

Rafaël FAGET

Rapport de stage de 2^{ème} année du
MASTER BIODIVERSITÉ ÉCOLOGIE ET ÉVOLUTION
PARCOURS : PLANTES ET SOCIÉTÉ
CULTURE DURABLE, PAYSAGE ET PHYTOVALORISATION

Année 2022-2023

HAIE EN MILIEU AGRICOLE : IMPACT DES AUXILIAIRES
DE CULTURE ET VALIDATION D'UN INDICATEUR



Structure d'accueil : Arvalis

Adresse : 16 Rue du Moulin de Moncelle, 55160 Saint-Hilaire-en-Woëvre

Maître de stage : Pascaline PIERSON

Sommaire

Remerciements	3
1. Introduction	4
1.1 - Contexte et présentation de la station	4
1.2 - Objet d'étude : puceron et lutte biologique.....	5
1.3 - Auxiliaire de culture	6
1.4 - Les services écosystémiques soutenus par les haies	8
1.5 - Mise en place de la méthode de caractérisation du paysage	9
1.6 - Objectifs de la campagnes 2023	10
2. Matériel & Méthodes	11
2.1 - Protocole de l'inventariage de la strate herbacée et choix des haies	11
2.2 - Capture par tente Malaise : effet attractif au sein de la haie	12
2.3 - Capture par aspirations et observations : effet attractif de la haie dans les cultures adjacentes.....	12
2.4 - Analyse des conditions météorologiques	13
2.5 - Analyses des résultats	14
3. Résultats	15
3.1 - Conditions météorologiques durant la campagne de suivi	15
3.2 - Effectifs et familles d'auxiliaires au sein des haies (tente Malaise)	15
3.3 - Influence des haies sur les cultures adjacentes (aspirations)	16
3.4 - Efficacité de l'attraction d'auxiliaire par les haies dans la régulation des pucerons sur épis (aspirations et observations)	17
4. Discussion	18
4.1 - Le score de la haie influence-t-il l'abondance en auxiliaires retrouvés en son sein ?.....	18
4.2 - L'évaluation théorique des haies sur les groupes d'auxiliaires est-elle vérifiée ?	18

4.3 - Le score de la haie influence-t-il la dissémination d'auxiliaires dans les cultures ?	19
4.4 - La régulation des pucerons par les auxiliaires de culture est-elle efficace ?	20
5. Conclusion et perspectives	21
Bibliographie.....	24
Annexes	31

Remerciements

Cette étude est le fruit d'un travail de groupe. Ainsi, je tiens à remercier de tout cœur toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. J'adresse mes vifs remerciements à Pascaline PIERSON et Romain BLAZY de la station de Saint-Hilaire-en-Woëvre, pour m'avoir accordé leurs confiances. Leurs aides et conseils m'ont permis de mener à bien la campagne de capture et le suivi de l'étude. Je tenais également à remercier Xavier MESMIN pour son aide précieuse dans la rédaction du rapport, l'approche statistiques et la reconnaissance des insectes. Mes sincères remerciements sont également exprimés à Jonathan MARKS-PERREAU qui m'a aidé et permit d'approfondir certaines pistes de recherches pour cette étude.

1. Introduction

1.1 - Contexte et présentation de la station

L'accroissement de la population mondiale, la chute de la biodiversité ou encore le réchauffement climatique sont des enjeux qui demandent de repenser l'agriculture traditionnelle. Par exemple, l'intensification de l'agriculture, avec l'utilisation d'intrants et la simplification des cultures, est un facteur provoquant la perte de la résilience des agrosystèmes (augmentations des maladies, des ravageurs, etc.) et représentant l'une des causes les plus importantes du déclin de la biodiversité (Ecosystem, 2005). Cependant, l'agriculture et la biodiversité sont liées. Les insectes participent à la pollinisation de 75% des espèces cultivées ((Vanbergen & Initiative, 2013). Sans agriculture, les prairies et les pelouses seraient remplacées par de la broussaille. Les plantes adventices sont également corrélées à l'agriculture. Au fil des révisions, la politique agricole commune (PAC, dernière version applicable de 2023 à 2027) exige de l'agriculture de plus en plus de multifonctionnalité : la performance agronomique et économique reste importante, mais d'autres fonctions sont attendues. Cette politique vise la transition agroécologique. Différents objectifs clés sont annoncés comme la protection de l'environnement, la préservation des paysages et de la biodiversité, le renforcement de la compétitivité ou encore l'assurance d'un revenu équitable aux agriculteurs (Commission, 2022). Cette nouvelle vision de l'agriculture incluant la notion de service écosystémique, demande de réfléchir à l'échelle de l'exploitation, du paysage et non plus se cantonner à la parcelle.

C'est dans ce contexte que Arvalis doit orienter ses recherches. Créé par les agriculteurs en 1959, Arvalis est un organisme de recherche appliquée visant à accroître les connaissances dans le domaine agricole, en particulier sur les céréales, le maïs, les fourrages, la pomme de terre et le lin, en s'appuyant sur un réseau de 27 sites d'expérimentation basés sur l'ensemble du territoire métropolitain. Du fait de l'intérêt croissant pour l'agroécologie, Arvalis se tourne progressivement vers cette vision de l'agriculture, expliquant ainsi l'objet de cette étude. C'est sur la station de Saint-Hilaire-en-Woëvre (Meuse) que l'étude a été entreprise. Ayant engagé sa transition agroécologique depuis 2018, cette station est une ferme expérimentale en polyculture élevage dotée d'une surface agricole utile de 130 hectares, répartis équitablement entre culture et prairie. L'équipe permanente de la station est au nombre de 10 employés, ingénieurs et techniciens. Les thématiques de travail de la station sont spécifiquement sur l'innovation variétale, l'association d'espèces, la couverture des sols, ... A cela s'ajoute l'étude des futurs services rendus à l'agriculture par les nouvelles technologies, avec l'utilisation de

clôtures virtuelles sur bovin (colliers connectés) et d'engins agricoles connectés à des satellites, dans le cadre du réseau Digifirme. Une des grandes spécificités de la station est l'intérêt porté à l'égard de la biodiversité fonctionnelle, sujet naissant et encore méconnu sur son efficacité et sa traduction opérationnelle possible en grande culture.

1.2 - Objet d'étude : puceron et lutte biologique

Le dérèglement climatique modifie la quantité et la qualité des rendements des grandes cultures (Loladze, 2014; Myers et al., 2014). Cet effet semble être exacerbé par les insectes ravageurs, consommant aujourd'hui 5 à 20% des grandes cultures céréalières. D'après certains modèles prédictifs (Deutsch et al., 2018), une augmentation de 10 à 25% des pertes liées aux ravageurs, par degré Celsius supplémentaire, serait à prévoir pour les trois cultures céréalières majeures (blé, riz et maïs). Ainsi, des zones aux climats tempérés, comme la France, seraient les zones les plus touchées. Les pucerons figurent parmi les plus importants ravageurs en Europe. Se nourrissant de sève élaborée, ses dégâts sont liés à son alimentation. En plus de détourner à leurs profits les nutriments dont la plante a besoin, ces Hémiptères piqueurs-suceurs injectent leurs salives contenant des effecteurs inhibiteurs de croissance dans la plante (MacWilliams et al., 2023). Ce sont également de grands vecteurs de virus : près de la moitié des virus transmis par les insectes sont liés aux pucerons (Stevens & Lacomme, 2017). Enfin, l'accumulation de miellat produit par les pucerons favorise le développement de moisissure, en leur fournissant une source de carbone, baissant l'activité photosynthétique (Reynolds, 1999).

Parmi les pucerons les plus nuisibles sur les cultures de céréales se retrouve le puceron des épis (*Sitobion avenae* F.). Seul puceron montant sur les épis, c'est sur ces derniers que ces populations de pucerons croissent le plus rapidement. En prélevant la sève, il provoque des dégâts directs importants au moment du remplissage du grain, limitant ainsi le poids de mille grains PMG (Arvalis, 2011). Lors d'infestation automnale sur jeunes plants de céréales, il peut également transmettre des virus responsables de la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV), une des maladies virales les plus répandues au monde, sur les cultures (Dedryver et al., 2010). Le cycle de vie de *S. avenae* se décompose en deux modes de reproduction : sexuée à l'automne et parthénogénétique au printemps. Témoin des effets du réchauffement climatique, la raréfaction des hivers très froids aurait pour effet de réduire la mortalité des femelles pathogéniques pendant l'hiver (Helden & Dixon, 2002) et donc possiblement de modifier l'abondance des populations au printemps.

La lutte biologique est une lutte à explorer. En effet, l'usage d'insecticides est parfois jugé inefficace pour contrôler les effets indirects du puceron : la transmission des virus est



Cantharide (x10)



Chrysope (x10)



Coccinelle (x20)



Hyménoptère
parasitoïde (x20)



Syrphe (x10)



Staphylin (x15)

Figure n°1 : Photos des auxiliaires ciblés par l'étude. Les photos ont été prises à partir d'une loupe binoculaire et les grossissements sont indiqués entre parenthèses. Bien que n'appartenant pas à la note de la haie, les cantharides sont aphidiphages. Le groupe des sphécides n'a pas été pris en photo.

rapide, réalisée par des pucerons qui, dans la plupart des cas, ne se développent pas sur la plante infectée. A cela s'ajoutent les éventuels problèmes sanitaires et environnementaux des pesticides, qui doivent, en théorie, être utilisés en dernier recours. Ainsi, la lutte biologique, et plus précisément la lutte biologique par conservation, en augmentant des populations d'ennemis naturels présents dans l'agro-écosystème, est une voie à privilégier. Les méthodes de lutte qui replacent le champ à l'échelle du paysage et du territoire, semblent ainsi être le seul moyen pour comprendre les dynamiques de population de pucerons, et ainsi lutter efficacement (Dedryver et al., 2010).

1.3 - Auxiliaire de culture

La lutte biologique est l'utilisation d'organismes vivants dans le but de supprimer les populations ou les impacts d'un bioagresseur, en le rendant moins abondant ou moins nuisible (Eilenberg et al., 2001). Cette lutte fait intervenir la notion d'auxiliaires de culture : un auxiliaire de culture est un organisme vivant rendant différents types de services écosystémiques tels que la pollinisation, la structuration du sol, etc (Joseph et al., 2018). Dans le cadre de notre étude, seuls les auxiliaires impliqués dans la régulation des ravageurs seront pris en compte. De plus, l'étude se cantonne aux principaux ordres d'insectes volants auxiliaires (figure n°1) : les Coléoptères (Coccinellidae, Staphylinidae), les Neuroptères (Chrysopidae), les Diptères (Syrphidae) et les Hyménoptères (Sphecidae). Leurs actions dans la régulation des pucerons (Hullé et al., 2020) en dessous d'un seuil de nuisibilité ont déjà été reconnues.

Symbole de régulation aux yeux du grand public, les **coccinelles** (Coleoptera : Coccinellidae) constituent des auxiliaires importants sur les populations de pucerons. Sur les 4200 espèces de coccinelle existantes, 68% sont consommatrices de pucerons (Turpeau et al., 2010). Ayant un régime alimentaire souvent semblable, la consommation des pucerons débute au printemps chez les larves et les coccinelles adultes, avec un pic d'activité en cette saison. Généralement, les espèces aphidiphages de grande taille présentent une génération par an et sont actives au printemps, dès que la température ambiante avoisine les 15°C, jusqu'en été, en suivant la dynamique de population des pucerons (Iperti, 1999). Pendant leur croissance s'étalant de 2 semaines à 2 mois, les larves peuvent consommer de 100 à 2000 proies ; au stade adulte, ce nombre s'élève à 30 à 70 pucerons par jour, soit environ 9000 durant sa vie imaginale (Boyer et al., 2017).

Abondants dans les agrosystèmes, les **staphylins** (Coleoptera : Staphylinidae) représentent la famille la plus diversifiée de son ordre avec 56 000 espèces dans le monde (Janicki et al., 2023). Malgré une méconnaissance à leur sujet, le potentiel auxiliaire des

staphylins semble avéré, par leur grande capacité de déplacement, leur forte densité, leur régime alimentaire généraliste, leur diversité importante et leur pouvoir de colonisation de milieu (Boyer et al., 2017). La plupart des espèces de staphylins connus sont des prédateurs généralistes : ils chassent à l'affût ou activement sur le sol ou la végétation, une grande diversité d'invertébrés (Corfdir, 2018). Vivants dans la litière, des chiffres précis sur la consommation de pucerons sont manquants. Néanmoins, de nombreuses études montrent un pouvoir de prédation certain sur les pucerons, présentant un risque de mortalité sur les colonies aphidiennes (Balog et al., 2013).

Facilement reconnaissables par leurs formes, leurs couleurs et leurs ailes, les **chrysopes** (Neuroptera : Chrysopidae) sont de puissants auxiliaires de culture face à la prolifération des pucerons. Hormis le genre *Chrysoperla*, la grande majorité des chrysopes adultes rencontrés sont omnivores ; la plupart de leurs proies consommées sont des pucerons car les adultes sont amateurs de miellat (Stelzl & Devetak, 1999). Cependant, c'est chez les larves que l'on retrouve l'essentiel du potentiel de régulation. Durant son développement s'étalant sur une dizaine à une trentaine de jour, une larve est capable de consommer jusqu'à un millier de pucerons pour les plus grosses (Boyer et al., 2017). La ponte précoce des femelles qui se fait dès la fin de l'hiver, ainsi que les multiples générations par an (allant pour la plupart de 2 à 5 génération) permettent de freiner efficacement la prolifération des pucerons.

Mimétiques de guêpes et d'abeilles, les **syrphes** (Diptera : Syrphidae) représentent d'importants auxiliaires de culture. Arrivant très tôt au printemps, en étant actives dès 8°C pour certaines espèces (SEBIOREF, 2017), elles pondent en moyenne 500 à 1000 œufs proches des colonies de pucerons. La plupart des espèces font plusieurs générations par an (jusqu'à 7). La présence précoce des larves permet ainsi de lutter efficacement contre les pucerons : un tiers des larves sont aphidiphage (Sarhou et al., 2021). Les adultes d'*Episyrphus balteatus*, une des espèces les plus courantes mais aussi les plus consommatrices de pucerons, sont capables de trouver des colonies petites et isolées pour y pondre ses œufs (Bargen et al., 1998) qui, après l'éclosion, pourront consommer jusqu'à 1300 pucerons au cours de leurs développements larvaires (Tenhumberg, 1995). La majorité des espèces sont spécialistes d'un ou plusieurs pucerons. Cependant, les espèces les plus courantes ont des larves poly-aphidiphages (Boyer et al., 2017). Le régime alimentaire de l'adulte est bien différent des stades larvaires, étant pour la très grande majorité floricole.

Les **Hyménoptères sphéciformes** forment un groupe paraphylétique de 10 familles d'insectes (Sann et al., 2018). Dans cette étude, seuls les Bembicidae, les Pemphredonidae, les Crabronidae, les Psenidae et les Sphecidae seront évoqués sous le terme générique de sphécides.

