



AVERTISSEMENT

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

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

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

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

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

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

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



Relation entre la biodiversité fonctionnelle des végétaux d'une bande enherbée (et de la parcelle agricole correspondante) avec les traits de vie liés à la prédation exercée par les *carabidae* auxiliaires des cultures



Master 2 Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement
Parcours Fonctionnement et Gestion des écosystèmes
2011-2012

-
UMR Université de Lorraine – INRA Colmar
Laboratoire Agronomie-Environnement (LAE)
Equipe : Agriculture durable

Encadré par: Françoise LASSERRE-JOULIN, Maître de Conférence



Remerciements

La réalisation d'une recherche scientifique est loin d'être le travail d'une seule personne. Ainsi, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à ce travail.

Je tiens tout d'abord à remercier mon encadrante, Françoise LASSERRE-JOULIN pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser ce stage de 2^{ème} année de Master au sein du Laboratoire Agronomie Environnement (UMR- LAE Université de Lorraine / INRA Colmar). Pour sa bonne humeur, sa disponibilité et ses conseils avisés.

Je remercie également Stéphane MAINSANT (membre du CIVAM Oasis et agriculteur) pour son accueil chaleureux sur son exploitation, pour son aide à la mise en place du dispositif expérimental, pour la détermination des espèces végétales et pour sa bonne humeur.

J'exprime ma profonde gratitude à M. Frédéric BOURGAUD, directeur du Laboratoire Agronomie et Environnement qui m'a donné cette chance de faire mon stage au sein du LAE.

Je remercie toute l'équipe « Agriculture Durable » du LAE pour leurs conseils avisés et leur soutien tout au long de ce projet. Je pense notamment à Simon TAUGOURDEAU et Jean VILLERD pour les statistiques, et à Aline CHANSEAUME, Bernard AMIAUD et Sylvain PLANTUREUX pour la botanique, mais également à Béatrice NOIRTIN pour ses conseils et ses encouragements.

Je tiens aussi à remercier Abdelhak ROUBAH (Doctorant), Claude GALLOIS (Technicien) et Quentin BRUNET-DUNAND (Stagiaire M1) pour toutes les heures passées ensemble sur le terrain. Je remercie également les autres stagiaires du LAE pour leur bonne humeur.

Enfin, je tiens à remercier Emeline AUBRY, ma compagne, pour son soutien au quotidien.

Abréviations :

LAE : Laboratoire Agronomie et Environnement

CIVAM : Centre d'Initiative pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural

BE : Bande(s) enherbée(s)

CCA : Analyse canonique de correspondance

Sommaire

Introduction	1
Contexte de travail : l'équipe de recherche.....	2
Synthèse bibliographique	2
I. Structure des bordures de champs.....	2
II. Fonctions des bordures de champs.....	3
III. Gestion des bordures de champs pour promouvoir le contrôle biologique des ravageurs par les auxiliaires des cultures.....	3
<i>Technique de fauche et herbicide</i>	4
<i>Travail du sol</i>	5
IV. Choix du modèle expérimental.....	5
V. Interactions gestion des bordures de champs – communautés végétales – carabes.....	5
VI. Conclusion.....	6
Matériels et méthodes	6
Site de l'étude.....	6
Méthodologie.....	7
Echantillonnage des carabes.....	7
Caractérisation du couvert végétal.....	8
<i>Relevés floristiques</i>	8
<i>Complexité architecturale verticale du couvert végétal</i>	9
Dates de relevés.....	9
Statistiques.....	10
Résultats	10
Abondance des arthropodes.....	10
<i>Effet distance</i>	10
<i>Effet des modes de gestion</i>	11
<i>Piège à émergence</i>	11
Diversité carabique.....	11
Relevés de végétation.....	12
<i>Relevés floristiques</i>	12
<i>Complexité architecturale du couvert végétal</i>	13
Mise en relation des résultats faunistiques et floristiques.....	13
Discussion	14
I. Effets des modes de gestion des BE.....	14
a. <i>Effet fauche</i>	14
b. <i>Effet travail du sol</i>	14
c. <i>Interactions travail du sol et fauche</i>	15
d. <i>Relation diversité végétale – diversité animale</i>	16
II. Effet distance.....	16
III. Analyse des autres facteurs.....	17
a. <i>Interférence climatique</i>	17
b. <i>Effet bloc</i>	17
IV. Amélioration des outils de mesure.....	18
Conclusion	19
Références bibliographiques	20
Annexes	

Introduction

Depuis l'après guerre, une mutation de notre environnement s'est produite avec l'essor des secteurs industriel et agricole. En effet, nous avons assisté, après guerre, à une intensification de l'agriculture française, dans un but d'obtention de l'autosuffisance alimentaire. Cette nouvelle approche de l'agriculture a entraîné une modification complète du paysage agricole avec une réorganisation des territoires en favorisant essentiellement la rentabilité et la productivité. Ce type d'agriculture ne s'est pas mise en place sans impacts environnementaux et sanitaires. En effet, ces vingt dernières années, nous avons constaté que les réservoirs de biodiversité se sont fragmentés et donc se sont amoindris. Ainsi, il y a une destruction des infrastructures agro-écologiques (haies, fossés, bandes enherbées (BE), etc.) suite à la transformation des milieux agricoles de type bocage en milieux de type openfield, pour faciliter l'utilisation des engins agricoles. Par ailleurs, la pollution par les intrants chimiques et autres pesticides a augmenté, entraînant une sur-eutrophisation des cours d'eau.

Aujourd'hui, un nombre grandissant de personnes prend conscience de la nécessité de réduire ces impacts environnementaux et sanitaires. En effet, une transition vers une agriculture plus respectueuse de l'environnement, impliquant moins de pesticides et d'intrants, s'opère peu à peu mais reste encore peu répandue dans le monde. Toutefois, l'agriculture biologique s'est fortement développée avec 32,2 millions d'hectares cultivés dans le monde en 2007. D'autres démarches non certifiées « biologiques » mais visant tout de même à réduire les dommages dus à l'agriculture conventionnelle se développent également. C'est le cas de la lutte naturelle contre les ravageurs des cultures par les auxiliaires des cultures qui cherchent à réduire (voire éliminer) l'utilisation de ces pesticides. Il en existe trois types : le contrôle classique consistant à introduire une espèce d'ennemi naturel là où elle est absente tandis que sa proie est présente, le contrôle inondatif qui s'effectue sous forme de lâchers d'ennemis naturels en grand nombre dans un environnement isolé et enfin, le contrôle conservatif (ou lutte conservative) dont le but est d'augmenter l'abondance et les effets des ennemis naturels indigènes (Hodek & Honek, 1996) Ce dernier type de lutte est le plus favorisé actuellement, mais ne peut se faire qu'en réinstallant au sein des zones de cultures, des milieux riches en diversité animale et végétale. Cela peut être par le biais des infrastructures agro-écologiques afin de profiter des nombreuses relations entre ces organismes (pollinisation, lutte contre les ravageurs, parasitisme, etc.).

Ce travail de recherche a été effectué au Laboratoire Agronomie et Environnement (LAE) au sein de l'équipe « Agriculture Durable » et a été réalisé dans le cadre de la 2^{ème} partie de la thèse d'Abdelhak Rouabah. Celle-ci a pour objectif d'évaluer l'effet des différents modes de gestion des bordures de champs sur le service rendu par les carabes (coléoptères prédateurs de ravageurs tels limaces, pucerons,...). La finalité de l'étude est la construction d'un indicateur agro-environnemental, c'est-à-dire un outil d'aide à la décision qui permettra d'évaluer l'impact des pratiques agricoles au sein d'une exploitation sur le service écosystémique rendu par ces auxiliaires de cultures.

Dans le cadre de ce travail, nous étudions l'effet de divers aménagements des BE en bordure de champs sur l'impact de l'architecture et la diversité végétale, ainsi que sur la diversité d'une famille d'auxiliaires des cultures, les *Carabidae*. Une telle étude a pour but de comprendre la dynamique des communautés carabiques en fonction de divers schémas d'entretien des bandes enherbées afin de pouvoir définir un mode de gestion optimal de ces

bandes pour les auxiliaires des cultures. Notre projet tend notamment à rechercher si le type de gestion des BE influe sur les communautés d'arthropodes via une modification de la structure des communautés végétales.

Contexte de travail : l'équipe de recherche

Le LAE est constitué de deux équipes : « Métabolite Secondaire » et « Agriculture Durable ». L'équipe « Métabolite Secondaire » a pour objectif de mieux comprendre les mécanismes qui conduisent à la synthèse et au stockage des métabolites secondaires chez les végétaux. Les recherches de l'équipe « Agriculture Durable » sont centrées sur la mise au point de méthodes d'évaluation de l'impact des techniques de production végétale sur l'environnement (air, eau, sol, biodiversité, paysage, énergie) pour en améliorer la durabilité environnementale. L'équipe a d'une part, travaillé sur le développement d'indicateurs agri-environnementaux regroupés par la suite sous la méthode INDIGO®, et d'autre part, des questions méthodologiques autour de la construction d'indicateurs, de l'agrégation, de la validation et du changement d'échelle. Le projet actuel de l'équipe s'est recentré sur la thématique de l'impact des systèmes de culture et des systèmes techniques fourragers sur la biodiversité et ses services (régulation des ravageurs, pollinisation, production fourragère, conservation d'espèces patrimoniales, etc.) et contribue au champ thématique 1 du département Environnement et Agronomie de l'INRA : Agronomie systémique et bases biophysiques de la gestion des écosystèmes.

Synthèse bibliographique

I. Structure des bordures de champs

Dans les années 60, les paysages agricoles ont été modifiés avec le début de la mécanisation et de l'intensification de l'agriculture, afin de faciliter l'exploitation des cultures. La suppression des bordures de champs, a alors provoqué un exode de nombreuses espèces vers des zones plus naturelles et mieux protégées (ripisylve, forêt).

Aujourd'hui, les mentalités ont changé avec la volonté de réduire les impacts environnementaux d'une agriculture intensive et donc de rétablir ces sources de biodiversités en élaborant des zones de refuges naturelles ou semi-naturelles sous forme de bordures de champs (ou infrastructures agro-écologiques). De telles structures ne sont pas ou peu destinées à la production. Elles peuvent être constituées de haies, bosquets, chemins, fossés, murs, cours d'eau, zones boisées, ou simplement d'une bande enherbée avec une végétation semée ou spontanée au sein d'une même parcelle. Elles permettent ainsi de délimiter des parcelles ou de séparer de pratiques différentes au sein d'une même parcelle.

Afin de définir les bordures de champs, les écologues ont mis en place la notion d'inter-champ « field boundary », c'est-à-dire la totalité de l'espace non cultivé qui s'étend entre deux parcelles adjacentes, ou reliant la parcelle à une zone non agricole.

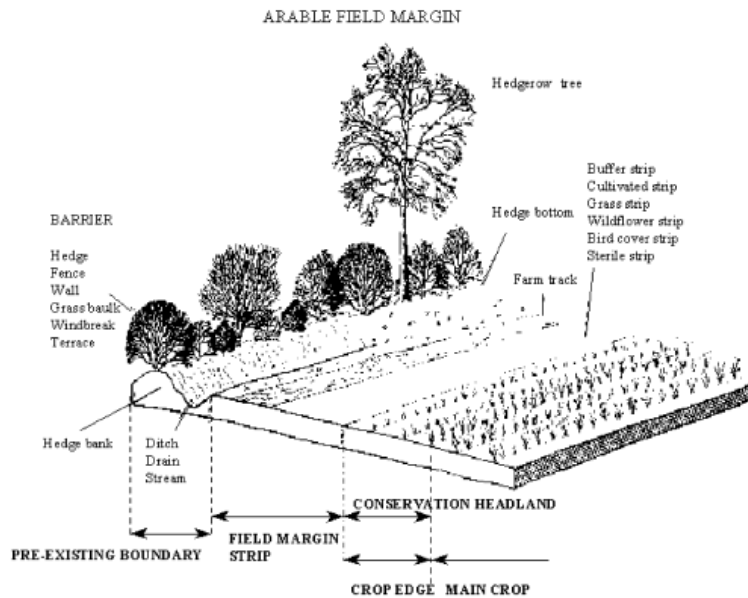


Figure 1. Structure d'une bordure de champ (Schéma tiré de Marshall et Moonen, 2002)

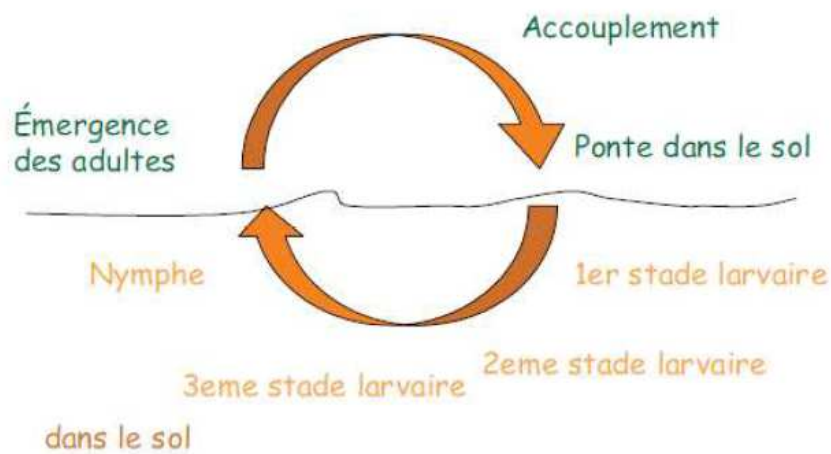


Figure 2. Schématisation du cycle biologique des Carabes (Diwo Allain & Bout, 2004)

Marshall et Moonen (2002) (fig.1) différencient dans cet inter-champ, les bordures (« pre-existing boundary ») permettant de délimiter les parcelles, des bandes limitrophes (« field margin strip »), correspondant à une zone enherbée ou un chemin de terre. Ces dernières sont susceptibles de contenir une faune et/ou une flore utile pour la culture. Enfin, ils distinguent un bord de culture (« crop edge »), c'est-à-dire une zone tampon entre bordure et culture servant à préserver des habitats naturels à proximité ou non traités.

II. Fonctions des bordures de champs

Les bordures de champs peuvent exercer différentes fonctions : agronomique, environnementale, récréative et de préservation de la biodiversité (Marshall et Moonen 2002). Elles servent d'habitat pour les espèces ne pouvant survivre dans les espaces cultivés et également de corridor écologique reliant les cultures (Burel et Baudry, 1999).

Ces structures du paysage permettent ainsi de constituer un réservoir potentiel de biodiversité, assurant la fourniture à la petite faune, de sites de reproduction, de refuges en cas de perturbations dans la parcelle, de sites d'hivernage, ainsi que des ressources alimentaires (Le Cœur et al 2002, Thomas 1990). Elles tendent à favoriser la présence d'auxiliaires et à renforcer leur impact sur les ravageurs de culture. La présence, l'abondance et la diversité d'arthropodes sont essentielles pour le maintien de population d'oiseaux dont ils sont les proies, par exemple, mais également pour le contrôle biologique des ravageurs de culture.

III. Gestion des bordures de champs pour promouvoir le contrôle biologique des ravageurs par les auxiliaires des cultures

L'aménagement des bordures de champs d'un paysage agricole peut permettre de renforcer leur potentiel agronomique et écologique, les révélant ainsi comme de vraies sources de biodiversité. Il a été démontré qu'elles favorisaient beaucoup plus l'établissement des populations d'auxiliaires des cultures que celles des ravageurs. Ces dernières étant moins avantagées par ce type de structure, il est intéressant de développer ces pratiques pour assurer un contrôle biologique naturel.

Les conséquences de leur gestion, que ce soit d'un point de vue botanique ou faunistique, notamment au niveau de l'abondance et la diversité des auxiliaires des cultures et donc de leur rôle de contrôle biologique des ravageurs des cultures, restent l'objet de nombreuses études scientifiques encore aujourd'hui (Olson et Wäckers, 2007). Les travaux de Hof & Bright (2010) indiquent que la présence de bordures entraîne une augmentation de l'abondance des carabes et lombrics mais une diminution des gastéropodes. Il semblerait que la présence de haies soit plus favorable que les autres types d'infrastructures, car elles permettraient de favoriser également les espèces forestières (Varchola et al, 2001).

