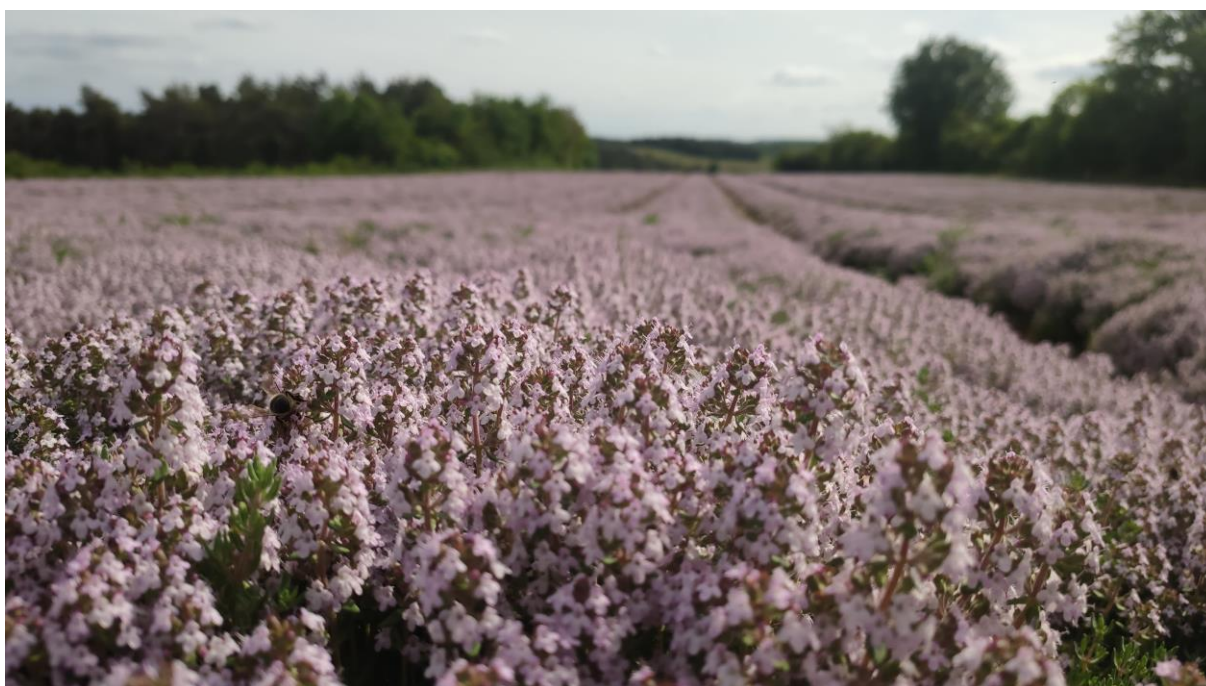


Mémoire de Master 2 Biodiversité & Environnement

Les plantes aromatiques et médicinales : une valeur ajoutée aux grandes cultures.

Présenté par Fanny JEGU



Champ de *Thymus vulgaris* L. *Thujanoliferum* avant récolte.

Encadré par Alexandre EMERIT et Julie CHERCHELAY

Tuteur scientifique : Stefano MONA

Parc naturel régional du Gâtinais français.

20 Bd du Maréchal Lyautey, 91490 Milly-la-Forêt

Résumé :

Les plantes aromatiques et médicinales (PAM) sont historiquement présentes sur le territoire du Gâtinais. Fer de lance de l'histoire et de la culture de Milly-La-Forêt elles sont aujourd'hui un atout touristique dans la région, et permettent la diversification des cultures dans un contexte économique tendu pour les exploitations agricoles. Dans l'objectif de poursuivre la structuration et la reconnaissance de la filière, ainsi que l'approfondissement des connaissances liées à la biodiversité de ces systèmes particuliers, il est récemment apparu nécessaire d'étudier la biodiversité présente au sein des parcelles de PAM. Il s'agit de déterminer si ces cultures peuvent avoir une « valeur ajoutée » aux grandes cultures présentes sur ce même territoire. Ainsi, notre étude s'est focalisée sur 3 familles d'insectes : les pollinisateurs avec l'étude des papillons (Lépidoptères), les auxiliaires de culture avec les carabes prédateurs (Coléoptères) et les mollusques ravageurs (Gastéropodes terrestres). À la suite de ces relevés, notre étude révèle que les parcelles de PAM intégrées aux grandes cultures permettent d'augmenter l'abondance et la richesse spécifique des exploitations.

Mots clés : Plantes aromatiques et médicinales ; Carabes ; Papillons ; Biodiversité ; Agro-écologie.

Abstract:

The aromatic and medicinal plants (PAM) are historically present on the territory of Gâtinais. Spearheading the history and culture of Milly-La-Forêt, they are today a tourist asset in the region, and allow the diversification of crops in a tense economic context for farms. In order to continue the structuring and the recognition of the sector, as well as the deepening of the knowledge related to the biodiversity of these particular systems, it recently appeared necessary to study the biodiversity present within the plots of MAP. The aim is to determine whether these crops can have an "added value" to the field crops present in the same territory. Thus, our study focused on 3 families of insects: pollinators with the study of butterflies (Lepidoptera), crop auxiliaries with predatory carabids (Coleoptera) and molluscan pests (Gastropods). As a result of these surveys, our study reveals that MAP plots integrated with field crops increase farm abundance and species richness.

Key words: Aromatic and medicinal plants; Carabid beetles; Butterflies; Biodiversity; Agro-ecology.

Table des matières

I.	Introduction	1
II.	Matériel et Méthodes.....	4
1.	Sites d'étude	4
2.	Collecte de données.....	5
2.1.	Lépidoptères	6
2.2.	Carabes	7
2.3.	Mollusques terrestres.....	7
3.	Analyses statistiques	8
III.	Résultats	11
1.	Les lépidoptères.....	11
2.	Les carabidés.....	16
3.	Les mollusques terrestres	21
IV.	Discussion	22
V.	Conclusion générale	25
1.	Limites méthodologiques et perspectives.....	25
2.	Conclusion.....	26
	Bibliographie.....	27
	Annexes.....	31

I. Introduction

Depuis la fin du XVIII^e siècle, la vallée de l'École, située entre les départements de l'Essonne et de la Seine-et-Marne, incarne une tradition de cueillette puis de production de plantes aromatiques et médicinales (PAM). Bordé de zones humides et de terres chargées de sable et d'humus favorables à cette culture, le territoire de production des PAM s'étend sur les communes de Milly-la-Forêt, Oncy-sur-École, Noisy-sur-École et Courances. Cette culture connaît son apogée dans la première moitié du XIV^e siècle. A cette époque, la vallée est la plus importante région productrice de plantes médicinales en France. Plus de 150 producteurs cultivent une centaine d'espèces dont la menthe poivrée, la belladone, la sauge, la digitale, la mélisse ou encore les grandes et petites absinthes. Historiquement, ces plantes sont utilisées depuis le Moyen Âge par les apothicaires et les herboristes comme remède pour soulager les malades, notamment les lépreux. Si l'âge d'or de la culture des plantes médicinales est depuis longtemps révolu, cette activité si singulière a contribué à forger l'identité de la vallée de l'École, et elle est encore profondément ancrée dans la mémoire collective jusqu'à ce jour (Le Chaudolec & Pasquier, 2013). C'est notamment dans les années 1920 qu'une grande exposition consacrée aux plantes est créée dans l'optique de valoriser la filière des PAM et de faire de Milly-la-Forêt la capitale des plantes médicinales. Plusieurs raisons expliquent le déclin des PAM sur ce territoire dans les années soixante, à savoir la fluctuation des prix, l'étranglement du marché et la concurrence étrangère, qui se montrent autrement plus féroces qu'avant-guerre. De plus, la France connaît une grande mutation économique et sociale à la suite de la guerre et des Trente Glorieuses. L'agriculture subit de grandes transformations, les petites exploitations familiales laissent la place à des fermes plus grandes et modernisées pour répondre à la demande toujours plus grandissante de l'industrie agroalimentaire.

L'évolution des pratiques agricoles a entraîné une réduction de la couverture de végétation semi-naturelle et une augmentation de la surface des champs, permettant un accroissement important de la production (Le Féon, 2010 ; Hass *et al.*, 2018). Cette intensification s'est effectuée aux dépens de la biodiversité et du maintien des services écosystémiques apportés par les êtres vivants. Foley *et al.* (2005) mentionnent le dilemme de l'utilisation des surfaces terrestres par l'Homme. A court terme, les pratiques agricoles modernes résultant de la Révolution Verte sont synonymes d'une augmentation des rendements, néanmoins à long terme, elles sont susceptibles de provoquer une dégradation des services écosystémiques (SE), dont certains sont cruciaux pour l'agriculture (Le Féon, 2010). Ici, la biodiversité se définit comme un concept intégrateur permettant en principe d'englober l'ensemble du vivant dans ses relations avec les éléments abiotiques qui lui sont nécessaires. Or, c'est précisément parce que

l'objectif de protection de la biodiversité inspire à repenser les relations que l'Homme entretient avec son environnement naturel qu'il est particulièrement ambitieux et complexe à mettre en œuvre (Le Roux *et al.*, 2008). Le contrôle naturel des ravageurs des plantes est assuré par des prédateurs et des parasitoïdes généralistes et spécialisés, notamment les oiseaux, les araignées, les coccinelles, les carabes, les mouches et les guêpes, ainsi que les champignons entomopathogènes¹ (Naylor & Ehrlich, 1997). Ce service écosystémique réduit à court terme les dommages causés par les ravageurs et améliore le rendement, tout en maintenant à long terme un équilibre écologique qui empêche les insectes herbivores d'atteindre le statut de ravageurs. Cet important SE est cependant de plus en plus menacé par la perte de biodiversité (Wilby & Thomas, 2002), les pratiques agricoles modernes (Naylor & Ehrlich, 1997) et les altérations humaines des écosystèmes naturels. Cependant, il est important de préciser qu'une production agricole diversifiée a également le potentiel d'atténuer ou d'inverser les impacts négatifs sur la biodiversité et les services écosystémiques (Aguilera *et al.*, 2020). A l'échelle locale, les communautés d'insectes fournisseurs de services peuvent être promues par différentes pratiques agricoles, y compris la culture intercalaire, des rotations plus longues avec plus de cultures diversifiées, une gestion extensive des bords de champs et l'ajout de ressources par le biais de bandes fleuries ou de cultures à fleurs (Zhang *et al.*, 2007). De plus, la préservation des paysages est de plus en plus intégrée dans la multifonctionnalité de l'agriculture. Le suivi de l'évolution des paysages français apparaît donc comme un enjeu important, tant du point de vue agricole, écologique, touristique, culturel ou social. (Lee & Slak, 2007).

La culture des plantes aromatiques et médicinales dans la région de Milly-la-Forêt représente une culture historique locale. De plus, elle apporte une forte attractivité et valeur ajoutée au territoire. C'est ce qui a motivé les acteurs privés et publics locaux à relancer la filière patrimoniale des PAM, et à inciter à la diversification agricole. En 2012, les communes, l'intercommunalité, Darégal, Eona, le Conservatoire des Plantes à Parfum, Médicinales, Aromatiques et Industrielles (CNPMAI) et la Compagnie d'Assurance et d'Investissement de France (CARDIF) décident de créer l'AdéPAM, Association pour le Développement de la filière Plantes Aromatiques et Médicinales. Par la suite, en 2017, une étude de faisabilité a été menée par l'AdéPAM et portée par le Parc naturel régional du Gâtinais français (PNRGF), pour étudier la pertinence technico-économique de relancer une filière de PAM avec pour débouché, la fabrication d'huiles essentielles. Aux vues des résultats positifs de cette étude, en 2018, des exploitants locaux de grandes cultures céréalières locales décident de former une Coopérative

¹ Champignons ayant la capacité de parasiter les insectes et d'autres arthropodes et pouvant engendrer leur mort.

d'Utilisation de Matériel Agricole (CUMA), avec comme volonté commune de diversifier les exploitations aussi bien sur le plan agronomique que sur le plan économique. L'objectif de poursuivre la structuration et la reconnaissance de la filière, l'approfondissement des connaissances liées à la biodiversité de ces systèmes particuliers, en contexte de grande culture, est récemment apparu comme un sujet d'étude répondant aux attentes des acteurs locaux, de la filière nationale et du grand public. En effet, aujourd'hui ce sont près de 30 agriculteurs qui composent la CUMA. Une distillerie est sur le point de voir le jour à Milly-La-Forêt afin de distiller les plantes au plus près des lieux de récolte, ainsi que le développement d'une marque collective pour valoriser au mieux les PAM de Milly.

Par conséquent, suite à la diversification des agriculteurs de la CUMA MillyPPAM, l'identification de l'état actuel de la biodiversité sur les parcelles de PAM du territoire, tant en termes d'abondance que de diversité, a semblé nécessaire au vu des attentes de la filière. L'objectif principal de cette étude est de mesurer la valeur ajoutée potentielle des cultures de PAM dans les systèmes de grandes cultures, caractéristiques du territoire. Elle permettra également de déterminer si le contexte paysager, le mode de production (biologique/conventionnel) et le type de production influence l'abondance et richesse spécifique au sein des parcelles agricoles du territoire.

Les hypothèses émises dans cette étude sont :

- Le contexte paysager influence l'abondance et la richesse spécifique au sein des parcelles d'études, la présence de bois augmente la richesse spécifique au sein des parcelles.
- Les parcelles biologiques ont une abondance et une richesse spécifique plus élevées que les parcelles cultivées en conventionnelles.
- Les parcelles de blé dur associé à des PAM ont une richesse spécifique plus importante que les parcelles de PAM et les parcelles de blé dur seul.