Se nourrissant de pollen et de nectar, les sphécides adultes sont pour autant prédateurs : les larves étant carnivores, ils ont besoin de chasser pour les nourrir. Généralement actifs dès la mi-avril, les femelles capturent une grande variété d'insectes après la nidification (Gayubo et al., 2005). Le nombre de générations varie selon les espèces et les conditions climatiques (Corbet & Backhouse, 1975). Dans une récente étude menée dans la partie nord de la France (Le Divelec et al., 2017), plus d'un tiers des sphécides retrouvées étaient chasseuses de pucerons, dans 20 % des espèces retrouvées. Leur potentiel auxiliaire est discuté depuis plusieurs décennies (Corbet & Backhouse, 1975; Le Divelec et al., 2016) et semble aujourd'hui admis.

Les **Hyménoptères parasitoïdes** forment un groupe d'une vingtaine de famille (Whitfield, 1998) qui, au stade larvaire, se développent aux dépens d'un organisme hôte, afin de l'utiliser comme ressource alimentaire. A la différence d'un parasite, le parasitoïde finit par tuer son hôte. 80% des parasitoïdes sont des Hyménoptères (Wright, 1998). Une partie de ceux-ci sont spécialisés sur pucerons : les principales familles parasitoïdes de pucerons sont les Aphelinidae (genre *Aphelinus*) et les Braconidae (genres *Aphidius*, *Ephedrus* et *Praon*). Ces derniers laissent, après le développement de la larve, des téguments vide de l'hôte que l'on surnomme "momies". L'abondance des parasitoïdes, due à la forte fécondité des femelles (100 à 500 œufs pour une femelle), peut permettre des taux de parasitisme très élevés qui peuvent conduire à l'effondrement des populations de pucerons (Ohta & Honda, 2010; Schmidt et al., 2003).

D'autres auxiliaires volants ont un potentiel de régulation limité. Une centaine de pucerons peuvent être consommés chez des larves d'anthocorides (Hemiptera : Anthocoridae). Bien que de nombreuses espèces provoquent des dégâts sur les cultures, certaines larves de cécidomyies (Diptera : Cecidomyiidae) peuvent consommer 7 à 20 pucerons par jour lors de leurs développement au printemps (Boyer et al., 2017). Les larves de Cantharides (Coleoptera : Cantharidae) consomment également des pucerons (Gardarin et al., 2023).

1.4 - Les services écosystémiques soutenus par les haies

Depuis les années 1940 en France, les haies ont été détruites dans le cadre de la politique de remembrement visant entre autres à faciliter la mécanisation (Baudry & Burel, 1984). De 1975 à 1987, c'est 43% du linéaire de haies qui a ainsi disparu en France (Pointereau, 2002). Pour autant, ces dernières présentent divers aspects valorisables pour l'agriculteur : production de bois et de fruits, contrôle des flux d'eau (limitation du ruissellement, régulation du débit), réduction de l'érosion par le vent (effet brise-vent), corridors biologiques, aménités, etc (Baudry

et al., 2000). De plus, l'efficacité des machines augmente très peu au-delà de parcelles supérieures à deux hectares (Rodríguez & Wiegand, 2009).

Les haies soutiennent également le service de régulation des ravageurs, en augmentant les populations d'auxiliaires. Ces infrastructures agroécologiques sont souvent nécessaires dans la réalisation du cycle de vie des auxiliaires de culture. Ce sont des sites de reproduction et de nidification pour les spékides (Le Divelec et al., 2017), des lieux d'hivernation et de ressources alimentaires pour les chrysopes (Boyer et al., 2017), des refuges face aux conditions météorologiques défavorables pour les syrphes et les staphylins (Pfiffner & Luka, 2000), etc. La base des haies constitue des refuges essentiels pour les invertébrés (Lecq et al., 2017). Plus généralement, il a été démontré une plus grande régulation sur les pucerons lorsque les paysages sont complexes (Rusch et al., 2016) due en partie à une biodiversité plus forte, provenant de la complémentarité des niches écologiques.

Pour optimiser l'action des auxiliaires de cultures, il est important de définir les critères qui rendent une haie propice à ces derniers. Tout d'abord, la structure de la haie est importante, notamment à travers la présence de différentes strates (arborée, arbustive) : une haie haute et plus ou moins dense permet une protection des insectes face aux vents, à la pluie et à une température excessive (Boyer et al., 2017). La composition et la diversité de la haie sont également des facteurs importants. Une haie composée d'essences qui fleurissent en continu permet de maintenir les populations d'insectes tout au long de l'année. La présence de bois en décomposition est également nécessaire pour certains auxiliaires volants, comme les staphylins (Deichsel, 2006). De plus, certaines essences attirent spécifiquement certains groupes : les syrphes, les coccinelles et les hyménoptères parasitoïdes et sphéciformes ont des attraits pour le tilleul (Chapelin-Viscardi et al., 2015). Les caractéristiques de la strate herbacée sont également des composantes majeures de l'intérêt d'une haie pour les auxiliaires. Par exemple, les syrphes et les hyménoptères parasitoïdes adultes sont floricoles et se nourrissent de pollen et de nectar. La diversité et l'abondance végétale agissent positivement sur les populations d'auxiliaires et la biodiversité animale en général, se traduisant par une régulation plus forte (Beillouin et al., 2021). Ainsi, le choix des espèces ligneuses et herbacées est crucial, d'autant plus que les ravageurs sont également amateurs de certaines d'entre elles (Wäckers & van Rijn, 2012).

1.5 - Mise en place de la méthode de caractérisation du paysage

Pour que les principes de la nouvelle PAC soient appliqués, le rôle de l'agriculteur doit évoluer, ne se cantonnant plus à son rôle de producteur mais en devenant un acteur de la gestion

des ressources et de la sauvegarde de la biodiversité. Afin d'accomplir cette transition, il est nécessaire de fournir aux agriculteurs des indicateurs sur les performances environnementales de leurs pratiques. C'est dans cette optique que la station Arvalis Saint-Hilaire-en-Woëvre, en collaboration avec Arvalis La Jaillière, s'est engagée dans cette étude. En 2020, une première cartographie de l'exploitation a été réalisée afin d'identifier les différentes occupations du sol. Sans référentiel, les chiffres obtenus à l'issue de ce travail ne peuvent être utilisés pour évaluer le potentiel attractif de l'exploitation pour les auxiliaires de culture. L'étude s'est ainsi tournée vers un indicateur non plus quantitatif mais qualitatif. Dans le cadre du projet CasDar ARENA (Anticiper les REgulations NATurels), dont le but a été d'évaluer les régulations naturelles des pucerons et des limaces par les auxiliaires de culture, un arbre de décision a abouti, nommé DEXI Arena. A chaque parcelle d'une exploitation, cette arbre attribue une note allant de 1 à 6 sur le potentiel attractif en auxiliaire de culture. Grâce à cet arbre de décision, il a pu être conclu que l'exploitation avait un fort potentiel d'attraction d'auxiliaire de culture (Jacques, 2021). Cependant, ce dernier indicateur montre des limites, ne restant qu'une approche globale et donc ne permettant pas l'orientation des travaux en faveur des auxiliaires de culture.

C'est ainsi que les travaux précédents se sont tournés vers l'élaboration d'un nouvel indicateur qui aurait pour but d'évaluer le potentiel de chaque haie présente autour, dans un rayon d'un kilomètre, et au sein de l'exploitation de Saint-Hilaire-en-Woëvre. Ces haies, au nombre de 96, se voient attribuer un score sur leurs potentiels attractifs des 6 groupes d'auxiliaires volants : les coccinelles, les chrysopes, les hyménoptères parasitoïdes, les sphécides et les staphylins. Cette note prend en compte la **structure de la haie**, découlant de la classification proposée par l'OFB (annexe n°1) : une haie continue à plusieurs strates sera plus intéressante qu'une haie relictuelle d'arbustes. Elle inclut également la **présence et l'abondance de certaines espèces** dans la haie, qui attirent certaines familles d'auxiliaire. Les strates arborées, arbustives et herbacées sont prises en compte. Enfin, c'est la **diversité des essences** et des herbes qui est considérée : plus la diversité des espèces végétales est importante, plus grande sera la diversité d'insectes auxiliaires attirée par la haie. L'hypothèse principale est donc que plus le score d'une haie est fort, plus le potentiel attracteur d'auxiliaire sera fort.

1.6 - Objectifs de la campagnes 2023

Tout d'abord, cette étude vise à donner des éléments de réponse à la validation ou non de l'hypothèse précédente : l'attraction des auxiliaires de culture est-elle plus importante dans une haie à haut score par rapport à une haie à faible score ? Pour le savoir, la campagne de piégeage d'insectes volants par tente Malaise débutée en 2021 va être poursuivie, au sein de

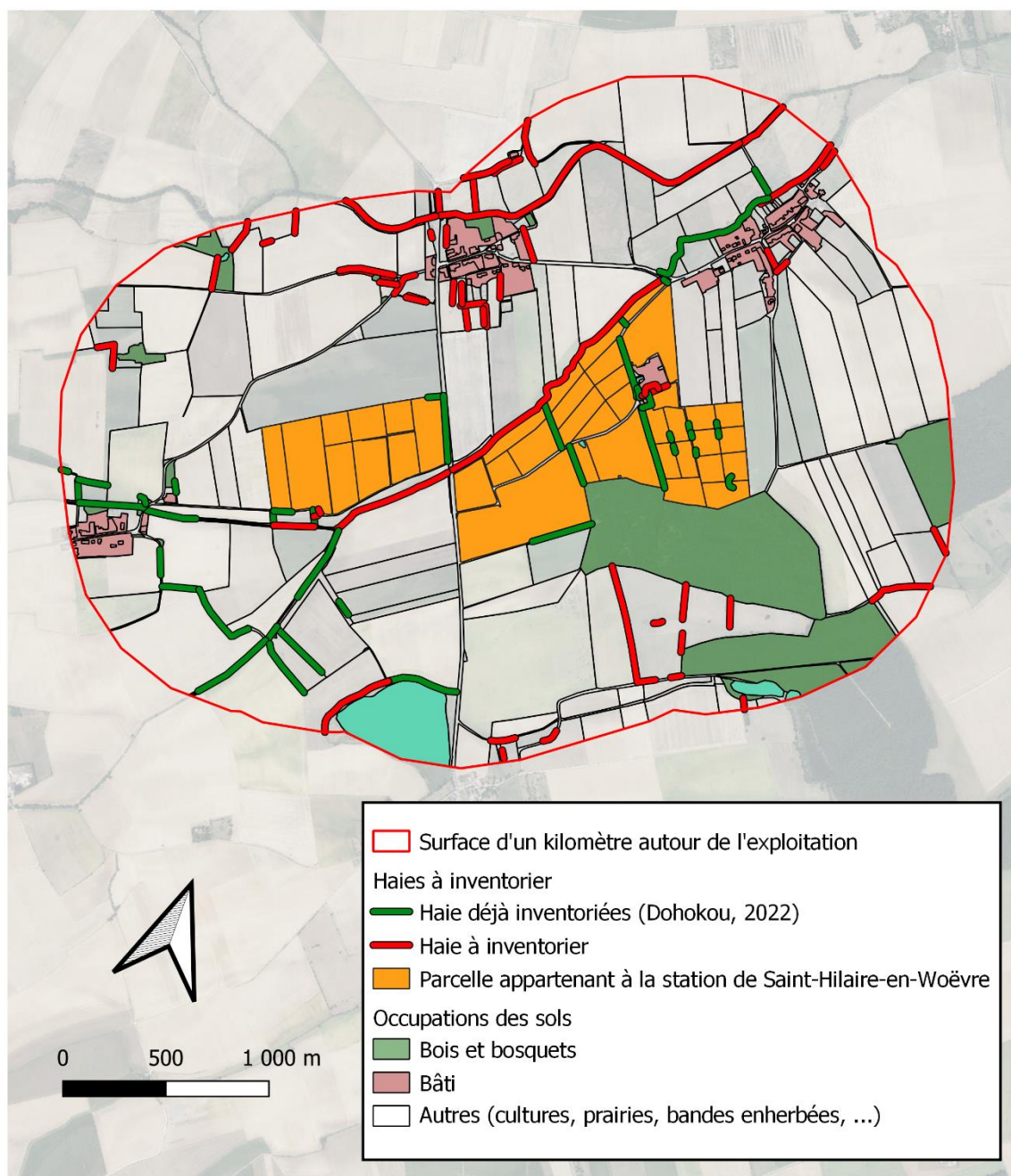


Figure n°2 : Carte de la station Arvalis de Saint-Hilaire-en-Woëvre. Les haies rouges indiquent les haies qu'il reste à inventorier (strate herbacée).

deux haies aux scores opposés. Le score de ces deux haies comprenant des notes d'attractions pour chaque groupe d'auxiliaire (chrysope, coccinelle, etc.), une analyse par groupe sera réalisée afin d'observer l'adéquation de ces notes attribuées : les différences théoriques doivent transparaître dans les effectifs capturés pour valider l'indicateur. Un objectif complémentaire sera de savoir si l'attraction des auxiliaires par les haies se reflète au sein même des cultures, en régulant les populations de pucerons : l'effet attractif des haies sur les auxiliaires de culture est-il vérifié sur la distance et est-il similaire entre deux haies bien distinctes ? Sachant qu'il existe une disparité entre les cultures sur les insectes attirés, peut-on observer un effet de la culture sur la distance d'attraction des haies ? Pour cela, une comparaison des piégeages par aspiration entre cette année et la précédente sera réalisée : les cultures adjacentes aux deux haies ont été interverties, entre colza et blé. Pour finir, une mission annexe sera de terminer l'inventaire de la strate herbacée, commencé dans les études précédentes, afin de permettre d'avoir un exemple concret pour l'étude.

2. Matériel & Méthodes

2.1 - Protocole de l'inventariage de la strate herbacée et choix des haies

Les inventaires se sont déroulés du 26 mai 2023 au 14 août 2023, avec un total de 52 haies restantes (figure n°2) à recenser au sein et autour de la station (rayon de 1 km). Pour chacune des haies, 18 quadrats ont été répartis avec un espacement régulier sur toute la longueur de la haie, à maximum 2 mètres de celle-ci, sur des zones homogènes. Chaque quadrat mesure 1 mètre carré (140 x 75 cm). Lorsque cela est possible, les deux côtés de la haie sont inventoriés. Pour les haies dépassant 500 mètres de longueur, le nombre de quadrats réalisés est multiplié par 1,5 et par deux lorsqu'elles dépassent le kilomètre. Les dicotylédones sont identifiées jusqu'à l'espèce pour les plantes attractives ; pour les plantes sans intérêt auxiliaire, l'identification est réalisée jusqu'au genre. Pour les Poacées, l'inventaire s'arrête à cette appellation, et leur recouvrement est évalué. Enfin, le pourcentage de sol nu et de plante ligneuse est inscrit.