Parmi ces études, un grand nombre s'est intéressé à l'impact de la diversité floristique des bandes enherbées sur les différents groupes d'ennemis naturels des ravageurs des cultures : les hyménoptères parasitoïdes, les prédateurs tels que les coccinélidés, syrphidés (Bianchi et al, 2006) ou les carabidés (Lang et al, 1999).

Ces travaux ont consisté à comparer l'impact de mélanges de graines, le plus souvent de graminées, mais également de plantes à fleurs sur ces populations d'invertébrés des cultures. Ces études ont montré une préférence différente du couvert végétal selon le groupe d'arthropodes considéré (Gobbi et Fontaneto, 2008). En effet, les carabes vont préférés les graminées (Woodcock et al, 2007), notamment en touffe, créant un milieu tamponné qui permet des conditions de survie maximale dans le froid et des conditions humides (Thomas et al, 2002). Cependant, selon les espèces, on observe une activité plus importante soit en pelouse dense, soit en milieu ouvert (Eyre et al., 2009). Les syrphes, hyménoptères et autres coccinelles vont préférer les plantes à fleurs.

La hauteur d'herbe affecte négativement la richesse spécifique des prédateurs (Woodcock, 2009a) et le pâturage entraîne également une diminution du nombre d'espèces de prédateurs ; la fauche, quant à elle, lui permet une légère augmentation (Woodcock, 2009b).

Technique de fauche et herbicide

La plupart des études sur la gestion des bandes enherbées s'est focalisée sur la réduction des herbicides et l'impact de la fauche (Bell et al, 1999 ; Haysom et al. 2004). En effet, ces deux pratiques peuvent influencer la composition végétale des parcelles de culture et, par conséquent influencer la diversité d'invertébrés présent dans ces parcelles, en diminuant la compétitivité des graminées par exemple.

L'utilisation d'herbicides permet de réduire les adventices dans ces milieux, mais est sujette à des contraintes environnementales en cas de lessivage de ces produits, pouvant entraîner une pollution des eaux souterraines et donc une forte réduction de la diversité et de la richesse floristique et faunistique. Ainsi, une réduction de leur utilisation permettrait de conserver une forte diversité floristique, ainsi que la survie des auxiliaires de culture. Or, dans leur étude, Bell et al. (1999) ont montré qu'un désherbage par ce procédé entraînait un changement de microclimat permettant aux pseudoscorpions de réagir positivement à ces traitements. Ils avancent l'hypothèse que le désherbage crée une épaisse couche de litière favorable au développement des ces invertébrés. De plus, l'utilisation non raisonnée des pesticides entraîne une diminution de l'abondance et de la diversité des carabes (Lee et al, 2001).

Dans d'autres études, la fauche est associée à une forte richesse spécifique floristique. De plus, elle évite le développement d'espèces ligneuses et la fermeture du milieu observés, dans le cas d'une non-gestion à long terme d'un milieu (Jacquemyn et al, 2003). Lorsque la fauche est réalisée deux fois par an avec retrait de la matière végétale, elle serait facteur d'une augmentation de l'abondance et de la richesse spécifique en arthropodes. Cependant, la fauche entraîne une homogénéisation de la végétation et donc une perte d'un grand nombre d'habitats favorables à la petite faune, car elle détériore les toiles d'araignées et les nids de fourmis (Noordijk, 2010).

L'accumulation de fauches sans export de la matière végétale, bien qu'offrant des zones de refuges, peut laisser penser que la diversité carabique va diminuer. En effet, Guillemain et al (1997) (dans Molnar, 2001) indique qu'une augmentation de l'épaisseur de litière diminue l'abondance et la richesse spécifique des communautés de carabes. Ces résultats concernant l'augmentation de l'épaisseur de litière semblent confirmés dans les travaux de thèse de Lövei (2008).

Travail du sol

Il existe divers types de travail du sol, dont les techniques culturales simplifiées (TCS), favorisées dans le cadre d'une agriculture de conservation. Ce type de travail du sol assure un bon compromis pour favoriser les semis et la biodiversité et permet de préserver davantage la macrofaune du sol et de favoriser les adventices (CARC, 2007). Cette macrofaune permet de structurer le sol par l'intermédiaire de lombrics et d'effectuer le contrôle des ravageurs par les auxiliaires des cultures dont les carabes. Ces derniers sont très sensibles au travail du sol (Kromp et al, 1999) et il est prouvé que leur abondance et leur richesse spécifique est inversement proportionnelle à l'importance du travail du sol. Ainsi, ce type de travail est à favoriser.

Toutes les études réalisées sur la relation entre : pratiques de gestion des bordures de champs et diversité des invertébrés ont montré un effet positif d'une bonne gestion de ces milieux sur la diversité et l'abondance des arthropodes terrestres et donc sur leur fonction de contrôle biologique des ravageurs de culture.

IV. Choix du modèle expérimental

Dans le souci d'effectuer un contrôle biologique efficace des ravageurs de culture, l'étude du comportement des carabes dans les bordures de champs est essentielle. En effet, beaucoup d'études s'effectuent sur les carabes, insectes appartenant à l'ordre des Coléoptères et à la famille des Carabidae, comprenant environ 40000 espèces à travers le monde, les plus répandues étant *Abax*, *Bembidion*, *Cicindela*, *Nebria*, *Poecilus*, *Pterostichus sp*, etc. Ce sont des individus intéressants car ils sont voraces et polyphages. Ils sont généralement carnivores (à 80%), mais quelques espèces sont phytophages et plus particulièrement granivores, causant des dommages aux cultures.

Les carabes sont très dépendants des conditions du milieu (température, humidité, couverture végétale, etc.) (Pokluda et al, 2012) et sont par conséquent d'excellents bio-indicateurs des milieux forestiers et cultivés (Haysom et al., 2004 ; Werling et Grotton, 2008). Ainsi, chaque milieu possède une communauté particulière de carabes, qui en définit les principales caractéristiques (Kromp, 1999).

Cycle biologique

Il existe deux types de reproduction selon les espèces de Carabidés (Diwo Allain & Bout, 2004) (fig. 2) : une reproduction printanière pour la majorité des espèces (les adultes émergent au printemps et les divers stades larvaires se développent dans le sol en été) et une reproduction automnale pour une minorité d'espèces (les adultes émergent en été tandis que les divers stades larvaires sont présents dans le sol en hiver et au printemps).

V. Interactions gestion des bordures de champs – communautés végétales - carabes

Il a été montré que les prédateurs terricoles, notamment les carabes, avaient une préférence pour les graminées lorsqu'il s'agissait de s'abriter (Woodcock, 2009a). D'autres études (Dennis et al., 1998 ; Brose, 2003 ; Woodcock et al, 2005, 2007, 2009a) ont montré que

ceux-ci avaient plus particulièrement une préférence pour les graminées en touffes (exemple: *Dactylis glomerata*).

Ces auteurs ont émis l'hypothèse qu'une hétérogénéité structurelle ou complexité architecturale de la végétation favoriserait les Carabidae, plutôt qu'une diversité spécifique. Dans ses travaux, Brose (2003) a montré que la richesse spécifique végétale expliquait 18% de la variation de la richesse spécifique carabique, tandis que l'hétérogénéité structurelle en expliquerait 55%. De cette étude, Brose a émis l'hypothèse de « enemy-free spaces » (ou espace libre d'ennemi) qui suggère que pour éviter la prédation, les grands carabes éviteraient les zones de sol nu et se réfugieraient dans les touffes de graminées, là où ils passent inaperçus.

La fauche favorise la présence de graminées, favorables au refuge des Carabidae. Cependant, l'ajout de dicotylédones à un milieu riche en graminées augmenterait la complexité de structure du couvert végétal (Brose, 2003) et cette complexification de l'architecture entraînerait une augmentation de 90% de la richesse spécifique des invertébrés (Woodcock et al, 2009a). De plus, il est important de noter que la fauche a des effets à court terme : effets sur l'architecture du couvert, pouvant donc attirer les carabes sur le milieu fauché, et à long terme : changement des communautés végétales (Woodcock et al, 2007).

Enfin, le travail du sol d'un milieu entraîne la présence de grandes zones de sol nu permettant la colonisation par des espèces végétales et donc la présence de carabes phytophages (Woodcock et al, 2005).

VI. Conclusion

En résumé, l'efficacité des carabes comme ennemis naturels des ravageurs des cultures n'est pas uniquement liée à l'abondance de nourriture, mais il faut également des conditions spécifiques à leur installation, liée aux communautés végétales, et aux modes de gestion qui leur sont appliqués (notamment au sein des bordures de champs). Il est donc nécessaire de comprendre quels aménagements et pratiques mettre en œuvre sur les bordures de champs, afin d'assurer le développement des populations d'auxiliaires des cultures dans le but d'une lutte conservative contre les ravageurs des cultures. Notre étude a pour but de rechercher si les modes de gestion des BE, via une modification de la structure des communautés végétales, ont un impact sur les communautés d'arthropodes (notamment les carabes).

Matériels et méthodes

Site de l'étude

Notre étude s'est effectuée au sein du projet Arc-En-Ciel en partenariat avec l'association du CIVAM de l'Oasis à Saint-Jean-Sur-Tourbe (Marne) dans la Champagne crayeuse. L'un des objectifs de ce projet est de mieux comprendre et ainsi mieux gérer la biodiversité. Les agriculteurs adhérents au CIVAM de l'Oasis ont installé un réseau de bandes enherbées entre 2007 et 2009 (fig. 3)

Le village de Saint-Jean-Sur-Tourbe est situé au centre de la Marne, département au paysage de plaine céréalière issu d'une agriculture intensive. Notre site expérimental est situé sur les parcelles (bordées par une BE) Nerbuterre, Favruche et Malinet de l'exploitation de Stéphane MAINSANT, membre du CIVAM de l'Oasis, au sud du camp militaire de Suippes.

Nous travaillons donc sur ces 3 BE car il était important que celles-ci soient toutes bordées d'une culture de blé d'hiver. Cependant, suite aux gelées hivernales, la parcelle Malinet a été ressemée en céréale de printemps, hormis les 24 premiers mètres en bordure de parcelle afin de minimiser l'impact de ce nouveau semis sur l'environnement immédiat de nos expérimentations.

Méthodologie

Les BE de ces 3 parcelles sont des bandes de 500 mètres de long et 6 mètres de larges et sont séparées en 5 unités expérimentales d'une longueur de 100 mètres chacune. Ces 5 unités expérimentales correspondent à 5 types de gestions différentes, répartis aléatoirement le long des bandes (fig. 4)

Ces 5 modalités de gestion (fig. 5):

- Zone témoin sans fauche et sans travail du sol
- Une fauche sans exportation (réalisée fin août 2011)
- Deux fauches sans exportation (réalisées fin août 2011 et le 24 mai 2012)
- Travail du sol (au covercrop (fig. 5)) réalisé début septembre 2011
- Travail du sol (au covercrop) réalisé début septembre 2011 et une fauche sans export (24 mai 2012)

Notre étude va permettre d'évaluer l'effet de ces modes de gestion des bandes enherbées sur la structure du couvert végétal et sur la structure des communautés de carabes.

Echantillonnage des carabes

Les populations de carabes ont été échantillonnées pour les 5 modalités de gestion de la bande à trois distances différentes : à 12 mètres dans la parcelle cultivée, à 0 mètre (bordure de champ) et à -3 mètres (centre de la BE) à raison de 3 répétitions par unité expérimentale espacées de 6 mètres, soit 135 pièges Barber (fig. 6). Le piège situé en bordure de champ est un piège directionnel (fig. 7) orienté de la bande vers la parcelle grâce à une barrière de plexiglas de 20 cm de hauteur, 50 cm de large avec une légère courbure concave et enfoncée à 7 cm dans le sol. Les pièges Barber sont des pots de 11,5cm de diamètre et 8cm de hauteur, installés au ras du sol, que l'on remplit d'un mélange de sel, produit vaisselle et eau. Chaque

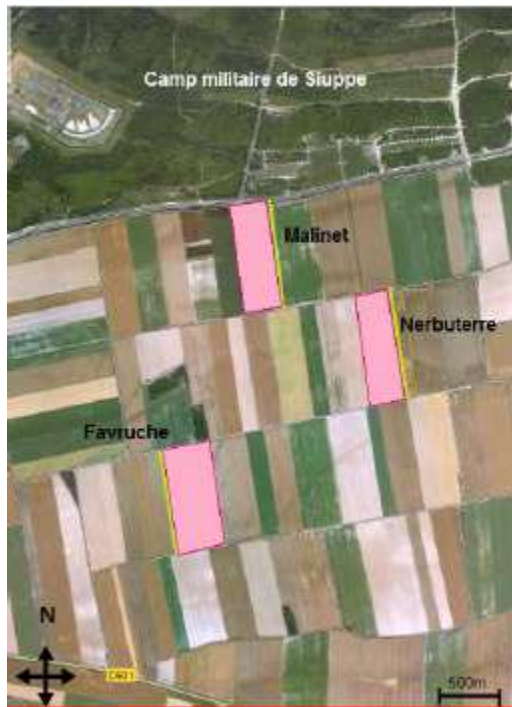


Figure 3. Plan satellite du site expérimental avec signalisation des bandes enherbées et des parcelles échantillonnées.

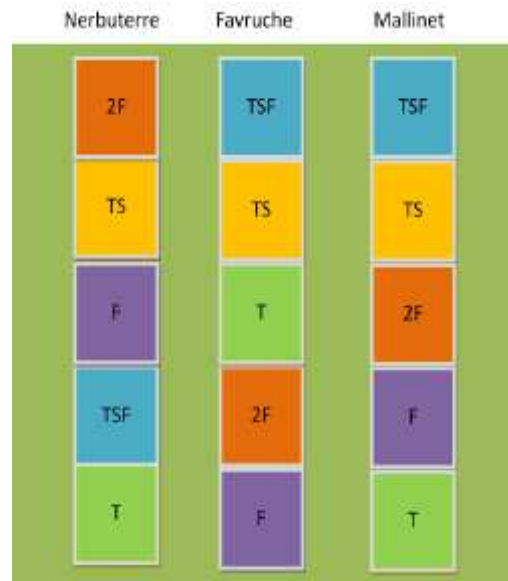


Figure 5. Schéma de l'organisation générale du dispositif expérimental avec les cinq modes de gestion (2F : 2 fauches, F : fauche, T : témoin, TS : travail du sol, TSF : travail du sol + fauche) au sein des bandes enherbées Nerbuterre, Favruche et Malinet.

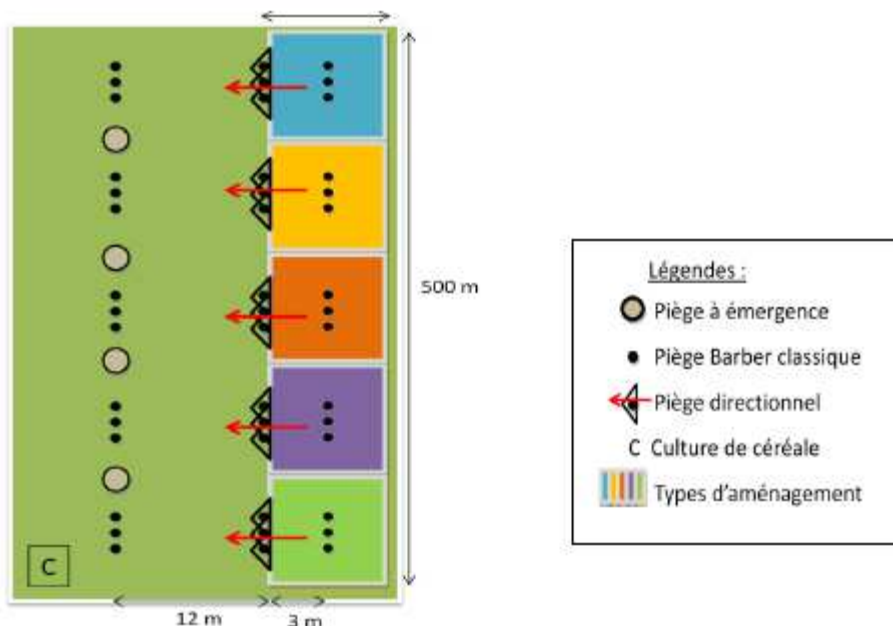


Figure 4. Plan du dispositif installé sur une bande enherbée avec disposition des trois types de pièges (Barber, directionnels et émergence) à trois distances de la BE (12m, 0m et au centre).

piège est recouvert d'une tuile. Des grillages d'une maille de 12,7mm sont installés sur les pièges directionnels afin d'empêcher la mésofaune d'endommager le dispositif.

