Non localisé (NL)	L						
Labour (La)/Non labour (Nla)	La (>15cm)	La (>15cm)	La (>15cm)				

	Agriculture conventionnelle avec élevage						
	Culture et Surface (170 Ha)						
	Prairie (50 Ha)	Blé (50 Ha)	Colza (10 Ha)	Pois (10 Ha)	Ogre (20 Ha)	Escourgeon (30 Ha)	
Insecticide	Gaucho et autres						
Nbre d'appli/an d'insecticide	2x/an	2x/an	2x/an	2x/an	2x/an	2x/an	
Préventif (P)/ Non préventif (NP)	NP	NP	P	P	NP	NP	
Localisé (L)/ Non localisé (NL)	NL	NL	NL	NL	NL	NL	
Anti-limace	Sluux						
Nbre d'appli/an d'anti-limace	1x/an	1x/an	1x/an	1x/an	1x/an	1x/an	

Localisé (L)/Non localisé (NL)	L	L	L	L	L	L	
Labour (La)/Non labour (Nla)	La (>15cm)	La (>15cm)	La (>15cm)	La (>15cm)	La (>15cm)	La (>15cm)	
	Agriculture conventionnelle sans labour						
	Culture et Surface (305 Ha)						
	Blé (65 Ha)	Orge (138 Ha)	Colza (102 Ha)				
Insecticide	Proteus et bas de gamme						
Nbre d'appli/an d'insecticide	Variable						
Préventif (P)/ Non préventif (NP)	NP	NP	P				
Localisé (L)/ Non localisé (NL)	NL	NL	NL				
Anti-limace	Métarex						
Nbre d'appli/an d'anti-limace	1x/an	1x/an	1x/an				
Localisé (L)/ Non localisé (NL)	L	L	L				
Labour (La)/Non labour (Nla)	Nla	Nla	Nla				