La haie a haut score est une haie arbustive haute, diversifiée par sa strate arbustive et arborée : avec une majorité de *Prunus*, cette haie est composée également d'aubépine, de chêne, de tilleul et neuf autres essences. Elle est également située en continuité d'un bosquet de 50 hectares. Le score de cette haie est de 144, au contraire de l'autre haie, qui est de 16. Cette dernière est une haie basse avec clôture, où seules deux essences sont retrouvées : une majorité de *Prunus* et quelques traces d'aubépine. Au contraire de la haie à haut score, elle présente une

Haie n°5 - Haie à haut score (typologie : H6 ; longueur = 200 m)																											
Strate arboresive	Espèce	Abondance																			Ch	Co	HP	Sy	Sp	St	Note
	Bourdaïne	0,5																			-	-	-	-	-	-	0
	Charme	0,2																			1	1	1	-	-	-	3
	Chêne	1																			1	1	1	1	1	-	5
	Cornouiller	0,6																			1	1	1	1	-	1	5
	Crataegus	1																			1	-	1	1	-	-	3
	Eglantier	0,5																			1	-	1	1	1	-	4
	Erable	0,2																			-	1	1	-	-	1	3
	Frêne	1																			1	1	1	-	-	-	3
	Fusain d'Europe	0,1																			-	1	1	-	-	1	3
Noisetier	0,2																			1	1	1	1	1	-	5	
Prunus	4,5																			1	1	1	1	-	-	4	
Tilleul	0,2																			1	1	1	1	-	-	4	
Viorne	1																			1	1	1	1	-	-	4	
Strate herbacée	Part GRAMINEES (%)	70	60	60	70	70	60	75	60	90	90	95	85	95	95	70	60	70	80	75,3							
	Part DICOTS (%)	30	20	40	30	20	20	10	20	10	10	5	5	5	5	30	40	30	20	19,4							
	Espèces \ Quadrats	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Moy	Ch	Co	HP	Sy	Sp	St	Note
	Carotte	3	3		2				2	2	1		1	1	1	4		4	5	1,6	1	-	1	1	1	-	4
	Chardon																	1		0,1	1	1	1	1	-	4	
	Euphorbe						2	4	2											0,4	-	1	1	1	-	3	
	Liseron des champs							1										4	2	0,4	-	-	-	1	-	1	
	Luzerne					2		2								1	3			0,5	1	1	1	1	-	4	
	Matricaire								2											0,1	-	1	-	1	-	2	
	Millepertuis												1							0,1	-	-	-	1	-	1	
	Pâquerette			1	2		3		5		5	1						7	2	1,4	1	-	-	-	-	1	
	Potentille	15	10	20	15	10	5	2												4,3	1	1	1	1	-	4	
	Renoncule		2	6		5	3	1	2	3	2	1	2	1	2	15	15	5	5	3,9	-	-	1	1	-	2	
	Sénéçon								5	3		1			2					0,6	1	1	-	-	-	2	
	Vesce	2																2	0,2	1	1	1	1	0	0	4	
	Carex				5												2	1	2	0,6	-	-	-	-	-	0	
	Cerastie	10	2	12	2	5	5	2	2	2	2	1	2	1	2	10	20	8	1	4,9	-	-	-	-	-	0	
	Galiet		3	1	2															0,3	-	-	-	-	-	0	

Note Auxiliaire Haie						
Ch	Co	HP	Sy	Sp	St	Score total
17	17	19	18	4	3	78

Indice de Shannon (H)	
Strate arborescente et arborée	2
Strate herbacée	0,99

Score final
97,5 x 1,5 = 146,6

Pondération avec la typologie de la haie : 78 x 1,25 = 97,5

Moyenne des H : 1,5

Haie n°217 - Haie à faible score (typologie : H2 ; longueur = 87 m)																											
Str. A	Espèce	Abondance																		Ch							Note
																				Co	HP	Sy	Sp	St			
		Crataegus	0,1																		1	-	1	1	-	-	3
Prunus	5																		1	1	1	1	-	-	4		
Strate herbacée	Part GRAMINEES (%)	65	70	70	70	80	60	60	60	60	50	70	80	80	70	70	90	70	80								
	Part DICOTS (%)	35	30	30	30	20	40	40	40	40	50	30	20	20	30	30	10	30	20								
	Espèces \ Quadrats	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Moy	Ch	Co	HP	Sy	Sp	St	Note
	Achillée millefeuille								2		3									0,56	1	1	1	1	-	-	4
	Bleuet des moissons																			0,28	1	1	1	1	-	-	4
	Carotte	1	1	1	1															0,22	1	-	1	1	1	-	4
	Chardon												1							0,06	1	1	1	1	-	-	4
	Géranium							3	3	5	2	1	1		1					0,89	1	-	-	1	-	-	2
	Liseron des champs					2									1					0,17	-	-	-	1	-	-	1
	Luzerne												2	1						0,17	1	1	1	1	-	-	4
	Oseille											1			1			1	2	0,28	1	-	-	1	-	-	2
	Plantain lancéolé	1				4		3	3				1	1						0,72	-	-	-	1	-	-	1
	Potentille	5	3	9	8	3	4	4	3	5	5	2	1	2	3	1	1	4	8	3,94	1	1	1	1	-	-	4
	Renoncule				2					1	1	5								0,5	-	-	1	1	-	-	2
	Renouée	1																		0,06	-	-	-	1	-	-	1
	Sénéçon					1	3	3								1	2	4	1	0,83	1	1	-	-	-	-	2
	Trèfle				1															0,06	-	1	1	1	-	-	3
	Vesce			1		1						1			1				1	0,28	1	1	1	1	-	-	4
	Aigremoine		1		3	1		2	2	1					1				1	0,67	-	-	-	-	-	-	0
	All des vignes						1	1												0,11	-	-	-	-	-	-	0
	Brunelle	1																		0,06	-	-	-	-	-	-	0
	Carex	1	1	1	2					1							1			0,39	-	-	-	-	-	-	0
	Cerastie	1	1		2	2	2		2	1	2	3	1	1	1	2				1,17	-	-	-	-	-	-	0
	Colchique	2	1	1	2	1			1		3			1	3	5	2	10	5	2,06	-	-	-	-	-	-	0
	Galiliet	20	15	15	2	2	20	20	16	20	25	10	10	10	15	20	3	10	3	13,1	-	-	-	-	-	-	0
	Gesse		5	1	7	2	10	4	7	3	3	2	1	1	3	1			1	2,83	-	-	-	-	-	-	0
	Primevère	2	1	1							3			1	1					0,5	-	-	-	-	-	-	0
	Sénéçon des bois			1																0,06	-	-	-	-	-	-	0
	Silène fleur de coucou					1					2		1	2						0,33	-	-	-	-	-	-	0

Note Auxiliaire Haie						
Ch	Co	HP	Sy	Sp	St	Score total
12	9	11	16	1	0	49

Indice de Shannon (H)	
Strate arborescente et arborée	0,1
Strate herbacée	1,30

Score final
24,5 x 0,7 = 16,5

Pondération avec la typologie de la haie : 49 x 0,5 = 24,5

Moyenne des H : 0,7

Figure n°3 : Détails des scores des deux haies d'intérêt. Pour les deux tableaux principaux : la première colonne représente l'inventaire de la strate herbacée ou arborée ; la seconde sont les espèces présentes dans les haies ; la troisième sont les abondances de chaque espèce, en pourcentage de recouvrement, dans toute la haie pour la strate arborée et arbustive ou par quadrat pour la strate herbacée ; la dernière colonne (en vert) sont les scores correspondant à l'attraction de chaque espèce végétale pour les groupes d'auxiliaires : chrysopes (Ch), les coccinelles (Co), les hyménoptères parasitoïdes (Hp), les syrphes (Sy), les sphécides (Sp) et les staphylins (St). Chacune de ces "notes auxiliaires" sont additionnées et multipliées par le coefficient typologique de la haie (annexe 1). Cette note est multipliée par la moyenne de l'indice de Shannon des deux strates, pour donner le score final de la haie.

bande enherbée. Ne faisant pas partie de notre objet d'étude, l'obtention des scores ne sera pas détaillée (figure n°3).

2.2 - Capture par tente Malaise : effet attractif au sein de la haie

Afin de capturer les auxiliaires volants au sein de la haie, la tente Malaise est un piège reconnu comme étant une excellente méthode d'échantillonnage pour les insectes. C'est le cas pour trois des six groupes cibles : les sphécides (Le Divelec et al., 2016), les hyménoptères parasitoïdes (Shlyakhtenok, 2000) et les syrphes (Sadeghi & Hussein, 2009). Cependant, ce piège n'est pas adapté à la capture de chrysope (Oliveira et al., 2012) ou de staphylin (Navarrete-Heredia et al., 2020), deux groupes qui ne seront donc pas analysés sur ces piégeages. Les captures par tente Malaise se sont déroulées sur 16 semaines de suivi, du 17 avril 2023 au 7 août 2023. Les deux tentes Malaise ont été disposées au sein de la haie (pour la haie éparse à faible score) ou directement contre la haie (pour la haie plus dense à haut score), et toujours perpendiculairement au sens du vent. La bande enherbée en dessous et proche des tentes est régulièrement coupée pour ne pas entraver l'accès des insectes au pot collecteur. Ces derniers sont remplis aux deux tiers par de l'alcool à 70° et leurs contenus sont récoltés hebdomadairement. Les relevés sont ensuite envoyés au laboratoire d'éco-entomologie d'Orléans afin d'identifier jusqu'à l'espèce tous les insectes auxiliaires volants cibles. La reconnaissance des hyménoptères parasitoïdes étant trop complexe, ceux-ci sont comptés mais pas identifiés.

2.3 - Capture par aspirations et observations : effet attractif de la haie dans les cultures adjacentes

De manière à connaître l'effet des haies sur l'attraction des auxiliaires dans les cultures proches, des piégeages par aspirations sont entrepris. Cette méthode destructive n'est efficace que sur certains insectes, dont les Hyménoptères parasitoïdes, les pucerons et les araignées (auxiliaire généraliste). Comme pour le piégeage par tente Malaise, c'est la troisième campagne réalisée mais avec des cultures changeantes entre les années. Cette méthode est accompagnée d'observations visuelles pour la culture de blé. Cette méthode de recensement permet de connaître d'autres groupes que les aspirations dont les coccinelles, les pucerons et les momies de pucerons (ARENA, 2020).

Les aspirations et les observations ont débuté le 21 avril 2023 et se sont terminées après la moisson du colza, le 07 juillet 2023. Ces dernières sont réalisées dans les parcelles adjacentes

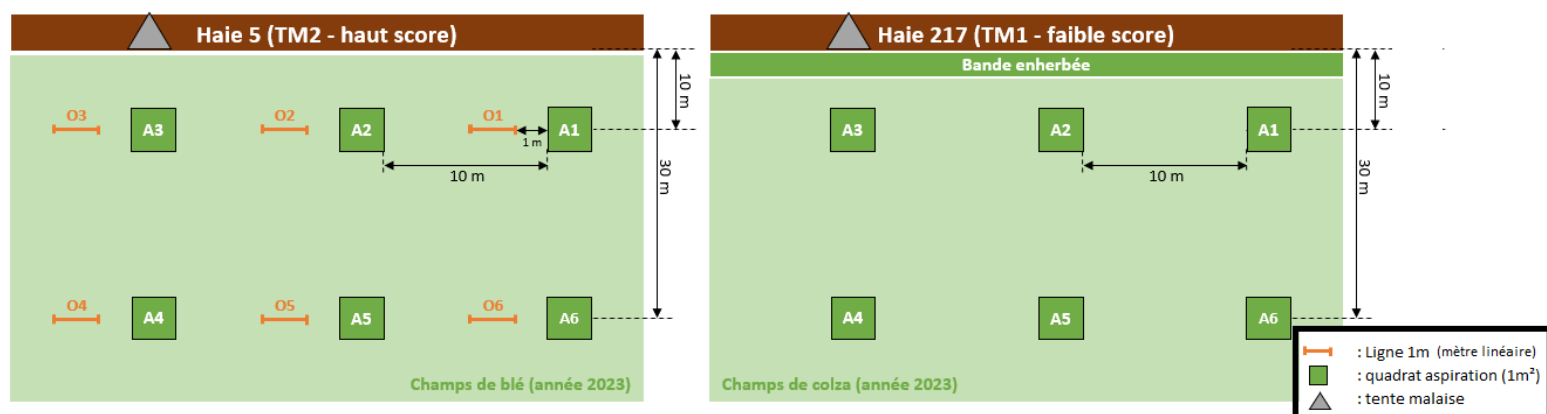


Figure n°4 : Plan d'échantillonnage par aspiration et observation. Le protocole suit celui effectué pour les campagnes 2021 et 2022 (Jacques, 2021 ; Dohokou 2022). Les aspirations sont effectuées dans des quadrats situés à 10 et 30 mètres de la haie. Trois répétitions sont effectuées pour les deux distances, chacune espacées de 10 mètres. Les observations sont effectuées sur un mètre linéaire, à un mètre des quadrats d'aspirations, pour la haie à haut score (haie n°5).

aux tentes Malaise, soit pour la haie à faible score dans une parcelle de colza, et pour la haie à haut score dans une parcelle de blé. Les deux méthodes sont effectuées toutes les semaines, le jour où les conditions météorologiques sont les plus propices à la présence d'insectes (absence de pluie, de vent et de rosée, température chaude, couverture nuageuse nulle). Toutes les données stationnaires sont présentées en annexe n°2.

A l'aide d'un aspirateur à feuille, les aspirations sont réalisées à 10 et 30 mètres de la haie, dans des quadrats d'un mètre carré (figure n°4). Afin d'effectuer la collecte d'insectes, un filet d'une maille fine de 1 mm est utilisé. Trois répétitions sont effectuées, chacune espacée de 10 mètres. Entre les semaines d'échantillonnage, les quadrats ne changent pas de place. Les aspirations durent entre 15 et 20 secondes et s'effectuent de haut en bas. Le contenu du filet est ensuite vidé dans un sac hermétique de congélation pour être mis au minimum une demi-journée au congélateur. L'identification des insectes morts peut ensuite être réalisée par mes soins. Un décompte global de tous les insectes collectés est effectué, suivi d'un comptage de chaque famille / ordre cible (chrysope, coccinelles, hyménoptères, cantharides, staphylins). Le groupe des sphécides n'a pas pu être distingué pour ces échantillons d'aspiration et une seule catégorie « hyménoptères » regroupe les chasseurs (sphécides) et les parasitoïdes. Les pucerons sous leurs différentes morphologies (aptère, ailé, momie) sont également notés. Les ravageurs, les décomposeurs et les auxiliaires non-cibles sont identifiés jusqu'à la famille car étant également intéressants à comptabiliser. Enfin, les insectes n'ayant pas pu être identifiés jusqu'à la famille sont notés jusqu'à l'ordre (Diptères, Coléoptères, ...).

Les observations sont réalisées à un mètre des quadrats des aspirations. Elles sont effectuées avant les aspirations. Seuls les pucerons, les coccinelles, les syrphes, les araignées et les opilions sont notés. Selon l'insecte, les différents stades (œufs, larves, ...), morphologies (aillés, aptères, ...) ou localisations (feuille, épis, en vol, ...) sont indiqués. Afin d'établir le taux d'épis porteurs de pucerons pour chacune des placettes, le nombre d'épis présentant un puceron et le nombre d'épis total examinés est également pris en compte. Par souci de temps, seules les observations sur la culture de blé, c'est-à-dire la haie à haut score, sont réalisées, les pucerons sur colza n'étant pas la cible de l'étude.

2.4 - Analyse des conditions météorologiques

L'appréhension des conditions météorologiques est primordiale pour expliquer l'activité des auxiliaires de cultures et rendre possible une interprétation inter-annuelle des résultats. La température et la présence ou non de pluie déterminent leur niveau d'activité. Ainsi, tous les suivis des captures seront accompagnés d'une "échelle météorologique" permettant de

Tableau n°1 : Favorabilité des conditions météorologiques sur l'activité des auxiliaires. A partir de la position de la courbe de tendance des scores par rapport à l'axe des ordonnées, une couleur est attribuée. Pour rappel, le score est la résultante de deux notes : la température (note de 0 à 1) et la pluviométrie journalière moyenne (note de 0 à 3).

