

Rapport de stage

Master 2 Sciences et Technologies de l'Agriculture, de l'Alimentation et de
l'Environnement

Parcours Sciences Agronomiques et Environnementales

**Haies en milieu agricole : impact sur les auxiliaires de culture et développement
d'indicateurs**

Présenté par Komla Xola DOHOKOU

Tutrice :

Pascaline PIERSON,
Responsable de la station SHW
ARVALIS - Institut du végétal

Professeur Référente :

Isabelle SOUSTRE GACOUGNOLLE

Période : Février-Juillet 2022

Année universitaire : 2021-2022

Table des matières

Remerciement	5
Résumé	6
Liste des abréviations et définitions	7
Introduction	1
1-Cadre de l'étude	2
1-1- Présentation de l'organisme d'accueil et du site du stage.....	3
1-1-1- L'organisme d'accueil	3
1-1-2- Site du stage.....	4
2. Contexte et problématique de l'étude	4
2.1. Biodiversité fonctionnelle et auxiliaires de culture	4
2.2. Les ennemis naturels des ravageurs en grandes cultures	5
2.2.1. Les coccinelles	6
2.2.2. Les chrysopes	6
2.2.3. Les syrphes	7
2.2.4. Les hyménoptères parasitoïdes.....	7
2.2.5. Les staphylins	7
2.2.6. Les sphécides.....	7
2.3. Rôle des infrastructures agroécologiques dans la biodiversité fonctionnelle	8
2.4. Problématique de l'étude	9
3. Matériel et méthode	10
3.1. Les travaux déjà réalisés en lien avec le sujet.....	10
3.2. Indicateur à faire évoluer : indicateur à scoring.....	10
3.2.1. Score initial	11
3.2.2. Pondération avec le coefficient typologique	11
3.2.3. Pondération avec le coefficient d'abondance.....	11
3.2.4. Score final par l'indicateur à scoring	11
3.3. Les haies suivies	12
3.4. Méthodologie de collecte d'insectes	14
3.5. Campagne de piégeage	14
3.5.1. Piégeage par tente Malaise	15
3.5.2. Collecte par aspiration.....	15
3.5.3. Observation visuelle	16
3.6. Analyse statistique des données	17
4-Résultats	17
4.1. Les conditions climatiques lors de la campagne.....	17
4.2. Résultat du piégeage par tentes Malaise	17
4.2.1 Répartition des captures selon les tentes Malaise	17

4.2.2 Evolution des captures durant la campagne	18
4.2.3 Lien entre le score et les captures par auxiliaire	19
4.3. Résultat du piégeage par aspiration	19
4.3.1 Auxiliaires spécialistes aspirés durant la campagne	19
4.3.2 Evolution des captures selon les distances d'aspiration.....	20
4.4. Comparaison de 2021 et 2022.....	21
5-Discussion	23
Conclusion et perspectives	25
Références bibliographiques.....	26
Annexes	29

Liste des figures :

Figure 1: Cartographie des éléments paysagers caractérisés dans un rayon de d'1 km autour de l'exploitation.....	9
Figure 2 : Démarches abandonnée (2a) et retenue (2b) aboutissant au calcul du score final de la haie	12
Figure 3: Emplacement des tentes Malaise et des aspirations. Le triangle 1 correspond à l'emplacement des dispositifs près de la haie à faible score, le triangle 2 correspond à l'emplacement des dispositifs près de la haie à haut score	13
Figure 4: Haie à faible score (a, TM1 dans la suite du texte), Haie à haut score (b, TM2 dans la suite du texte)	14
Figure 5: Photo de la TM2, la flèche indique le sens du vent dominant	15
Figure 6: Plan du dispositif aspiration et observation visuelle près de la haie à faible score (TM1, à gauche) et de la haie à haut score (TM2, à droite).	16
Figure 7: Evolution de la température et la pluviométrie durant la campagne.....	17
Figure 8: Répartition du total des auxiliaires capturés par tente Malaise.....	18
Figure 9: Evolution des captures en fonction des dates de relevés	18
Figure 10: Lien entre le score et les captures par auxiliaires.....	19
Figure 11: Total des auxiliaires aspirés selon les haies	19
Figure 12: La moyenne des auxiliaires capturés en fonction de la distance à la haie	20
Figure 13 : Evolution du total des auxiliaires et des pucerons aspirés dans la parcelle de blé, haie faible score.....	21
Figure 14: Comparaison des données météorologiques de 2021 et 2022	22
Figure 15: Comparaison entre les aspirations de 2021 et celles de 2022 à différentes distances de la haie à faible score (Parcelles en blé).	23