II. Matériel et Méthodes

1. Sites d'étude

Le Parc naturel régional du Gâtinais français est créé en 1999, et renouvelé en 2011, il s'étend sur 71 communes au sud de la région Ile-de-France. Il s'agit d'un territoire rural, principalement composé par des terres agricoles à 58%, des bois et des forêts (31%), des villages (7,5%), des milieux naturels ouverts remarquables (platières gréseuses, pelouses agricoles, landes à callunes, marais et tourbières) (2%), des parcs et des jardins (1%) et de l'eau (0,5%). Le Gâtinais français est un des lieux majeurs de la diversité en Ile-de-France, reconnu au niveau international par l'UNESCO par un classement en Réserve de Biosphère (Le Chaudolec & Pasquier, 2013).

Pour cette étude, les relevés ont été effectués sur 18 parcelles situées au sein du PNRGF et à ses abords, dont 8 parcelles en agriculture biologique et 10 parcelles en agriculture conventionnelle (Fig. 1). Les systèmes de grandes cultures sont représentés par les parcelles de blé dur (*Triticum durum*), celles-ci étant les plus représentatives des grandes cultures du territoire. Les PAM sont quant à elles représentées par le lavandin (*Lavandula hybrida*), le thym (*Thymus vulgaris L. Thujanoliferum*) et la menthe poivrée (*Mentha x piperita*). A cela s'ajoutent les parcelles de grandes cultures couplées à des parcelles de PAM (*Triticum durum* + *Lavandula* et *Triticum durum* + *Thymus*). L'étude de la biodiversité au sein des parcelles de menthe se fera uniquement sur des cultures conventionnelles. En effet, au sein de la CUMA aucune parcelle de menthe poivrée n'est cultivée en agriculture biologique. La menthe poivrée est la plante médicinale cultivée la plus emblématique de Milly-la-Forêt, c'est pourquoi elle a été conservée pour l'étude. Par la suite, certaines abréviations vont être utilisées comme, "Blé" pour qualifier les parcelles de grandes cultures contenant uniquement du blé dur ainsi que "Blé+PAM" pour les parcelles de blé associées à des plantes aromatiques et médicinales.

Les 18 parcelles sélectionnées sont réparties de cette manière:

- 2 parcelles de blé dur en conventionnelles
- 2 parcelles de blé dur biologiques
- 2 parcelles de blé dur conventionnelles à proximité de PAM
- 2 parcelles de blé dur biologiques à proximité de PAM
- 2 parcelles de lavandin conventionnelles
- 2 parcelles de lavandin biologiques
- 2 parcelles de thym thujanol conventionnelles
- 2 parcelles de thym thujanol biologiques
- 2 parcelles de menthe poivrée conventionnelles

Cartographie des sites d'étude



Figure 1 : Cartographie des différents sites d'étude au sein du PNRGF et à ses alentours.

2. Collecte de données

L'étude de la biodiversité au sein des grandes cultures et des parcelles de PAM a ciblé trois grands groupes : les pollinisateurs, les auxiliaires de cultures et les ravageurs. Les papillons interviennent dans la pollinisation et sont sensibles à la composition et à la structure paysagère (Dover & Settele, 2009 ; van Swaay & Warren, 2006 ; Villemey, 2015). Ils ont donc été choisis comme indicateurs de l'état des milieux à l'échelle du paysage. Les coléoptères carabidés sont quant à eux des auxiliaires importants dans les cultures. Contrairement aux mollusques (escargots et limaces), qui sont des ravageurs malgré leur action de décomposeur de la matière organique. Ces 3 groupes ont été choisis par rapport à la facilité de détermination contrairement

à d'autres groupes, comme les abeilles sauvages, dont la détermination à l'espèce est réservée à des personnes expérimentées voire à des spécialistes.

2.1. Lépidoptères

Les papillons de jour forment le sous-ordre des rhopalocères (Rhopalocera) de l'ordre des lépidoptères (Lepidoptera), on les distingue des papillons de nuit (Heterocera) par leurs antennes en massues. Les papillons de jour ont depuis longtemps suscité l'intérêt des naturalistes et des scientifiques : c'est sûrement le groupe d'insectes le plus étudié (Robbins & Opler, 1997), c'est également l'un des groupes phares des programmes de sciences participatives (Manil *et al.*, 2009 ; Pollard & Yates, 1993). Ce sont notamment des animaux faciles à observer



Figure 2 : Rhopalocère *Iphiclides podalirius* (Flambé) photographié à Boulancourt.

et à échantillonner en milieu naturel (Pollard, 1977 ; Villemey, 2015). Par conséquent, c'est un groupe dont l'écologie et la biologie sont bien connues (Dover & Settele, 2009 ; Dover & Sparks, 2000 ; Stevens *et al.*, 2010). La progression ou la régression de leurs populations est un reflet fidèle de la conservation de leurs milieux à l'échelle nationale, régionale ou locale et des changements climatiques (Renaud, 2012). Pour cette étude, seuls les rhopalocères ont été relevés, leur méthode de relevé et d'identification étant plus accessible que celle des hétérocères.

Le protocole d'échantillonnage est un protocole standardisé, il est très utilisé pour sa robustesse et sa facilité de mise en œuvre. Une prospection à vue s'est déroulée durant 20 minutes en parcourant un transect linéaire au centre de chacune des 18 parcelles. Trois relevés par parcelles ont été effectués au cours de la phase de terrain qui s'est déroulée de fin mai à début juillet. Afin de pouvoir observer les papillons dans les meilleures conditions, les relevés ont été effectués uniquement entre 10h et 17h dans des conditions météorologiques optimales (faible couverture nuageuse, vent inférieur à 30 km/h, température d'au moins 15°C). Les relevés ont permis de quantifier et d'identifier à l'aide d'un filet à fauchoir les espèces observées sur le parcours. Chaque papillon est identifié sur place puis relâché, certains indetification ont été vérifiés à l'aide du guide pratique des papillons de jour (Moussus *et al.*, 2022)

2.2. Carabes

Les carabidées sont l'une des familles de Coléoptères les plus diversifiées avec plus de mille espèces recensées en France. Au sein des agrosystèmes, les carabes sont pour la majorité des prédateurs à l'état adulte, mais surtout à l'état larvaire. Ils représentent donc de bons auxiliaires des cultures de par leur omniprésence et leur action de prédation notamment sur les pucerons, les limaces et autres petits insectes en tout genre (Tenailleau *et al.*, 2011). Les carabes vivent au sol et colonisent tous les écosystèmes terrestres :



Figure 3: Carabidés *Poecilus curpreus*

cultures, forêts, zones humides. Pour cette raison, ce groupe est de plus en plus utilisé comme indicateur de la naturalité des milieux et de la durabilité des activités que l'Homme y exerce (Rainio & Niemelä, 2003 ; Hendrickx *et al.*, 2007).

Dans cette étude, les relevés de carabes ont été réalisés à l'aide de pièges Barber créés à partir de pots à miel de 8,5 cm de diamètre et 11cm de profondeur. Les pièges ont été enterrés au même niveau que le sol et remplis d'une solution de conservation (eau, sel et liquide vaisselle inodore). Ainsi, pour chaque relevé, trois pièges Barber ont été disposés durant 4 jours sur chaque parcelle, un piège au centre de la parcelle et deux autres à chaque bordure. Les relevés ont été répétés trois fois au cours de l'étude. Les récoltes de thym ont été réalisées 3 semaines en avance cette année, de ce fait, seul un relevé sur les trois prévus a pu être réalisé avant la récolte de cette culture. Les identifications ont été effectuées à l'aide d'une loupe binoculaire ainsi que d'une clé de détermination (Roger *et al.*, 2012)

2.3. Mollusques terrestres

Les limaces et les escargots appartiennent tous à la classe des gastéropodes, avec un pied bien développé et, primitivement, une seule coquille enroulée dans laquelle l'animal peut se rétracter (Kerney & Cameron, 1999). Les espèces qui ont perdu ou qui semblent avoir perdu leur coquille sont nommées « limaces ».

Dans les cultures, les mollusques sont présentés comme des ravageurs bien que jouant un rôle dans la décomposition de la matière organique. La méthode mise en place par l'Observatoire Agricole de la Biodiversité (OAB) a été utilisée pour les relevés de la malacologie, elle consiste à disposer trois planches de peuplier non traité de 2.5cm x 30cm x 50cm et d'observer les invertébrés présents sous ces planches sur une même parcelle (Fig. 4). Dans notre cas, les mollusques sont mis dans de l'alcool pour permettre une détermination ultérieure.

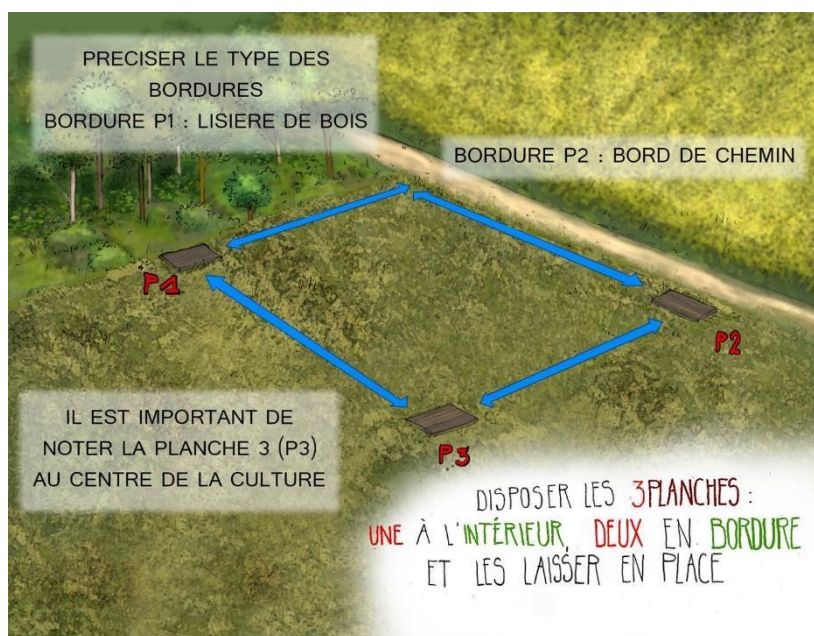


Figure 4 : schéma protocole planche à invertébré (source Observatoire Agricole de la Biodiversité)

3. Analyses statistiques

Modèles statistiques et tests d'hypothèse pour l'abondance et la richesse spécifique.

Pour analyser les différences d'abondance et de richesse spécifique entre les parcelles de PAM, Blé + PAM et Blé, des modèles linéaires généralisés (glm) ont été réalisés à partir du jeu de données organisé par parcelle. Afin de déterminer l'effet du mode de gestion sur l'abondance et la richesse au sein des parcelles, des modèles ont été effectués sur les jeux de données organisés par pièges. Les variables « plantes, taille des parcelles, âge des parcelles et l'environnement des parcelles » ont été ajoutées à nos modèles pour observer leurs effets. La fonction de lien négatif-binomial a été appliquée pour prendre en compte la distribution non-normale des résidus. Concernant l'étude de l'effet du mode de production, les données des parcelles de menthes ont été enlevées du modèle à cause de l'absence de parcelles biologiques pour cette plante lors de l'étude.

Ensuite une analyse factorielle des correspondances a été réalisée à partir du tableau de contingence des espèces échantillonnées en fonction des plantes présentes sur les parcelles. Cette analyse permettra de déterminer si des espèces sont associées à certaines plantes.

Pour chaque analyse, la normalité des résidus et l'homogénéité des variances ont été vérifiées. L'ensemble des analyses a été réalisé avec le logiciel R (version 4.2.1) ainsi qu'à l'aide des packages (corrplot, MASS, MuMin, ggplot2, ggmosaic, vegan, FactoMineR, factoextra).

Indice de diversité des parcelles de Blé, de Blé+Pam et de PAM

Afin de déterminer la biodiversité locale dans les différentes cultures, plusieurs indices de diversité ont été calculés sous R à l'aide du package "vegan". Ces indices sont souvent utilisés afin de connaître l'état de communauté animale et végétale. Ils permettent également comparer la diversité pouvant exister entre des milieux ou des zones différentes.

- **Indice de Shannon:**

En écologie, l'indice de Shannon est une mesure de la stabilité des communautés, prenant en compte la richesse et l'abondance relative des espèces dans son calcul contrairement à la richesse spécifique :

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

où:

p_i représente l'abondance proportionnelle de l'espèce, S est la richesse spécifique, b la base du logarithme, n_i est le nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon, N est le nombre total d'individu de toutes les espèces dans l'échantillon : $N = \sum_{i=1}^S n_i$

L'indice H varie donc en fonction du nombre d'espèces et de la proportion relative de ces différentes espèces. H vaudra donc 0 quand l'échantillon est composé que d'une seule espèce et augmente lorsque le nombre d'espèces augmente.

- **Indice d'équitabilité de Pielou**

Cet indice est un paramètre de comparaison rigoureux, indépendant de la richesse spécifique. Il permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces mais également d'apprécier les déséquilibres que l'indice de Shannon ne peut pas estimer. L'indice se calcul comme suit :

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

où :

H correspond à l'indice de Shannon, H_{max} correspond à la valeur de la diversité théorique maximal ($\log_b S$)

La valeur de l'indice d'équitabilité de Pielou (J) varie entre 0 et 1 où 0 correspond à la dominance d'une espèce et 1 à l'équipartition des individus entre les différentes espèces.