Position de la courbe	Signification	Favorabilité des conditions météorologiques	Couleur
En dessous de $y = 2,5$	Pluviométrie journalière importante	Conditions défavorables	
Entre $2,5 < y < 3$	Pluie peu importante et température favorable	Conditions peu favorables	
Entre $3 < y < 3,5$	Pluie rare et température favorable	Conditions favorables	
Au dessus de $y = 3,5$	Pas de pluie et température favorable	Conditions optimales	

connaître la tendance climatique le long du suivi. Les données sont obtenues à partir de la station météorologique de Saint-Hilaire-en-Woëvre (données MétéoFrance). Pour chaque jour, un score est attribué, résultant de la somme de deux notes : un score de température où la note augmente de 1 si la température moyenne de la journée est supérieure à 15°C ; et un score de pluviométrie allant de 0 à 3, car on considère que la pluie est un facteur plus important que la température pour les captures. Pour ce dernier score, s'il n'y a pas de pluie (< 3 mm), le score augmente de 3, si on observe une pluviométrie comprise entre 3 mm et 8 mm, le score prend 1 point. Enfin, si la pluviométrie journalière est supérieure à 8 mm, le score ne se voit pas de point supplémentaire attribué. Chacun de ces seuils a été choisi par expertise en l'état actuel des connaissances. Pour la température, le seuil de 15°C est couramment utilisé comme une température minimale pour l'activité des insectes (même si chaque groupe et chaque espèce a sa température propre). Par exemple, les espèces les plus fréquentes de Coccinelles débutent leur activité entre 10 et 15°C (Iperti, 1999). Pour la pluviométrie, cela suit une échelle similaire à celle de MétéoFrance avec les catégories suivantes : pas de pluie, pluie légère (< 3 mm), pluie moyenne (3 à 8 mm) et forte pluie (> 8 mm). Une courbe de tendance suivant un lissage par modèle additif généralisé, est ensuite réalisée pour se concentrer sur les évolutions de fond de la météo. Quatre couleurs sont attribuées en fonction de l'évolution de la courbe du score (règle de décision expliquée dans le tableau n°1).

2.5 - Analyses des résultats

Le calcul des scores de chaque haie est effectué sur Excel (version 2302). Pour la réalisation de la carte de recensement des éléments semi-naturels permettant de replacer l'exploitation au sein du paysage, le logiciel QGis (version 3.28) a été utilisé. Les données issues des tentes Malaise, des aspirations et des observations sont également transcrites sur Excel. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (version 4.2.2). Le seuil de 5% a été retenu pour chacun des tests de significativité. La méthode choisie pour comparer les modalités expérimentales le long des séries temporelles de captures est le test des rangs signés de Wilcoxon (Hervé, 2014). Cette méthode non paramétrique permet de s'affranchir des contraintes de distribution statistique et prend en compte l'appariement temporel des données de notre protocole (les données collectées à la même date ont des chances de se ressembler davantage que des données collectées à des dates différentes). Pour l'analyse simultanée de plusieurs facteurs explicatifs, des modèles linéaires généralisés mixtes seront ajustés aux données (Bolker et al., 2009). Une analyse de déviance sera réalisée pour évaluer la significativité des corrélations entre chaque facteur explicatif et la variable réponse.

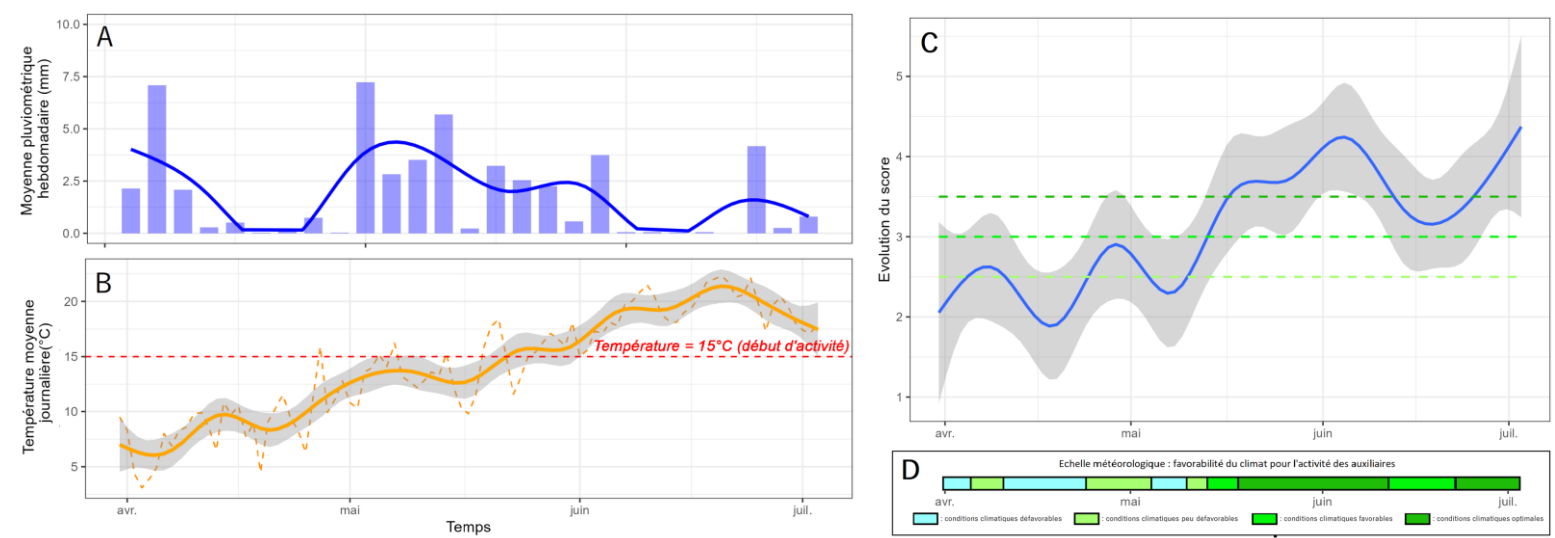


Figure n°5 : Evolution des conditions météorologiques lors de la campagne de piégeage : (A) suivi du cumul pluviométrique journalier moyen pour chaque semaine (mm) et (B) suivi de la température moyenne journalière (°C). (C) Evolution du score découlant des conditions météorologiques accompagnée de (D) l'échelle visuelle sur la favorabilité du milieu.. Pour les trois premiers graphiques, des courbes de tendance suivant un lissage en mode additif généralisé (GAM) sont ajoutées. C'est la position de cette courbe de tendance sur le graphique du score (C) qui permet d'attribuer une couleur pour chaque score (graphique D). Les seuils ont été expliqués dans la partie *Matériel et Méthodes*.

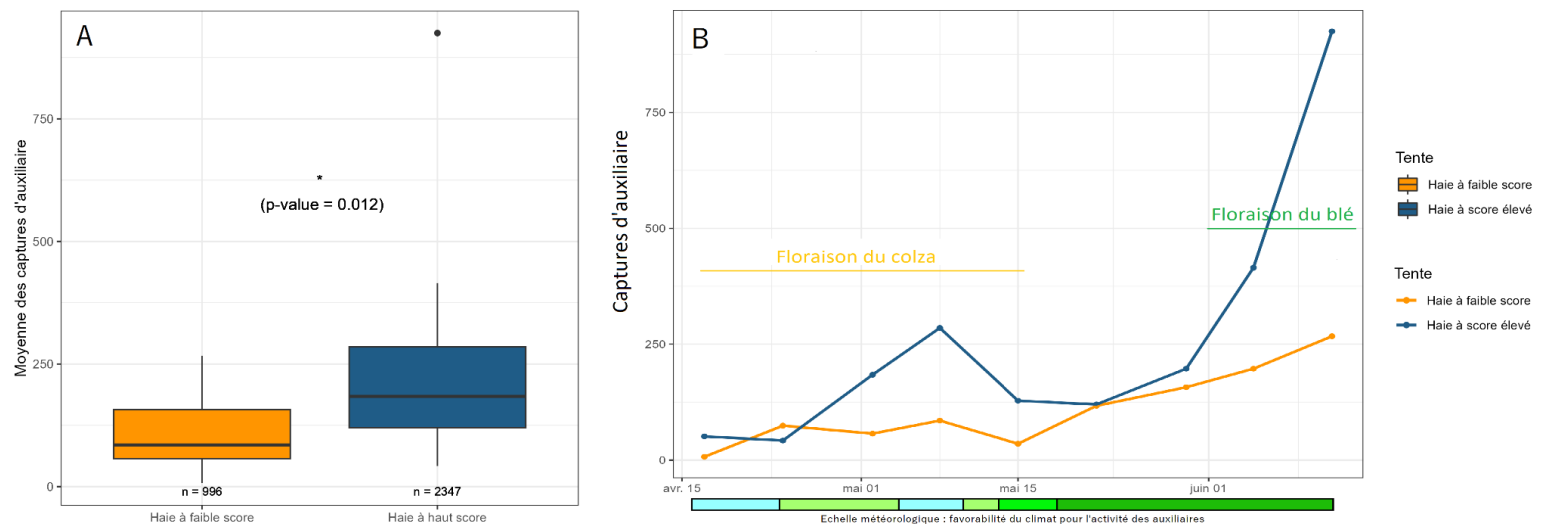


Figure n°6 : (A) Distribution du nombre d'auxiliaires capturés par tente Malaise et par semaine et (B) suivis des captures d'auxiliaires obtenus par tente Malaise en fonction de la haie, sur les 9 semaines de suivi. Après la réalisation d'un test des rangs signés de Wilcoxon, une différence significative est observée entre captures des deux haies. Les groupes pris en compte sont les cantharides, les coccinelles, les hyménoptères parasitoïdes, les sphécides et les syrphes. L'effectif total cumulé des auxiliaires pour chacune des tentes est indiqué sous la forme 'n = '. Pour le graphique B, les données des périodes de floraison du colza et du blé ont été obtenues à partir des données météorologiques des aspirations (annexe n°).

3. Résultats

3.1 - Conditions météorologiques durant la campagne de suivi

Une météo contrastée a marqué la campagne (figure n°5A à 5D). Du mois d'avril à début mai, les températures moyennes journalières sont en dessous de 15°C et les pluies sont fréquentes. Ces conditions sont peu propices à l'activité des insectes. Les conditions deviennent ensuite favorables voire très favorables aux insectes : pas de pluie et des températures croissantes de mi-mai à mi-juin. Quelques précipitations suivent cette période, avec une température qui baisse à la fin du mois de juin. Les conditions climatiques restent favorables. Au global, le début de cette campagne de suivi présente des conditions propices à l'activité des auxiliaires de culture.

3.2 - Effectifs et familles d'auxiliaires au sein des haies (tente Malaise)

En lien avec le temps et l'expertise délocalisée nécessaire à l'identification des contenus des tentes Malaise, ce sont les neuf premières semaines de suivi qui ont été analysées ici, soit des captures se déroulant du 17 avril au 19 juin. C'est un total de 3343 auxiliaires capturés. Ces derniers incluent quatre groupes cibles (hyménoptères parasitoïdes, sphécides, syrphes et coccinelles) mais également le groupe des cantharides (potentiel auxiliaire). La tente Malaise de la haie à haut score a capturé plus d'auxiliaires que la tente Malaise de la haie à faible score (2347 auxiliaires contre 996) : une différence significative entre les moyennes de captures est observée (figure n°6A). Au regard du suivi des effectifs au cours du temps (figure n°6B), un premier pic de capture est observé dans la haie à haut score début mai. Ce dernier n'est pas retrouvé pour la haie à faible score. De plus, les effectifs augmentent grandement à partir de début juin.

Pour ce qui est de l'analyse des familles retrouvées (figure n°7), seuls les coccinelles et les cantharides ont été significativement plus capturés dans la haie à haut score par rapport à la haie à faible score. Néanmoins, en excluant la famille des syrphes, les autres groupes montrent des captures plus abondantes pour la haie à haut score. Pour chacun de ces groupes, les courbes de suivi par famille (annexe n°3) montrent des effectifs toujours sensiblement plus élevés dans la haie à haut score par rapport à la haie à faible score. Les Hyménoptères parasitoïdes sont le groupe d'auxiliaire le plus représenté (72,6 %).

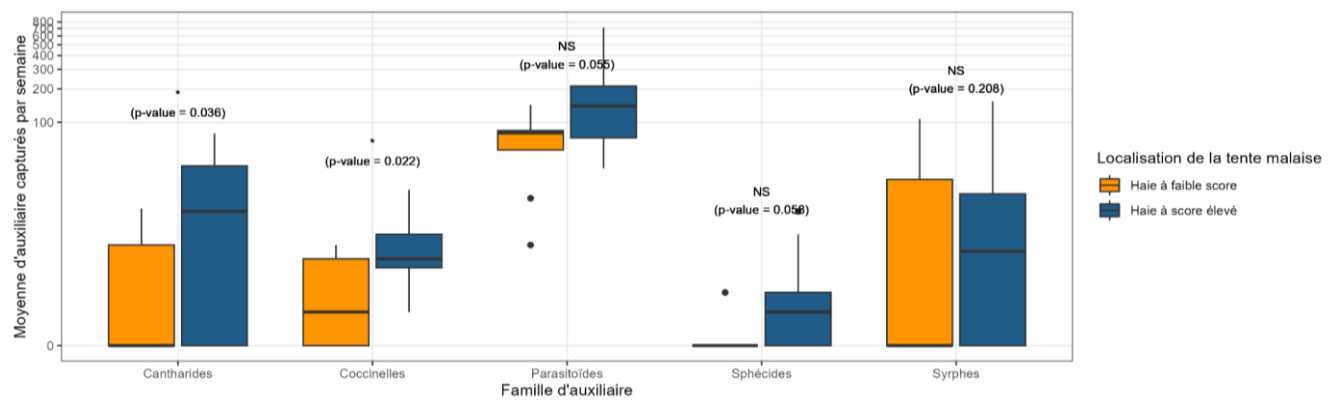


Figure n°7 : Nombre d'individus capturés par tente Malaise et par semaine, classés en fonction de la famille et de la haie, sur les 9 semaines de suivi. Après la réalisation de tests de Wilcoxon pour chacune des familles, seuls les cantharides et les coccinelles montrent des différences significatives entre les captures des deux haies.