Les pièges Barber sont des pièges d'activité-densité non attractifs, permettant de capturer les populations d'arthropodes épigés du milieu. Une majorité d'entre ces derniers sont des arthropodes prédateurs d'autres insectes, et sont donc considérés comme des auxiliaires des cultures. Carabes, staphylins et araignées en constituent les principaux effectifs, et les seuls qui soient comptabilisés pour les besoins de cette étude. Toutefois, divers diptères et hyménoptères y sont également régulièrement capturés. Dans notre étude, les pièges Barber situés à 12m de la bordure permettent d'échantillonner les communautés d'arthropodes épigés au sein de la parcelle et ceux situés au centre de la bande enherbée représentent la communauté d'arthropodes épigés au sein de cette même bande. Les pièges directionnels permettent, quant à eux, de piéger le flux directionnel des communautés d'arthropodes allant de la BE à la parcelle de culture.

De plus, 12 pièges à émergence (fig. 8) ont été installés sur notre site d'étude : 4 répartis le long de chaque BE, entre chaque modalité de gestion, à une distance de 12 de la bordure de la bande. Un 13^{ème} piège a été installé sur Nerbuterre, au sein de la bande au niveau de la zone témoin, mais se situe hors dispositif (une seule répétition). De tels pièges permettent d'échantillonner les adultes d'insectes (imagos) émergeant dans une surface donnée (section de tuyau de 80cm de diamètre, 80cm de hauteur, enfoncé à 20cm dans le sol) à l'aide d'une enceinte fermée par une toile qui empêche les individus de sortir. Deux pièges Barber y sont disposés aux extrémités d'un diamètre, permettant de capturer les individus cherchant à s'échapper de l'enceinte. Ces pièges ont été installés dans le but de voir quelles espèces carabiques émergent de la culture et donc pour quelles espèces des zones de refuges telles les BE peuvent être nécessaires.

Les pièges sont relevés tous les 15 jours entre le 10 mai et le 5 juillet. Les carabes sont ensuite comptés et identifiés jusqu'à l'espèce. Sont comptés également, les araignées et les staphylins car considérés comme des auxiliaires des cultures importants.

Caractérisation du couvert végétal

Les communautés carabiques étant connues comme dépendantes du couvert végétal (source) et utilisant notamment les graminées en touffes comme zone de refuge vis-à-vis de leurs prédateurs, nous avons décidé de coupler le piégeage de ceux-ci à des mesures de complexité du couvert végétal.

Relevés floristiques

Nous cherchons à caractériser la composition et la structure des communautés végétales des BE à l'aide de relevés floristiques « classiques ». Ils ont été effectués via un quadrat de 0,25m² lancé aléatoirement dans chaque unité expérimentale (5 quadrats par unité expérimentale). Ces relevés consistent à estimer visuellement le pourcentage de recouvrement (fig. 9) par espèce et par catégories de végétation dans les quadrats, et par conséquent,



riavis.com/news-426-1)



Figure 6. Photographie d'un piège Barber classique (Béatrice Noirtin).



Figure 7. Photographie d'un piège directionnel sans grille protectrice (Béatrice Noirtin).

a



b

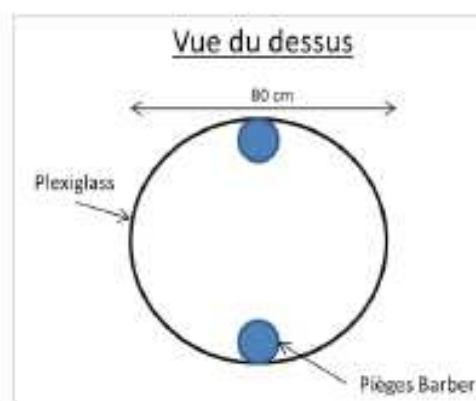


Figure 8. Photographie de l'aperçu global (a) et schéma (b) d'un piège à émergence

d'effectuer un relevé de richesse spécifique de la végétation. Ces catégories sont au nombre de 5 : graminées en touffe, autres graminées, dicotylédones, légumineuses, végétation morte et le pourcentage de sol nu est également pris en compte. Ces catégories ont été retenues car elles se sont avérées pertinentes dans des travaux antérieurs sur les relations carabes – végétaux (Woodcock et al, 2007).

En plus de ces relevés de recouvrement, une estimation de la sociabilité avec un indice allant de 1 à 5. Cet indice rend compte du degré de groupement des espèces (5 représentant un groupement très dense, 1 les individus isolés) (fig. 10). Enfin, des relevés d'indice de densité des touffes de graminées (allant de 1, touffe très peu dense à 4, touffe très dense) sont réalisés sur ces différentes catégories. Cet indice a été créé et calibré par notre équipe (Annexe 1), afin d'essayer de vérifier l'hypothèse que les carabes privilégieraient les touffes de graminées en guise de refuge.

Complexité architecturale verticale du couvert végétal

Pour caractériser la complexité architecturale du couvert végétal (ou hétérogénéité verticale du couvert), nous avons utilisé la méthode dite « des aiguilles » ou « vertical drop pins » (Woodcock et al, 2007 ; Stewart et al, 2001). La méthode utilise 10 aiguilles verticales espacées tous les 10cm (soit un transect de 1m). Le nombre de contacts entre l'aiguille et une espèce végétale appartenant à l'une des 5 catégories précitées est enregistré tous les 5cm entre 0 et 20cm de hauteur et tous les 10cm au-delà. L'échantillonnage est répété 4 fois par unité expérimentale, soit 4 transects espacés de 14m, et donc un total de 40 aiguilles. Chaque transect de 1m a été choisi aléatoirement par mi les six possibilités dans le sens de la largeur de la BE (fig. 11).

Ces informations sont synthétisées en une seule information grâce à un indice de complexité architectural de la végétation, qui est un indice dérivé de l'indice de Shannon-Weiner :

$$H' = \sum p_i \cdot \log_2 p_i$$

avec p_i la proportion du nombre total de contacts avec l'aiguille à chaque intervalle de hauteur i pour chaque catégorie de végétation. Une moyenne de ces 5 indices calculés pour chaque catégorie est utilisée comme mesure de l'architecture du couvert (Woodcock et al, 2007).

Date de relevés

La récolte des pots des pièges Barber et directionnels a été réalisée les: 10 et 24 mai, 7 et 21 juin et 5 juillet 2012.

La récolte des pots des pièges à émergence ont été réalisés tous les 15 jours du 28 mars au 5 juillet 2012.

Les relevés des composantes végétales ont été réalisés le 10 mai et le 21 juin 2012.

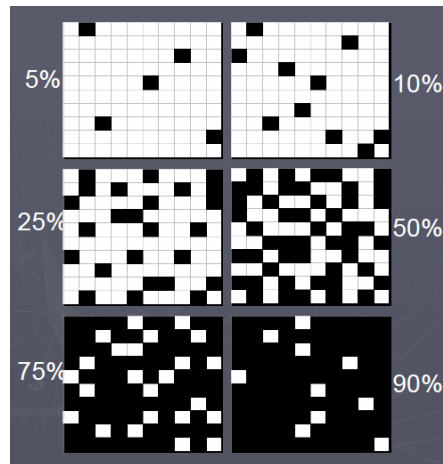


Figure 9. Représentation schématique des indices de recouvrement (Source : Cours M1 S7 Hautekeete Phytosociologie : Principes et méthodes).

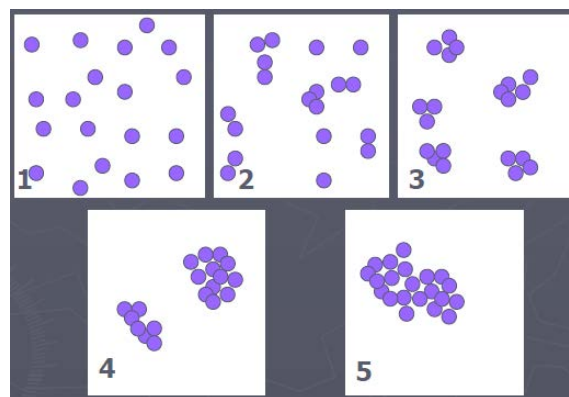


Figure 10. Représentation schématique des indices de sociabilité : 1, individus isolés ; 2, individus répartis en petits groupes isolés ; 3, individus groupés en tâches ; 4, colonies ou tapis discontinus et 5, tapis continu (Source : Cours M1 S7 Hautekeete Phytosociologie : Principes et méthodes).

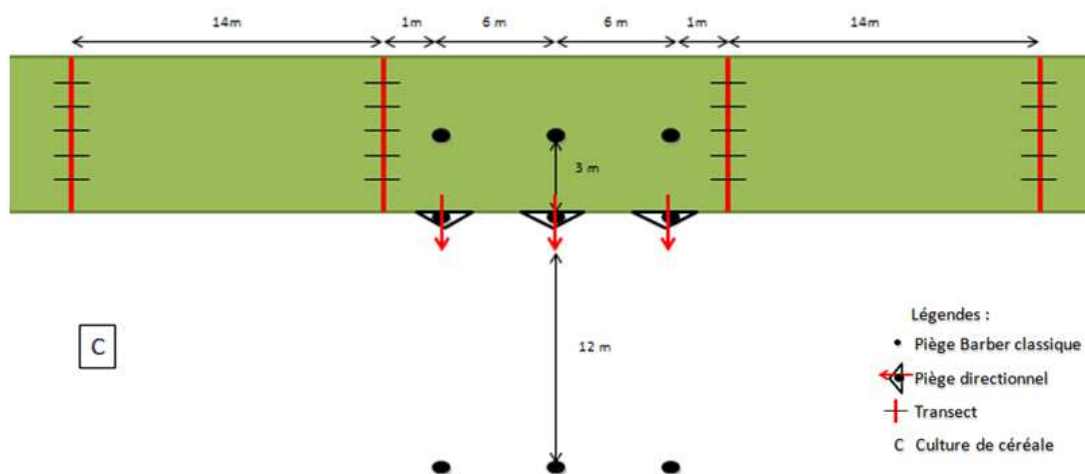


Figure 11. Représentation schématique du dispositif mis en place pour la méthode des aiguilles

Statistiques

Les données ont été traitées avec la version 2.15.0 du logiciel R (R, 2012). La richesse spécifique des carabes a été soumise directement à des ANOVA, alors que les données de l'abondance des trois groupes de prédateurs ont été préalablement transformées en $\log(x+1)$ avant d'être soumises à une ANOVA (lorsque les conditions de normalité étaient respectées). Les différents paramètres effectués lors des relevés de végétation ont été également soumis directement à des ANOVA. Dans le cas contraire, nous avons eu recours au test de Kruskal-Wallis. Suite aux ANOVA, les variables ont été soumises à un test de Tukey lorsque les probabilités associées à la valeur de F étaient inférieures à 0,05. Suite aux tests Kruskal-Wallis, lorsque les probabilités associées à la valeur de X^2 étaient inférieures à 0,05 nous avons réalisé un test de comparaison multiple. La relation entre la richesse floristique et la diversité des carabes a été décrite par le biais d'une analyse canonique de correspondance (CCA).

Résultats

Nous avons décidé de pooler les effectifs de carabes correspondant aux 2 dates de prélèvements des pots Barber avant la date de fauche (24 mai 2012) et de même pour les 3 dates après la fauche. Les résultats statistiques sont présentés dans des tableaux récapitulatifs en annexes II et IV pour la partie arthropodes et en annexes III et V pour la partie végétale.

Abondance des arthropodes

Effet distance

Concernant l'effet distance à la bande enherbée, aucune différence significative n'a été observée au niveau de l'abondance des carabes lors des relevés d'avant fauche ($p.value=0,16$). Cependant, l'ANOVA a révélé un effet interaction entre distance et BE ($p.value < 0.001$) avec des effectifs de carabes nettement plus élevés dans la BE Favruche par rapport aux deux autres (fig. 12). Concernant les relevés effectués après la fauche, un effet distance significatif a été montré ($p.value=0.00402$ $** < 0,01$) : ainsi le test de Tukey révèle des effectifs carabiques significativement plus abondants en BE que pour les deux autres distances (fig. 13).

Dans le cas des araignées, l'effet distance est très significatif ($p.value < 2.2e-16$ d'après le test de Kruskal-Wallis) pour les relevés effectués avant la fauche, montrant que les effectifs étaient plus élevés dans la BE qu'aux deux autres distances (fig. 14). Toutefois, l'ANOVA n'étant pas réalisable, le test de Kruskal-Wallis réalisé n'a pas permis de prendre en compte l'interaction entre les différentes variables explicatives. Les relevés suivant la fauche ne montrent aucune différence significative et donc aucun effet distance. Enfin, il semble y avoir un effet bloc dans la BE Favruche avec des effectifs plus élevés après la fauche.

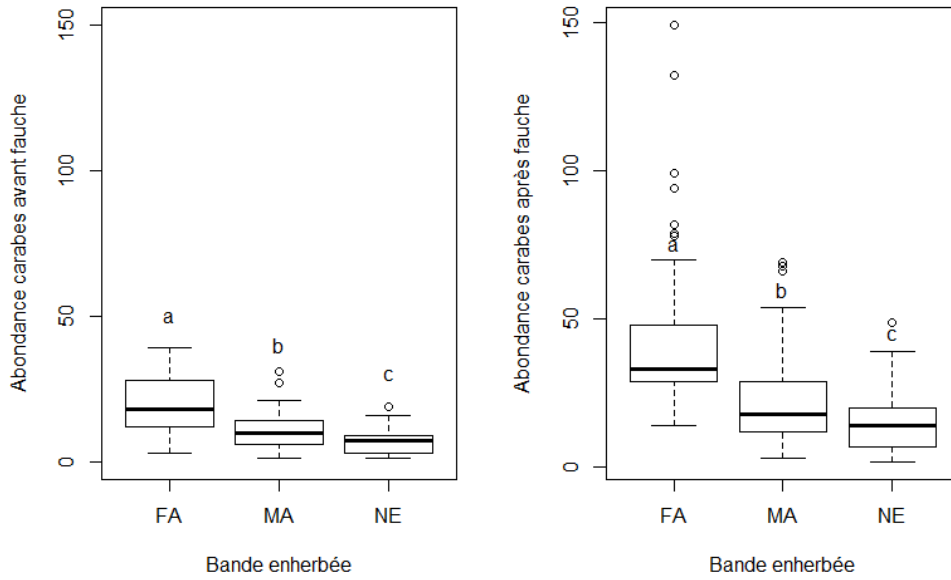


Figure 12. Abondances des carabes dans les pièges Barber, avant fauche (a) et après fauche (b) au sein des bandes enherbées Nerbuterre, Favruche et Malinet. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont significativement différentes au test de Tukey ($p < 0,05$).