- Indice de Simpson

Cet indice également appelé indice de dominance, mesure une probabilité que deux individus appartiennent à la même espèce dans un échantillon donnée. Celui-ci permet de donner plus de poids aux espèces abondantes par rapport aux espèces rares.

$$E = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

où:

p_i représente l'abondance proportionnelle de l'espèce et est comprise entre 0 et 1: $p_i = \frac{n_i}{N}$ et S est la richesse spécifique. Lorsque cet indice tend vers 0 cela indique la dominance d'une espèce ou s'il tend vers 1 cela indique la codominance de plusieurs espèces.

III. Résultats

Les échantillons récoltés pendant l'étude contenaient un total de 936 arthropodes dont : 338 lépidoptères avec 33 espèces différentes ; 598 carabidés de 44 espèces différentes ; 13 gastéropodes dont 2 espèces. Les analyses statiques ne pourront pas être réalisées sur cette dernière classe du fait d'un nombre de données récoltées insuffisant.

1. Les lépidoptères

Effet du mode de culture et de l'environnement sur l'abondance et la richesse spécifique des lépidoptères.

L'abondance moyenne de lépidoptères au sein des parcelles en agriculture conventionnelle est de 21 individus contre 19 dans les parcelles biologiques (Fig. 5a). Concernant la richesse spécifique, celle-ci est d'environ de 7 espèces pour les parcelles biologiques et de presque 8 espèces pour les conventionnelles (Fig. 5b). Notre modèle indique que le mode de culture (biologique ou conventionnel) n'a aucun effet sur l'abondance ($p= 0.427$). Il en est de même pour la richesse spécifique ($p= 0.517$).

L'Analyse factorielle des correspondances (AFC) n'a pas pu être effectuée. Les variables de lignes et de colonnes de notre tableau de contingence ne sont pas statistiquement associées ($p=0.006$). Néanmoins, la Figure 6 indique que certaines espèces ont été uniquement relevées dans un seul des deux modes de culture. C'est notamment le cas de *Aglais urticae*, *Boloria dia*, *Ematuga atomaria*, *Hemaris fuciformis*, *Lasiommata megera*, *Lysandra bellagus*, *Maniola jurtina*, *Melitea athalia*, et de *Vanessa atalanta* qui ont été relevées uniquement dans les parcelles conventionnelles. Et de *Coenonympha pamphilus*, *Cyaniris semiargus*, *Melitaea cinxia*, *Polyommatus icarus* pour les parcelles biologiques.

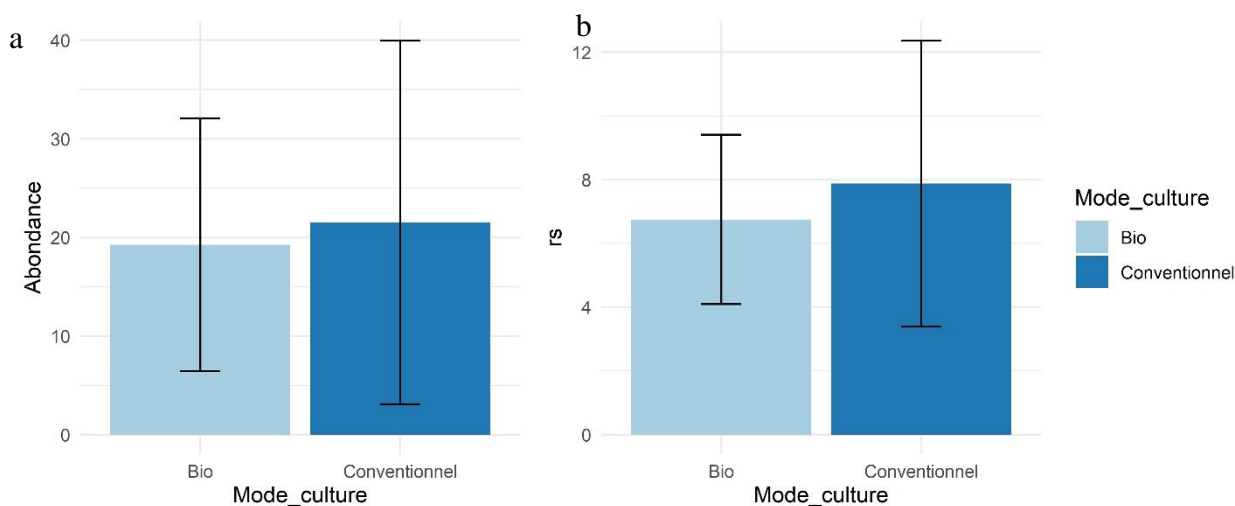


Figure 5 : Barplot de l'abondance et de la richesse spécifique moyenne en lépidoptères présente dans les parcelles biologiques et conventionnelles.

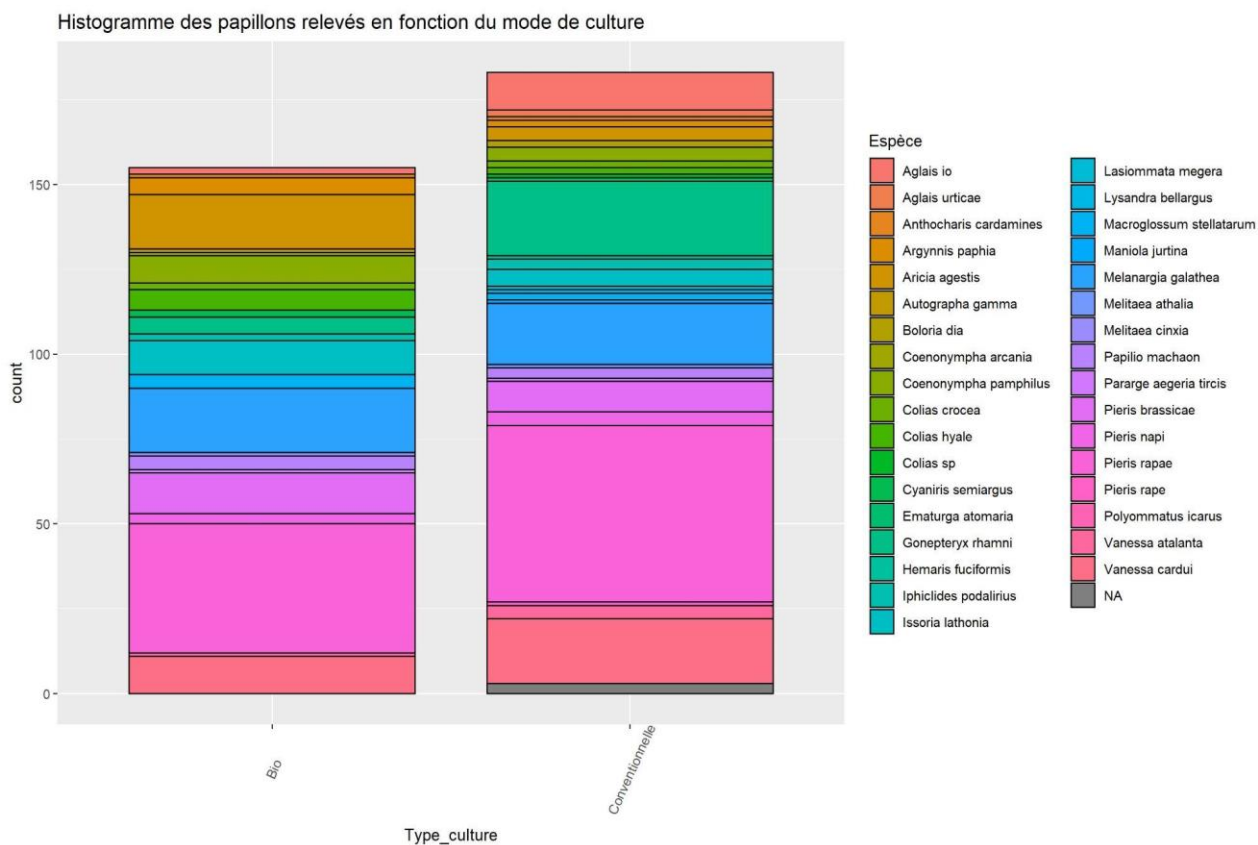


Figure 6: Histogramme des espèces de lépidoptères présentes au sein des parcelles biologique et conventionnel.

Concernant les autres variables environnementales à savoir la taille et l'âge de la parcelle ainsi que la présence de bois, de bandes enherbées et de chemin, aucun effet n'a été observé sur l'abondance et la richesse spécifique.

Effet de la présence de PAM sur l'abondance et la richesse spécifique au sein des grandes cultures.

D'après notre modèle expliquant 81% de la variation de l'abondance, nous pouvons voir que l'abondance de lépidoptère est significativement différente au sein des parcelles de PAM ($p=2.79e-05$) ainsi que dans les parcelles de Blé+PAM ($p= 0.0285$) par rapport aux parcelles de Blé. De plus, au sein des parcelles de Blé+PAM, l'abondance y est deux fois plus importante que dans les parcelles de Blé et six fois plus dans les parcelles de PAM (Figure 7a).

Du côté de la richesse spécifique, nous pouvons constater qu'il n'y a pas de différence significative entre les parcelles de Blé et celles de Blé+PAM ($p= 0.09683$). En revanche, pour les parcelles de PAM une différence significative est observée ($p= 0.03236$) avec une moyenne de 9 espèces différentes, soit 3 fois plus que les parcelles de Blé (Figure 7b).

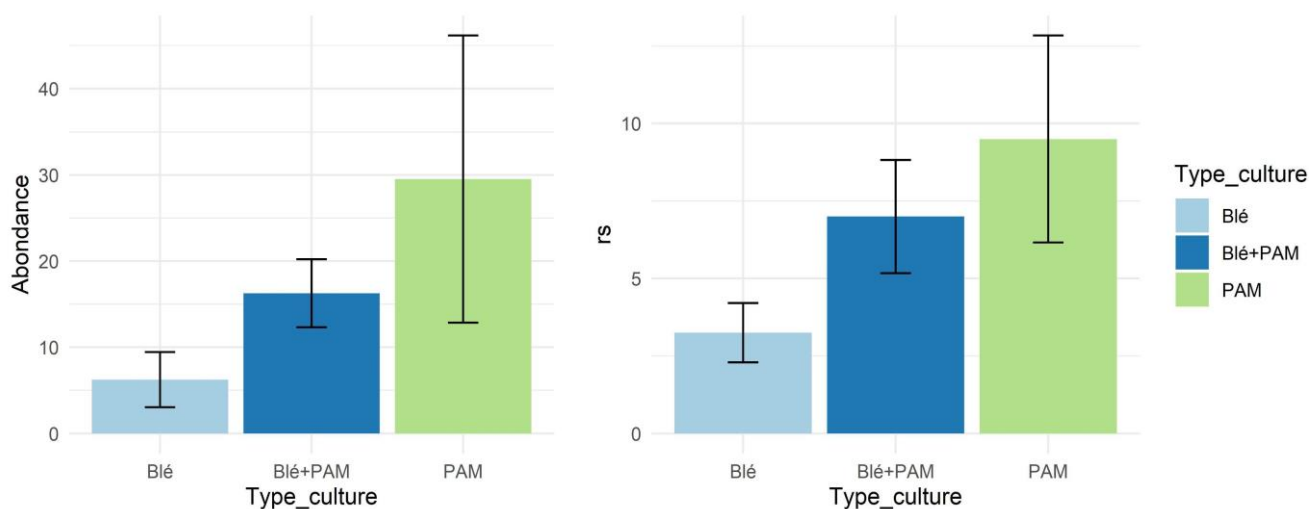


Figure 7: Barplot de l'abondance et de la diversité alpha moyenne de lépidoptères sur les parcelles de PAM, de Blé et de Blé+PAM.

Un important écart type est observé pour l'abondance des lépidoptères au sein des parcelles de PAM (Fig. 7a). Ceci est principalement dû à une différence d'abondance relevée entre les différentes PAM de l'étude (Fig. 8). En effet, un grand écart d'abondance est observé entre les parcelles de lavandin et les parcelles de menthe, au total ce sont seulement 10 papillons qui ont été relevés sur les deux parcelles de menthe disponibles dans notre étude face à plus de 150 individus dans les parcelles de lavandin (Fig. 8), justifiant ainsi l'écart type important présent sur la Figure 5. De plus, notre modèle confirme que le type de plantes a également un effet sur l'abondance de lépidoptères observé sur les différentes parcelles. Il y a significativement plus de papillons dans les parcelles de lavandin que dans les parcelles de de menthe, blé dur et dans les parcelles de blé dur + thym (respectivement $p= 0.00219$, $p= 0.00982$, $p= 0.01145$).

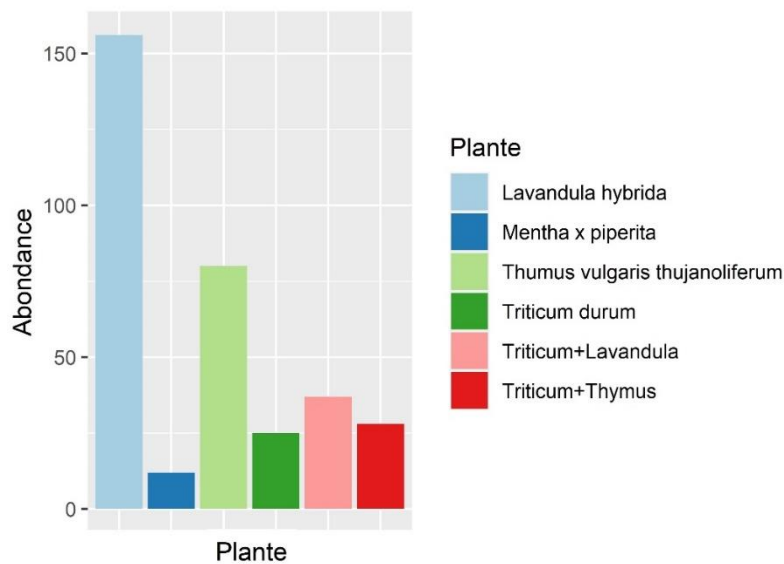


Figure 8 : Barplot de l'abondance totale en lépidoptères au sein des différentes parcelles de plantes.