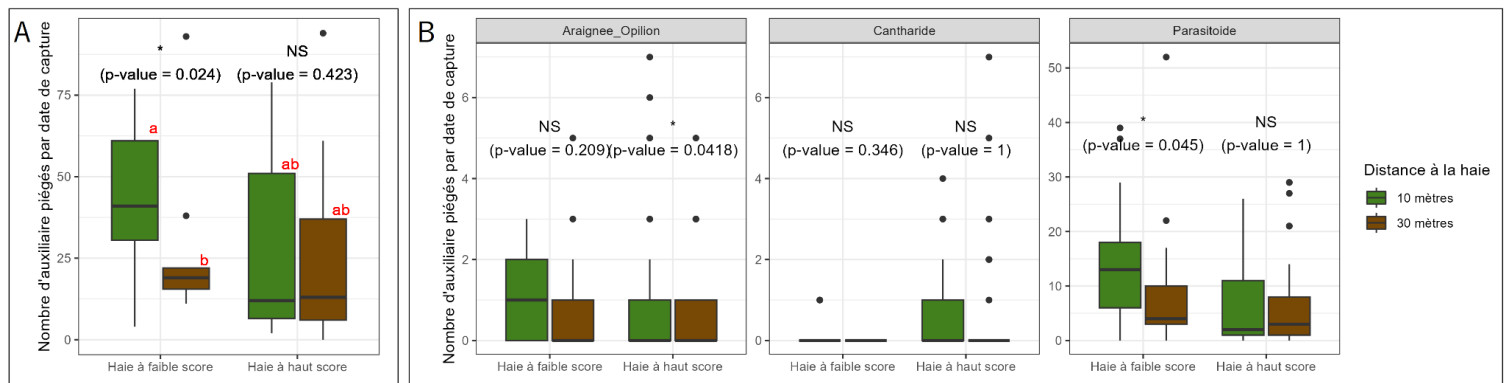


Figure n°8 : (A) Distribution du nombre d'auxiliaires capturés par semaine par aspiration en fonction de la haie et de la distance à celle-ci. (B) Distribution du nombre d'auxiliaires capturés par semaine par aspiration pour les trois familles les plus représentées : les araignées, les cantharides et les parasitoïdes. Pour chaque graphique indépendamment, les lettres présentent les résultats des tests non paramétriques réalisés pour comparer les haies et les distances : les modalités expérimentales qui partagent une lettre ne diffèrent pas significativement. Au sein des familles, seuls les parasitoïdes capturés proche de la haie à faible score et les araignées capturées proche de la haie à haut score montre une différence significative en fonction de la distance (représentés par *).

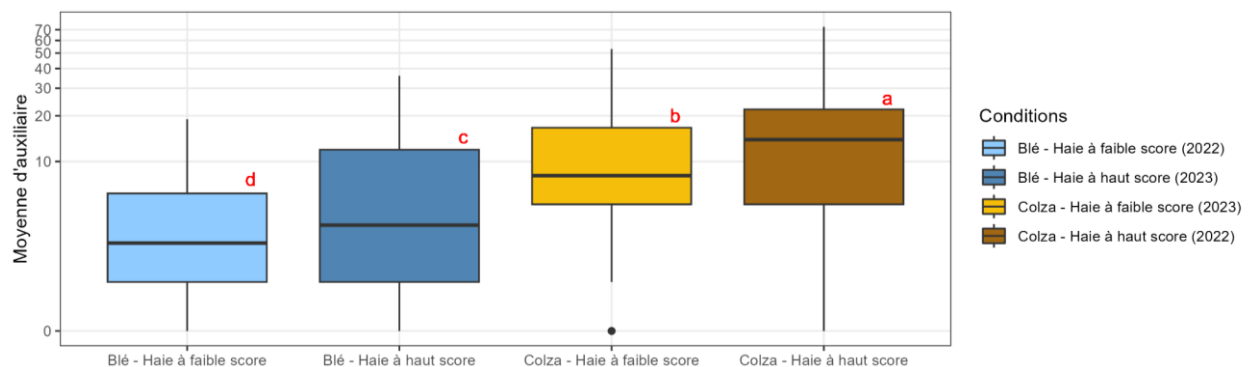


Figure n°9 : Effets de la culture et de la haie sur les captures hebdomadaires d'auxiliaires par aspiration. Les données d'aspiration de 2022 et 2023 ont été mises en commun. Pour décorrélérer l'effet tente de l'effet année, un modèle binomial tronqué a été utilisé : l'effet tente est significatif au contraire de l'année. Les modalités expérimentales qui partagent une lettre ne diffèrent pas significativement.

3.3 - Influence des haies sur les cultures adjacentes (aspirations)

On considère ici cinq groupes ciblés par cette étude (chrysopes, coccinelles, hyménoptères, staphylins et syrphes) mais également les cantharides et les araignées. Aucune différence significative n'est observée entre les abondances d'auxiliaires retrouvés dans la parcelle de colza bordée de la haie à faible score ou dans la parcelle de blé bordée de la haie à haut score (figure n°8A). Concernant l'effet de la distance par rapport à la haie, dans la culture de colza (proche de la haie à faible score en 2023), les captures d'auxiliaires à 10 mètres sont significativement plus importantes que celles à 30 mètres. Cette différence n'est pas observée dans la culture de blé (proche de la haie à haut score).

La compilation de nos résultats avec les suivis menés en 2022 permet de décorréliser les effets de la culture et de la haie adjacente (figure n°9) : la parcelle adjacente à la haie à haut score était en colza en 2022, et en blé en 2023, et inversement pour la haie à faible score. En considérant les années comme des répétitions, on détecte un effet significatif de la culture (plus d'auxiliaires en colza qu'en blé) et de la haie adjacente (plus d'auxiliaires à proximité de la haie à haut score qu'à proximité de la haie à faible score). A noter que l'écart entre les moyennes par date de suivi est plus fort pour la culture (14,2 auxiliaires moyens retrouvés dans le colza contre 5,9 dans le blé) que pour le score de la haie (12,2 auxiliaires moyens retrouvés proche de la haie à haut score, contre 7,5 auxiliaires proche de la haie à faible score).

Parmi les auxiliaires retrouvés dans les captures (figure n°8B), la plupart montrent des effectifs très faibles, dus à la méthode de piégeage non appropriée à leurs groupes. Trois groupes montrent des effectifs analysables : les araignées, les cantharides et les hyménoptères. Les araignées ont un taux de capture plus élevé à 10 mètres qu'à 30 mètres, pour la haie à haut score. Les hyménoptères, représentant 81 % des captures d'auxiliaires par aspiration, montrent une abondance plus importante à 10 mètres par rapport à 30 mètres, dans le champ de colza bordé de la haie à faible score (figure n°10A). C'est ce groupe qui explique la différence significative générale évoquée dans le paragraphe précédent. La différence significative entre les deux distances est observable notamment sur la période du 8 au 20 mai : un pic de capture est observé à 10 mètres mais pas à 30 mètres, pendant la période où les conditions météorologiques deviennent meilleures et où le colza fleurit (figure n°10B). A noter que ce pic de capture correspond à celui retrouvé au sein même de la haie à haut score.

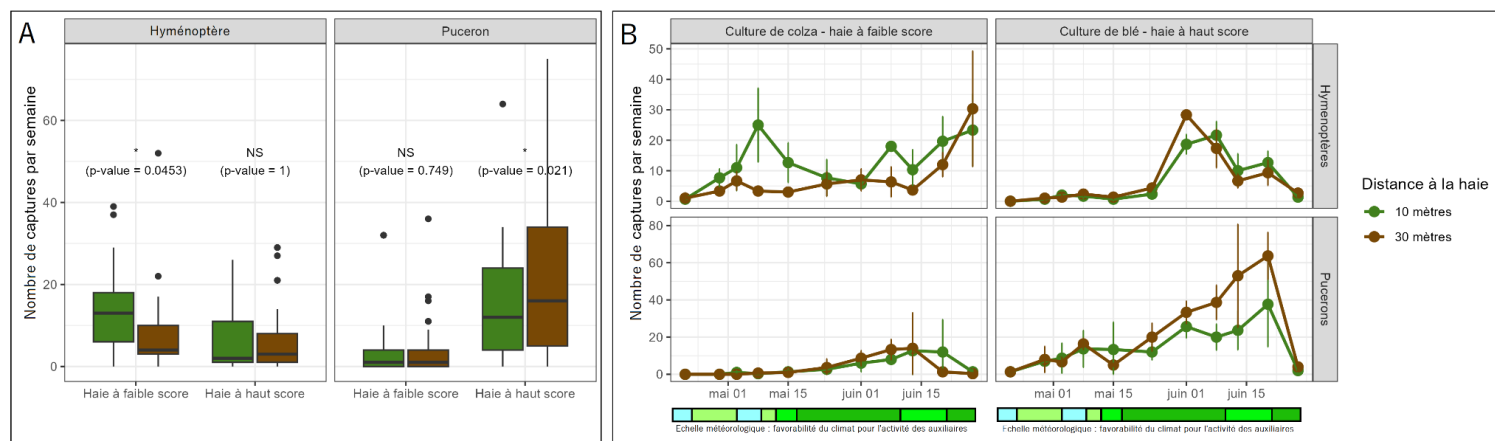


Figure n°10 : (A) Moyenne des hyménoptères et des pucerons aspirés en fonction de la distance et de la haie (B) Suivi des moyennes de captures d'hyménoptères et de pucerons par aspiration, en fonction de la haie et de la distance à celle-ci. Pour chaque semaine de capture, la moyenne est accompagnée de l'écart-type (3 répétitions par semaine). Après la réalisation de tests non paramétrique de Wilcoxon, plus de pucerons sont aspirés à 30 mètres pour la haie à haut score (culture de blé) et les captures d'hyménoptères sont plus nombreuses à 10 mètres dans la culture de colza (haie à faible score).

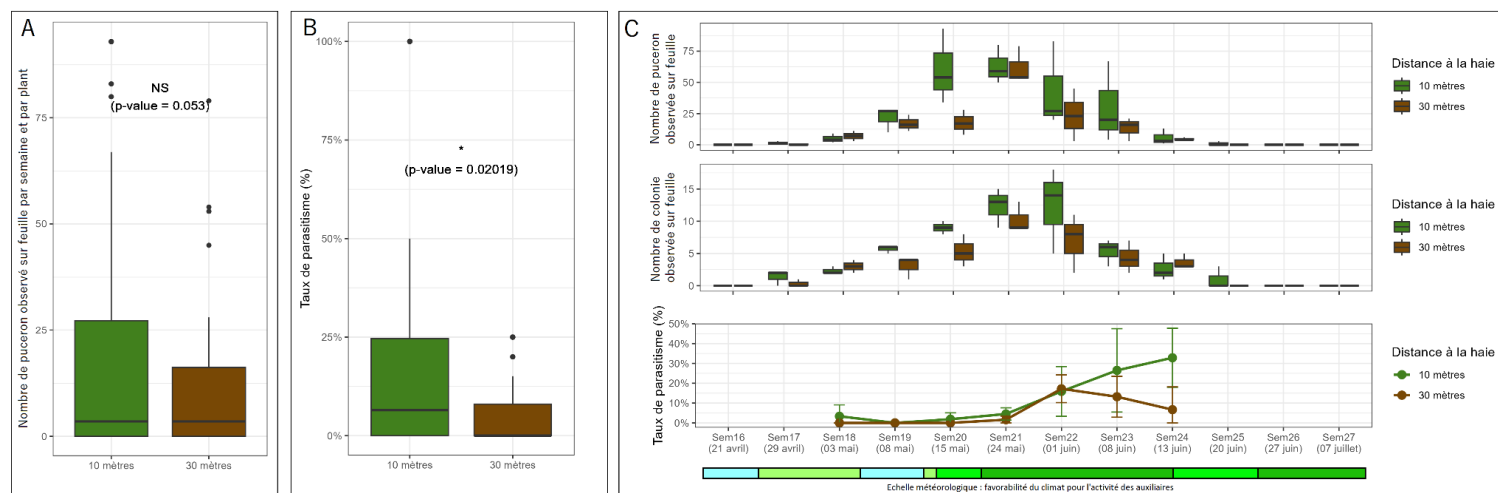


Figure n°11 : (A) Nombre de pucerons observés sur feuilles par semaine, (B) Taux de parasitisme sur les pucerons retrouvés sur feuille par semaine et (C) suivi des effectifs de pucerons, du nombre de colonies et du taux de parasitisme observé sur feuille. Pour le graphique A et B, la significativité des tests est indiquée. Le graphique C est accompagné de l'échelle météorologique. Pour chaque semaine de capture, la moyenne est accompagnée de l'écart-type (3 répétitions par semaine).

3.4 - Efficacité de l'attraction d'auxiliaire par les haies dans la régulation des pucerons sur épis (aspirations et observations)

Pour étudier l'évolution des pucerons et leurs régulations, seules les aspirations et les observations dans la culture de blé seront considérées (haie à haut score). Le nombre de pucerons capturé par **aspirations** (figure n°10A) diffère significativement en fonction de la distance à la haie : plus de pucerons sont capturés à 30 mètres par rapport à 10 mètres de la haie à haut score. Après observation des suivis des captures (figure n°10B), l'écart se crée pendant la multiplication rapide des pucerons des épis. Cette différence s'observe dès l'épiaison et se poursuit pendant la floraison, soit pour les captures du 1^{er} au 20 juin. C'est pendant cette même période que les dégâts de *S. avenae* sont les plus importants. Une hausse des captures des hyménoptères est également observée lors de l'épiaison. Après la floraison, le stade grain pâteux signe le déclin des populations et de la nuisibilité des pucerons sur le blé (Arvalis, 2011) : on retrouve cette forte diminution dans les effectifs capturés.

Les **observations** sont une méthode complémentaire aux aspirations, permettant de suivre les mêmes populations au cours du temps. Elles sont plus précises pour ce qui concerne les momies de pucerons, permettant d'évaluer le taux de parasitisme entre les deux distances : le taux de parasitisme correspond au nombre de momies de pucerons retrouvées divisé par le nombre de pucerons et de momies retrouvés, pour une date *t*. D'après les résultats obtenus (figure n°11A et 12A), les populations de pucerons sur feuille et sur épis ne diffèrent pas selon la distance à la haie. Cependant, un nombre significativement plus important de momies de pucerons est observé à 10 mètres par rapport à 30 mètres sur feuilles (non observé sur épis).

Sur feuilles, le taux de parasitisme est significativement plus élevé à 10 mètres qu'à 30 mètres de la haie (figure n°11B). L'évolution temporelle des pucerons et du taux de parasitisme (figure n°11C) montre que les taux de parasitisme sont similaires entre les deux distances, jusqu'à l'épiaison du blé (01 juin) puis ce dernier augmente à 10 mètres mais diminue à 30 mètres. Sur épis, ce taux ne diffère pas entre 10 et 30 mètres (figure n° 12B et C). Le taux de parasitisme est plus faible que sur feuille, en restant en général en dessous des 15%. Aucune différence du taux d'épis infestés n'est observée entre 10 et 30 mètres, avec tout de même en tendance plutôt plus d'épis infestés à 30 mètres qu'à 10 mètres (figure n°13A et B).

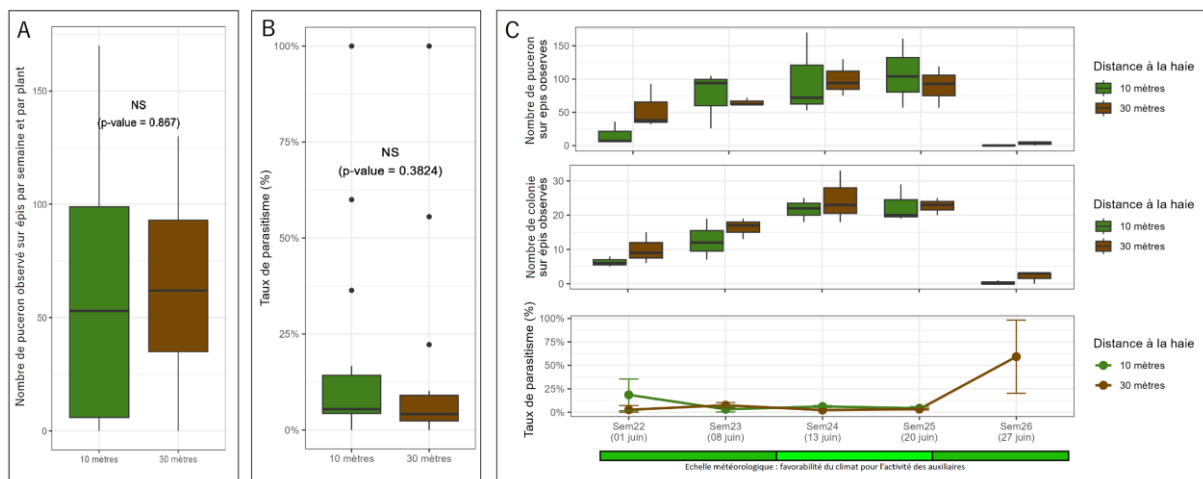


Figure n°12 : (A) Nombre de pucerons et (B) taux de parasitisme observés sur épis par semaine. (C) Suivi des effectifs de pucerons, du nombre de colonies et du taux de parasitisme observé sur épis. La moyenne et le test statistique prennent en compte uniquement les 4 semaines de suivi : correspondant au stade pâteux des épis, la semaine 26 a été exclue de la moyenne.