Remerciement

La réalisation d'une recherche scientifique est loin d'être le fruit du travail d'une seule personne. 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 pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser ce stage sur un sujet aussi passionnant, pour l'aide et les directives sans cesse renouvelées durant tout le stage.

Je tiens également à remercier Romain BLAZY pour tout le temps accordé, ainsi que toute l'équipe d'Arvalis Saint-Hilaire-en-Woëvre pour leur accueil et leur conseil.

Mes sincères remerciements sont également exprimés à Jonathan MARKS-PERREAU pour sa disponibilité et ses consignes pour la réussite de ce travail ; à Xavier MESMIN pour m'avoir apporté les clefs nécessaires à l'analyse statistique de mes données. Enfin je tiens à remercier Jean-David CHAPELIN-VISCARDI pour la mise en place de la campagne de piégeage et pour l'identification de mes insectes.

Résumé

L'agroécologie, en mettant en avant des solutions basées sur la nature, contribue à renvoyer une image positive vers les consommateurs, intéressés de plus en plus par les méthodes de production agricole et leur impacts environnementaux. La diversification des cultures et la mise en place des infrastructures agroécologiques préconisées par l'agroécologie renforcent la biodiversité fonctionnelle et contribuent ainsi à réduire l'utilisation des produits chimiques de synthèse dans la lutte contre les ravageurs des cultures. La recherche agronomique s'investit dans l'évaluation du rôle de la biodiversité fonctionnelle et le service offert à l'agriculteur dans la régulation naturelle des ravageurs. Cette évaluation nécessite de disposer d'indicateurs de prise de décision.

Dans ce travail, nous avons poursuivi le développement d'un indicateur à scoring pour apprécier le potentiel auxiliaire des haies présentes dans un rayon d'1 km autour de l'exploitation. Nous nous sommes particulièrement focalisés sur l'intégration de la strate herbacée dans le calcul de cet indicateur, ainsi que sur l'intégration de la diversité spécifique de la haie.

En parallèle, des collectes d'insectes ont été faites à proximité de deux haies particulièrement contrastées (l'une peu diversifiée, l'autre très diversifiée) pour évaluer l'effet de cette diversité sur les auxiliaires de culture. Le dispositif de piégeage d'insectes par tente Malaise va permettre de tester la fiabilité de cet indicateur. Le piégeage par aspiration va contribuer à améliorer les connaissances sur la dissémination des auxiliaires dans les parcelles agricoles accolées aux haies.

Abstract

Agroecology, by putting forward nature-based solutions, contributes to sending a positive image to consumers, who are increasingly interested in agricultural production methods and their environmental impacts. Crop diversification and the establishment of agroecological infrastructures advocated by agroecology strengthen functional biodiversity and thus contribute to reducing the use of synthetic chemicals in the control of crop pests. Agronomic research is involved in the evaluation of the role of functional biodiversity and the service offered to the farmer in the natural regulation of pests. This assessment requires decision-making indicators. In this work, we continued the development of a scoring indicator to assess the auxiliary potential of hedges within a radius of 1 km around the farm. We have particularly focused on the integration of the herbaceous stratum in the calculation of this indicator, as well as on the integration of the specific diversity of the hedge. In parallel, insect collections were made near two particularly contrasting hedges (one little diversified, the other very diverse) to assess the effect of this diversity on crop auxiliaries. The malaise tent insect trapping device will test the reliability of this indicator. Trapping by suction will help to improve knowledge on the spread of auxiliaries in agricultural plots adjacent to hedgerows.