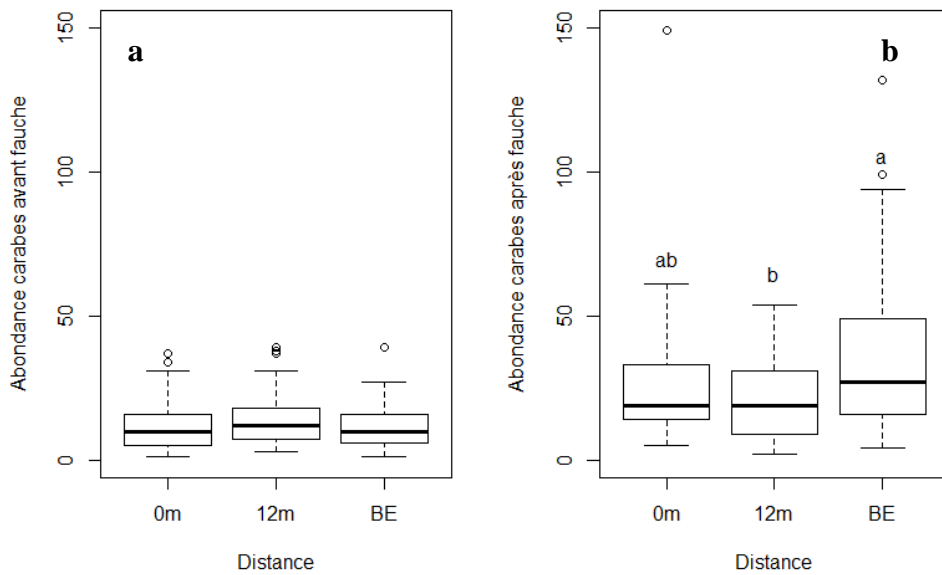


Figure 13. Abondances des carabes dans les pièges Barber, avant fauche (a) et après fauche (b) à trois distances de la bordure de champs, 0m, 12m ainsi qu'au centre de la bande enherbée (BE). Les moyennes suivies de la même lettre ne sont significativement différentes au test de Tukey.

Dans le cas des staphylins, on observe un effet distance inverse aux araignées pour toutes les dates (p. value<0.01), avec des effectifs significativement plus élevés à 12m qu'à 0m et dans la BE (fig. 15).

Effet des modes de gestion

L'analyse de l'impact du mode de gestion des BE a permis de révéler une différence pour l'abondance des carabes au centre des BE pour les relevés d'avant fauche (p.value<0.05) avec des effectifs significativement plus faibles dans la modalité « 2 fauches » par rapport à la modalité « fauche » (fig. 18). Ces résultats sont assez incompréhensibles étant donné que ces deux modalités sont censées être équivalentes, la fauche n'étant pas encore effectuée.

Les données d'après fauche, quant à elles, montrent une différence significative faible (p.value=0,1) entre la modalité « témoin » qui présente les abondances de carabes légèrement plus faibles et les modalités « fauche » et « travail du sol ». La modalité « travail du sol + fauche » s'avère se situer à un niveau faible, proche du témoin, mais avec une très forte variabilité. Toutefois, l'analyse plus fine des données (en cours) par espèce de carabe a révélé des effectifs plus élevés des espèces *Pterostichus melanarius* (188 individus dans la BE, 97 à 0m et 48 à 12m) et *Carabus violaceus* (75 au centre de la BE, 15 à 0m et 18 à 12m) dans cette modalité (et dans une moindre mesure, dans la modalité « 2 fauches » pour *P. melanarius* avec 149 individus au centre de la BE, 97 à 0m et 39 à 12m). Or, ces deux dernières espèces sont des espèces de grande taille (Annexe VI).

Par ailleurs, l'Anova a détecté une interaction très significative entre l'effet modalité et l'effet bloc (BE) (p. value<0.001) avec des effectifs plus importants sur Favruche en général (231 contre 166 pour Malinet et 104 pour Nerbuterre avant la fauche et 885 contre 424 pour Malinet et 341 pour Nerbuterre après la fauche).

Piège à émergence

Les effectifs de carabes, araignées et staphylins relevés étant très faibles voire nuls, aucun test statistique n'a pu être réalisé.

Sur un total de 23 carabes toutes dates confondues, 14 émergent de Malinet, montrant une tendance à une plus forte émergence sur cette BE.

Diversité carabique

Quelle que soit la date de relevé, nous n'avons observé aucune différence significative entre les différentes modalités de gestion, toutes distances confondues, pour la richesse spécifique des carabes (p.value=0.6967 et 0.396). Cependant l'Anova réalisée a permis de révéler un effet bloc significatif (p. value<0.01), avec un nombre d'espèce plus élevé pour la BE Favruche.

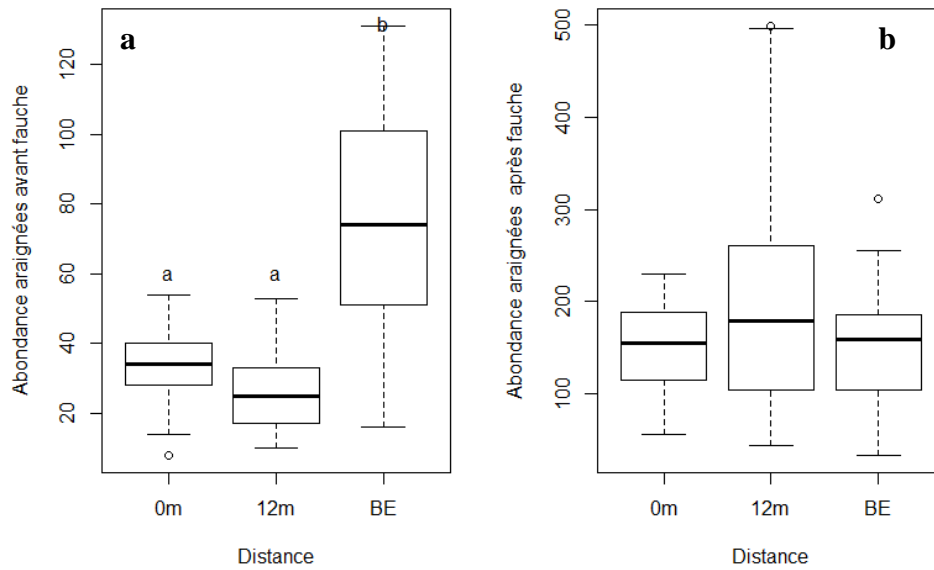


Figure 14. Abondances des araignées dans les pièges Barber, avant fauche (a) et après fauche (b) à trois distances de la bordure de champs, 0m, 12m ainsi qu'au centre de la bande enherbée (BE). Les moyennes suivies de la même lettre ne sont significativement différentes au test de Tukey.

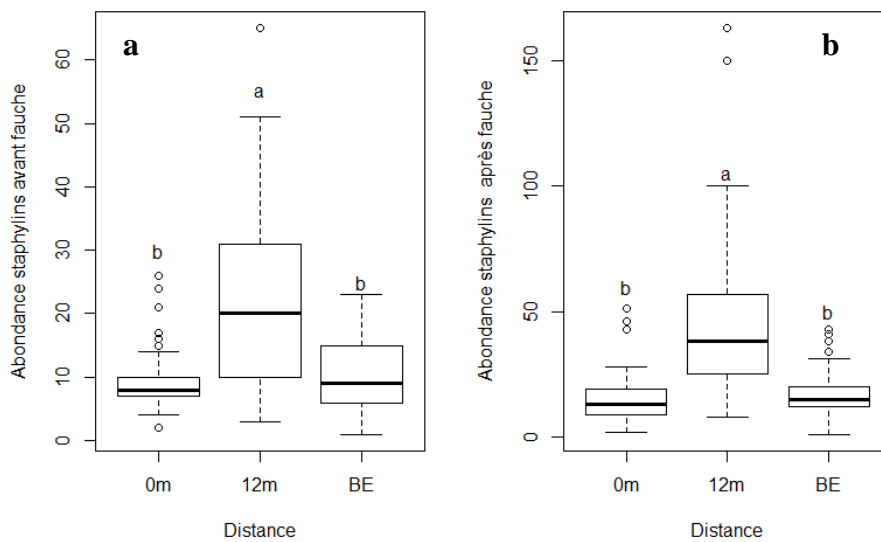


Figure 15. Abondances des staphylinins dans les pièges Barber, avant fauche (a) et après fauche (b) à trois distances de la bordure de champs, 0m, 12m ainsi qu'au centre de la bande enherbée (BE). Les moyennes suivies de la même lettre ne sont significativement différentes au test de Tukey.

Relevés de végétation

Relevés floristiques

Richesse spécifique

Lors de cette étude, nous avons relevé 71 espèces végétales (Annexe VIII) dans les quadrats. Pour le 1^e relevé floristique (10 mai 2012), nous avons identifié 31 espèces sur Favruche, 36 sur Malinet et 29 sur Nerbuterre et pour le 2^e relevé (21 juin 2012), 30 espèces sur Favruche, 42 sur Malinet et 28 sur Nerbuterre. L'ANOVA (et le test de Tukey subséquent) sur la richesse spécifique par quadrat ont révélé des valeurs significativement supérieures pour la modalité « travail du sol + fauche » par rapport au « témoin ». Les valeurs sont également supérieures aux autres modalités.

Indice de recouvrement

L'analyse des indices de recouvrement des différentes classes de végétation, aux deux dates de relevé, fait particulièrement ressortir la modalité « travail du sol + fauche » (fig. 19).

Ainsi, cette modalité présente significativement moins de graminées en touffe ($p.value < 0,001$) (fig. 17) ; par contre, elle correspond à un taux de sol nu plus élevé que les autres modalités ($p.value < 0,001$ avant la fauche et $p.value < 0,1$ après la fauche) (fig. 18).

Enfin, pour l'ensemble des relevés, un effet « bloc » (ou BE) est constaté sur le recouvrement du sol ($p.value < 0,01$) avec Malinet qui présente un taux de recouvrement supérieur aux deux autres bandes enherbées.

Indice de sociabilité

L'indice de sociabilité n'a pas été mesuré pour la végétation morte. Les analyses effectuées sur les données des indices de sociabilité n'ont permis de mettre en évidence qu'une différence significative sur la catégorie « dicotylédones ». En effet, cet indice pour les dicotylédones a une valeur significativement plus élevée pour la modalité « témoin » que pour les modalités « 2 fauches » et « travail du sol ».

Enfin, un effet bloc est constaté pour les dicotylédones des deux dates de relevés, qui sont plus présentes sur Malinet ($p.value < 0,5$), ainsi que pour les « graminées en touffe » de la 2^{ème} date présentes en plus grand nombre sur Favruche ($p.value < 0,01$). Les catégories de végétation « autres graminées » et « légumineuses » des relevés du 21 juin 2012 ne présentaient pas assez de données pour être analysées.

Indice de densité

L'indice de densité n'a été mesuré que pour les « graminées en touffes » et les « autres graminées ». L'ANOVA réalisée sur les données de densité des « graminées en touffe » du 1^{er} relevé montre une différence significative ($p.value < 0,01$) entre la modalité « fauche » aux valeurs plus élevées que les autres modalités. Concernant la 2^{ème} date de relevés, aucune différence n'a été décelée. Il en est de même pour l'analyse des « autres graminées ». Enfin, aucun effet « bloc » n'a pu être identifié.

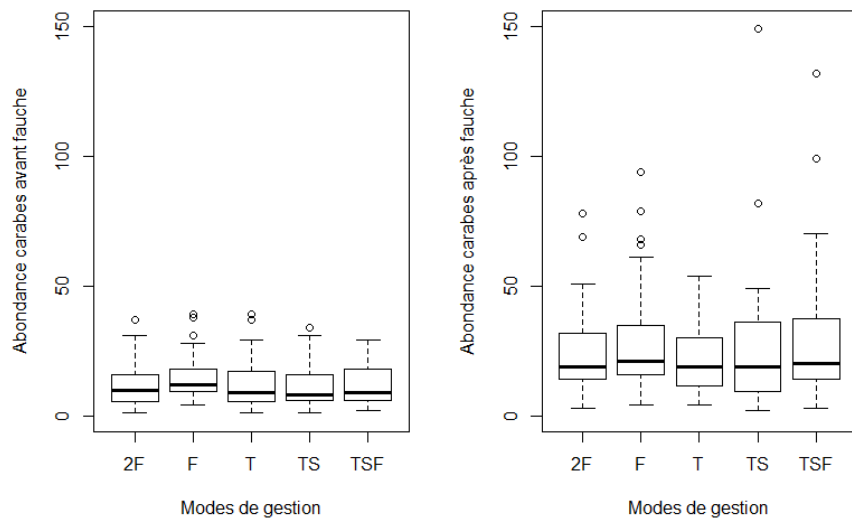


Figure 16. Abondance des carabes dans les pièges Barber, avant fauche (a) et après fauche (b), au niveau des différents modes de gestion (2F : 2 fauches, F : fauche, T : témoin, TS : travail du sol, TSF : travail du sol + fauche).

Complexité architecturale du couvert végétal Caractérisation verticale à l'aide de la méthode des aiguilles

Une ANOVA a été réalisée sur les indices de complexité architecturale du couvert végétal obtenus au sein des différentes modalités. Aucune différence significative n'a été démontrée entre les différentes modalités de gestion et entre les BE pour les relevés du 10 mai 2012. Ces données ont été transformées à l'aide d'une exponentielle afin de répondre au test de normalité de Shapiro-Wilk.

Concernant les relevés du 21 juin 2012 effectués après la fauche du 24 mai 2012, l'ANOVA a démontré une différence significative entre modalités de gestion (p.value <0,01) (Annexe V). Ces résultats montrent que, en se basant sur l'interprétation des résultats d'un indice de Shannon classique, la modalité « 2fauches » possède une végétation plus homogène et surtout moins complexe que les autres modalités.

Quant à l'effet bloc, l'ANOVA montre une différence significative avec $p=00166^{**}$ (<0,01) et le test de Tukey montre que Malinet semble se détacher, avec une architecture plus complexe que les deux autres bandes (Annexe V).

Mise en relation des résultats faunistiques et floristiques

Les corrélations classiques entre indices de végétation et abondance des arthropodes n'ont pas permis d'établir des liens entre ces variables (Annexe VII). Une analyse canonique des corrélations (CCA) entre les espèces végétales relevées dans les quadrats 2 à 4 (correspondants aux pièges Barber de la BE) et les espèces de carabes issues de ces pièges (liste des espèces présentes en Annexe IX) a donc été effectuée et ce, sur l'ensemble des relevés effectués (fig. 20). Malgré une concentration de l'ensemble des espèces végétales et carabiques, trois groupes semblent se détacher. En effet, un assemblage constitué des espèces végétales *Lolium perenne* (Lolpe), *Bromus sterilis* (Brost), *Cirsium arvense* (Cirar), *Alopecurus myosoroides* (Alomy) et *Festuca pratensis* (Fespr) et des espèces carabiques *Stomis pumicatus* (StoPum), *Ophonus azureus* (OphAzu), *Demetrias atricapillus* (DemAtr) et *Leistus spinibarbis* (LeiSpi) semblent se dégager significativement dans la modalité « travail du sol » sur Malinet. Un autre assemblage d'espèce situé avec la même orientation mais une moins grande significativité se détache sur la zone « témoin » de Malinet : *Poa trivialis* (Poatr), *Anagallis foemina* (Anafo) et *Bromus arvensis* (Broar) avec *Brachynus explodens* (BraExp) et *Nebria salina* (NebSal). Enfin, un ensemble constitué de *Rumex longifolius* (Rumlo), *Dactylis glomerata* (Dacgl), *Epilobium tetragonum* (Epite), *Bromus hordeaceus* L. (Broho), *Cirsium vulgare* (Cirvu) pour la végétation et des espèces *Metallina lampros* (MetLam), *Metallina properans* (MetPro), *Agonum muelleri* (AgoMue) et *Nebria brevicollis* (NebBre) semble se détacher sur Nerbuterre. Un ensemble *Sonchus asper* (Sonas) - *Leistus sp* (Leisp) se détache largement, mais ce résultat est dû à une faible abondance (2 individus du genre *Leistus sp.*).