D'après le tableau 1, les indices de diversité sur ces trois types de parcelles nous indiquent que la plus grande diversité se trouve sur les parcelles de PAM. Cependant, l'indice de Pielou nous indique que les espèces sont moins équitablement réparties dans les parcelles de plantes aromatiques et médicinales contrairement aux parcelles de Blé et de Blé+PAM (Tab. 1). Ceci est principalement dû à la prise en compte de l'indice de Shannon dans le calcul. En effet, cet indice donne plus de poids aux espèces rares qu'aux espèces abondantes et est fortement dépendant du type d'habitat. C'est pourquoi, pour comparer nos différentes parcelles, il est plus judicieux d'utiliser l'indice de Simpson. Ainsi, d'après ce dernier indice, nous avons plutôt une co-dominance importante de plusieurs espèces au niveau des parcelles de PAM. Les parcelles de Blé et de Blé+PAM ont le plus d'espèces en commun et sont donc plus similaires entre elles par rapport aux parcelles de PAM (Tab. 2)

Tableau 1: Indices de diversité au sein des parcelles de Blé, Blé+PAM et PAM.

	Diversité alpha	Shannon	Pielou	Simpson
Blé	6	1.438883	0.8030559	0.7041420
Blé+PAM	12	2.046230	0.8234634	0.8138070
PAM	31	2.734136	0.7961987	0.8999569

Tableau 2 : Diversité Bêta (indice de Jaccard) des parcelles de PAM, de Blé et de Blé+PAM

	Blé	Blé+PAM
Blé+PAM	0.3846154	
PAM	0.1935484	0.3437500

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) effectuée permet de voir une association des espèces relevées sur les différentes parcelles de plantes cultivées. Ainsi, la Figure 9 montre que certaines espèces sont présentes uniquement dans certaines cultures. *Aglais io*, *Aglais urticae*, *Argynnis paphia*, *Coenonympha arcania*, *Hemaris fuciformis*, *Macroglossum stellatarum*, et *Vanessa atalanta* sont présentes uniquement dans les parcelles de Lavandula tandis que, *Anthocharis cardamines*, *Autographa gamma*, *Boloria dia*, *Coenonympha pamphilus*, *Lasiommata megera*, *Lysandra bellargus*, *Maniola jurtina*, *Melititeae cinxia* et *Polyommatus icarus* ne sont présentes qu'au sein des parcelles de Thym. D'autres espèces sont quant à elles présentes dans plusieurs cultures comme *Pieris rapae*, *Pieris napi* et *Vanessa cardui* c'est pourquoi elles sont situées vers le centre du graphique. Les espèces *Gonepteryx rhamni* et *Melanaria galathea* sont elles aussi présentes dans différentes cultures de plantes, néanmoins, elles ont été observées plus de fois au sein du lavandin et du blé, expliquant ainsi leur position plus excentrée. *Gonepteryx rhamni* a été le plus vu dans les parcelles de lavandin alors que *Melanargia galathea* a été le plus observées dans les parcelles où l'on retrouve du blé dur. L'annexe 1 nous permet même de constater que *Pieris rapae* est l'espèce la plus abondamment relevée, suivi de *Melanargia galathea* puis de *Vanessa cardui*.

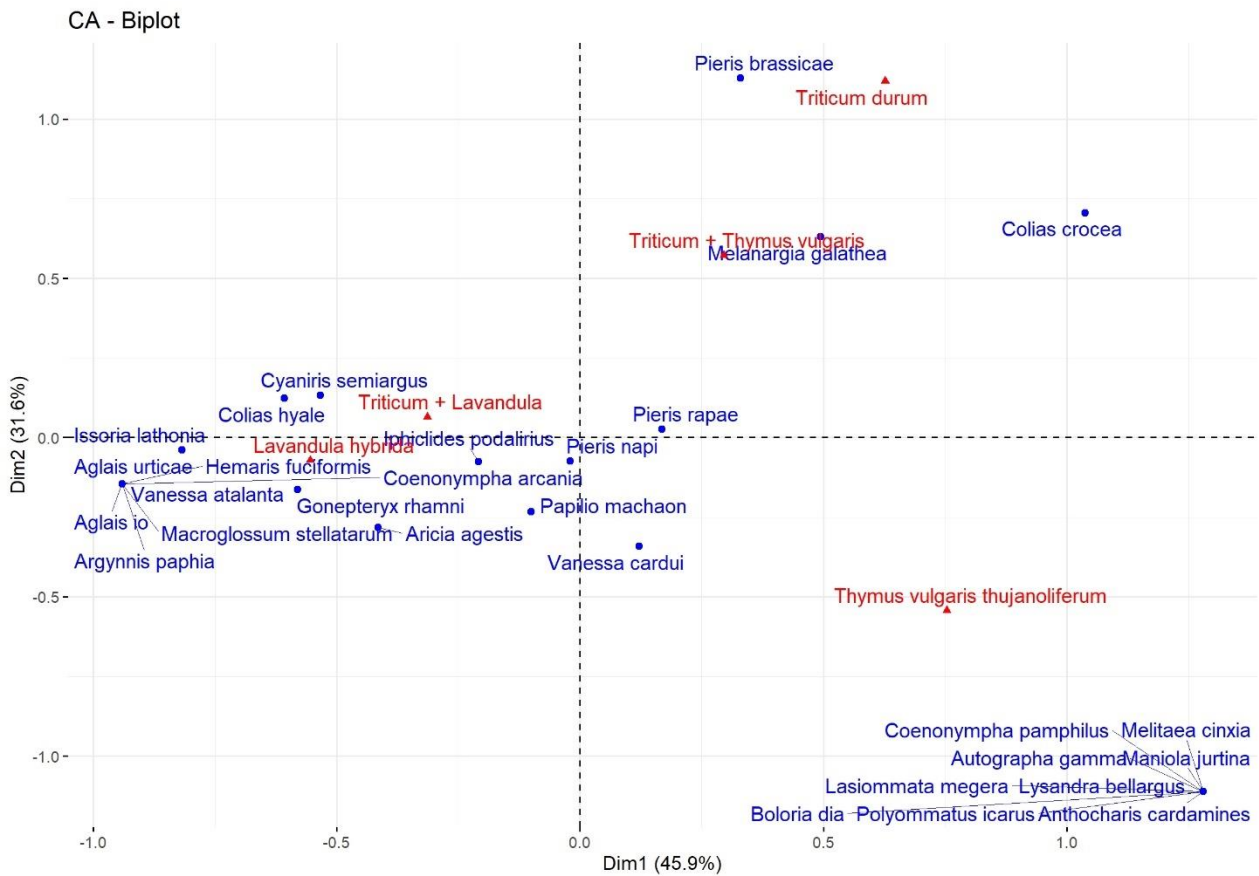


Figure 9: Analyse factorielle des correspondances sur l'ensemble des lépidoptères au sein des plantes cultivées.

2. Les carabidés

Effet du mode de culture et de l'environnement des parcelles sur l'abondance et la richesse spécifique de carabes dans les pièges.

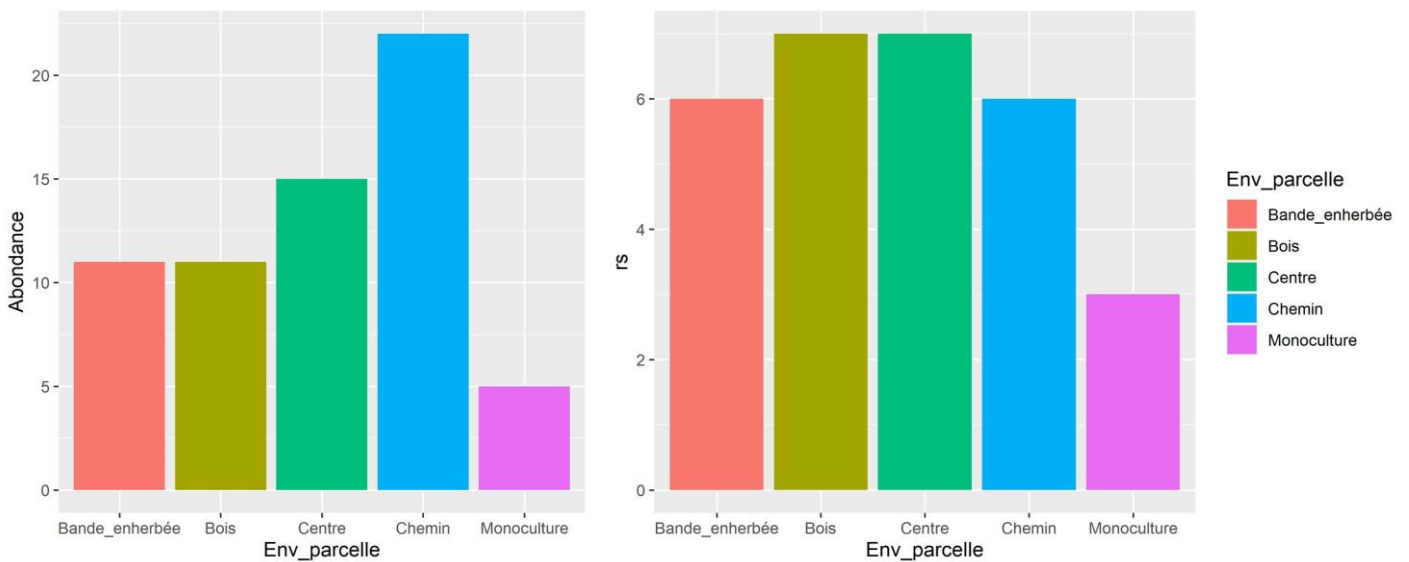


Figure 10: Barplot de l'abondance et de la richesse spécifique de carabes relevés par pièges en fonction de l'environnement des parcelles.

D'après nos modèles, l'abondance et la richesse spécifique en carabes récoltés dans les pièges situés à proximité de bois, de bande enherbée, et au centre de la parcelle ne sont pas significativement différentes entre elles. Sauf pour les pièges situés à proximité de monoculture où l'on a retrouvé moins de carabes et une richesse spécifique plus faible comparé aux pièges situés à proximité de bandes enherbées ($p= 0,0241$) (Fig. 10). La taille de la parcelle a un effet significatif sur l'abondance ($p= 0.000182$) et la richesse spécifique ($p= 0.0181$) des carabes au sein des pièges mis en place lors de notre étude. Pour les parcelles de PAM, plus la surface est grande plus l'abondance augmente. En revanche pour les parcelles de Blé+PAM, plus la surface de la parcelle de blé est grande plus l'abondance des carabes a tendance à diminuer (Fig. 11). On observe les mêmes tendances pour la richesse spécifique (Annexe 2). Le modèle sur l'abondance n'explique que 26% de la variation de l'abondance observée au sein des pièges de l'étude, le modèle sur la richesse spécifique explique quant à lui 28% de la variation de l'abondance.

Aucun effet du mode de culture (biologique et conventionnel) n'a été observé sur l'abondance et la richesse spécifique.

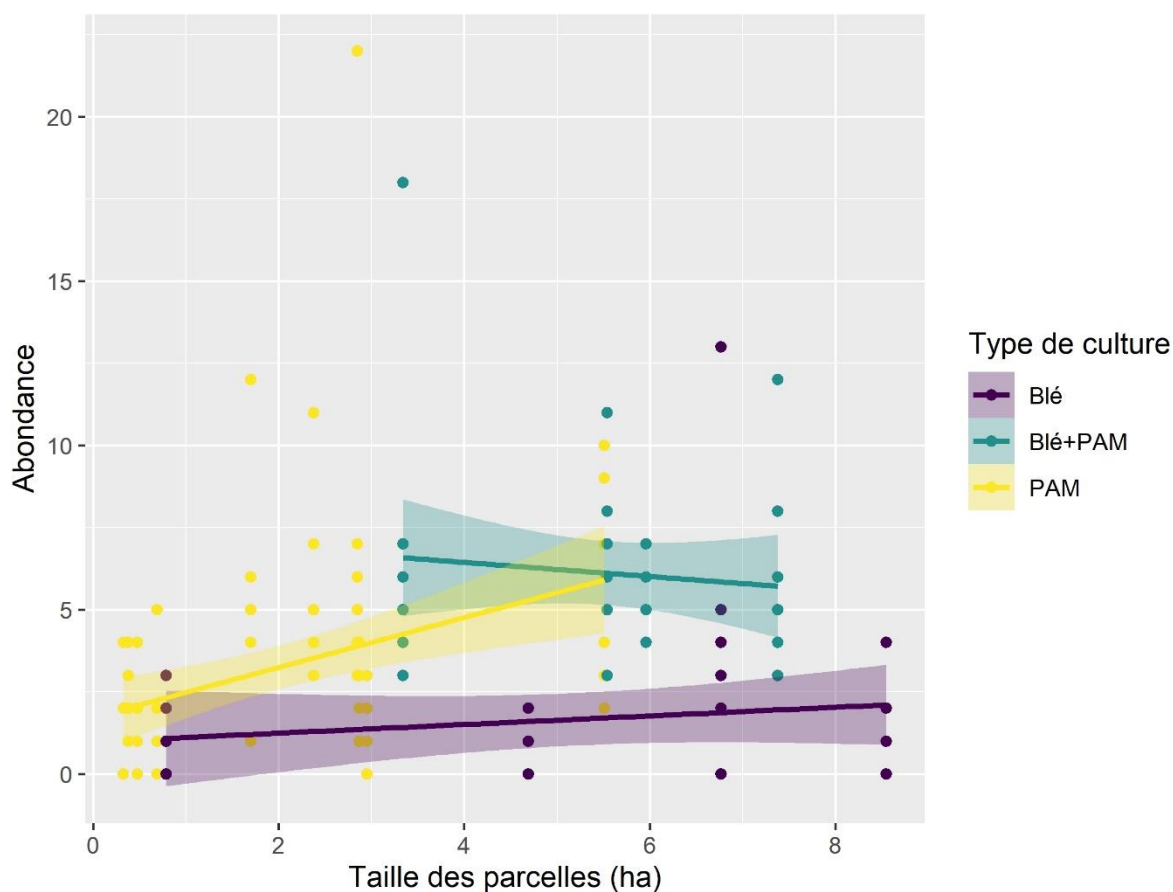


Figure 11 : Variation de l'abondance en fonction de la taille des parcelles au sein des différents types de culture.