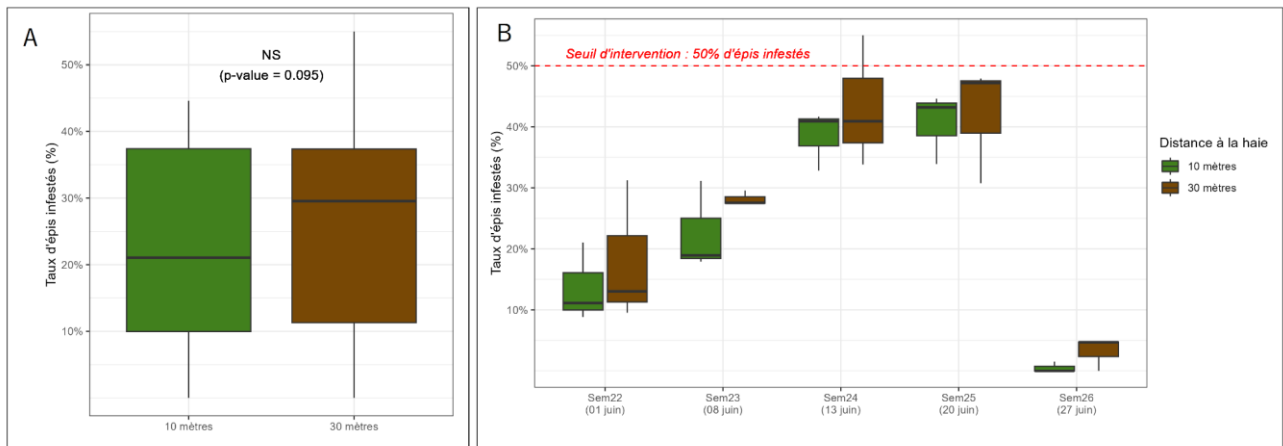


Figure n°13 : (A) Moyenne des taux d'épis infesté par semaine de capture et (B) suivi temporelle du taux d'épis infesté. La moyenne et le test statistique prennent en compte uniquement les 4 semaines de suivi (la semaine 26 a été exclue du test, car le stade pâteux du grain est dépassé).



Figure n°14 : Suivi des captures d'auxiliaire sur les neuf premières semaines de suivi des deux précédentes campagnes (2021 et 2022).

4. Discussion

4.1 - Le score de la haie influence-t-il l'abondance en auxiliaires retrouvés en son sein ?

L'analyse des tentes Malaise pour le début de la campagne de piégeage 2023 montre que la haie à faible score héberge significativement moins d'auxiliaires que la haie à haut score. Cette différence significative est également observable sur les neuf premières semaines de suivi des deux campagnes précédentes (figure n°14). Ainsi, malgré le nombre de semaines réduit pris en compte, l'hypothèse que l'abondance en auxiliaire est plus forte dans une haie à haut score par rapport à une haie à faible score est validée. Bien que les conditions météorologiques et les cultures adjacentes aient été différentes, la dynamique des captures d'auxiliaires retrouvés dans la haie à haut score est similaire pour les trois campagnes : un premier pic de capture est observé début mai puis après une diminution des piégeages, celles-ci augmentent autour du 10 juin. La dynamique globale des auxiliaires est portée majoritairement par les hyménoptères parasitoïdes, groupe le plus représenté. Une interprétation du premier pic pourrait être le début de la floraison de la strate arborée et arbustive (annexe n°4). Ayant une strate herbacée similaire entre les deux haies, la diversité de la strate arborée de la haie à haut score pourrait offrir des ressources alimentaires aux hyménoptères parasitoïdes (Boyer et al., 2017). De plus, l'effet brise vent de la haie peut permettre le vol des hyménoptères. Étant pour la plupart des insectes de taille réduite, un vent même faible peut baisser considérablement l'activité des hyménoptères (Marchand & McNeil, 2000). L'apparition du second pic pourrait correspondre à la seconde génération d'hyménoptères parasitoïdes émergeant, arrivant deux à trois semaines après le pic des captures d'hyménoptères.

4.2 - L'évaluation théorique des haies sur les groupes d'auxiliaires est-elle vérifiée ?

Les notes évaluant l'attraction de chaque groupe d'auxiliaire sont toutes plus élevées pour la haie à haut score (figure n°3). Pourtant, parmi les groupes d'auxiliaires, seuls les coccinelles et les cantharides montrent des captures plus élevées pour la haie à haut score. Pour les hyménoptères (parasitoïdes ou spéciformes), aucune hausse significative des captures n'est observée pour la haie à haut score. Cependant, les résultats des tests sont proches du seuil de significativité de 5% (inférieur à 6%) et le nombre réduit de semaines analysées peut expliquer cette absence de différence. En synthétisant les campagnes entières de 2021 et 2022, il a été

4.4 - La régulation des pucerons par les auxiliaires de culture est-elle efficace ?

On estime qu'une année sur 10 présente une quantité importante de pucerons sur épis (Arvalis, données BSV) et l'année passée a été caractérisée par une forte abondance en pucerons. Cet effet "année" se caractérise dans nos captures. La campagne d'aspiration 2023 enregistre plus de deux fois plus de pucerons par rapport aux deux campagnes d'aspiration précédentes réunies (1510 contre 674, tous pucerons confondus).

La dynamique des populations de *Sitobion avenae* suit un modèle caractéristique : elle commence par une accumulation lente puis une multiplication rapide, un ralentissement, une stagnation et enfin une diminution rapide (Larsson, 2005). Cette dynamique est retrouvée au sein des captures par aspirations (figure n°10B), laissant penser que la majeure partie des pucerons piégés sont des pucerons des céréales : une augmentation des pucerons aspirés est observable à l'apparition des épis. C'est pendant ce stade (autour du 1er juin) qu'une hausse significative des captures de pucerons à 30 mètres se fait par rapport à 10 mètres de la haie à haut score. Avec les données des observations, le taux de parasitisme peut être obtenu. Ce taux augmente à partir de l'épiaison du blé à 10 mètres et diminue à 30 mètres. Une maturation plus tardive du blé à 10 mètres de la haie n'est pas une hypothèse possible pour expliquer la différence des taux de parasitisme : tout d'abord, aucune connaissance n'évoque un décalage de floraison dans les cultures proches de la haie. De plus, aucune différence n'a été observée sur le terrain entre les deux distances. La compréhension de ce phénomène peut se faire à partir du suivi du nombre de pucerons observés et du nombre de colonies (figure n°11C). En comparant les captures de la semaine 21 et 22, le nombre de pucerons réduit fortement sur feuilles pendant que le nombre de colonies reste équivalent, pour les observations à 10 mètres. A 30 mètres, le nombre de pucerons observés et le nombre de colonies diminuent avec la même dynamique. Cette diminution est due à la montée des pucerons sur épis. Ceci explique pourquoi plus de pucerons sont observés sur feuille pendant cette période à 10 mètres : les colonies de pucerons étant déjà parasitées, elles ne montent pas sur les épis mais peuvent être comptabilisées, le temps du développement du parasitoïde dans le puceron. Cette interprétation est une clé pour comprendre la différence significative obtenue pour les résultats des aspirations.

Pour ce qui est de l'étude des pucerons sur épis, aucun résultat n'est significatif. Ceci peut s'expliquer par le nombre réduit de semaines analysées (4). C'est également le cas pour l'étude du taux d'épis infestés, point de repère d'une nuisibilité potentielle : il est considéré que,

lorsqu'un épi sur deux est porteur d'au moins un puceron, l'intervention phytosanitaire est recommandée (Arvalis, 2011). Sur les 4 semaines de suivi, la moyenne du taux d'épis infesté est toujours supérieure à 30 mètres de la haie, semblant indiquer que moins de colonies sont observées à 10 mètres de la haie.

5. Conclusion et perspectives

En global, les captures d'auxiliaires sur deux haies de typologie bien différentes sont bien en accord avec les scores de ces deux haies. Cependant, l'attraction des staphylins ou des chrysopes n'a pas pu être démontrée par les captures de tente Malaise. D'autres méthodes pourraient être exploitées à l'avenir pour la validation des notes de ces deux groupes. Prédateurs terrestres, le pot Barber est une méthode adaptée à la capture de staphylins (De Montaigne & Robert, 2014). Pour le groupe des chrysopes, différentes méthodes de capture ont été comparées (Ábrahám et al., 2003) : la tente malaise est tout aussi efficace que le piège à aspiration et plus efficace que le piège à lumière ; les pièges à colle ont montré des captures importantes (Lucchi et al., 2017). Pour ce qui est des résultats de la campagne d'aspiration et d'observation, elle a permis d'évaluer l'impact des auxiliaires sur les populations de pucerons. Plusieurs évolutions des méthodes de captures pourraient permettre d'accroître les connaissances sur l'effet de dissémination de la haie. Cette étude s'est concentrée sur l'attraction des hyménoptères au sein des cultures, à cause de la sélectivité des méthodes de recensement. D'autres pièges permettraient de connaître l'abondance des auxiliaires ciblés par le score, comme les cuvettes jaunes pour les syrphes et les chrysopes (Boyer et al., 2017). Une évolution des protocoles d'aspiration et d'observation est également intéressante : les aspirations pourraient être effectuées le long d'un transect, situé entre 5 et 30 mètres de la haie, pour évaluer plus finement la dissémination des auxiliaires depuis les haies. Des identifications plus précises des pucerons, en distinguant *Sitobion avenae* des autres pucerons, de même pour les pucerons momifiés, permettrait une interprétation plus robuste des résultats. Il serait également intéressant d'étudier l'efficacité de la lutte biologique en automne. Contrairement au printemps, les auxiliaires de cultures ne semblent pas limiter les dégâts liés aux pucerons, notamment la transmission de virus (Roudine et al., 2023). Des analyses multivariées (AFC par exemple) peuvent être utiles pour comparer les communautés présentes au sein des haies. Cette approche permettrait de se servir des insectes comme indicateurs écologiques. Également, ces analyses permettraient d'évaluer l'influence du bosquet et de sa lisière située proche de la haie à haut score, dans les captures par tente Malaise. Les bosquets offrent une diversité d'abris, de prédateurs, de proies,

de plantes mais également du bois mort, hébergeant potentiellement des communautés d'insectes particulières, xylophages notamment.

Globalement, la continuité de cette étude sur les prochaines années est intéressante. Elle permettrait tout d'abord d'accroître les connaissances sur l'écologie des auxiliaires capturés et l'importance des haies pour leurs développements. Les cantharides restent encore méconnues à ce jour. Un travail bibliographique à leurs sujets pourrait permettre de les inclure dans le score de la haie. Dans le contexte actuel et futur lié au dérèglement climatique, les conditions biotiques et abiotiques modifieront le comportement des espèces : l'abondance et la diversité des auxiliaires de culture pourraient être modifiées, comme il a été montré pour les coccinelles (Sloggett, 2021) ; l'efficacité du parasitisme est possiblement amoindrie par des températures plus élevées et les sécheresses (Romo & Tylianakis, 2013), etc. Un autre aspect en faveur de la poursuite de l'étude est la découverte d'espèces inconnues sur le territoire lorrain, parfois d'intérêt patrimonial (annexe n°5). Les chrysopes sont un groupe encore méconnu dans la région Grand-est où seules 3 espèces avaient été recensées (Canard et al., 2006) : bien que le piégeage par tente Malaise ne soit pas optimal, 7 espèces ont été échantillonnées sur les deux précédentes années. Certains paramètres pourraient être ajoutés dans le score de la haie comme la largeur de la bande enherbée ou la présence de bois mort, d'abris et de nourritures pour les insectes saproxylophages : les sphécides sont plus nombreux dans les bordures de parcelles proches d'éléments boisés que dans les bandes enherbées simples et isolées (Le Divelec et al., 2015). La prise en compte du type de gestion pourrait être intéressante : la taille des haies permet par exemple de multiplier les sites de nidification pour les sphécides (Chaubet, 1996), l'alternance de coupe entre les deux côtés d'une haie permet le maintien de refuges (CA Puy-de-Dôme, 2018). L'intégration des bosquets pourrait être pertinente à inclure dans l'indicateur, en créant une méthodologie de notation qui diffère de celle des haies. Une compréhension du paysage et de la continuité des haies devra être étudiée dans les prochaines. Enfin, l'étude des haies ne doit pas s'arrêter à l'attraction d'auxiliaire, il faut également prendre en compte leurs attrait vis-à-vis des pucerons. En effet, des études montrent que la densité de bocage favorise l'abondance des pucerons sur blé (Al Hassan, 2012) ; *Sitobion avenae* hiberne également sur des graminées vivaces (Leather, 1993), parties intégrantes des haies.

Pour conclure, l'indicateur et la cartographie de l'exploitation sont cruciaux pour comprendre la connectivité du paysage. Comme énoncé dans la partie discussion, certains groupes comme les syrphes et les sphécides demandent de réfléchir à une échelle paysagère. La continuité des travaux sur cet indicateur est pertinente pour augmenter sa robustesse mais également comprendre la relation entre le puceron, les auxiliaires de culture et l'environnement.

Étant gestionnaire direct des haies, l'apport de connaissances est nécessaire pour aider l'agriculteur dans la gestion de son exploitation. Cet indicateur est important dans le but de sauvegarder les haies et de favoriser la biodiversité dans les territoires agricoles.