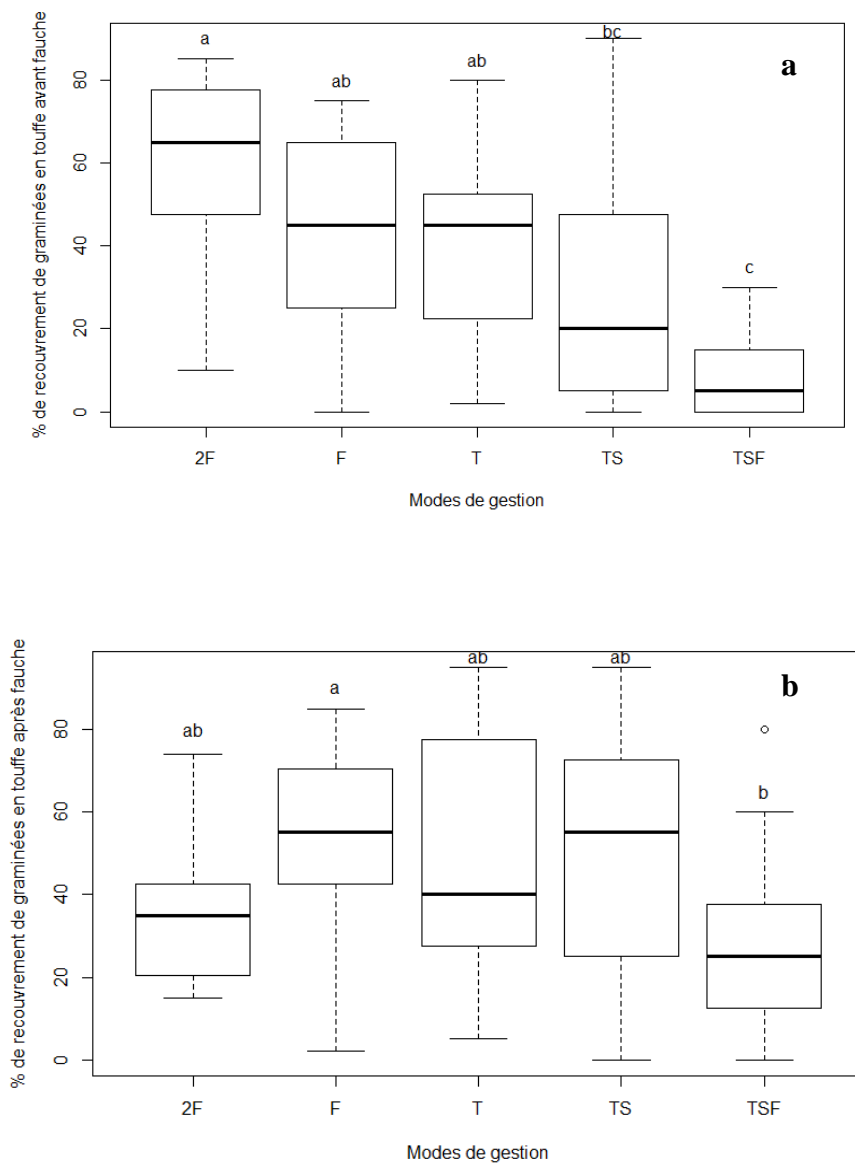


Figure 17. Taux de recouvrement de graminées en touffe, avant fauche (a) et après fauche (b), au niveau des différents modes de gestion (2F : 2 fauches, F : fauche, T : témoin, TS : travail du sol, TSF : travail du sol + fauche). Les moyennes suivies de la même lettre ne sont significativement différentes au test de Tukey.

Discussion

I. Effets des modes de gestion des BE

a. Effet fauche

Les modalités fauchées possèdent un plus grand nombre d'individus de « graminées en touffe » que les autres modalités de gestion. Ces résultats sont en concordance avec ceux de Noordijk (2010) qui avait montré que la fauche favorisait le développement de graminées, mais entraînerait une homogénéisation de la structure du couvert végétal et donc une perte d'habitats favorables à la petite faune. Les résultats issus de la méthode des aiguilles ont bien montré cette homogénéisation, notamment pour les modalités fauchées deux fois, possédant le plus faible indice de complexité architecturale. Cette homogénéisation est renforcée par la diminution de la richesse spécifique végétale sur cette modalité.

Bien que la fauche permette la croissance de graminées favorables à la présence de carabes selon l'hypothèse de « enemy-free spaces » de Brose (2003) qui suggère que pour éviter la prédation, les grands carabes éviteraient les zones de sol nu et se réfugieraient dans les touffes de graminées, là où ils passent inaperçus, l'homogénéisation de l'architecture de la végétation ne leur est pas favorable. Dans ces travaux, Brose explique que l'ajout de dicotylédones à une parcelle constituée de graminées augmente la complexité structurelle du couvert et, est donc plus favorable aux communautés carabiques.

Avant la fauche du 24 mai 2012, des différences d'abondance carabiques existent entre les deux modalités « fauche » et « 2 fauches », ce qui reste assez incompréhensible du fait que ces deux modalités ont une gestion sensiblement identique, c'est-à-dire une unique fauche effectuée en août 2011. De plus, les résultats d'après fauche ne présentent aucune différence alors que l'on aurait pu s'attendre à avoir une plus grande abondance de carabes dans les modalités fauchées une seule fois, car celles-ci seraient susceptibles de présenter une architecture végétale moins homogène que les modalités fauchées deux fois. Ces résultats sont peut-être dus à un manque de recul de l'impact de la fauche sur les carabes dont les effectifs larvaires ont été fortement affaiblis lors de l'épisode de gel.

b. Effet travail du sol

D'une façon générale, les modalités ayant subi un travail du sol présentent un plus grand nombre de dicotylédones et moins de « graminées en touffe ». En effet, en théorie, un travail du sol permet une remontée des graines et la pousse d'espèces diverses (dicotylédones, monocotylédones), entraînant ainsi une plus grande diversité spécifique. Les résultats ont montré que la modalité « travail du sol + fauche » possède un plus grand nombre d'espèces végétales que la modalité « témoin » car c'est un assemblage de deux techniques favorisant à la fois la repousse de graminées et celle des dicotylédones. De plus, l'ajout de dicotylédones à

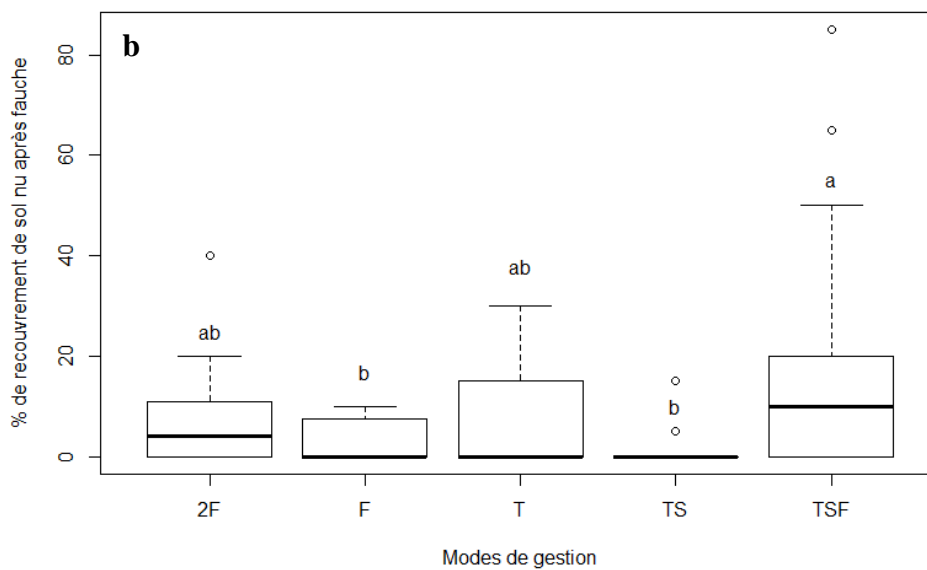
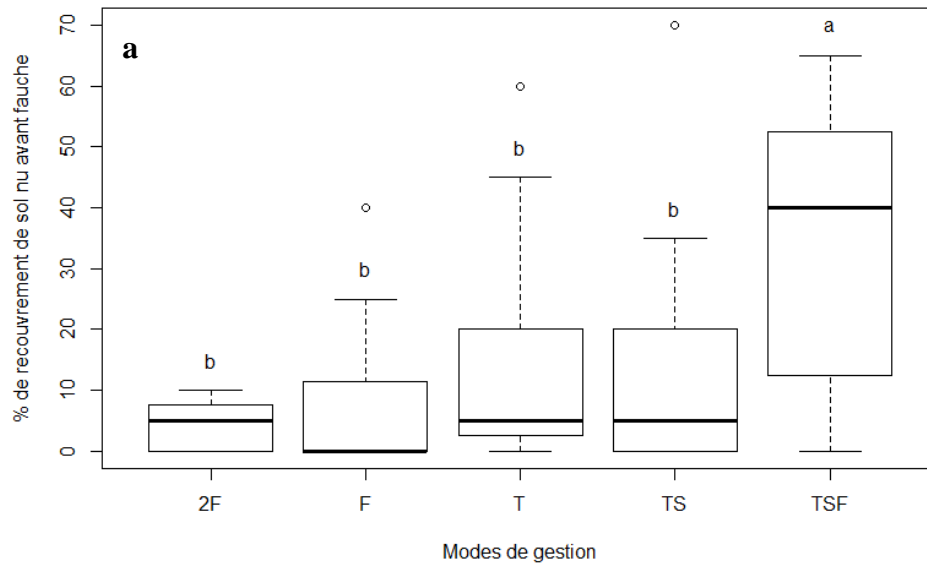


Figure 18. Taux de recouvrement de sol nu, avant fauche (a) et après fauche (b), au niveau des différents modes de gestion (2F : 2 fauches, F : fauche, T : témoin, TS : travail du sol, TSF : travail du sol + fauche). Les moyennes suivies de la même lettre ne sont significativement différentes au test de Tukey.

une parcelle de graminées entraînerait une augmentation de la complexité architecturale (Brose, 2003).

Les résultats concernant les indices de complexité architecturale montre bien cette augmentation d'hétérogénéité liée au travail du sol par rapport aux modalités fauchées.

Les indices de recouvrement, quant à eux, ne montrent pas de différences entre les modalités fauchées et la modalité ayant subi un travail du sol. Par ailleurs, la modalité « travail du sol » et dans une moindre mesure, la modalité « travail du sol + fauche » ont de faibles indices de sociabilité pour les dicotylédones, indiquant que celles-ci ont une répartition éparse, favorisant ainsi l'hétérogénéité structurelle du couvert végétal.

Concernant l'effet sur l'abondance des carabes, le travail du sol ne semble pas trop favorable même si il reste à confirmer du fait de l'effet bloc très élevé. En effet, le travail du sol effectué sur les parcelles était superficiel (car réalisé avec un covercrop). Il ne s'agissait pas d'un labour conventionnel, qui lui a un effet délétère sur les communautés carabiques (Holland et Reynolds, 2003; Thorbek et Bilde, 2004). De plus, le travail du sol a été effectué au début de l'automne, période de labour moins préjudiciable pour les larves car beaucoup d'espèces n'éclosent qu'au printemps. Cependant, un suivi sur le long terme de l'impact de ces modes de gestion sur les effectifs carabiques serait nécessaire pour pouvoir affirmer cet énoncé.

c. Interactions travail du sol et fauche

La modalité « travail du sol + fauche » est apparue plus favorable du point de vue de la complexité architecturale et du nombre d'espèces végétales. De plus, le fait qu'elle présente un fort taux de sol nu et moins de graminées en touffe pourrait faire d'elle un bon compromis entre les effets de la fauche et du travail du sol.

Or, les résultats en termes d'abondance carabique ne correspondent pas, malgré une très forte variabilité des effectifs entre parcelles. Toutefois, les premiers résultats de l'analyse des effectifs par espèce de carabes montrent que cette modalité peut s'avérer très favorable à certaines espèces clés telles *Pterostichus melanarius* et *Carabus violaceus*, espèces de grande taille connues pour leur rôle important de prédation.

d. Relation diversité végétale – diversité animale

Des analyses de corrélations simples entre diversité végétale et animale ont été effectuées mais n'ont pas eu de résultats très concluants. C'est pourquoi, nous avons réalisé une analyse canonique des corrélations de ces mêmes facteurs car l'aspect assemblage

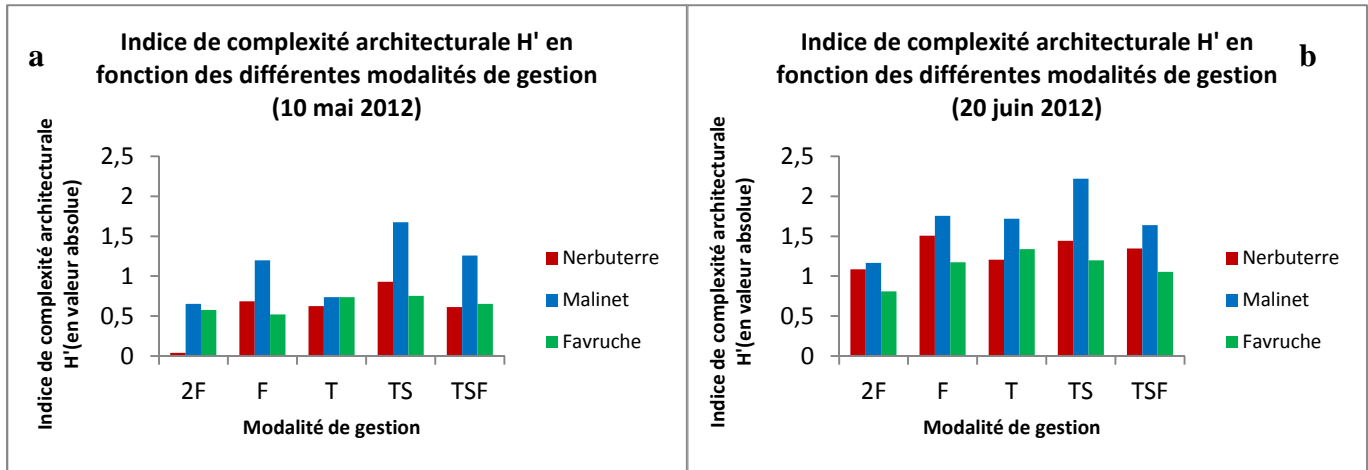


Figure 19. Indices de complexité architecturale H' (en valeurs absolues) en fonction des différentes modalités de gestion (2F : 2 fauches, F : fauche, T : témoin, TS : travail du sol, TSF : travail du sol + fauche) avant fauche (a) et après fauche (b)

d'espèces présente un plus grand intérêt. Cette analyse a permis de distinguer un noyau où la majorité des espèces végétales et animales se concentrent et 3 assemblages d'espèces, dont deux plus significatifs (« travail du sol » sur Malinet et celui sur Nerbuterre). Nous trouvons des graminées en touffe dans ces deux assemblages, mais également d'autres graminées et quelques espèces de dicotylédones pouvant montrer qu'une hétérogénéité de structure du couvert végétal peut avoir une grande influence sur la présence et la diversité carabique. De plus, nous pouvons ainsi penser que si un grand nombre d'espèces de carabes vit dans tout type de couverture végétale, d'autres sont peut-être plus exigeantes comme *Metallina lampros* et *Metallina properans* qui forment un assemblage avec *Dactylis glomerata*, *Epilobium tetragonum*, *Bromus hordeaceus* L et *Cirsium vulgare*. Ainsi, la gestion semble avoir un impact sur les assemblages d'espèces végétales et animales et avec un peu plus de recul sur l'effet de ces différents modes de gestion, d'autres assemblages pourraient se révéler. Aussi, les conditions climatiques peu favorables cette année ont eu certainement un effet négatif sur les communautés carabiques; avec des conditions plus optimales, l'analyse canonique aurait peut-être permis de dégager d'autres groupes.

II. Effet distance

Cette étude a également permis de mettre en évidence un effet distance à la bande enherbée. En effet, il y a de plus grands effectifs de carabes au sein de la bande que dans la parcelle d'après les analyses effectuées après la fauche. Cela signifierait peut-être que l'espèce *Pterostichus melanarius* (espèce la plus abondante après la fauche) a une préférence pour un couvert plus dense et donc, la bande. En effet, chaque espèce a ses préférences écologiques et a donc des habitats différents.