Effet du type de culture sur l'abondance et la richesse spécifique de carabes entre les sites de l'étude.

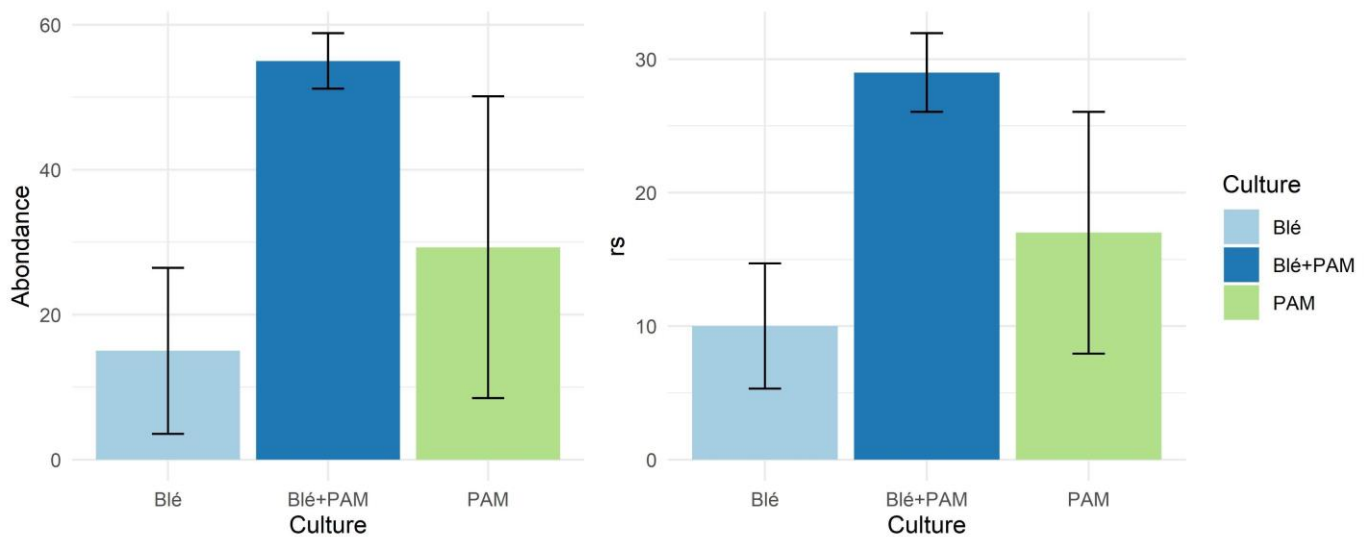


Figure 12 : Barplot de l'abondance et de la richesse spécifique en carabe en fonction du type de culture (Blé/Blé+PAM/PAM)

Le type de culture (PAM/Blé+PAM/Blé) a quant à lui un effet sur l'abondance et la richesse spécifique de carabes. Le modèle sur l'abondance explique 48% de la variation de l'abondance entre les sites. De plus, ce modèle indique qu'il y a une différence significative de l'abondance entre les parcelles de Blé et Blé + PAM ($p=0.000272$) et entre les parcelles de Blé et de PAM ($p=0.004233$). Il y a près de quatre fois plus de carabes sur les parcelles de Blé+PAM que dans les parcelles de Blé, et trois fois plus dans les parcelles de PAM.

La Figure 12, indique que l'écart type de l'abondance des carabes sur les parcelles de PAM est important et que les données sont très éparpillées. Ce grand écart type est dû aux données d'abondance relevées sur les parcelles de menthe. En effet, celle-ci est de 2 à 4 fois plus faible que dans les autres parcelles de plantes (Fig. 13).

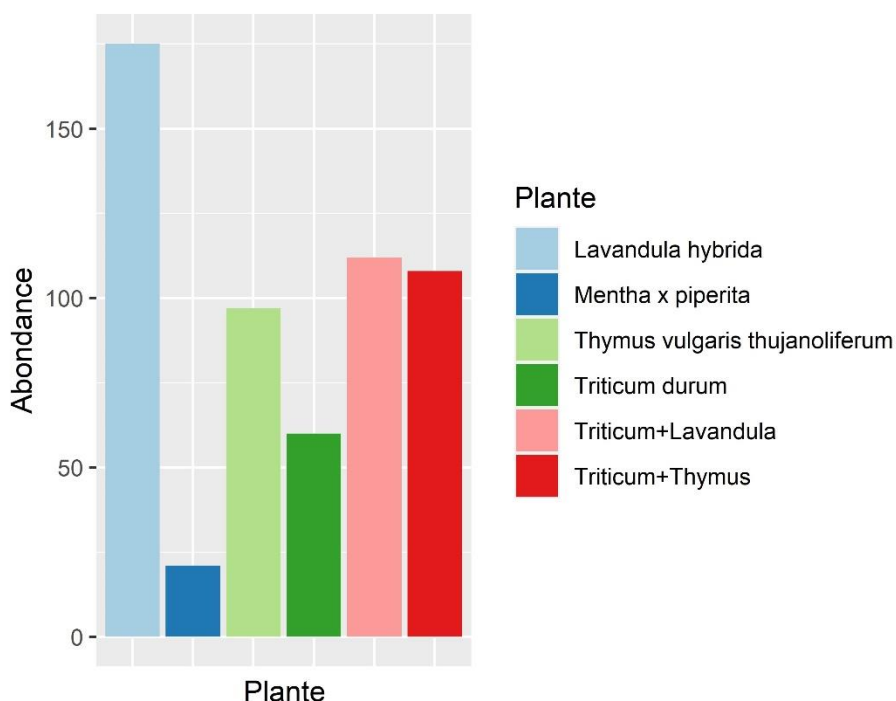


Figure 13 : Barplot de l'abondance en carabe au sein des différentes parcelles de plante.

Le modèle sur la richesse spécifique, permet d'expliquer 50% de la variation de la richesse spécifique entre les sites de l'étude et indique que les parcelles de Blé+PAM et de PAM possèdent une richesse spécifique significativement supérieure aux parcelles de Blé (respectivement $p= 0.000171$ et $p= 0.016233$). Il y a près de 3 fois plus de richesse spécifique au sein des parcelles de Blé+PAM comparé aux parcelles de Blé. Les parcelles de PAM ont quant à elles 2 fois plus de richesse spécifique que celles du Blé.

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) effectuée permet de voir une association des espèces relevées sur les différentes parcelles de plantes cultivées. Ainsi, la Figure 14 montre que certaines espèces ne sont présentes que dans certaines cultures de plantes. Les espèces *Amara convexior*, *Calathus luctuosus*, *Diachromus germanus*, *Harpalus dimidiatus*, *Harpalus honestus*, *Laemostenus terricola*, *Metallina properans*, *Notiophilus biguttatus*, *Notiophilus rufipes*, *Ophonus gr puncticeps* et *Poecilus Kugelanni* sont présentes uniquement dans les parcelles de Lavandula tandis que *Amara anthobia*, *Cincidela campestris*, *Demetrias atricapillus*, *Harpalus cupreus*, *Harpalus flavescens*, *Harpalus rubripes*, *Pedius longicollis* et *Zabrus tenebrioides* sont présentes qu'aux sein des parcelles de Thym. On retrouve également certaines espèces uniquement dans les parcelles de blé à proximité de thym, c'est le cas de *Amara apriaca*, *Asaphidio gr flavipes*, *Brachinus crepitans* et de *Nebria brevicolis*.

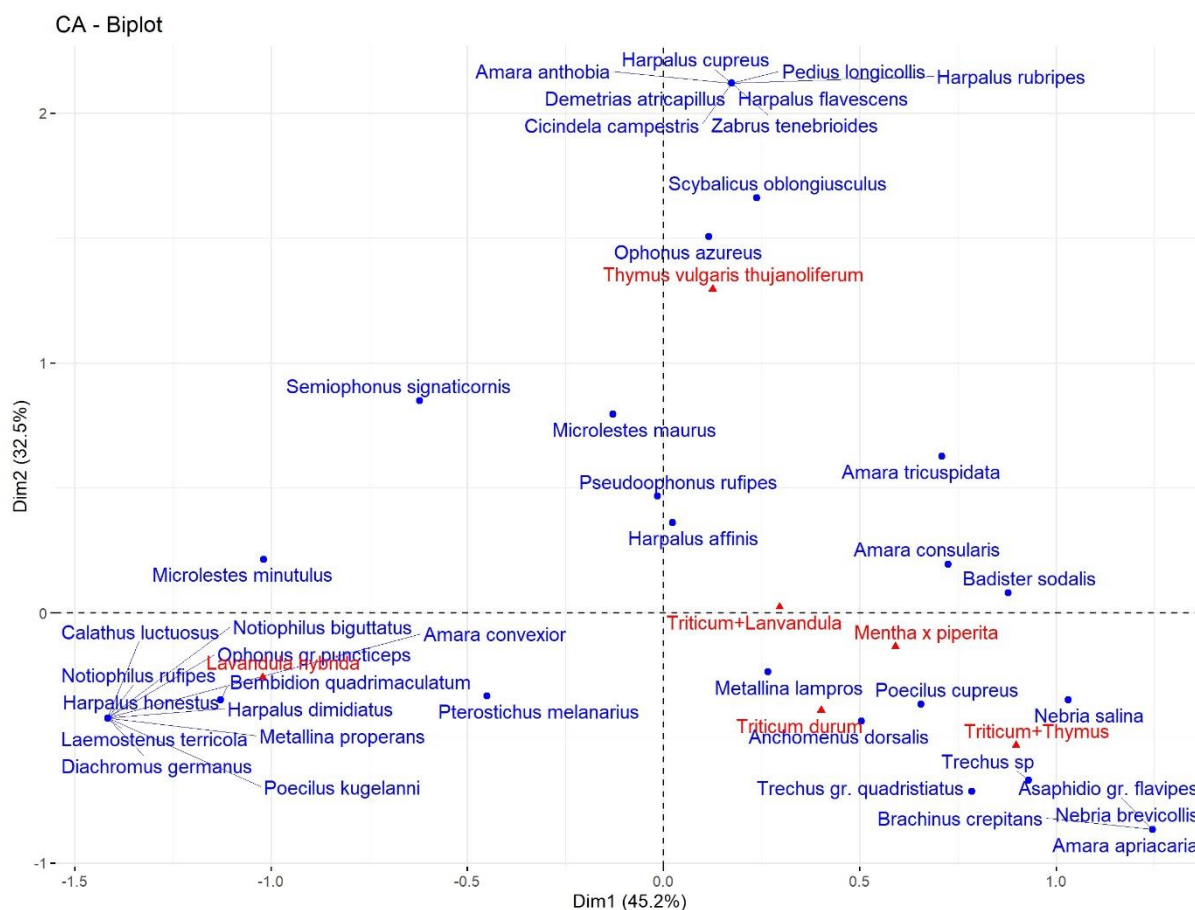


Figure 14 : Analyse factorielle des correspondances sur l'ensemble des carabes au sein des différentes plantes de l'étude.

Les indices de diversité sur ces trois types de parcelles nous indiquent que la plus grande diversité se trouve sur les parcelles de PAM. L'indice de Pielou quant à lui, nous indique que les espèces sont moins équitablement réparties dans les parcelles Blé+PAM (Tab. 3). Dans ces parcelles, il y a plus forte présence d'espèces dites « rares » comparé aux parcelles de Blé et celles de PAM. Cependant, l'indice de Simpson montre une co-dominance importante de plusieurs espèces au niveau des parcelles de PAM. Les parcelles de Blé et de Blé+PAM ont le plus d'espèces en commun, ces deux parcelles sont donc plus similaires entre elles (Tab. 4)

Tableau 3 : Indices de diversité

	Diversité α	Shannon	Pielou	Simpson
Blé	11	1.973280	0.8229218	0.8288889
Blé+PAM	19	2.010931	0.6829591	0.8026860
PAM	36	2.732542	0.7625302	0.8942678

Tableau 4 : Diversité Bêta (indice de Jaccard) des parcelles de PAM, de Blé et de Blé+PAM

	Blé	Blé+PAM
Blé+PAM	0.3636364	
PAM	0.2051282	0.2790698

3. Les mollusques terrestres

Au total, ce sont 13 individus qui ont été récoltés avec seulement 2 espèces différentes : l'escargot *Helix aspersa* appelé « Petit gris » et la limace *Deroceras agreste* appelé la « Loche Blanche ». Tous les petits gris ainsi qu'une seule loche blanche ont été retrouvés sur la parcelle de menthe située dans le hameau de Mézières de la commune de Buno-Bonnevaux. Les loches blanches ont été majoritairement retrouvées dans les cultures de blé et de Blé +PAM (Fig. 15).