Liste des abréviations et définitions

- IAE :** Infrastructures Agroécologiques. Elles sont définies comme des espaces semi- naturels ne recevant aucun traitement pesticide ni aucune fertilisation, qu'elle soit chimique ou organique. Elles peuvent être des haies, des prairies permanentes, des surfaces boisées, herbacées, des jachères mellifères, des mares, fossés humides, murets, ...
- INRAE :** Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement. Il œuvre pour accroître, transmettre et mobiliser les connaissances, les technologies et les savoir-faire afin d'éclairer et de servir les transitions des systèmes agricoles et alimentaires et la préservation de l'environnement.
- SHW :** Village de Saint Hilaire en Woëvre situé dans le département de la Meuse
- Auxiliaire de cultures :** Organisme vivant qui tue un organisme nuisible ; on parle également d'ennemi naturel des nuisibles. Il peut être soit prédateur (il consomme le nuisible) soit parasitoïde (il effectue une partie de son développement au dépend d'un hôte et cet hôte en meurt obligatoirement).
- Haie :** Une haie est un alignement d'arbres, d'arbustes, de ronces, de branchages, servant à délimiter un champ, un jardin...Elle sert également à protéger du vent par exemple, et peut abriter des animaux.
- Strate arborée :** Alignement d'arbres de plus de 7 m de hauteur
- Strate arbustive :** Alignement d'arbustes dont la hauteur est comprise entre 1 et 7 m
- Strate herbacée :** Cortège floristique non ligneux, lisière sous-bois (0-1.5m) ; elle peut être spontanée ou semée.
- Services écosystémiques :** Ce sont des services gratuits, rendus aux humains par les écosystèmes. Ces services sont classés en 4 grandes catégories : des services d'approvisionnement, de support, de régulation et des services culturels.

Introduction

L'agriculture contemporaine est soumise à trois grands défis : produire plus pour satisfaire les besoins alimentaires de la population sans cesse croissante, augmenter la résilience des systèmes de production agricole face aux changements climatiques, et produire autrement pour répondre aux attentes d'un public de plus en plus sensibilisé à sa santé et aux risques environnementaux.

L'agroécologie, par sa manière de concevoir les systèmes de production en s'appuyant sur les diverses fonctionnalités offertes par les écosystèmes, suscite dès lors un intérêt capital. Elle vise à préserver les ressources naturelles, à diminuer la pression sur l'environnement par la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la limitation du recours aux produits phytosanitaires (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, 2013).

Dans sa pratique, elle préconise la diversité dans les systèmes de production agricole comme la diversification des cultures et l'implantation d'infrastructures agroécologiques. La mise en place de ces dernières, favorise la biodiversité fonctionnelle et peut aider à réduire la pression des bioagresseurs des cultures (Veres *et al.*, 2013) à l'échelle d'un paysage agricole par la conservation des auxiliaires (Villenave-Chasset, 2020).

Pour évaluer à quel point la biodiversité fonctionnelle d'une exploitation agricole peut permettre de limiter l'utilisation des pesticides de synthèse dans la lutte contre les ennemis des cultures, il est nécessaire de disposer d'indicateurs de prise de décision.

Depuis 2020, les travaux sur une meilleure compréhension de la biodiversité fonctionnelle volante à l'échelle de l'exploitation sur la station de Saint Hilaire en Woëvre (SHW) ont permis d'explorer des indicateurs pour caractériser les infrastructures à l'échelle du paysage (Lepage, 2020) et d'initier la méthodologie de construction d'un nouvel indicateur à scoring sur les haies (Jacques, 2021). Parmi les infrastructures agroécologiques, les haies jouent en effet un rôle déterminant vis-à-vis du potentiel d'accueil des auxiliaires.