De plus, une tendance à un gradient négatif de l'abondance carabique allant de la bande enherbée vers la parcelle a été décelée grâce aux pièges directionnels chargés de capturer le flux migratoire des carabes allant dans le sens de ce gradient. Dans des analyses futures après la détermination des espèces carabiques, ces pièges vont permettre de voir s'il y a une distinction d'assemblages d'espèces selon les différentes distances (entre la BE et la parcelle). Cette orientation des pièges (de la BE vers la parcelle de culture) a été déterminée car elle permet de privilégier les questions de lutte biologique. Cependant, il ne faut pas oublier la part des effectifs non capturés provenant de la culture voisine ou s'échappant vers celle-ci.

Enfin, la part des individus émergents de la parcelle est très faible si l'on s'en réfère aux données des pièges à émergence, mais ces résultats semblent être dus à l'impact de la période de froid de la fin de l'hiver.

Cet effet distance est également remarqué concernant les effectifs de staphylins plus nombreux dans la parcelle (à 12m). Cependant, on connaît peu de choses sur eux, leur présence au sein de la culture est peut-être due à la présence d'une proie spécifique, mais ce résultat montre qu'une étude plus approfondie serait intéressante. Enfin, une préférence pour la BE avait été remarquée pour les araignées avant la fauche. Cependant, cet effet n'est plus

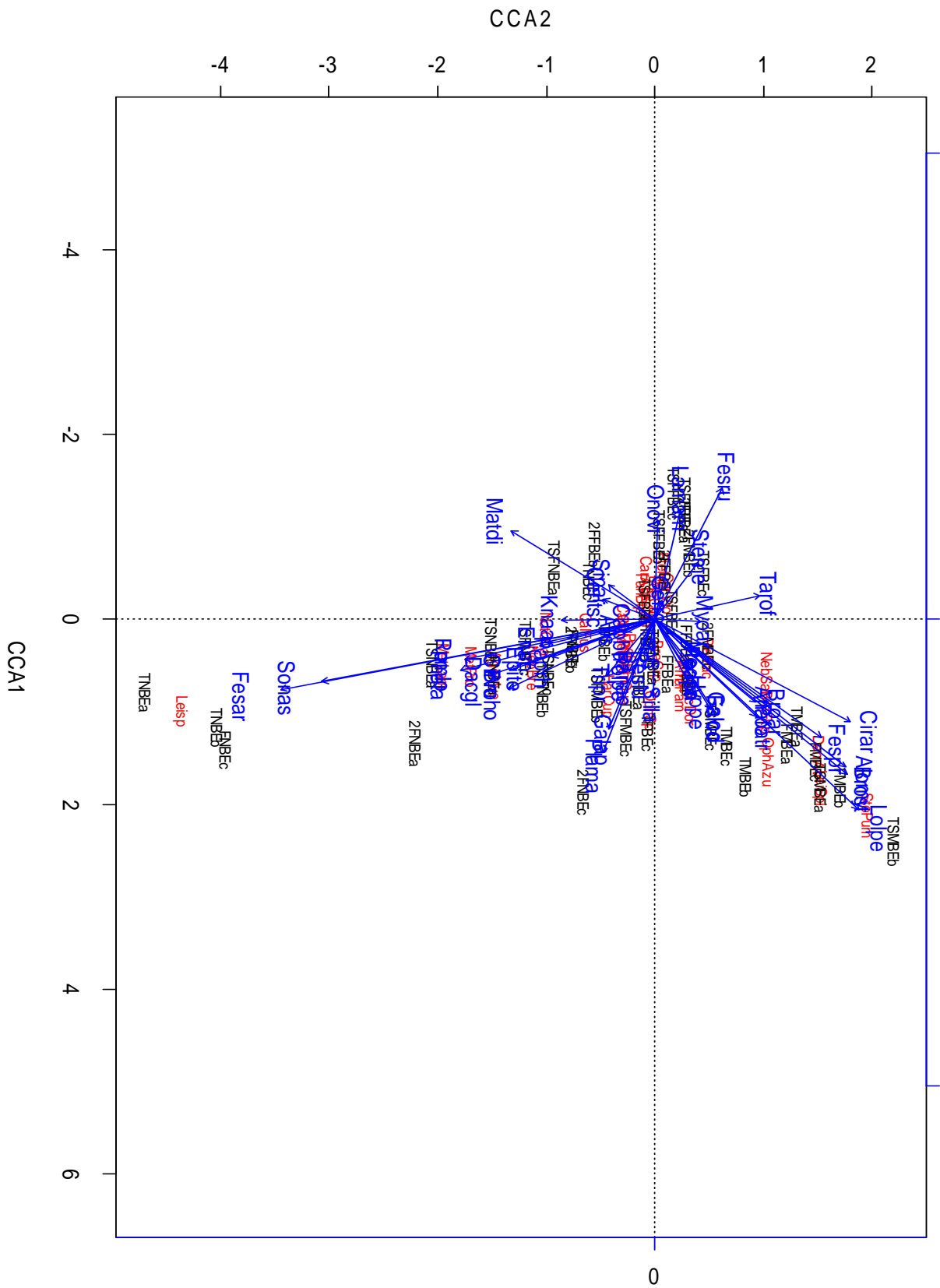


Figure 20. Analyse canonique des corrélations (CCA) entre les espèces végétales relevées dans les quadrats 2 à 4 (correspondants aux pièges Barber de la BE) et les espèces de carabes issues de ces pièges.

aussi marqué après celle-ci, elle a dû avoir un impact sur les effectifs d'araignées, mais il est reconnu que celles-ci ont une préférence pour des couverts denses dans les prairies. Les bandes enherbées se rapprochant fortement dans leur aspect et leur structure d'une prairie, mais à plus petite échelle, nous sommes en droit de penser que les araignées auraient le même type de préférence.

Les BE sont une source d'abondance et de diversité carabique à ne pas négliger dans le but d'une lutte biologique contre les ravageurs de culture et leur mode de gestion est à prendre en considération.

III. Analyse des autres facteurs

a. Interférence climatique

Cette expérimentation a dû faire face à un contexte climatique assez particulier avec un épisode de gel brutal sans couverture neigeuse protectrice survenu mi février. Celui-ci a certainement engendré une forte mortalité, notamment des larves, lors de leur émergence en fin d'hiver, ce qui peut expliquer les faibles effectifs carabiques observés. Selon l'agriculteur et les études passées, l'abondance de carabes sur le site n'est pas aussi conséquente que les années précédentes.

b. Effet bloc

Les analyses effectuées sur les indices de complexité architecturale du couvert végétal ont permis de mettre en évidence un effet « bloc ». L'architecture du couvert est plus hétérogène sur Malinet. En effet, son couvert est spontané et il est important de noter la présence du camp militaire de Suippes qui n'est séparé de la bande que par une route, expliquant ainsi la forte richesse spécifique observée. La bande Favruche est également un couvert spontané, mais il y a une dominance de *Festuca rubra* qui est une espèce compétitive (e-FloraSys Species), ceci expliquant certainement pourquoi cette bande possède la plus faible diversité spécifique végétale. Enfin, Nerbuterre possède un couvert semé à base de phacélie (*Phacelia tanacetifolia*).

Les effectifs carabiques ont également permis de montrer un effet « bloc » (ou BE). En effet, que ce soit avant ou après la fauche du 24 mai 2012, les effectifs sont plus nombreux sur Favruche. Il en est de même pour les autres arthropodes considérés (araignées et staphylins).

Favruche est la seule bande à être exposée côté Sud, donc présente une meilleure exposition au soleil, susceptible d'avoir limité l'impact néfaste de ce gel sur l'émergence des arthropodes.

Cet effet bloc se ressent également au niveau de la diversité carabique, où un plus grand nombre d'espèces est présent toujours sur cette bande. D'après la littérature, les communautés carabiques sont très sensibles aux pics de chaleur et cela s'observe dans la

plupart des échantillonnages (CARPC, 2012), pouvant ainsi expliquer ce résultat. De plus, les espèces carabiques n'émergent pas toutes en même temps. Par exemple, *Pterostichus melanarius* a un pic d'émergence mi juin (CARPC, 2012) et *Calathus fuscipes* est une espèce considérée à émergence tardive. Enfin, la présence de *Leistus spinibarbis*, qui est une espèce forestière, sur les pièges Barber proches du camp à Malinet, renforce l'impact d'un effet bloc et la présence d'un corridor écologique, montrant que chaque bande est à considérer différemment selon sa position dans le paysage et son historique de gestion.

IV. Amélioration des outils de mesure

Concernant le piégeage des carabes, nous regrettons notamment de ne pas avoir mis en place plus de pièges à émergence, notamment au sein des BE, afin de pouvoir faire des comparaisons entre parcelle et BE. Cependant, étant donné le coût et la lourdeur du dispositif, cela n'était pas été réalisable cette année.

L'utilisation de la méthode des aiguilles a été rendu difficile lorsqu'il y avait du vent empêchant une bonne visibilité et un léger biais des mesures réalisées. De plus, après l'analyse des indices de complexité architecturale, la nécessité de relever les contacts avec les aiguilles, des espèces végétales jusque 70 cm peut être remise en cause. En effet, un zoom à des hauteurs plus basses (<15cm) plus en lien avec le mode de vie des carabes épigés (constituant la majorité des espèces relevées) semble beaucoup plus adapté à ce type d'étude.

L'indice de densité, quant-à-lui, est un indice qui a été créé et calibré par notre équipe pour notre étude. Cet indice a été adapté à notre expérience mais n'a pas été testé dans d'autres conditions, comme en prairie par exemple.

Lors de l'élaboration du protocole des relevés de végétation, nous avons remarqué qu'aujourd'hui, il manquait des outils méthodologiques pour mesurer les caractères fonctionnels des communautés végétales, afin d'établir un lien avec les besoins biologiques des carabes, même si Woodcock et Brose ont tenté des approches novatrices dans ce but (méthode des aiguilles, mesures de traits). Pour cette étude, différentes mesures de variables ont été envisagées : mesure de l'indice foliaire, mesure avec intensité lumineuse afin d'obtenir le « spectre » de l'architecture végétale. Cependant, nous n'avons pas retenu ces outils car soient ils n'étaient pas réellement adaptés à notre étude, soient ils dépendaient trop des conditions météorologiques.

Cependant, la mesure de traits fonctionnels a été effectuée et leur analyse sera réalisée ultérieurement. Les traits pris en compte sont : type de feuille (graminée ou dicotylédone), type de croissance (étendue ou érigée), organisation des feuilles (touffe, rosette ou autres), étendue latérale et hauteur maximale. Nous essaierons alors de mettre en relation ces traits avec la diversité spécifique et fonctionnelle des carabes.

Conclusion

Si les résultats n'ont pas confirmé toutes nos hypothèses, il faut tout de même préciser que cette année d'expérimentation a été assez atypique avec un épisode de gel tardif ayant probablement affecté les larves de carabes. Cette étude a permis de distinguer des différences entre modalités de gestion, influençant l'abondance et la diversité des effectifs carabiques. En effet, la modalité « travail du sol + fauche » semble favoriser les espèces de grande taille jouant un rôle clé dans la lutte biologique (*P. melanarius* et *C. violaceus*). Il serait donc intéressant de s'intéresser un peu plus à cette combinaison de pratiques agricoles qui semble être un bon compromis à l'obtention d'une forte hétérogénéité structurelle du couvert végétale offrant de nombreuses zones de refuges aux auxiliaires des cultures.

Par ailleurs, l'abondance carabique a paru plus élevée au sein des BE qu'aux autres distances (0m et 12m) après la fauche. Cette même fauche semble avoir fait se déplacer les effectifs d'araignées au sein de la culture (à 12m) alors qu'ils étaient plus importants dans la BE avant celle-ci. Il serait donc intéressant d'étudier les raisons de ces flux migratoires.

Cette expérimentation a du faire face à quelques biais. En effet, beaucoup de cadavres de campagnols ont été retrouvés dans les pièges Barber et l'installation de grillages à maille plus petites aurait été préférable. Aussi, une amélioration du dispositif de la méthode des aiguilles est souhaitable, afin de réduire l'impact du vent sur les mesures réalisées.

Il est également nécessaire d'aller plus loin dans l'analyse des données. Ainsi, il serait pertinent de s'intéresser aux traits fonctionnels des carabes et les mettre en relation avec les traits fonctionnels végétaux. L'analyse canonique des corrélations prendrait ainsi plus de sens et donnerait une signification aux assemblages d'espèces végétales et animales.

Pour conclure, l'analyse de la végétation sur la fonctionnalité des carabes n'en est qu'à ses débuts. En effet, nous connaissons leur besoin de se réfugier, notamment dans les touffes de graminées, mais nous ne connaissons pas les fondements écologiques de ce besoin hormis l'hypothèse avancée par Brose. De même, nous ne connaissons pas toutes les conditions optimales pour qu'ils puissent chasser dans de bonnes conditions. Etant donné l'état actuel des connaissances sur la compréhension intégrale des facteurs régissant la structure des communautés d'arthropodes, notamment des préférendums écologiques de ces taxons, ainsi que l'impact anthropiques sur ceux-ci, l'objectif final de construction d'un indicateur paraît encore loin. Cependant, au vu des enjeux écologiques actuels, l'engouement pour la construction de ce type d'indicateur devrait s'accroître dans les prochaines années, notamment suite aux nouveaux objectifs qui seront fixés par la Politique Agricole Commune (PAC) en 2013.

Références bibliographiques

BIANCHI, F.J.J.A, BOOIJ, C.J.H et TSCHARNTKE, T, 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. In : *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 22 juillet 2006. Vol. 273, n° 1595, pp. 1715-1727.

BELL J. R., GATES S., HAUGHTON A. J., MACDONALD D. W., SMITH H., WHEATER C. P. and CULLEN W. R., 1999. Pseudoscorpions in field margins: effects of margin age, management and boundary habitats. In : *The Journal of Arachnology*, Vol. 27: pp. 236-240.

BUREL F., BAUDRY J., 1999. *Ecologie du paysage - Concepts, méthodes et applications*: Londres, Paris, New-York, Lavoisier, 359 p.

BROSE, U., 2001. Relative importance of isolation, area and habitat heterogeneity for vascular plant species richness of temporary wetlands in east-German farmland. In : *Ecography*. 2001. Vol. 24, n° 6, pp. 722–730.

BROSE, U., 2003. Bottom-up control of carabid beetle communities in early successional wetlands: mediated by vegetation structure or plant diversity? In : *Oecologia*. 2003. Vol. 135, n° 3, pp. 407–413.

Chambre d'Agriculture de la Région Centre. *Travail du sol* [en ligne] Dossier mis en ligne en Juillet 2007. Disponible sur : [Http://www.centre.chambagri.fr/ibis_cd/xdocs/pdf/pratiques/travaildusol.pdf](http://www.centre.chambagri.fr/ibis_cd/xdocs/pdf/pratiques/travaildusol.pdf) [consulté le 22 août 2012].

Chambre d'Agriculture de la Région nord Pas-de-Calais. *Les carabes, des auxiliaires au sein de nos parcelles* [en ligne] Dossier mis en ligne en Mai 2012. Disponible sur : <http://93.95.59.34/kitPublication/pages-hors-menu-internet/liste-archives-focus/detail-actu-focus/actualite//les-carabes-des-auxiliaires-au-sein-de-nos-parcelles.html> [consulté le 22 août 2012].

DIWO ALLAIN, S., BOUT, A., 2004. Impact des aménagements paysagers et des techniques culturales sur les carabes, auxiliaires de culture. Journées techniques Nationales Fruits et Légumes biologiques. CRITT-INNOPHYT.

e-FloraSys Species : *Festuca rubra* L., 1753 , traits de vie [en ligne]. Disponible sur : <http://eflorasys.inpl-nancy.fr/index.php/fr/species/view/98512> [consulté le 22 août 2012].