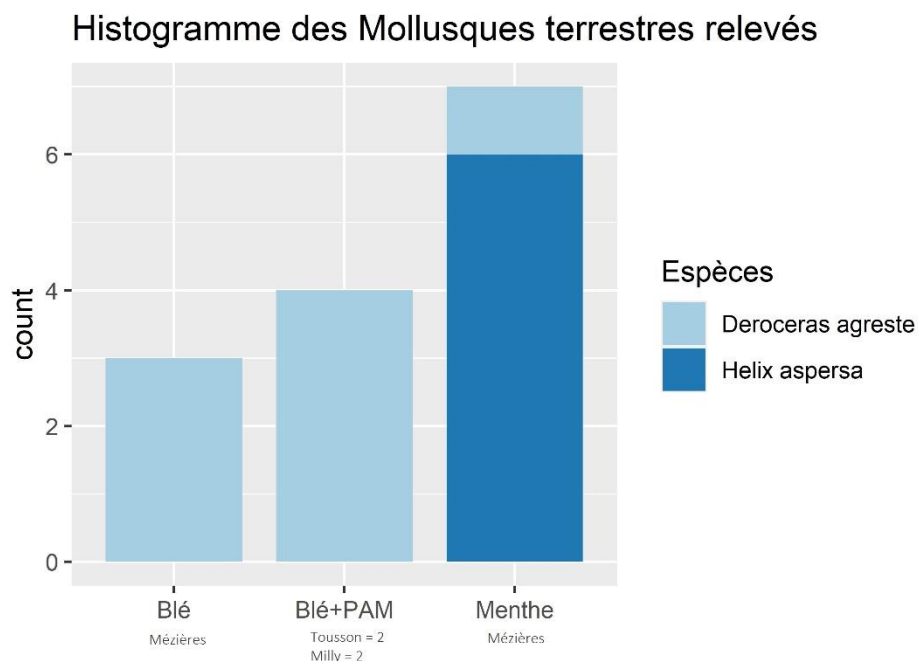


Figure 15 : Histogramme des mollusques terrestres relevés lors de l'étude.

IV. Discussion

Dans cette étude, aucune analyse n'a pu être effectuée sur les gastéropodes. Sur 162 relevés réalisés, seulement 13 individus ont été observés. Tous les individus d'*Hélix aspersa* ont été retrouvés sur une seule des deux parcelles de menthe à Mézières, en l'occurrence celle où aucune récolte n'est effectuée cette année. Un couvert végétal était présent là où il n'y avait plus de menthe, favorisant ainsi un habitat plus favorable à ces espèces. Le thym quant à lui possède plusieurs propriétés, son parfum très fort agit comme répulsif naturel contre les limaces, de même que ses racines diffusent des substances qui sont repoussantes (Villeneuve *et al.*, 2017). Ces propriétés peuvent expliquer l'absence d'observation de limaces dans les parcelles de thym. Bien que la période d'observation des mollusques terrestres soit de février à novembre, le faible nombre d'observations obtenu peut également être expliqué par une longue période de chaleur et l'absence de pluie durant la période de terrain. De fait, la vie des escargots et des limaces est rythmée par la nécessité d'échapper à la dessiccation.

Concernant l'effet du mode de culture, à savoir l'agriculture biologique ou conventionnelle, les résultats de l'étude montrent qu'il n'y a pas de différence d'abondance et de diversité entre les parcelles biologiques et conventionnelles aussi bien pour les lépidoptères que pour les carabidés. Or, selon différentes littératures, plusieurs auteurs s'accordent à dire que l'agriculture biologique (AB) améliore la richesse spécifique (Bengtsson *et al.*, 2005 ; Hole *et al.*, 2005) et l'abondance (Pfiffner & Luka, 2000 ; Hole *et al.*, 2005 ; Gomiero *et al.*, 2011). Deux méta-analyses (Bengtsson *et al.*, 2005 ; Hole *et al.*, 2005) démontrent que l'effet globalement positif de l'AB sur l'abondance et la richesse spécifique des différents taxa étudiés, est principalement en lien avec l'absence de produits phytosanitaires et une bonne gestion des éléments semi-naturels. De plus, l'absence de pesticides synthétiques dans l'agriculture biologique, épargne les insectes pollinisateurs des empoisonnements mais leur permet également de bénéficier de l'augmentation de la diversité et la densité des adventices autour et dans les parcelles cultivées (Wintermantel *et al.*, 2017). Cependant, nous avons constaté qu'il existe une tendance à travailler les sols plus fréquemment en agriculture biologique pour les plantes aromatiques du territoire étudié, les exploitants devant utiliser le désherbage mécanique pour la gestion des adventices. Cette pratique peut engendrer des effets contraires en fonction des espèces de carabes considérées (Holland & Luff, 2000). Les résultats positifs de l'AB sur la biodiversité de ces différentes études doivent être nuancés puisque les auteurs (Bengtsson *et al.*, 2005; Hole *et al.*, 2005) soulignent l'existence d'un certain nombre d'études (16%) présentant des résultats contradictoires (les parcelles en AB présentent une biodiversité similaire ou inférieure à celle des parcelles en AC). Selon eux, ces incohérences peuvent

s'expliquer par des biais méthodologiques (sous-estimation de l'AB, manque de réplicats et de facteurs explicatifs), c'est ce qui s'est passé pour notre étude. En effet, nos relevés ont été effectués sur seulement 2 parcelles par mode de culture pour chacune des espèces de plantes. Afin d'avoir des résultats plus robustes, nous aurions dû augmenter le nombre de parcelles pour chaque mode de culture et augmenter le nombre de relevés. Cependant, le nombre de parcelles de PAM en agriculture biologique disponible est limité dans la région de Milly-la-Forêt. Quant aux relevés, le temps consacré à la phase de terrain dans cette étude ne permettait pas d'augmenter le nombre de relevés. Néanmoins, ces résultats peuvent également s'expliquer par une grande hétérogénéité de nos résultats. En effet, l'annexe 3 montre que la seule parcelle de thym ayant une forte abondance est celle de Mézières (MzT) cultivée en agriculture conventionnelle. Cette abondance 2 à 3 fois plus importante est peut-être due à l'absence de désherbage et au fait que cette parcelle n'ait pas été récoltée en 2022. La faible abondance dans les autres parcelles de thym peut s'expliquer par la réalisation de deux relevés sur trois effectués après récolte du thym. Ainsi, notre hypothèse de départ indiquant que les parcelles en agricultures biologiques ont une abondance et une richesse spécifique plus importantes que celles en agriculture conventionnelles n'est pas validée.

Ensuite, les résultats de notre étude indiquent que la présence de parcelles plantes aromatiques et médicinales à proximité de grandes cultures permet d'augmenter l'abondance et la richesse spécifique des lépidoptères ainsi que celles des carabidés. Ce sont dans les parcelles de Blé que l'abondance et la richesse spécifique sont les plus basses, avec en moyenne 3 espèces lépidoptères et 10 espèces différentes de carabes observés sur les parcelles de blé dur (Fig 7 et Fig. 12). Concernant les parcelles de Blé+PAM et celles de PAM, une différence de résultats est observée entre les Lépidoptère et les Carabes. Pour les lépidoptères, ce sont dans les parcelles de PAM que l'abondance et la richesse spécifique sont les plus importantes. Les Carabes ont quant à eux une abondance et une richesse spécifique plus importantes dans les parcelles de Blé+PAM. Cette différence entre les deux groupes peut s'expliquer par une attractivité plus intéressante des parcelles de PAM, offrant plus de plantes nectarifères aux lépidoptères. En effet, les relevés de papillons pour les parcelles de Blé+PAM ont été effectués au centre du blé et non pas entre les PAM et le blé. Du côté des carabes, les parcelles de Blé+PAM sont plus attractives, notamment par la présence d'une plus grande diversité d'habitat. De nombreux arthropodes épigés ont besoin d'hiverner à l'extérieur des champs arables en raison du travail du sol (Pfiffner & Luka, 2000 ; Thorbek & Bilde 2004). Pour ces groupes, le facteur limitant peut être la disponibilité des sites d'hivernage plutôt que la gestion du champ. Booij & Noorlander (1992) et Stinner & House (1990) ont proposé que les cultures

les plus denses offraient plus d'abris, un microclimat modéré en termes de température et d'humidité et un meilleur accès à leur ressource alimentaire. De même, Thiele (2012) décrit que la proximité des rangs dans les cultures, comme le blé, permet la création d'habitat frais et ombragé. Hors, dans notre étude, les parcelles de Blé ne sont pas celles où l'on retrouve le plus d'abondance, ce sont celles de Blé+PAM et celles de PAM. De plus, les parcelles de PAM possèdent des inters rang assez espacés pour permettre le passage d'engins agricoles. Ainsi, nos résultats vont dans le sens de Honek (1988) qui démontrent que la densité des carabes est plus importante dans les prairies clairsemées que denses et suggèrent que la structure physique de cet habitat à la surface du sol peut affecter les déplacements des carabes, entre autres notre probabilité de capture également. De plus, Purtauf *et al.* (2005) décrivent que les éléments semi-naturels environnants apparaissent comme une source majeure de diversité pour les carabes des cultures en offrant des refuges et des corridors pour la dispersion à travers les champs. Nos résultats vont également dans ce sens. L'implantation de plantes aromatiques et médicinales à côté des parcelles de grandes cultures, comme le blé, offre des habitats favorables aux carabes favorisant leur dispersion dans les parcelles avoisinantes. Que ce soit pour les lépidoptères ou les carabes, l'abondance et la richesse spécifique au sein des parcelles de Blé+PAM sont significativement supérieures à celles du Blé. Ainsi, maximiser les impacts positifs des habitats semi-naturels sur les taxons fournisseurs de services clés, et leur capacité à fournir des services écosystémiques, est une composante importante de la gestion agricole durable et une pierre angulaire de l'intensification écologique (Garratt *et al.*, 2017).

De plus, une diversité des cultures dans le paysage devrait soutenir les communautés de pollinisateurs en fournissant d'avantages de ressource florale au fil du temps. La diversification du paysage agricole par l'apport de plantes fournissant des services écosystémiques est une stratégie pouvant garantir la durabilité des agro-écosystèmes. La régulation de la population de ravageurs via l'augmentation de la population de leurs ennemis naturels, est l'un des multiples services écosystémiques que les plantes associées peuvent fournir (Venzon *et al.*, 2018). Les plantes introduites peuvent aussi fournir des ressources (e. g. du pollen et du nectar) et des conditions (e.g. abri, microclimat et lieux de ponte) qui favorisent l'attraction et la préservation d'ennemis naturels dans les cultures. De cette manière, une communauté plus diversifiée d'ennemis naturels peut agir simultanément sur différentes espèces d'insectes phytophages en les maintenant à des niveaux de population acceptables pour l'agriculteur (Venzon *et al.*, 2018). De nombreuses études ont également montré que l'augmentation de la diversité végétale était positive dans l'augmentation du nombre d'ennemis naturels (Cook *et al.*, 2007 ; Isbell *et al.*, 2017 ; Letourneau *et al.*, 2011 ; Parker *et al.*, 2013 ; Tschumi *et al.*, 2016). Nous avons pu voir

par les AFC réalisées que certaines espèces de lépidoptères et de carabes ne sont présentes que dans certaines cultures de plantes (Fig . 7 et Fig.10). La majorité des carabidés relevés sont des prédateurs généralistes comme *Pterostichus melanarius* et *Poecilus cupreus* (Fig.3) et certains sont des prédateurs spécialistes des collemboles comme *Notiophilus biguttatus* et les espèces du genre *Trechus*. Tandis que d'autres carabes possèdent un régime mixte à savoir *Pseudoophonus rufipes* se nourrissant de graines à l'état larvaire, les adultes quant à eux se nourrissent de limaces, de lombric et d'insectes (Garcin & Mouton, 2006). La majorité des espèces de carabes sont prédatrices à l'état larvaire et à l'âge adulte. Elles représentent donc de bons auxiliaires des cultures. De plus, la présence de nombreuses espèces dans les milieux cultivés permet aux carabes de se relayer tout au long de l'année (Garcin *et al.*, 2004). La préservation des ennemis naturels et l'augmentation des services de biocontrôle peuvent être réalisés à plusieurs échelles de paysage (Thomine, 2021) : au champ, à l'échelle de l'exploitation et à l'échelle du paysage. Ainsi, notre hypothèse de départ est validée que pour les carabes, les parcelles de Blé+PAM ont une abondance et une richesse spécifique plus importantes que celles des PAM.