Cette présente étude a pour objectif de poursuivre la construction de ce nouvel indicateur à scoring applicable aux haies en milieu agricole en évaluant leur attractivité par une note auxiliaire. Il s'agit d'étudier le potentiel auxiliaire de la strate herbacée complémentaire à la strate arbustive qui la compose.

Le dispositif de piégeage d'auxiliaires par tente Malaise contribuera à évaluer la fiabilité de cet indicateur. Le piégeage par aspiration permettra de compléter cette évaluation et donnera des indications sur la dissémination des auxiliaires dans les parcelles agricoles à proximité d'une haie.

1-Cadre de l'étude

L'augmentation des surfaces cultivables grâce à la mécanisation et le recours aux intrants a permis d'augmenter fortement les rendements des cultures depuis le milieu du XXème siècle. Toutefois, les pesticides de synthèse, ont entraîné des conséquences négatives diverses sur la santé humaine (Baldi *et al.*, 2013), sur l'environnement ainsi que sur la biodiversité.

Dans ce contexte, une recherche de solutions alternatives à de tels produits passe par le développement de solutions s'inspirant des pratiques agroécologiques à la fois performantes et durables favorisant les régulations naturelles par une meilleure connaissance des auxiliaires des cultures et des services qu'ils rendent (Boyer *et al.*, 2017).

En tenant compte de la nature multifonctionnelle de l'agriculture, l'agroécologie permet de mesurer la durabilité en termes d'impacts sociaux, environnementaux et économiques. Elle met en avant la biodiversité fonctionnelle, renforce la régulation biologique, intègre toutes les composantes d'un écosystème, afin de concilier de façon durable les enjeux sociaux, économiques et environnementaux (Shaller, 2013)

Afin de réduire l'impact des produits phytopharmaceutiques sur la santé des consommateurs et sur l'environnement, le plan Ecophyto II+, s'est fixé l'objectif de les réduire de 50% d'ici à 2025. Il a dès lors suscité l'intérêt des agriculteurs et des instituts du monde agricole qui travaillent activement à la recherche des pratiques agroécologiques favorisant les ennemis naturels dans la lutte contre les ravageurs de cultures.

Les agriculteurs eux-mêmes, afin de répondre aux exigences des consommateurs et de protéger leur santé, affichent au-delà d'une rentabilité économique, une volonté de réduire l'utilisation des intrants chimiques. En restant dans la logique de ce Plan Ecophyto II+ et dans les recommandations des Politiques Agricoles Communes, les agriculteurs se motivent dans la mise en place au sein de leurs parcelles, d'éléments semi- naturels qui constituent des zones refuges pour les auxiliaires de culture afin de bénéficier de leur service écosystémique de régulation.

Le service écosystémique de régulation permet de réguler les ravageurs des cultures par leurs ennemis naturels, naturellement présents dans un agroécosystème. C'est un service important dont la mobilisation efficace permettrait de réduire l'utilisation des pesticides (Wilby & Thomas, 2002 ; Fiedler *et al.*, 2008).

Les instituts de recherches s'investissent également dans les pratiques agroécologiques. L'INRAE conçoit l'agroécologie comme une discipline intégrant plusieurs secteurs : l'écologie, l'agronomie, la sociologie, les connaissances locales ou traditionnelles, la durabilité des systèmes de production ou des systèmes alimentaires, la biodiversité, la transdisciplinarité, etc (Wezel *et al.*, 2018). Elle vise à valoriser les processus biologiques pour couvrir à la fois les attentes de

production et l'ensemble des autres services écosystémiques fournis par les agrosystèmes. Les systèmes agroécologiques vont davantage dépendre d'effets de voisinage ainsi que des éléments du paysage. Leur gestion devra donc prendre en compte des étendues spatiales supérieures à celles de la parcelle ou de l'exploitation, paysage et territoire (Caquet *et al.*, 2020).