EYRE M.D., LABANOWSKA-BURY D., AVAYANOS J.G., WHITE R., and LEIFERT C., 2009. Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in an intensively managed vegetable crop landscape in eastern England. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 131: pp. 340-346

GOBBI, Mauro et FONTANETO, Diego, 2008. Biodiversity of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in different habitats of the Italian Po lowland. In : *Agriculture, Ecosystems & Environment*. septembre 2008. Vol. 127, n° 3-4, pp. 273-276.

HAYSOM, K.A, MCCRACKEN, D.I, FOSTER, G.N et SOTHERTON, N.W, 2004. Developing grassland conservation headlands: response of carabid assemblage to different

cutting regimes in a silage field edge. In : *Agriculture, Ecosystems & Environment*. mai 2004. Vol. 102, n° 3, pp. 263-277.

HODEK, L. & HONEK, A., 1996. *Ecology of Coccinellidae*. Netherland: Kluwer Academic Publishers.

HOF, Anouschka R. et BRIGHT, Paul W., 2010. The impact of grassy field margins on macro-invertebrate abundance in adjacent arable fields. In : *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 15 octobre 2010. Vol. 139, n° 1-2, pp. 280-283.

HOLLAND, John M. et REYNOLDS, Christina J.M., 2003. The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land. In : *Pedobiologia*. 2003. Vol. 47, n° 2, pp. 181-191.

JACQUEMYN, Hans, MECHELEN, Carmen Van, BRYNS, Rein et HONNAY, Olivier, 2011. Management effects on the vegetation and soil seed bank of calcareous grasslands: An 11-year experiment. In : *Biological Conservation*. janvier 2011. Vol. 144, n° 1, pp. 416-422.

KROMP, B., 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. In : *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1999. Vol. 74, n° 1-3, pp. 187-228.

LANG, A., FILSER, J., HENSCHER, J.R., 1999. Predation by ground beetles and wolf spiders on herbivorous insects in a maize crop. *Agriculture Ecosystems Environment*, Vol. 72: pp. 189-199.

LE COEUR, D., BAUDRY, J., BUREL, F. et THENAIL, C., 2002. Why and how we should study field boundary biodiversity in an agrarian landscape context. In : *Agriculture, ecosystems & environment*. 2002. Vol. 89, n° 1-2, pp. 23-40.

LEE J. C., MENALLED F. D. & LANDIS D. A., 2001. Refuge habitats modify impact of insecticide disturbance on carabid beetle communities. *Journal of Applied Ecology*, Vol. 38: pp. 472-483.

LOVEI, G., 2008. *Ecology and conservation biology of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in an age of increasing human dominance*.

MAGURA, T., TÓTHMÉRÉSZ, B. et ELEK, Z., 2004. Effects of leaf-litter addition on carabid beetles in a non-native norway spruce plantation. In : *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*. 2004. Vol. 50, n° 1, pp. 9-23.

MARSHALL E. J. P. & MOONEN A. C., 2002. Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture Ecosystems and Environment*, Vol. 89: pp. 5-21.

MOLNÁR, T., MAGURA, T., TÓTHMÉRÉSZ, B. et ELEK, Z., 2001. Ground beetles (Carabidae) and edge effect in oak-hornbeam forest and grassland transects. In : *European Journal of Soil Biology*. 2001. Vol. 37, n° 4, pp. 297-300.

NOORDIJK, Jinze, SCHAFFERS, André P., HEIJERMAN, Theodoor, BOER, Peter, GLEICHMAN, Maurits et SÝKORA, Karlè V., 2010. Effects of vegetation management by mowing on ground-dwelling arthropods. In : *Ecological Engineering*. mai 2010. Vol. 36, n° 5, pp. 740-750.

OLSON, Dawn M. et WÄCKERS, Felix L., 2006. Management of field margins to maximize multiple ecological services. In : *Journal of Applied Ecology*. 3 novembre 2006. Vol. 44, n° 1, pp. 13-21.

POKLUDA P., HAUCK D. & CIZEK L., 2012. Importance of marginal habitats for grassland diversity: fallows and overgrown tall-grass steppe as key habitats of endangered ground-beetle *Carabus hungaricus*. *Insect Conservation and Diversity* , Vol. 5: pp. 27–36.

R Development Core Team (2012) *R : Version 2.15.0. A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Bristol, UK. <http://cran.r-project.org>.

STEWART, K. E. J., BOURN, N. A. D. et THOMAS, J. A., 2001. An evaluation of three quick methods commonly used to assess sward height in ecology. In : *Journal of Applied Ecology*. 2001. Vol. 38, n° 5, pp. 1148–1154.

THOMAS, S. R., NOORDHUIS, R., HOLLAND, J. M. et GOULSON, D., 2002. Botanical diversity of beetle banks:: Effects of age and comparison with conventional arable field margins in southern UK. In : *Agriculture, ecosystems & environment*. 2002. Vol. 93, n° 1-3, pp. 403–412.

VARCHOLA, J. M. et DUNN, J. P., 1999. Changes in ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in farming systems bordered by complex or simple roadside vegetation. In : *Agriculture, ecosystems & environment*. 1999. Vol. 73, n° 1, pp. 41–49.

WERLING, Ben P. et GRATTON, Claudio, 2008. Influence of field margins and landscape context on ground beetle diversity in Wisconsin (USA) potato fields. In : *Agriculture, Ecosystems & Environment*. octobre 2008. Vol. 128, n° 1-2, pp. 104-108.

WOODCOCK, B. A., POTTS, S. G., PILGRIM, E., RAMSAY, A. J., TSCHEULIN, T., PARKINSON, A., SMITH, R. E. N., GUNDREY, A. L., BROWN, V. K. et TALLOWIN, J. R., 2006. The potential of grass field margin management for enhancing beetle diversity in intensive livestock farms. In : *Journal of Applied Ecology*. 12 décembre 2006. Vol. 44, n° 1, pp. 60-69.

WOODCOCK, B. A., POTTS, S. G., WESTBURY, D. B., RAMSAY, A. J., LAMBERT, M., HARRIS, S. J. et BROWN, V. K., 2007. The importance of sward architectural complexity in structuring predatory and phytophagous invertebrate assemblages. In : *Ecological Entomology*. juin 2007. Vol. 32, n° 3, pp. 302-311.

WOODCOCK, B.A., POTTS, S.G., TSCHEULIN, T., PILGRIM, E., RAMSEY, A.J., HARRISON-CRIPPS, J., BROWN, V.K. et TALLOWIN, J.R., 2009a. Responses of invertebrate trophic level, feeding guild and body size to the management of improved grassland field margins. In : *Journal of Applied Ecology*. 2009. Vol. 46, n° 4, pp. 920–929.

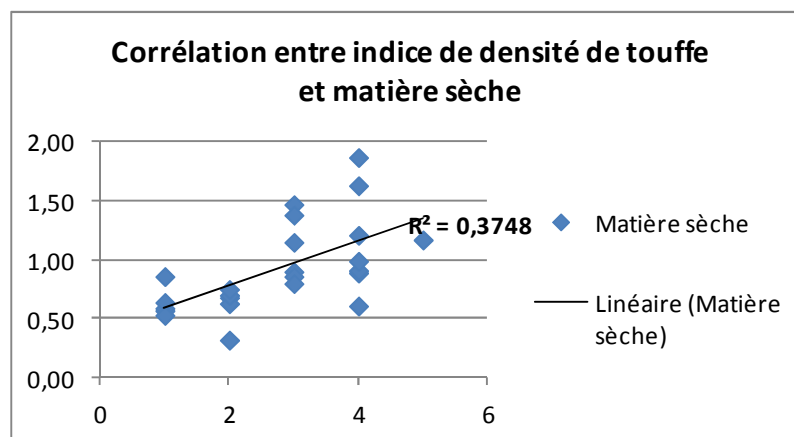
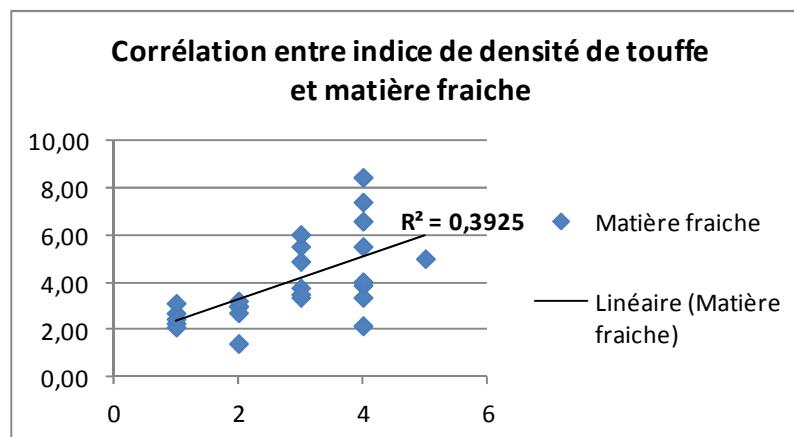
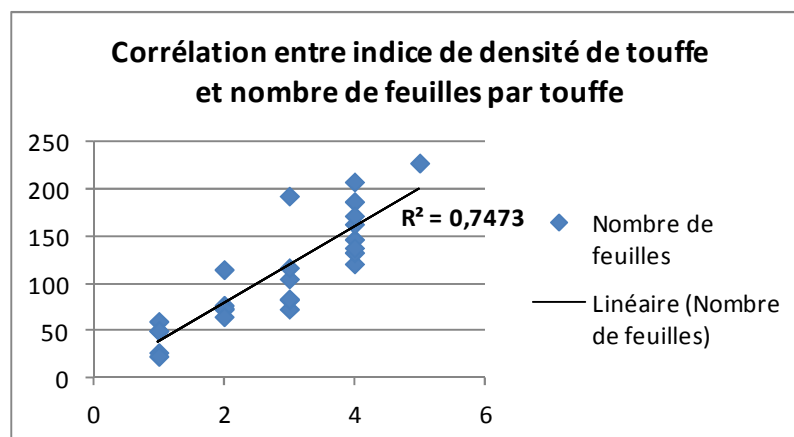
WOODCOCK, B.A., PYWELL, R.F., ROY, D.B., ROSE, R.J. et BELL, D., 2005. Grazing management of calcareous grasslands and its implications for the conservation of beetle communities. In : *Biological Conservation*. septembre 2005. Vol. 125, n° 2, pp. 193-202.

WOODCOCK, Ben A. et PYWELL, Richard F., 2009b. Effects of vegetation structure and floristic diversity on detritivore, herbivore and predatory invertebrates within calcareous grasslands. In : *Biodiversity and Conservation*. 13 août 2009. Vol. 19, n° 1, pp. 81-95.

Annexes

Annexe I : Méthode de calibrage de l'indice de densité de touffe.

Pour calibrer l'indice de densité de touffe, nous avons sélectionné des touffes de graminées, auxquelles nous avons attribué une valeur de 1 à 4. Puis, ces touffes ont été coupées et le nombre de feuilles par touffe a été compté. Enfin, la matière fraîche et la matière sèche ont été pesées. Pour finir, nous avons établi des corrélations entre indice et nombre de feuilles, entre indice et matière fraîche d'une part, ainsi que matière sèche, d'autre part.



Annexe II : Tableau récapitulatif des tests statistiques effectués sur les données des arthropodes (p.value< 0.1. , p.value<0.05*, p.value<0.01, p.value< 0.001***).**

<i>Anova (F) ou Kruskal-Wallis (X²)</i>	<i>ddl</i>	<i>Avant fauche</i>		<i>Après fauche</i>	
		<i>F ou X²</i>	<i>P</i>	<i>F ou X²</i>	<i>P</i>
Abondance des carabes					
Modes de gestion	4	0.987	0.417	0.463	0.763
Distance	2	1.856	0.16	5.754	0.00402 **
BE	2	X ² =45.5292	1.299e-10***	36.58	2.29e-13 ***
Modes de gestion x BE	10	8.842	9.28e-11 ***	5.065	0.000254 ***
Distance x BE	6	12.466	5.4e-11 ***	15.13	5.42e-13 ***
Abondance des carabes en BE					
Modes de gestion	4	3.093	0.0303 *	2.451	0.067532 .
BE	2	X ² =9.6461	0.008042 **	8.722	0.000679 ***
Modes de gestion x BE	10	6.686	2.29e-05 ***	4.880	0.000342 ***
Abondance des araignées					
Modes de gestion	4	0.937	0.445	0.972	0.425
Distance	2	X ² =72.4394	<2.2e-16 ***	2.437	0.0914 .
BE	2	X ² =11.1639	0.003765 **	29.21	3.14e-11 ***
Modes de gestion x BE	10	-	-	9.082	4.95e-11 ***
Distance x BE	6	7.454	7.61e-07 ***	21.181	< 2e-16 ***
Abondance des araignées en BE					
Modes de gestion	4	9.091	2.55e-05 ***	0.142	0.965
BE	2	0.528	0.593	4.367	0.0189 *
Modes de gestion x BE	10	1.329	0.261	2.939	0.0108 *
Abondance des staphylins					
Modes de gestion	4	1.008	0.406	1.774	0.138
Distance	2	22.2	4.87e-09 ***	35.57	4.39e-13 ***
BE	2	6.572	0.0019 **	1.277	0.282
Modes de gestion x BE	10	2.452	0.0106 *	1.316	0.229
Distance x BE	6	7.812	3.69e-07 ***	6.957	2.10e-06 ***
Abondance des staphylins en BE					
Modalités	4	1.193	0.329	X ² =7.8323	0.09792 .
BE	2	1.965	0.153	3.495	0.0394 *
Modalités x BE	10	3.386	0.00462 **	2.872	0.0123 *
Richesse spécifique des carabes					
Modes de gestion	4	X ² =2.2126	0.6967	1.028	0.396
Distance	4	X ² =4.9637	0.291	1.823	0.128
BE	2	23.8	1.49e-09 ***	26.49	2.12e-10 ***
Modes de gestion x BE	10	5.481	1.12e-06 ***	6.097	1.84e-07 ***
Distance x BE	10	5.623	7.36e-07 ***	7.840	1.36e-09 ***
Abondance totale des carabes dans les pièges à émergence					
BE	2		X ² 6.0163		P 0.04938 *

Annexe III : Tableau récapitulatif des tests statistiques effectués sur les données de végétation (p.value< 0.1. , p.value<0.05*, p.value<0.01, p.value< 0.001***).**

<i>Anova (F) ou Kruskal-Wallis (X²)</i>	<i>ddl</i>	<i>10 mai 2012</i>		<i>21 juin 2012</i>	
		<i>F ou X²</i>	<i>P</i>	<i>F ou X²</i>	<i>P</i>
Richesse spécifique par quadrat					
Modes de gestion	4	0.684	0.605	2.614	0.044 *
BE	2	6.468	0.00261 **	9.644	0.000195 ***
Modes de gestion x BE	10	1.762	0.0876 .	5.533	8.69e-06 ***
Indice de recouvrement					
<i>Graminées en touffe</i>					
Modes de gestion	4	19.19	3.29e-10 ***	5.636	0.000642 ***
BE	2	X ² = 15.4172	0.000449 ***	4.784	0.0112 *
Modes de gestion x BE	10	7.23	2.30e-07 ***	7.049	3.33e-07 ***
<i>Autres graminées</i>					
Modes de gestion	4	X ² = 4.3775	0.3573	X ² = 3.5799	0.4658
BE	2	X ² = 49.2793	1.991e-11 ***	X ² = 45.1954	1.534e-10
Modes de gestion x BE	-	-	-	-	-
<i>Dicotylédones</i>					
Modes de gestion	4	1.568	0.19442	1.05	0.389283
BE	2	X ² = 10.8493	0.004407 **	X ² = 6.4531	0.03969 *
Modes de gestion x BE	10	3.051	0.00344 **	3.56	0.000954 ***
<i>Légumineuses</i>					
Modes de gestion	4	X ² =3.4481	0.4858	X ² =5.8233	0.2127
BE	2	X ² = 33.5172	5.27e-08 ***	X ² =0.5868	0.7457
Modes de gestion x BE	-	-	-	-	-
<i>Végétation morte</i>					
Modes de gestion	4	0.700	0.595	1.957	0.112622
BE	2	X ² = 26.9921	1.376e-06 ***	X ² = 4.3666	0.1127
Modes de gestion x BE	10	5.965	3.33e-06 ***	4.097	0.000254 ***
<i>Sol nu</i>					
Modes de gestion	4	8.900	1.04e-05 ***	X ² =9.464	0.05049 .
BE	2	X ² = 0.3848	0.825	X ² = 0.8305	0.6602
Modes de gestion x BE	10	4.512	9.29e-05 ***	-	-
Indice de sociabilité					
<i>Graminées en touffe</i>					
Modes de gestion	4	1.253	0.302	X ² =6.7151	0.1517
Modes de gestion x BE	10	2.156	0.308	-	-
<i>Autres graminées</i>					
Modes de gestion	4	1.342	0.295	-	-
Modes de gestion x BE	4	1.379	0.283	-	-
<i>Dicotylédones</i>					
Modes de gestion	4	10.117	7.93e-06 ***	5.164	0.00169 **
Modes de gestion x BE	10	2.437	0.0249 *	2.427	0.02122 *

Indice de densité de touffe					
<i>Graminées en touffe</i>					
Modes de gestion	4	5.188	0.00178 **	X ² = 6.2818	0.1791
Modes de gestion x BE	9	1.800	0.09761 .	-	-
<i>Autres graminées</i>					
Modes de gestion	4	0.170	0.950	-	-
Modes de gestion x BE	3	0.793	0.517	-	-
Indice de complexité architecturale					
Modes de gestion	4	1.731	0.156	4.549	0.00302 **
BE	2	2.822	0.0678 .	7.173	0.00166 **
Modes de gestion x BE	10	1.897	0.0708 .	3.192	0.00357 **

Annexe IV: Tableau montrant le classement des moyennes par facteur pour les populations d'arthropodes après fauche. Les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au test de Tukey ($p < 0,05$).