V. Conclusion générale

1. Limites méthodologiques et perspectives

Un plus grand nombre de parcelles en agriculture biologique et conventionnelle serait nécessaire pour obtenir des résultats plus robustes concernant l'effet du mode de production et celui de l'environnement des parcelles. De plus, une période de terrain d'au minimum une année serait nécessaire pour confirmer nos résultats. En effet, une bonne compréhension des processus impliqués dans le contrôle biologique nécessiterait de réaliser des études sur plusieurs années, afin de pouvoir tenir compte de la dynamique temporelle des populations d'auxiliaires de cultures (Likens, 1989). L'étude ne prend également pas en compte si les cultures environnantes sont des cultures de type biologique ou conventionnel, pourtant plusieurs études démontrent que cela peut avoir un impact sur l'abondance et la richesse spécifiques des carabes au sein des parcelles étudiées (Loreau, 2000 ; Zehner *et al.*, 2007 ; Rundlof *et al.*, 2008). Afin d'améliorer notre étude, un plus grand nombre de relevés et des parcelles plus similaires entre elles sont nécessaires. De plus, pour la compléter, étudier les conditions microclimatiques au sein des parcelles d'étude, comme la température, l'humidité et l'ombrage peut être intéressant.

2. Conclusion

Nos résultats ne permettent pas de comparer les parcelles biologiques et conventionnelles que ce soit pour les lépidoptères ou pour les carabes. Il en est de même pour la taille, et l'âge des parcelles. Concernant l'environnement des parcelles, nous avons pu observer uniquement une différence d'abondances dans les pièges récoltés à proximité de monocultures, où nous avons retrouvé moins de carabes comparés aux pièges disposés à proximité de chemin, de bois, de bandes enherbées ou au centre des parcelles. Aucun effet de l'environnement des parcelles n'a été observé pour les lépidoptères.

En revanche, nos résultats indiquent que l'abondance et la richesse spécifique sont plus importantes au sein des parcelles de Blé+PAM que dans les parcelles de Blé. Une différence existe entre les lépidoptères et les carabes. En effet, l'abondance et la richesse spécifique les plus importantes pour les lépidoptères se trouvent dans les parcelles de PAM tandis que pour les carabes, ce sont dans les parcelles de Blé+PAM que l'abondance et la richesse spécifique sont les plus importantes. Nous pouvons en conclure que l'ajout de plantes aromatiques et médicinales au sein des systèmes de grandes cultures tels que le blé dur a un impact positif sur l'abondance et la richesse spécifique des papillons et des carabes. Certaines espèces d'invertébrés ont été observées uniquement dans certaines cultures de plantes aromatiques et médicinales, c'est pourquoi l'intégration de différentes cultures de PAM permettrait d'augmenter la richesse spécifique. Ainsi, l'ouverture de filières de vente des cultures nouvellement implantées comme les PAM par les agriculteurs pourrait soutenir le changement d'un système d'agriculture conventionnelle vers un système d'agriculture intégré, plus respectueux de l'environnement et permettant de favoriser les services écosystémiques fournis par les êtres vivants, basé, pour parti, sur la diversification végétale.

Bibliographie

- Aguilera, G., Roslin, T., Miller, K., Tamburini, G., Birkhofer, K., Caballero-Lopez, B., *et al.* (2020). Crop diversity benefits carabid and pollinator communities in landscapes with semi-natural habitats. *Journal of Applied Ecology*, 57, 2170–2179.
- Bengtsson, J., Ahnström, J. & Weibull, A.-C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42, 261–269.
- Booij, C.J.H. & Noorlander, J. (1992). Farming systems and insect predators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Biotic Diversity in Agroecosystems, 40, 125–135.
- Cook, S.M., Khan, Z.R. & Pickett, J.A. (2007). The Use of Push-Pull Strategies in Integrated Pest Management. *Annual Review of Entomology*, 52, 375–400.
- Dover, J. & Sparks, T. (2000). A review of the ecology of butterflies in British hedgerows. *Journal of Environmental Management*, 60, 51–63.
- Dover, J. & Settele, J. (2009). The influences of landscape structure on butterfly distribution and movement: a review. *J Insect Conserv*, 13, 3–27.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., *et al.* (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309, 570–574.
- Garcin A., Demarle O. & Soldati F., (2004). Agriculture biologique en verger. Les Carabes, indicateurs de biodiversité et auxiliaires généralistes. *Infos-Ctifl*, 199, 42-47.
- Garcin A. & Mouton S. (2006). Le régime alimentaire des carabes et staphylins. *Infos-Ctifl*, 218, 19-24.
- Garratt, M.P.D., Senapathi, G.D., Coston, D.J., Mortimer, S.R. & Potts, S.G. (2017). The benefits of hedgerows for pollinators and natural enemies depends on hedge quality and landscape context, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 363–370.
- Gomiero, T., Pimentel, D. & Paoletti, M.G. (2011). Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30, 95–124.
- Hass, A.L., Kormann, U.G., Tschardtke, T., Clough, Y., Baillod, A.B., Sirami, C., *et al.* (2018). Landscape configurational heterogeneity by small-scale agriculture, not crop diversity, maintains pollinators and plant reproduction in western Europe. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285.

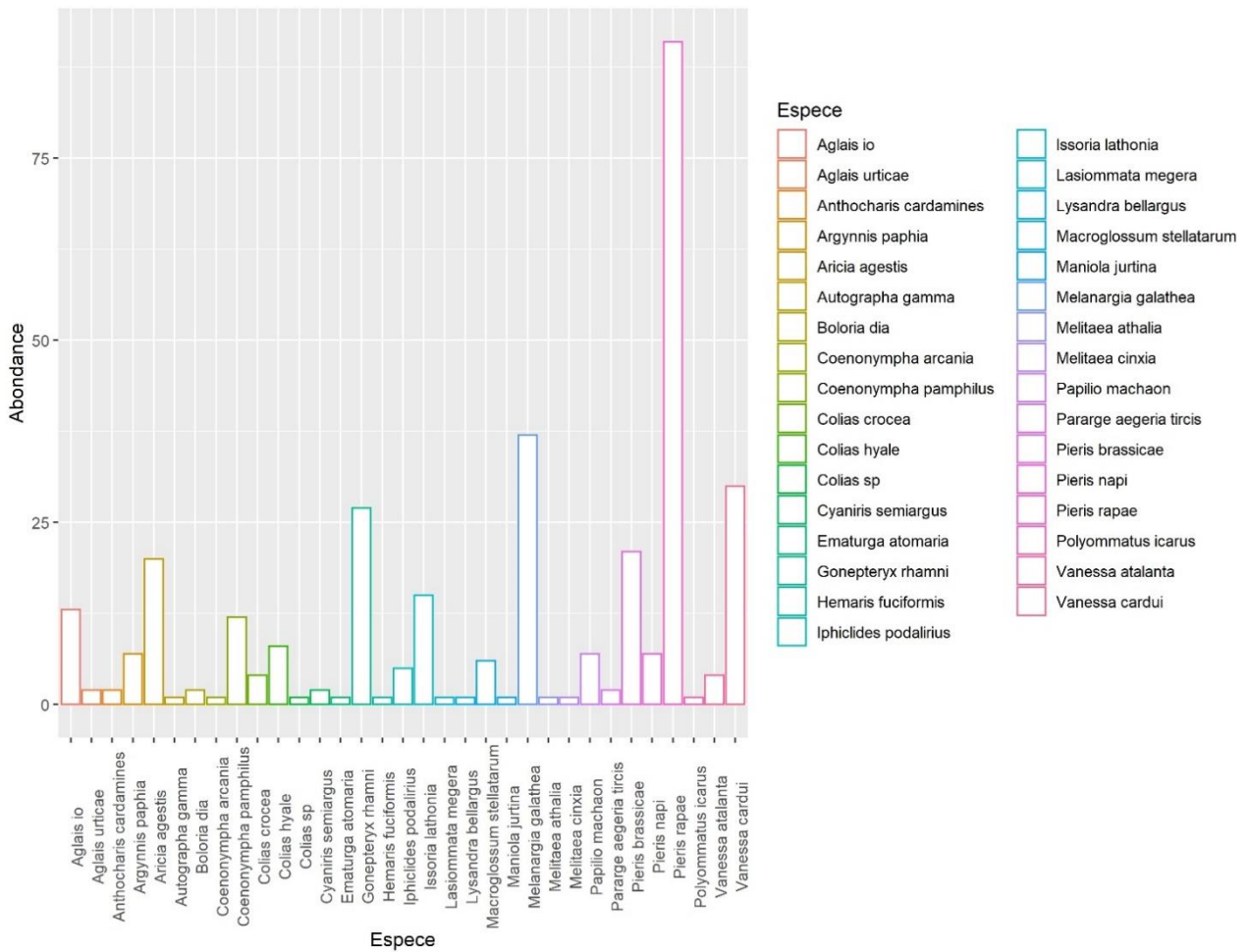
- Hendrickx, F., Maelfait, J.-P., Van Wingerden, W., Schweiger, O., Speelmans, M., Aviron, S., *et al.* (2007). How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 44, 340–351.
- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V. & Evans, A.D. (2005). Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122, 113–130.
- Holland, J.M. & Luff, M.L. (2000). The Effects of Agricultural Practices on Carabidae in Temperate Agroecosystems. *Integrated Pest Management Reviews*, 5, 109–129.
- Honek, A. (1988). The effect of crop density and microclimate on pitfall trap catches of Carabidae, Staphylinidae (Coleoptera), and Lycosidae (Araneae) in cereal fields. *Pedobiologia*, 32, 233–242.
- Isbell, F., Adler, P.R., Eisenhauer, N., Fornara, D., Kimmel, K., Kremen, C., *et al.* (2017). Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology*, 105, 871–879.
- Kerney, M.P. & Cameron R.A.D. (1999). Guides des escargots et limaces d'Europe. *Delachaux et Niestlé*, 370 p.
- Le Chaudelec Y. & Pasquier B. (2013). Histoire de plantes & mémoire d'hommes. Parc naturel régional du Gâtinais français, 40 p.
- Lee, A. & Slak, M.-F. (2007). Les paysages français changent entre 1992 et 2002 : artificialisation et fermeture des paysages aux dépens du mitage ou de la déprise des zones agricoles, *Agreste – Cahiers*, 22 p.
- Le Féon V. (2010). Insectes pollinisateurs dans les paysages agricoles: approche pluri-échelle du rôle des habitats semi-naturels, des pratiques agricoles et des cultures entomophiles. Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1, 258 p.
- Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, E., *et al.* (2008). *Agriculture et biodiversité*. Valoriser les synergies : Expertises Collectives. INRA, 116 p.
- Letourneau, D.K., Armbrrecht, I., Rivera, B.S., Lerma, J.M., Carmona, E.J., Daza, M.C., *et al.* (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications*, 21, 9–21.
- Likens, G. E. (1989). *Long-term Studies in Ecology: Approaches and Alternatives*. Springer-Verlag, New York.
- Loreau, M. (2000). Are communities saturated? On the relationship between α , β and γ diversity. *Ecology Letters*, 3, 73–76.
- Manil L., Lerch A., Edelist C. & Fontaine, B. (2009) Suivi temporel des Rhopalocères de France(STERF). Association des lépidoptéristes de France (ALF) ; UMR 5173, Département

Écologie et Gestion de la Biodiversité, Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), Paris,
41 p

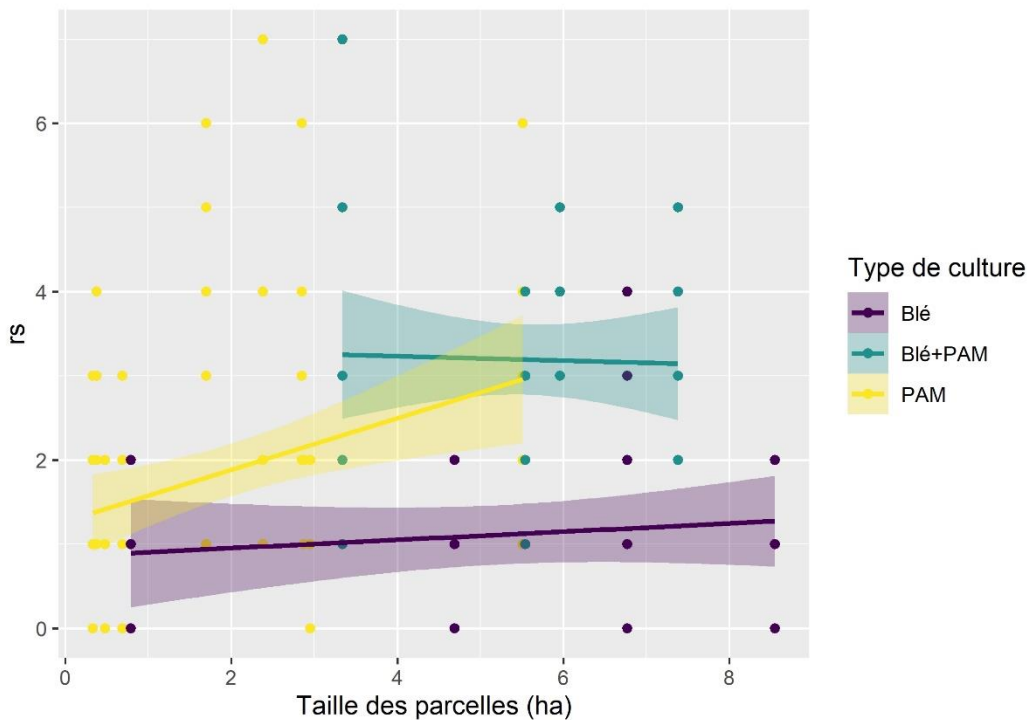
- Moussus, J.P., Lorin, T. & Cooper, A. (2022). Guide pratiques des papillons de jour. Delachaux et Niestlé, Paris, 416 p.
- Naylor, R. and Ehrlich, P.R. (1997). Natural Pest Control Services and Agriculture. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, 151-174.
- Parker, J. E., Snyder, W. E., Hamilton, G. C., & Rodriguez-Saona, C. (2013). Companion planting and insect pest control. *Weed and Pest Control-Conventional and New Challenges*. IntechOpen, 1–30.
- Pfiffner, L. & Luka, H. (2000). Overwintering of arthropods in soils of arable fields and adjacent semi-natural habitats. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 78, 215–222.
- Pollard, E. (1977). A method for assessing changes in the abundance of butterflies. *Biological Conservation*, 12, 115–134.
- Pollard, E. & Yates, TJ (1993). *Monitoring Butterflies for Ecology and Conservation*. Chapman & Hall, London
- Purtauf, T., Roschewitz, I., Dauber, J., Thies, C., Tschardtke, T. & Wolters, V. (2005). Landscape context of organic and conventional farms: Influences on carabid beetle diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 108, 165–174.
- Rainio, J. & Niemelä, J. (2003). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, 12, 487–506.
- Renault, O., (2012). *La faune sauvage de Seine-et-Marne*. Illustria Librairie des Musées, Tourgeville.
- Robbins, R.K. & Opler, P.A. (1997). *Butterfly diversity and a preliminary comparison with bird and mammal diversity*. Joseph Henry Press Washington, D.C.
- Roger, J.L., Jambon, O. & Bouger, G. (2012). Clé de détermination des carabidés – Paysages agricoles du Nord-Ouest de la France. INRA SAD-Paysage et CNRS UMR Ecobio, 256 p.
- Rundlöf, M., Bengtsson, J. & Smith, H.G. (2008). Local and landscape effects of organic farming on butterfly species richness and abundance. *Journal of Applied Ecology*, 45, 813–820.
- Stevens, V.M., Turlure, C. & Baguette, M. (2010). A meta-analysis of dispersal in butterflies. *Biological Reviews*, 85, 625–642.
- Stinner, B.R. & House, G.J. (1990). Arthropods and Other Invertebrates in Conservation-Tillage Agriculture. *Annual Review of Entomology*, 35, 299–318.