L'institut technique Arvalis s'est donné comme cadre de référence, l'agroécologie dans son projet d'entreprise 2025. Pour cela, ses activités d'acquisition de référence, d'innovation et de renforcement des bonnes pratiques agricoles se multiplient sur chacun de ses 27 sites expérimentaux sur l'ensemble du territoire français.

Sur la station expérimentale de Saint Hilaire en Woëvre, dont la particularité est d'être une ferme de polyculture élevage grandeur nature, l'institut a engagé une réflexion de transition agroécologique depuis 2016 et approfondit depuis 2 ans sa volonté de s'intéresser plus spécifiquement à la biodiversité.

Le site est engagé en tant qu'observatoire piloté dans le réseau DEPHY EXPE ECOPHYTO afin d'accompagner la transition des systèmes agricoles et favoriser le développement des modes de production plus agroécologiques mettant en avant le système polyculture élevage et l'utilisation des produits phytosanitaires en dernier recours.

1-1- Présentation de l'organisme d'accueil et du site du stage

J'ai eu l'honneur de faire ce stage de 26 semaines (du 1^{er} février au 29 juillet 2022) à Arvalis-Institut du végétal sur le site de Saint Hilaire en Woëvre.

1-1-1- L'organisme d'accueil

Arvalis est un Institut Technique du végétal. Sa vocation est d'être un référent technique pour les agriculteurs et leurs conseillers, les filières et les pouvoirs publics français et européens. Pour ses activités d'acquisition de référence, l'Institut, réparti sur l'ensemble du territoire, compte 27 sites sous forme de bureaux régionaux avec des plateformes d'essais chez les agriculteurs ou en stations. L'Institut mène des études sur l'agronomie, la connaissance du végétal, les biotechnologies, la fertilisation, la protection des cultures, l'agriculture de précision, la récolte, le stockage et bien d'autres activités relatives à la filière agricole. Ses activités, regroupées en 6 filières à savoir, les céréales à paille, le maïs-sorgho, le lin, le tabac, la pomme de terre et les fourrages sont effectuées à différentes échelles, de la plante au territoire en passant par la parcelle et l'exploitation. Arvalis œuvre pour une production de qualité recherchée par les consommateurs et cherche également à limiter l'impact environnemental de cette production.

1-1-2- Site du stage

Créée en 1988, la Ferme Expérimentale Professionnelle Lorraine (FEPL) est devenue la propriété de ARVALIS – Institut du végétal depuis avril 2006. La station de SHW est située dans la région Grand Est, en Lorraine, dans le département de la Meuse qui doit son nom au fleuve qui le traverse du sud au nord, plus précisément dans la plaine de Woëvre.

Les côtes de la Meuse sont constituées d'un côté de talus à profil concave, le front ; de l'autre côté par un plateau doucement incliné en sens inverse, le revers. Les fronts, bien drainés, sont favorables à l'agriculture avec un volume des précipitations oscillant autour de 900 millimètres. Le climat est de type continental tempéré avec des sols hydromorphes à dominance argilo-limoneuse.

La station est une ferme expérimentale en polyculture élevage avec une surface agricole utile de 130 hectares dont 60 hectares de cultures et 70 hectares de prairie. Les activités sont réparties en trois ateliers de production dont chacun constitue un support d'expérimentation. L'atelier grandes cultures est composé de deux systèmes de culture intégrant des cultures diversifiées comme le colza, le blé, le maïs, l'orge de printemps, le pois de printemps, le lin, la lentille ou la prairie temporaire. L'atelier viande est composé de 50 vaches allaitantes en système naisseur engraisseur pour la valorisation de la prairie permanente. L'atelier jeunes bovins pour l'étude de rations et de schémas d'engraissement diversifiés à base d'herbe. Ses activités portent essentiellement sur la fertilité des sols, les systèmes de cultures innovants, l'agroécologie, la protection intégrée des cultures, l'innovation variétale, l'écophysiologie, la gestion de l'herbe, la valorisation alimentaire des fourrages et sur les services rendus par les innovations technologiques.