ARTHROPODES	Avant fauche			Après fauche		
	Facteur	Moyenne		Facteur	Moyenne	Différences
Abondance des carabes	BE			BE		
	Favruche	2.906456	a	Favruche	3.666142	a
	Malinet	2.285184	b	Malinet	2.999165	b
	Nerbuterre	1.932389	c	Nerbuterre	2.590332	c
				Distance		
				BE	3.360068	a
				0m	3.046079	ab
			12m	2.849491	b	
Abondance des carabes en BE	BE			BE		
	Favruche	15.400000	a	Favruche	3.923467	a
	Malinet	11.066667	ab	Malinet	3.116560	b
	Nerbuterre	6.933333	b	Nerbuterre	3.040177	b
Richesse spécifique des carabes	BE			BE		
	Favruche	7.044444	a	Favruche	9.977778	a
	Malinet	4.466667	b	Malinet	7.333333	b
	Nerbuterre	4.177778	b	Nerbuterre	6.600000	b
Abondance des araignées	Distance			BE		
	BE	76.62222	a	Favruche	5.330346	a
	0m	33.75556	b	Malinet	5.041143	b
	12m	26.77778	b	Nerbuterre	4.700959	c
Abondance des araignées en BE	Modalités			BE		
	T	4.568802	a	Malinet	5.128342	a
	F	4.529133	a	Favruche	5.016725	ab
	2F	4.346021	a	Nerbuterre	4.736802	b
	TS	4.175571	a			
	TSF	3.730269	b			
Abondance des staphylins	BE			Distance		
	Favruche	2.765944	a	12m	3.639306	a
	Malinet	2.396604	b	BE	2.737315	b
	Nerbuterre	2.316865	b	0m	2.652192	b
	Distance					
	12m	2.952615	a			
	BE	2.298552	b			
	0m	2.228246	b			
Abondance des staphylins en BE				BE		
				Malinet	2.944138	a
				Nerbuterre	2.844611	ab
				Favruche	2.423197	b

Annexe V : Tableau montrant le classement des moyennes par facteur pour les relevés de végétation après fauche. Les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au test de Tukey ($p < 0,05$).

VEGETATION	Avant fauche			Après fauche			
	Facteur	Moyenne		Facteur	Moyenne	Différences	
Richesse spécifique végétale par quadrat	BE			BE			
	Malinet	6.36	a	Malinet	7.52	a	
	Nerbuterre	5.76	a	Nerbuterre	6.92	ab	
	Favruche	4.44	b	Favruche	4.92	b	
<hr/>							
Indice de recouvrement <i>Graminées en touffe</i>	BE			BE			
	Favruche	47.80	a	Favruche	51.96	a	
	Nerbuterre	42.00	a	Nerbuterre	45.68	ab	
	Malinet	18.88	b	Malinet	30.92	b	
	Modes de gestion			Modes de gestion			
	2F	59.666667	a	F	53.266667	a	
	T	41.800000	ab	T	50.666667	ab	
	F	41.333333	ab	TS	47.800000	ab	
	TS	30.000000	bc	2F	34.866667	ab	
	TSF	8.333333	c	TSF	27.666667	b	
	<i>Autres graminées</i>	BE			BE		
		Malinet	30.84	a	Malinet	19.28	a
		Nerbuterre	1.16	b	Nerbuterre	1.76	b
		Favruche	0.80	b	Favruche	0.00	b
	<i>Dicotylédones</i>	BE			BE		
		Malinet	31.0	a	Malinet	37.88	a
		Nerbuterre	18.6	b	Nerbuterre	31.12	ab
		Favruche	14.6	b	Favruche	23.00	b
	<i>Sol nu</i>	Modes de gestion			Modes de gestion		
TSF		35.000000	a	TSF	19.000000	a	
T		14.000000	b	T	8.000000	ab	
TS		13.800000	b	2F	7.466667	ab	
F		7.533333	b	F	3.000000	b	
2F		4.333333	b	TS	2.333333	b	
<hr/>							
Indice de complexité architecturale	BE			BE			
	Nerbuterre	-0.4711387	a	Nerbuterre	-0.8550312	a	
	Favruche	-0.5125173	ab	Favruche	-0.8645996	a	
	Malinet	-0.7092825	b	Malinet	-1.1867212	b	
	Modes de gestion			Modes de gestion			
	2F			2F	-0.7062350	a	
	TSF			TSF	-0.8736538	ab	
	T			T	-0.9811206	ab	
	F			F	-1.0738642	b	
	TS			TS	-1.2090464	b	

Annexe VI : Tableau présentant les effectifs de *Pterostichus melanarius* et *Carabus violaceus* sur les différentes modalités de gestion après la fauche du 24 mai 2012.

Modalités de gestion	Distance	Effectifs de P. melanarius	Effectifs de C. violaceus
Témoïn	BE	41	3
	0m	78	7
	12m	68	9
Travail du sol	BE	106	12
	0m	48	4
	12m	56	9
Travail du sol + Fauche	BE	188	75
	0m	97	14
	12m	48	18
Fauche	BE	91	9
	0m	61	3
	12m	70	4
2 fauches	BE	149	21
	0m	97	6
	12m	39	6

Annexe VII : Tableau présentant les indices de corrélations R² entre les indices de complexité architecturale du couvert végétal et les abondances en arthropodes avant et après fauche.

		R ² avant fauche	R ² après fauche
Abondance en carabes	BE	0,0466	0,2364
	0m	0,0545	0,0952
	12m	0,0329	0,0048
Abondance en araignées	BE	0,0002	0,0794
	0m	0,0058	0,0021
	12m	7 ^E -05	0,0753
Abondance en staphylins	BE	0,0506	0,1038
	0m	0,0003	0,005
	12m	0,0648	0,2643

Annexe VIII : Liste des espèces végétales

Nom latin	Nom vernaculaire	Favruche	Malinet	Nerbuterre
<i>Ajuga reptans</i>	Bugle rampant		1	
<i>Alliaria sp</i>	Alliaire			1
<i>Alopecurus myosuroides</i>	Vulpin des champs	1	1	1
<i>Anagallis arvensis</i>	Mouron bleu	1		
<i>Anagallis foemina</i>	Mouron rouge		1	
<i>Arctium lappa</i>	Bardane commune	1		
<i>Atriplex sp</i>	Arroche			1
<i>Bromus arvensis</i>	Brome des champs		1	
<i>Bromus hordeaceus L.</i>	Brome mou			1
<i>Bromus sterilis</i>	Brome stérile		1	1
<i>Capsella bursa pastoris</i>	Capselle	1	1	
<i>Centaurea scabiosa s.str</i>	Centaurée scabieuse		1	1
<i>Cerastium fontanum ssp. vulgare</i>	Ceraiste commun		1	
<i>Cerastium arvense</i>	Ceraiste des champs		1	
<i>Chenopodium album</i>	Chénopode blanc		1	1
<i>Cirsium arvense</i>	Cirse des champs	1	1	1
<i>Cirsium vulgare</i>	Cirse commun	1	1	1
<i>Cornus sanguinea</i>	Cornouiller sanguin		1	1
<i>Dactylis glomerata</i>	Dactyle	1	1	1
<i>Daucus carota</i>	Carotte sauvage			1
<i>Elytrigia repens subsp. Repens</i>	Chiendent	1	1	1
<i>Epilobium tetragonum</i>	Epilobe à tige carrée	1		1
<i>Erigeron annua</i>	Vergerette annuelle			1
<i>Fallopia convolvulus</i>	Renoué faux liseron	1	1	1
<i>Festuca arundinacea</i>	Fétuque élevée			1
<i>Festuca pratensis</i>	Fétuque des prés	1	1	
<i>Festuca gr rubra</i>	Fétuque gr rouge	1	1	1
<i>Fumaria vaillantii</i>	Fumeterre de Vaillant	1	1	
<i>Galium aparine</i>	Gaillet grateron	1	1	1
<i>Galium odoratum</i>	Gaillet odorant		1	
<i>Geranium rotundifolium</i>	Géranium à feuilles rondes	1	1	
<i>Geranium sp</i>	Géranium		1	
<i>Hypericum perforatum</i>	Millepertuis	1	1	
<i>Knautia arvensis</i>	Knautie des champs	1		1
<i>Lamium album</i>	Lamier blanc		1	
<i>Lamium amplexicaule</i>	Lamier amplexicaule	1	1	1
<i>Lolium perenne</i>	Raygras	1	1	
<i>Matricaria discoidea</i>	Matricaire odorante	1	1	1
<i>Medicago sativa</i>	Luzerne cultivée	1	1	
<i>Myosotis agrestis</i>	Myosotis des champs	1	1	1
<i>Onobrychis viciifolia</i>	Sainfoin	1		
<i>Papaver rhoeas</i>	Coquelicot	1	1	1
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Phacélie			1

<i>Plantago lanceolata</i>	Plantain lancéolé	1		
<i>Plantago major</i>	Plantain majeur	1	1	1
<i>Plantago media</i>	Plantain intermédiaire		1	1
<i>Poa annua</i>	Paturin annuel		1	
<i>Poa pratensis</i>	Paturin des prés	1	1	
<i>Poa trivialis</i>	Paturin commun	1	1	1
<i>Polygonum persicaria</i>	Renouée persicaire		1	1
<i>Ranunculus acris</i>	Renoncule âcre		1	
<i>Reseda lutea</i>	Réséda jaune	1		
<i>Rumex longifolius</i>	Rumex à longues feuilles	1		1
<i>Senecio jacobea sp</i>	Jacobée		1	1
<i>Senecio vulgaris</i>	Séneçon commun		1	
<i>Silene conica</i>	Silène conique			1
<i>Silene inflata</i>	Silène enflée	1		
<i>Silene latifolia ssp. Alba</i>	Compagnon blanc	1	1	
<i>Sinapis arvensis</i>	Moutarde des champs			1
<i>Sonchus asper</i>	Laiteron rude			1
<i>Stellaria media</i>	Mouron des oiseaux		1	
<i>Symphytum tuberosum</i>	Consoude tubéreuse			1
<i>Taraxacum ruderalia (Groupe)</i>	Pissenlit	1	1	1
<i>Trifolium pratense</i>	Trèfle des prés	1		1
<i>Trifolium repens</i>	Trèfle rampant	1		1
<i>Veronica agrestis</i>	Véronique agreste	1	1	
<i>Veronica chamaedrys</i>	Véronique petit chêne	1	1	1
<i>Veronica hederifolia</i>	Véronique à feuilles de lierre	1	1	
<i>Vicia sepium</i>	Vesce des haie	1		1
<i>Viola arvensis</i>	Pensée des champs	1	1	
<i>Viola pratensis</i>	Petite violette		1	

Annexe IX : Liste des espèces carabiques

Espèces de carabes
<i>Acupalpus meridianus</i> Linnaeus, 1761
<i>Agonum muelleri</i> Herbst
<i>Amara familiaris</i> Duftschmid, 1812
<i>Anchomenus dorsalis</i> Pontoppidan 1763
<i>Asaphidion flavipes</i> (Linnaeus, 1761)
<i>Bembidion quadrimaculatum</i> Linnaeus 1761
<i>Brachynus crepitans</i> Linnaeus 1758
<i>Brachynus explodens</i> Duftschmid 1812
<i>Calathus fuscipes</i> Goeze, 1777
<i>Calathus luctuosus</i> Latreille, 1804
<i>Calathus melanocephalus</i> Linnaeus, 1758
<i>Callistus lunatus</i> Fabricius, 1775
<i>Carabus auratus</i> Linnaeus 1761
<i>Carabus violaceus</i>
<i>Demetrias atricapillus</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Harpalus affinis</i>
<i>Harpalus cupreus</i>
<i>Leistus spinibarbis</i>
<i>Leistus sp</i>
<i>Limodromus assimilis</i> Paykull, 1790
<i>Loricera pilicornis</i> Fabricius 1775
<i>Metallina lampros</i> (Herbst, 1784)
<i>Metallina properans</i> Stephens, 1828
<i>Microlestes minutulus</i> (Goeze, 1777)
<i>Nebria brevicollis</i> Fabricius, 1792
<i>Nebria salina</i> Fairmaire et Laboulbene, 1854
<i>Notiophilus quadripunctatus</i> Dejean, 1826
<i>Ophonus azureus</i>
<i>Poecilus cupreus</i> Linnaeus 1758
<i>Pseudoophonus rufipes</i>
<i>Pterostichus melanarius</i> Illiger 1798
<i>Pterostichus macer</i> Marsham, 1802
<i>Pterostichus vernalis</i> Panzer, 1795
<i>Stomis pumicatus</i> Panzer, 1796
<i>Trechus quadristriatus</i> Schrank 1781

Résumé

Dans un souci de réduction de l'utilisation de pesticides, le rôle des auxiliaires des cultures doit être évalué dans le but d'une amélioration du contrôle biologique par lutte conservatrice. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à l'effet des modes de gestion des bandes enherbées (BE) en bordures de champs sur l'impact de l'architecture et la diversité végétale, ainsi que sur la diversité d'une famille d'auxiliaires des cultures, les *Carabidae*. Ainsi, un protocole expérimental a été mis en place afin de comprendre ces différentes relations. Nous avons testé cinq modes de gestion répétées sur trois BE à l'aide de divers types de pièges installés à différentes distances de la BE (12 m, 0m et -3m) et réalisé différentes mesures sur les communautés végétales (indice de recouvrement, de sociabilité, de densité des touffes de graminées et de la complexité architecturale du couvert végétal). Les résultats ont montré des effectifs carabiques plus importants au sein de la BE après la fauche du printemps et notamment pour *Pterostichus melanarius*, espèce jouant un rôle clé dans la prédation, au sein de la modalité « travail du sol + fauche ». Cette combinaison semble constituer un bon compromis entre ces deux pratiques favorisant l'hétérogénéité du couvert végétal et donc les zones de refuges pour les carabes, d'autant plus qu'elle assure une meilleure diversité végétale. Toutefois, il s'avère indispensable d'approfondir l'analyse de ces données, notamment en s'intéressant aux traits fonctionnels des carabes et à leurs relations avec les traits fonctionnels végétaux. La construction d'outils d'évaluation des pratiques agricoles n'en est toutefois qu'à ses prémices.