Bibliographie

- ÁBRAHAM, L., MARKO, V., & VAS, J., 2003. Investigations on a neuropteroid community by using different methods. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 38(1-2), 199-207.
- AL HASSAN, D., 2012. Rôle du paysage sur la répartition et l'abondance des pucerons et de leurs prédateurs carabiques.
- ARENA., 2020. Comment observer les pucerons et leurs auxiliaires en parcelles agricoles ?
- BALOG, A., MEHRPARVAR, M., & WEISSER, W. W., 2013. Polyphagous predatory rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) induce winged morphs in the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae). *European Journal of Entomology*, 110(1).
- BARGEN, H., SAUDHOF, K., & POEHLING, H.-M., 1998. Prey finding by larvae and adult females of *Episyrphus balteatus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 87(3), 245-254. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1998.00328.x>
- BAUDRY, J., BUNCE, R. G. H., & BUREL, F., 2000. Hedgerows: An international perspective on their origin, function and management. *Journal of Environmental Management*, 60(1), 7-22. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0358>
- BAUDRY, J., & BUREL, F., 1984. Landscape project: Remembrement: Landscape consolidation in France. *Landscape Planning*, 11, 235-241.
- BEILLOUIN, D., BEN-ARI, T., MALÉZIEUX, E., SEUFERT, V., & MAKOWSKI, D., 2021. Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Global Change Biology*, 27(19), 4697-4710. <https://doi.org/10.1111/gcb.15747>
- BOLKER, B. M., BROOKS, M. E., CLARK, C. J., GEANGE, S. W., POULSEN, J. R., STEVENS, M. H. H., & WHITE, J.-S. S., 2009. Generalized linear mixed models: A practical guide for ecology and evolution. *Trends in ecology & evolution*, 24(3), 127-135.
- BOYER, F., ULRYCH, R., SELLAM, M., & LEJEUNE, V., 2017. *Les auxiliaires des cultures—Biologie, écologie, méthodes d'observation et intérêt agronomique*. (4ième édition). ACTA édition.
- CANARD, M., MAZEL, R., & THIERRY, D., 2006. Répartition des Chrysopes en France (Neuroptera, Chrysopidae). *Bulletin de la Société entomologique de France*, 111(3), 353-366.

- CHAPELIN-VISCARDI, J.-D., TOSSER, V., MAILLET-MEZERAY, J., & Sarthou, V. , 2015. Contribution à la connaissance de la consommation de pollen par six espèces de Syrphes auxiliaires en milieux agricoles (Diptera Syrphidae). *L'Entomologiste*, 71(3), 169-178.
- CHAUBET, B., 1996. Observation sur *Pemphredon lethifera* (Schuckard) en Bretagne (Hymenoptera, Sphecidae). *Bulletin de la Société entomologique de France*, 101(2), 113-119.
- Commission, E., 2022. *Common Agricultural Policy for 2023—2027. 28 cap strategic plans at a glance* (p. 13). European Commission. https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27_fr
- CORBET, S. A., & BACKHOUSE, M., 1975. Aphid-hunting wasps : A field study of *Passaloecus*. *Transactions of the Royal Entomological Society of London*, 127(1), 11-30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1975.tb00549.x>
- CORFDIR, V., 2018. *Guide pratique des insectes et autres invertébrés des champs* (France Agricole).
- DE MONTAIGNE, A., & ROBERT, C., 2014. Guide d'élaboration d'un protocole d'observation des auxiliaires entomophages en grandes cultures. *Auximore, piloté par la Chambre d'agriculture régionale de Picardie*, 45.
- DEDRYVER, C.-A., LE RALEC, A., & FABRE, F., 2010. The conflicting relationships between aphids and men : A review of aphid damage and control strategies. *Les pucerons : modèles biologiques et ravageurs des cultures*, 333(6), 539-553. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.03.009>
- DEICHSEL, R., 2006. Species change in an urban setting—Ground and rove beetles (Coleoptera : Carabidae and Staphylinidae) in Berlin. *Urban Ecosystems*, 9(3), 161-178. <https://doi.org/10.1007/s11252-006-8588-3>
- DEUTSCH, C. A., TEWKSBURY, J. J., TIGCHELAAR, M., BATTISTI, D. S., MERRILL, S. C., HUEY, R. B., & NAYLOR, R. L., 2018. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916-919. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- DOHOKOU, K. X., 2022. Haies en milieu agricole : Impact sur les auxiliaires de culture et développement d'indicateurs (p. 45) [Mémoire de fin d'étude]. Arvalis.
- Ecosystem, A. M., 2005. *Ecosystems and human well-being : Current state and trends*.

- EILENBERG, J., HAJEK, A., & LOMER, C., 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46(4), 387-400. <https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>
- GARDARIN, A., CAPOWIEZ, Y., TEULÉ, J.-M., WETZEL, G., & HEDDE, M., 2023. Assessing ground predation by invertebrates in crops : Camera observations clarify the relevance of aphid cards and coleopteran sentinel prey. *Basic and Applied Ecology*, 71, 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.baee.2023.07.002>
- GAYUBO, S. F., GONZÁLEZ, J. A., ASÍS, J. D., & TORMOS, J., 2005. Conservation of European environments : The Spheciformes wasps as biodiversity indicators (Hymenoptera : Apoidea : Ampulicidae, Sphecidae and Crabronidae). *Journal of Natural History*, 39(29), 2705-2714.
- HARWOOD, R., HICKMAN, J., MACLEOD, A., SHERRATT, T., & WRATTEN, S., 1994. *Managing field margins for hoverflies*. 147-152.
- HELDEN, A. J., & DIXON, A. F. G., 2002. Life-cycle variation in the aphid *Sitobion avenae* : Costs and benefits of male production. *Ecological Entomology*, 27(6), 692-701. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2002.00451.x>
- HERVÉ, M., 2014. Aide-mémoire de statistique appliquée à la biologie. *Constr Son Étude Anal Résultats À Aide Logiciel R Version*, 5.
- HULLÉ, M., CHAUBET, B., TURPEAU, E., & SIMON, J.-C., 2020. Encyclop'Aphid : A website on aphids and their natural enemies. *Entomologia Generalis*, 40(1).
- IPERTI, G., 1999. Biodiversity of predaceous coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1), 323-342. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00041-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00041-9)
- JACQUES, J.-B., 2021. *Approcher une notion de paysage multifonctionnel en mettant en œuvre un travail de diagnostic biodiversité sur la station expérimentale de Saint Hilaire en Woëvre dans son territoire : Validation d'indicateurs pertinents* (p. 34) [Mémoire de fin d'étude]. Arvalis.
- LARSSON, H., 2005. A crop loss model and economic thresholds for the grain aphid, *Sitobion avenae* (F.), in winter wheat in southern Sweden. *Crop Protection*, 24(5), 397-405. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.08.011>
- LE DIVELEC, R., CHAPELIN-VISCARDI, J.-D., LABORIE, B., LARIVIÈRE, A., & TOSSER, V., 2015. *Les Hyménoptères spécides en grandes cultures, des auxiliaires méconnus*.

- Le DIVELEC, R., CHAPELIN-VISCARDI, J.-D., LABORIE, B., LARIVIÈRE, A., & TOSSER, V., 2017. *Étude des Sphécides en grandes cultures dans la moitié nord de la France : Caractérisation des communautés, évaluation du potentiel auxiliaire et mise en évidence des habitats favorables (Hymenoptera Ampulicidae, Crabronidae et Sphecidae)*. https://www.persee.fr/doc/linly_2554-5280_2017_num_86_1_17815
- Le DIVELEC, R., CHAPELIN-VISCARDI, J.-D., & LARIVIÈRE, A., 2016. Étude des Sphécides en grandes cultures dans la moitié Nord de la France : Apports entomologiques et méthodologiques (Hymenoptera Ampulicidae, Crabronidae et Sphecidae). *L'Entomologiste*, 72(2).
- LEATHER, S. R., 1993. Overwintering in six arable aphid pests : A review with particular relevance to pest management. *Journal of Applied Entomology*, 116(1-5), 217-233. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1993.tb01192.x>
- LECQ, S., LOISEL, A., BRISCHOUX, F., MULLIN, S. J., & BONNET, X., 2017. Importance of ground refuges for the biodiversity in agricultural hedgerows. *Ecological Indicators*, 72, 615-626. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.032>
- LOLADZE, I., 2014. Hidden shift of the ionome of plants exposed to elevated CO₂ depletes minerals at the base of human nutrition. *elife*, 3, e02245.
- LUCCHI, A., LONI, A., GANDINI, L. M., SCARAMOZZINO, P., IORIATTI, C., RICCIARDI, R., & SCHEARER, P., 2017. Using herbivore-induced plant volatiles to attract lacewings, hoverflies and parasitoid wasps in vineyards : Achievements and constraints. *Bulletin of Insectology*, 70(2), 273-282.
- MACWILLIAMS, J. R., CHESNAIS, Q., NABITY, P., MAUCK, K., & KALOSHIAN, I., 2023. Cowpea aphid resistance in cowpea line CB77 functions primarily through antibiosis and eliminates phytotoxic symptoms of aphid feeding. *Journal of Pest Science*, 96(2), 539-553. <https://doi.org/10.1007/s10340-022-01529-w>
- MARCHAND, D., & MCNEIL, J. N., 2000. Effects of Wind Speed and Atmospheric Pressure on Mate Searching Behavior in the Aphid Parasitoid *Aphidius nigripes* (Hymenoptera : Aphidiidae). *Journal of Insect Behavior*, 13(2), 187-199. <https://doi.org/10.1023/A:1007732113390>
- MYERS, S. S., ZANOBBETTI, A., KLOOG, I., HUYBERS, P., LEAKEY, A. D. B., BLOOM, A. J., CARLISLE, E., DIETTERICH, L. H., FITZGERALD, G., HASEGAWA, T., HOLBROOK, N. M., NELSON, R. L., OTTMAN, M. J., RABOY, V., SAKAI, H., SARTOR, K. A., SCHWARTZ, J., SENEWEERA, S., TAUSZ, M., & USUI, Y., 2014. Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature*, 510(7503), 139-142. <https://doi.org/10.1038/nature13179>
- NAVARRETE-HEREDIA, J. L., CORONADO-BLANCO, J. M., RUÍZ-CANCINO, E., NIÑO-MALDONADO, S., & VILLANUEVA-ALANÍS, B., 2020. Staphylinidae

- (Coleoptera) at Acahualtes, Tula, Tamaulipas, Mexico, collected by Malaise traps and a checklist of species recorded for the State. *Southwestern Entomologist*, 45(1), 161-168.
- OHTA, I., & HONDA, K., 2010. Use of Sitobion akebiae (Hemiptera : Aphididae) as an alternative host aphid for a banker-plant system using an indigenous parasitoid, Aphidius gifuensis (Hymenoptera : Braconidae). *Applied Entomology and Zoology*, 45(2), 233-238. <https://doi.org/10.1303/aez.2010.233>
- OLIVEIRA, S., AUAD, A. M., SOUZA, B., FONSECA, M. das G., & RESENDE, T. T., 2012. Population dynamics of Chrysoperla externa (Hagen)(Neuroptera : Chrysopidae) in a silvopastoral system. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 4(4), 179-182.
- PFIFFNER, L., & LUKA, H., 2000. Overwintering of arthropods in soils of arable fields and adjacent semi-natural habitats. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 78(3), 215-222. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00130-9)
- POINTEREAU, P., 2002. *Les haies : Évolution du linéaire en France depuis quarante ans*.
- REYNOLDS, D. R., 1999. Capnodium citri : The sooty mold fungi comprising the taxon concept. *Mycopathologia*, 148(3), 141-147. <https://doi.org/10.1023/A:1007170504903>
- RODRÍGUEZ, C., & WIEGAND, K., 2009. Evaluating the trade-off between machinery efficiency and loss of biodiversity-friendly habitats in arable landscapes : The role of field size. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(4), 361-366. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.10.010>
- ROMO, C. M., & TYLIANAKIS, J. M., 2013. Elevated temperature and drought interact to reduce parasitoid effectiveness in suppressing hosts. *PloS One*, 8(3), e58136. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058136>
- ROUDINE, S., LE LANN, C., BOUVAINE, S., LE RALEC, A., & VAN BAAREN, J., 2023. Can biological control be a strategy to control vector-borne plant viruses? *Journal of Pest Science*, 96(2), 451-470. <https://doi.org/10.1007/s10340-022-01587-0>
- RUSCH, A., CHAPLIN-KRAMER, R., GARDINER, M. M., HAWRO, V., HOLLAND, J., LANDIS, D., THIES, C., TSCHARNTKE, T., WEISSER, W. W., WINQVIST, C., WOLTZ, M., & BOMMARCO, R., 2016. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control : A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 198-204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>
- SADEGHI, N., & HUSSEINI, M., 2009. The effects of collection methods on species diversity of family Syrphidae (Diptera) in Neyshabur, Iran. *Journal of Agricultural science and Technology*, 11(5), 521-526.

- SANN, M., NIEHUIS, O., PETERS, R. S., MAYER, C., KOZLOV, A., PODSIADLOWSKI, L., BANK, S., MEUSEMANN, K., MISOF, B., BLEIDORN, C., & OHL, M., 2018. Phylogenomic analysis of Apoidea sheds new light on the sister group of bees. *BMC Evolutionary Biology*, 18(1), 71. <https://doi.org/10.1186/s12862-018-1155-8>
- SARTHOU, J.-P., OUIN, A., ARRIGNON, F., BARREAU, G., & BOUYJOU, B., 2005. Landscape parameters explain the distribution and abundance of *Episyrphus balteatus* (Diptera : Syrphidae). *European Journal of Entomology*, 102(3), 539.
- SARTHOU, J.-P., SARTHOU, V., & SPEIGHT, M. C. D., 2021. Clé des 88 genres de Diptères Microdontidae et Syrphidae d'Europe occidentale. *Les cahiers scientifiques du Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France*, 60.
- SCHMIDT, M. H., LAUER, A., PURTAUF, T., THIES, C., SCHAEFER, M., & TSCHARNTKE, T., 2003. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1527), 1905-1909. <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2469>
- SEBIOREF, P., 2017. *Connaître la biodiversité utile à l'agriculture pour raisonner ses pratiques—Fiche 5 : Syrphes* (p. 4). Chambre d'agriculture d'Occitanie. DOI : 10.15454/1.5232663886421606E12
- SHLYAKHTENOK, A., 2000. Effectiveness of Malaise-Traps for collection of wasps (Hymenoptera : Aculeata). *Pakistan Journal of Zoology*, 32(1), 45-48.
- SLOGGETT, J. J., 2021. Aphidophagous ladybirds (Coleoptera : Coccinellidae) and climate change: A review. *Insect Conservation and Diversity*, 14(6), 709-722. <https://doi.org/10.1111/icad.12527>
- STELZL, M., & DEVETAK, D., 1999. Neuroptera in agricultural ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1), 305-321. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00040-7)
- STEVENS, M., & LACOMME, C., 2017. Transmission of plant viruses. *Aphids as crop pests*, Ed. 2, 323-361.
- TENHUMBERG, B., 1995. Estimating Predatory Efficiency of *Episyrphus balteatus* (Diptera : Syrphidae) in Cereal Fields. *Environmental Entomology*, 24, 687-691. <https://doi.org/10.1093/ee/24.3.687>
- VANBERGEN, A. J., & INITIATIVE, the I. P., 2013. Threats to an ecosystem service : Pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5), 251-259. <https://doi.org/10.1890/120126>

- WÄCKERS, F. L., & VAN RIJN, P. C. J., 2012. Pick and Mix : Selecting Flowering Plants to Meet the Requirements of Target Biological Control Insects. In *Biodiversity and Insect Pests* (p. 139-165). <https://doi.org/10.1002/9781118231838.ch9>
- WHITFIELD, J., 1998. Phylogeny and evolution of host-parasitoid interactions in Hymenoptera. *Annual review of entomology*, 43, 129-151. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.129>
- WRATTEN, S. D., BOWIE, M. H., HICKMAN, J. M., EVANS, A. M., SEDCOLE, J. R., & TYLIANAKIS, J. M., 2003. Field boundaries as barriers to movement of hover flies (Diptera : Syrphidae) in cultivated land. *Oecologia*, 134, 605-611.
- WRIGHT, A. F., 1998. Parasitic wasps. By D.J.L. Quicke (London : Chapman & Hall, 1997). Xvi + 470 pp. Hard cover £65.00. ISBN 0412 58350 X. *Bulletin of Entomological Research*, 88(5), 576-576. <https://doi.org/10.1017/S0007485300026110>