L'équipe permanente de SHW est composée de 10 personnes dont 3 ingénieurs, 6 techniciens et une assistante (Arvalis SHW, 2022), complétée par de nombreux apprenants de niveaux Bac+2 à Bac+5.

2. Contexte et problématique de l'étude

2.1. Biodiversité fonctionnelle et auxiliaires de culture

La biodiversité est la diversité du vivant sous toutes ses formes : spécifique, génétique et des écosystèmes. La biodiversité fonctionnelle désigne l'ensemble des espèces qui contribuent à fournir des services écosystémiques dans un agroécosystème (Petit *et al.* 2019). Elle offre à l'agriculteur des bénéfices limitant les interventions aux champs (Graham *et al.*, 2020). Elle assure la protection des cultures, la pollinisation, la dégradation de la matière organique dans le sol et dans l'eau. Elle impacte positivement la production agricole sur les plans écologique, économique et social (Villenave-Chasset, 2020) et

contribue à l'augmentation des rendements des cultures (Dainese *et al.*, 2019). Parmi cette biodiversité fonctionnelle, on parle d'auxiliaires de culture pour désigner les organismes volant ou rampant qui tuent des organismes nuisibles. On parle également d'ennemis naturels des nuisibles. Ils peuvent être soit prédateurs, c'est-à-dire qu'ils consomment directement leur proie (carabe, araignées, larves de coccinelles, syrphes, chrysopes), soit parasitoïdes, c'est-à-dire qu'ils effectuent une partie de leur développement aux dépens d'un hôte, entraînant la mort de celui-ci (Villenave-Chasset, 2020).

Les auxiliaires sont jugés efficaces pour réduire les populations d'arthropodes ravageurs, limiter les dégâts sur les cultures et ainsi limiter les pertes de rendement (Chaplin-Kramer *et al.*, 2011 ; Landis *et al.*, 2008 ; Östman *et al.*, 2003 ; Maas *et al.*, 2013 ; Rusch *et al.*, 2013a ; Thies *et al.*, 2003). Ils constituent une alternative efficace pour la réduction de la lutte chimique. Ils sont pour la plupart présents naturellement, et leur population peut être renforcée par introduction artificielle ou par la mise en place d'aménagements susceptibles de les attirer. C'est le cas de la mise en place des haies, des bandes enherbées ou fleuries diversifiées (Carpentier, 2014).

2.2. Les ennemis naturels des ravageurs en grandes cultures

Tout comme les ravageurs, les auxiliaires de culture peuvent être différents selon les types de cultures (grandes cultures, maraichage et arboriculture). Les arthropodes occasionnent des dégâts très importants en grandes cultures (Deutsch *et al.* 2018), et parmi eux les pucerons sont particulièrement nuisibles, en particulier via la transmission de virus (Dedryver *et al.* 2010). Ayant deux modes de reproduction (sexuée par la ponte des œufs et parthénogénétique en pondant directement de jeunes larves), en fonction des espèces et des conditions climatiques, les pucerons peuvent réaliser 19 à 20 générations par an (INRA, 2009). Ils arrivent très rapidement à coloniser une grande parcelle de grandes cultures. Avec des dégâts directs et indirects, ils sont responsables des baisses de rendements allant par exemple jusqu'à 85 % pour des orges infectées par le virus de la jaunisse nanisante (Turpeau *et al.*, 2011).

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) est un des principaux ravageurs des cultures céréalières en Europe. C'est même le plus important au printemps, entre la montaison et la maturité pâteuse. Il peut entraîner des baisses de rendement sur céréales, en particulier sur le blé tendre, pouvant aller de 10 à 20 quintaux par hectare en cas de fortes pullulations (Dedryver *et al.*, 2008).

Afin de réduire les effets directs et indirects de ces pucerons et maintenir une production agricole maximale, il est nécessaire de lutter contre ces ravageurs par des méthodes respectueuses de l'environnement répondant aux attentes des consommateurs.