- Tenailleau, M., Dor, C. & Maillet-Mezeray, J. (2011). Synthèse bibliographique sur l'écologie des Carabidae. ARVALIS Institut du Végétal, Projet CASDAR « les entomophages en grandes cultures : diversité, service rendu et potentialités des habitats », 73p.
- Thiele, H.U. (2012). Carabid Beetles in Their Environments: A Study on Habitat Selection by Adaptations in Physiology and Behaviour. Springer Science & Business Media, 372 p.
- Thomine, E. (2021). Effet de la diversification spatiale et temporelle des cultures à l'échelle du paysage agricole sur le biocontrôle et les ravageurs de culture. Thèse de Doctorat, Université de Côte d'Azur, 348 p.
- Thorbek, P. & Bilde, T. (2004). Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *Journal of Applied Ecology*, 41, 526–538.
- Tschumi, M., Albrecht, M., Collatz, J., Dubsy, V., Entling, M.H., Najjar-Rodriguez, A.J., *et al.* (2016). Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *Journal of Applied Ecology*, 53, 1169–1176.
- Van Swaay, C., Warren, M. & Loïs, G., (2006). Biotope use and trends of European butterflies. *Journal of Insect Conservation*, 10, 189–209.
- Venzon, M., Togni, P. H. B., Amaral D. S. S. L., Rezende, M. Q., Bastista, M. C, Chiguachi, J. A. M., *et al.* (2018). Mobilisation des mécanismes de régulation naturelle des ravageurs via des plantes à multiples services écosystémiques. *Innovations Agronomiques*, 64, 83–95.
- Villemey, A. (2015). Trame verte et papillons de jour en contexte agricole: influence du paysage sur la dispersion, la diversité génétique et la composition des communautés. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 227p.
- Villeneuve F., Picault S., Trottin-Caudal Y. & Delporte M. (2017) La maîtrise des bio-agresseurs dans un contexte de réduction des produits phytopharmaceutiques - focus sur l'utilisation des plantes de service. *Innovations Agronomiques*, 61, 5-24
- Wilby, A. & Thomas, M.B. (2002). Natural enemy diversity and pest control: patterns of pest emergence with agricultural intensification. *Ecology Letters*, 5, 353–360.
- Wintermantel, D., Odoux, J.F. & Bretagnolle, V. (2017). L'effet de l'agriculture biologique sur les colonies d'abeilles domestiques. In: 5. *Journées de la Recherche Apicole*. Institut Technique et Scientifique de l'Apiculture et de la Pollinisation (ITSAP-Institut de l'Abeille). Paris, France.
- Zehnder, G., Gurr, G.M., Kühne, S., Wade, M.R., Wratten, S.D. & Wyss, E. (2007). Arthropod Pest Management in Organic Crops. *Annual Review of Entomology*, 52, 57–80.
- Zhang, W., Ricketts, T.H., Kremen, C., Carney, K. & Swinton, S.M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, Special Section - Ecosystem Services and Agriculture, 64, 253–260.

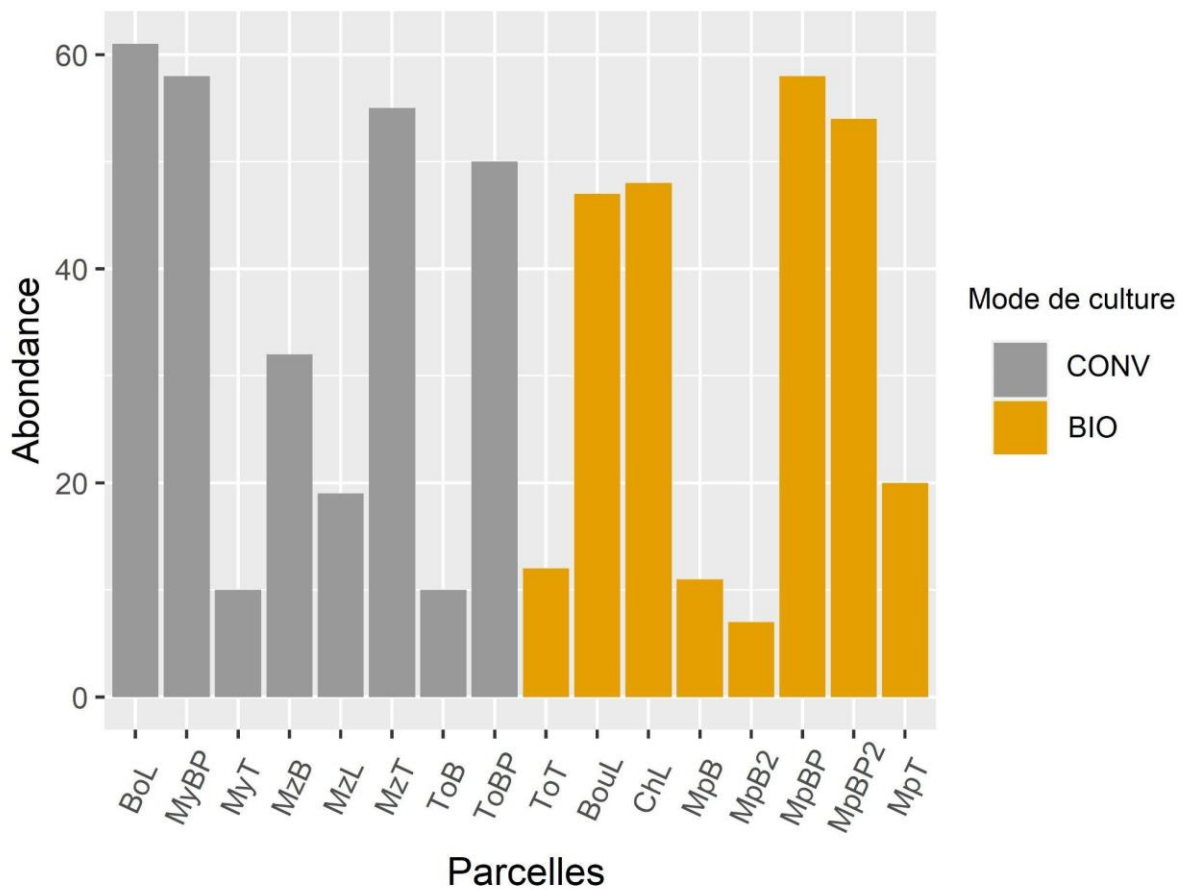
Annexes



Annexe 1: Bar plot de l'abondance totale en Lépidoptère tout site confondu.



Annexe 2 : Variation de la richesse spécifique en fonction de la taille des parcelles au sein des types de culture.



Annexe 3 : Bar plot de l'abondance en carabes en fonction des sites d'études et du mode de culture. Légende : BoL = Boissy-aux-cailles Lavanadin, MyBP = Mylly-la-Forêt Blé+PAM, MyT= Milly-la-Forêt Thym, MzB= Mézières Blé, MzL= Mézières Lavandin, MzT = Mézières Thym, ToB= Tousson Blé, ToBP= Tousson Blé+APM, ToT= Tousson Thym, Boul= Boulancourt Lavandin, ChL= Cheptainville Lavandin, MpB= Mespuits Blé, MpB2 = Mespuits Blé deuxième parcelles, MpBP = Mespuits Blé+PAM, MpBP2= Mespuits Blé+PAM deuxième parcelle, MpT= Mespuits Thym.

Tableau des papillons de l'études

Nom latin	Nom vernaculaire
<i>Aglais io</i>	Paon du jour
<i>Aglais urticae</i>	Petite tortue
<i>Anthocharis cardamines</i>	L'Aurore
<i>Argynnis paphia</i>	Tabac d'Espagne
<i>Aricia agestis</i>	Collier-de-corail
<i>Boloria dia</i>	Petite violette
<i>Coenonympha arcania</i>	Céphale
<i>Coenonympha pamphilus</i>	Fadet commun
<i>Colias crocea</i>	Souci
<i>Colias hyale</i>	Souffré
<i>Cyaniris semiargus</i>	Azuré des anthyllides
<i>Gonepteryx rhamni</i>	Citron
<i>Hemaris fuciformis</i>	Sphinx gazé
<i>Iphiclides podalirius</i>	Flambé
<i>Issoria lathonia</i>	Petit nacré
<i>Lasiommata megera</i>	Mégère/Satyre
<i>Lysandra bellargus</i>	Azuré bleu céleste
<i>Macroglossum stellatarum</i>	Moro-sphinx
<i>Maniola jurtina</i>	Myrtil
<i>Melanargia galathea</i>	Demi-deuil
<i>Melitaea athalia</i>	Mélitée du mélampyre
<i>Melitaea cinxia</i>	Mélitée du plantain
<i>Papilio machaon</i>	Machaon
<i>Pararge aegeria tircis</i>	Tircis
<i>Pieris brassicae</i>	Piéride du chou
<i>Pieris napi</i>	Piéride du navet
<i>Pieris rapae</i>	Piéride de la rave
<i>Polyommatus icarus</i>	Argus bleu
<i>Vanessa atalanta</i>	Vulcain
<i>Vanessa cardui</i>	Belle-dame

Tableau des carabes de l'étude :

Nom latin	Nom vernaculaire
<i>Amara anthobia</i>	Amara anthobia
<i>Amara apriacaria</i>	Amara apriacaria
<i>Amara consularis</i>	Amara consularis
<i>Amara convexior</i>	Amara convexior
<i>Amara tricuspidata</i>	Amara tricuspidata
<i>Anchomenus dorsalis</i>	Anchomenus dorsalis
<i>Asaphidio gr. flavipes</i>	Asaphidio gr. flavipes
<i>Badister sodalis</i>	Badister sodalis
<i>Bembidion quadrimaculatum</i>	Bembidion quadrimaculatum
<i>Brachinus crepitans</i>	Brachinus crepitans
<i>Calathus luctuosus</i>	Calathus luctuosus
<i>Cicindela campestris</i>	Cicindela campestris
<i>Demetrias atricapillus</i>	Demetrias atricapillus
<i>Diachromus germanus</i>	Diachromus germanus
<i>Harpalus affinis</i>	Harpalus affinis
<i>Harpalus cupreus</i>	Harpalus cupreus
<i>Harpalus dimidiatus</i>	Harpalus dimidiatus
<i>Harpalus flavescens</i>	Harpalus flavescens
<i>Harpalus honestus</i>	Harpalus honestus
<i>Harpalus rubripes</i>	Harpalus rubripes
<i>Laemostenus terricola</i>	Laemostenus terricola
<i>Metallina lampros</i>	Metallina lampros
<i>Metallina properans</i>	Metallina properans
<i>Microlestes maurus</i>	Microlestes maurus
<i>Microlestes minutulus</i>	Microlestes minutulus
<i>Nebria brevicollis</i>	Nebria brevicollis
<i>Nebria salina</i>	Nebria salina
<i>Notiophilus biguttatus</i>	Notiophilus biguttatus
<i>Notiophilus rufipes</i>	Notiophilus rufipes
<i>Ophonus azureus</i>	Ophonus azureus
<i>Ophonus gr puncticeps</i>	Ophonus gr puncticeps
<i>Pedius longicollis</i>	Pedius longicollis
<i>Poecilus cupreus</i>	Poecilus cupreus
<i>Poecilus kugelanni</i>	Poecilus kugelanni
<i>Pseudoophonus rufipes</i>	Pseudoophonus rufipes
<i>Pterostichus melanarius</i>	Pterostichus melanarius
<i>Scybalicus oblongiusculus</i>	Scybalicus oblongiusculus
<i>Semiophonus signaticornis</i>	Semiophonus signaticornis
<i>Trechus gr. quadristiatus</i>	Trechus gr. quadristiatus
<i>Trechus sp</i>	Trechus sp
<i>Zabrus tenebrioides</i>	Zabrus tenebrioides