Cyber-webographie

- ARVALIS, 2011 (page consultée le 01 juillet 2023). *Puceron de l'épi—Sitobion avenae*. http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=fa&type_cul=1&type_acc=3&id_acc=37
- JANICKI, J., DICKIE, G., & CHOWDHURY, J., 2023 (page consultée le 08 juillet 2023). *The collapse of insects*. <https://www.reuters.com/graphics/GLOBAL-ENVIRONMENT/INSECT-APOCALYPSE/egpbykdxjvq/>
- JOSEPH, C., DELATTRE, D., & SARTHOU, J., 2018 (page consultée le 09 juillet 2023). Auxiliaires des cultures : Définition. *Dictionnaire d'Agroécologie*, <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/auxiliaires-des-cultures/>
- TURPEAU, E., HULLÉ, M., & CHAUBET, B., 2010 (page consultée le 09 juillet 2023). *Pucerons et agriculture—Dégâts indirects*. <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Pucerons-et-agriculture/Degats/Degats-indirects>

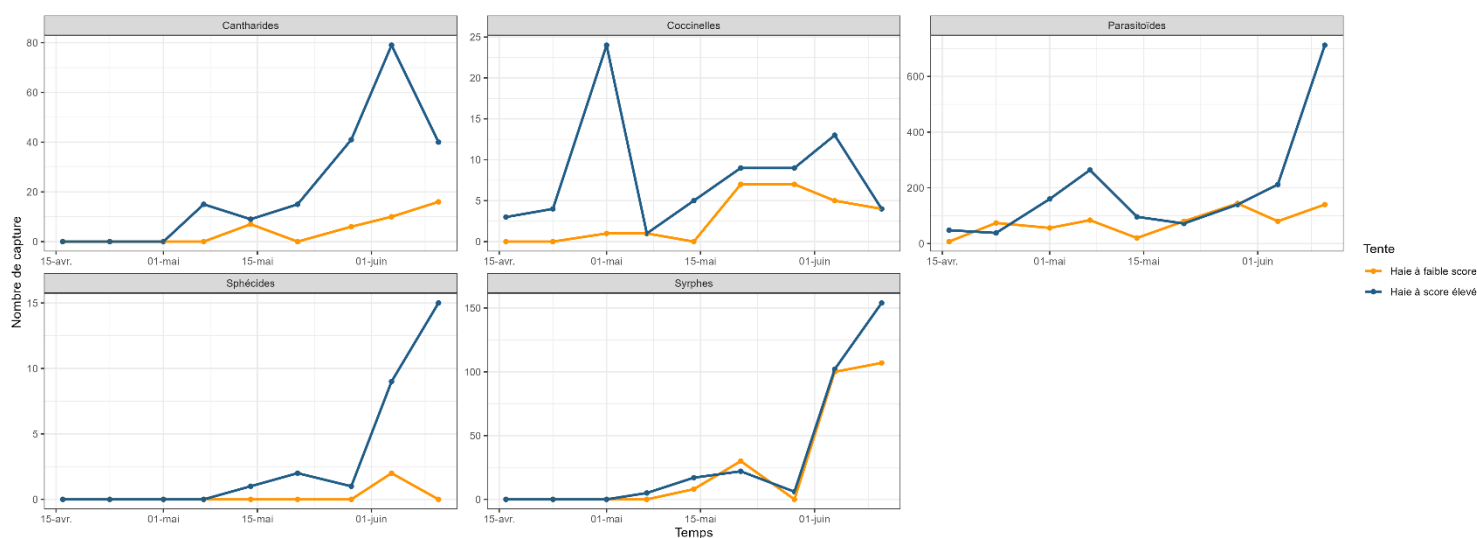
Annexes

Code	Typologie	Coefficient
H1	Haie disparue	0,25
H2	Lisière enherbée avec clôture	0,5
H3	Haie relictuelle	0,5
H4	Alignement arborée	0,75
H5	Haie taillée en sommet et façade	0,5
H5b	Haie arborée taillée en sommet et façade	1
H6	Haie arbustive haute	1,25
H7	Haie multistrates	1,5
H8	Haie récente	0,5
H9	Haie urbaine	1
H10	Haie abandonnée	1,25

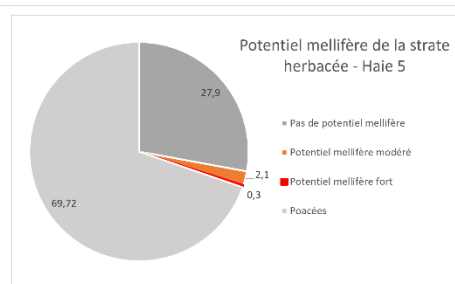
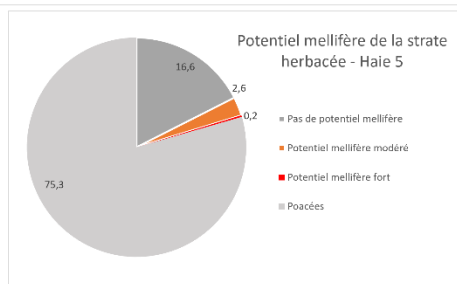
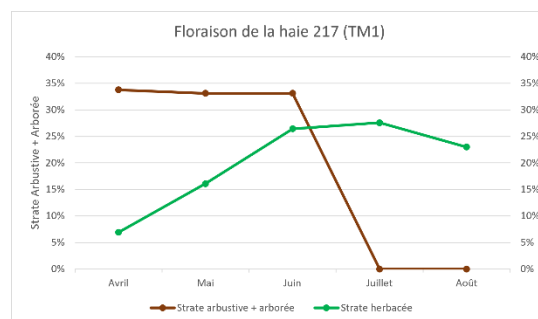
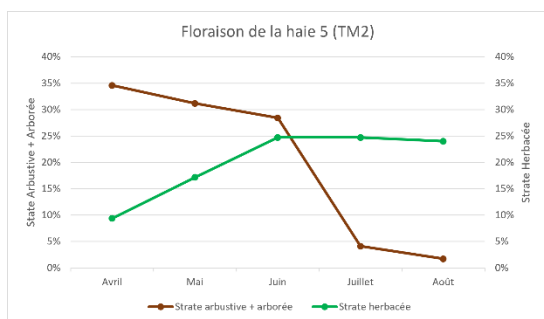
Annexe n°1 : Coefficient attribués en fonction de la typologie de la haie. Ces coefficients ont été déterminés lors de la campagne 2021 (Jacques, 2021)

Semaine	Date	Heure	Observateur	Stade colza	Stade blé	Temp (°C)	Vent	Pluie	Couverture nuageuse	Hydrographie	psée sur végétati	Avis observateur
16	21/04/2023	11h - 12h30	RF + RB	64	32	11,5	Absent	Absente	0 à 33%	60,4%	Humide	Conditions défavorables
17	29/04/2023	13h30 - 15h30	RF	65	33	13,5	Faible	Absente	100%	Na	Légère	Conditions peu favorables
18	03/05/2023	14h30-16h30	RF	65	33	19,5	Moyen	Absente	0 à 33%	Na	Absente	Conditions favorables
19	08/05/2023	14h - 16h30	RF	65	34	16	Faible	Absente	66 à 100%	70%	Absente	Conditions peu favorables
20	15/05/2023	13h-16h	RF	66	39	20,2	Faible	Légère	33 à 66%	54,5%	Absente	Conditions peu favorables
21	24/05/2023	13h30 - 15h30	RF	71	46	19,2	Faible	Absente	0 à 33%	37,5%	Absente	Conditions favorables
22	01/06/2023	13h30 - 16h	RF + FW	72	63	28,2	Absent	Absente	0 à 33%	30,5%	Absente	Conditions optimales
23	08/06/2023	13h30 - 16h30	RF	75	66	28,2	Faible	Absente	33 à 66%	35,5%	Absente	Conditions optimales
24	13/06/2023	13h30-17h	RF	78	69	29,1	Moyen	Absente	0 à 33%	22,4%	Absente	Conditions optimales
25	20/06/2023	13h30 - 16h30	RF	81	72	27,1	Faible	Légère	66 à 100%	36,2%	Absente	Conditions peu favorables
26	27/06/2023	13h30 - 15h	RF + MH	85	75	22,1	Faible	Absente	33 à 66%	36,5%	Absente	Conditions optimales
27	07/07/2023	13h- 14h	RF	89	85	26,2	Faible	Absente	0 à 33%	32,4%	Absente	Conditions optimales

Annexe n°2 : Conditions météorologiques pour les dates de capture des aspirations et des observations. En plus des conditions météorologiques (température, vent, ...) s'ajoute d'autres données : l'observateur (RF = Rafaël Faget, RB = Romain Blazy, FW = Florian Weber, MH = Mailysa Hoff), le stade du blé et du colza (suivant les stades BBCH) et l'avis de l'observateur (relatif à ce dernier).



Annexe n°3 : Courbe de suivi des captures d'auxiliaire par tente malaise pour la campagne 2023 (9 semaines). Globalement, les captures dans la haie à haut score sont plus nombreuses que dans la haie à faible score.



Annexe n°4 : Composition de la strate herbacée dans les deux haies et la floraison théorique de la strate arborée et herbacée. La composition de la strate herbacée est semblable entre les deux haies : le pourcentage de Poacées est similaire entre les deux haies.

Ordre	Famille	Espèce	Statuts
Coleoptera	Anthribidae	<i>Dissolucas niveirostris</i> (Fabricius, 1798)	SIQF + ZNIEFF
Coleoptera	Anthribidae	<i>Platystomos albinus</i> (Linnaeus, 1758)	SIQF
Coleoptera	Anthribidae	<i>Tropideres albirostris</i> (Schaller, 1783)	SIQF + ZNIEFF
Coleoptera	Buprestidae	<i>Anthaxia nitidula</i> (Linnaeus, 1758)	ZNIEFF
Coleoptera	Cerambycidae	<i>Anoplopera sexguttata</i> (Fabricius, 1775)	SIQF
Coleoptera	Cerambycidae	<i>Calamobius filum</i> (Rossi, 1790)	ZNIEFF
Coleoptera	Cerambycidae	<i>Rhagium sycophanta</i> (Schrank, 1781)	SIQF
Coleoptera	Cerambycidae	<i>Ropalopus femoratus</i> (Linnaeus, 1758)	SIQF
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773)	EXO
Coleoptera	Eucnemidae	<i>Dromaeolus barnabita</i> (A. Villa & J.B. Villa, 1838)	SIQF + ZNIEFF
Coleoptera	Eucnemidae	<i>Microrhagus lepidus</i> Rosenhauer, 1847	SIQF
Diptera	Syrphidae	<i>Baccha elongata</i> (Fabricius, 1775)	ND
Diptera	Syrphidae	<i>Brachypalpus laphriformis</i> (Fallén, 1816)	R
Diptera	Syrphidae	<i>Chalcosyrphus nemorum</i> (Fabricius, 1805)	ND
Diptera	Syrphidae	<i>Cheilosia cf. fraterna</i>	(ND)
Diptera	Syrphidae	<i>Cheilosia proxima</i> (Zetterstedt, 1843)	ND
Diptera	Syrphidae	<i>Cheilosia scutellata</i> (Fallén, 1817)	NR + ND
Diptera	Syrphidae	<i>Cheilosia vernalis</i> (Fallén, 1817)	ND
Diptera	Syrphidae	<i>Chrysotoxum cautum</i> (Harris, 1778)	NR + ND
Diptera	Syrphidae	<i>Chrysotoxum festum</i> (Linnaeus, 1758)	ND
Diptera	Syrphidae	<i>Dasysyrphus albobristatus</i> (Fallén, 1817)	NR + ND
Diptera	Syrphidae	<i>Doros profuges</i> (Harris, 1780)	ZNIEFF + R + ND
Diptera	Syrphidae	<i>Paragus albifrons</i> (Fallén, 1817)	ERLH + NR + ND
Diptera	Syrphidae	<i>Paragus quadrfasciatus</i> Meigen, 1822	NR + ND
Diptera	Syrphidae	<i>Parasyrphus punctulatus</i> (Verrall, 1873)	ND
Diptera	Syrphidae	<i>Pipiza noctiluca</i> (Linnaeus, 1758)	ND
Diptera	Syrphidae	<i>Pipiza notata</i> Meigen, 1822	NR + ND
Diptera	Syrphidae	<i>Pipizella viduata</i> (Linnaeus, 1758)	ND
Diptera	Syrphidae	<i>Platycheirus ambiguus</i> (Fallén, 1817)	NR + ND
Diptera	Syrphidae	<i>Platycheirus fulviventris</i> (Macquart, 1829)	NR + ND
Diptera	Syrphidae	<i>Rhingia rostrata</i> (Linnaeus, 1758)	ZNIEFF + R + ND

Annexe n°5 : Liste non exhaustive d'espèces d'intérêt capturés par tente Malaise. Statuts : PR = espèce protégée au niveau régional ; ERLH = European Red List of Hoverflies (Liste Rouge Européenne des Syrphes) ; LRR(VU) = classée « vulnérable » sur Liste Rouge Régionale ; ZNIEFF = espèce déterminante des ZNIEFF ; SIQF = saproxylique indicateur de la qualité des forêts ; R = espèces assez rare à très rare ; NR = nouvelle pour la région ; ND = nouvelle pour le département ; EXO = espèce exotique.

Résumé

Dans le cadre de la transition agroécologique entreprise par Arvalis, l'accroissement des connaissances sur la lutte biologique est nécessaire, dans le but de réduire les insecticides chimiques. Dans la continuité de l'étude entreprise depuis 2020, ce rapport vise à valider un indicateur des haies sur leurs potentiels attractifs en auxiliaires de culture volant, intervenant dans la régulation du puceron des céréales (*Sitobion avenae*). La campagne de capture par tente Malaise a permis de valider la notation de deux haies cibles, bien distinctes par leurs typologies et leurs compositions floristiques. L'effet de la haie au sein de la culture a également été testé : les hyménoptères (auxiliaires) ont été plus abondants dans les captures par aspiration. L'année a été caractérisée par des populations nombreuses en puceron. L'étude du taux de parasitisme a montré un parasitisme plus fort sur les pucerons à 10 mètres par rapport à 30 mètres, proche d'une haie à haut score.

Mots clés : indicateur ; auxiliaire de culture ; haies ; *Sitobion avenae* ; parasitisme

Abstract

As part of the agro-ecological transition undertaken by Arvalis, increased knowledge of biological control is necessary, with the aim of reducing chemical insecticides. In the continuity of the study undertaken since 2020, this report aims to validate an indicator of hedges on their attractive potential as flying crop auxiliaries, intervening in the regulation of the cereal aphid (*Sitobion avenae*). The Malay tent capture campaign validated the notation of two target hedges, very distinct in their typologies and their floristic compositions. The effect of the hedge within the culture was also tested: Hymenoptera (helpers) were more abundant in the captures by aspiration. The year was characterized by numerous aphid populations. The study of the parasitism rate showed stronger parasitism on aphids at 10 meters compared to 30 meters, close to a high-score hedge.

Keywords : indicator; cultivation aid; hedges; *Sitobion avenae*; parasitism