Les auxiliaires de cultures sont jugés efficaces dans la régulation des pucerons des épis, principaux ravageurs en grandes cultures (Villenave-Chasset, 2020, Turpeau *et al.*, 2011).

Afin d'étudier l'impact des haies agricoles présentes dans le paysage de l'étude, les principales familles d'auxiliaires volants pris en compte sont les Coccinellidae (coccinelles) ; les parasitoïdes appartenant à l'ordre des hyménoptères ; les Chrysopidae (chrysopes) ; les Syrphidae (syrphes) les Staphylinidae (staphylins) et les Sphecidae (sphécides). Le tableau 1 renseigne sur l'appréciation du potentiel de régulation des auxiliaires en grandes cultures

Tableau 1 : Appréciation de régulation des ravageurs de grandes cultures par les auxiliaires (Boyer *et al.*, 2017).

Ravageurs Auxiliaires	Limace	Taupin	Cécidomyies	Puceron	Pyrale
Coccinelles					
Carabes					
Anthocorides					
Chrysopes					
Syrphes					
Hyménoptères parasitoïdes					
Araignées					
NEP					
Tachinaires					

Régulation potentielle importante
 Régulation potentielle secondaire

2.2.1. Les coccinelles

Chez de nombreuses espèces de coléoptères, les larves et adultes sont de féroces prédateurs qui s'attaquent à un certain nombre de ravageurs comme les pucerons, les psylles, les cochenilles, les acariens, les thrips ou encore les cicadelles. Une larve peut consommer jusqu'à 150 pucerons par jour (Merlo *et al.*, 2012 ; Corfdir ,2018). Elles se révèlent être de très bons auxiliaires et particulièrement pour lutter contre les pucerons puisque 65% des espèces en consomment. Elles s'adaptent à la quantité de nourriture : plus les proies abondent, plus elles sont voraces, plus le nombre d'œufs qu'elles pondent est important. Environ 9000 ravageurs des cultures sont consommés durant la vie d'adulte d'une coccinelle (Masson, 2018). Les coccinelles à 7 points (*Coccinella septempunctata*) et les coccinelles sombres (*Scymnus rubromaculatus*) sont actuellement les espèces les plus observées dans les parcelles de grandes cultures en France (Tosser, 2015).

2.2.2. Les chrysopes

Chez ces insectes névroptères, seules les larves sont prédatrices. Elles s'attaquent à toutes sortes de proies (acariens phytophages), mais sont particulièrement efficaces contre les pucerons. Les

adultes consomment du pollen et du nectar. Les femelles pondent tôt ce qui permet de freiner rapidement la prolifération des ravageurs. Une seule larve de chrysope peut consommer jusqu'à 60 pucerons chaque jour tout au long de sa période de développement s'étalant sur une quinzaine de jours (AGRIDEA, 2012). On peut observer en fonction des espèces, 2 à 4 générations par an, ce qui en fait un auxiliaire très important (Masson, 2018).

2.2.3. Les syrphes

Ils appartiennent à l'ordre des diptères comme les mouches. L'adulte, mimétique d'hyménoptères (guêpes, frelons...), est un grand amateur de nectar, de pollen et de miellat. Les adultes interviennent dans la pollinisation des cultures, les larves consomment essentiellement des pucerons, jusqu'à 30 par jour. Elles peuvent également consommer les larves d'autres insectes, de jeunes chenilles (Robert C. *et al.*, 2019 ; Johanna V., 2020). Avec un nombre de générations allant jusqu'à 7 par an les syrphes sont considérés comme les auxiliaires les plus efficaces (CA du PUY -DE- DOME, 2018) ; leur présence précoce au printemps permet de réduire rapidement les populations de pucerons émergentes et encore non nuisibles (Merlo *et al.*, 2012). Parmi les espèces présentes dans les agroécosystèmes français, *Episyrphus balteatus* (syrphe ceinturé de 9 à 12 mm) est plus présent dans les milieux bordés d'arbres où il se repose (Villenave-Chasset, 2020).

2.2.4. Les hyménoptères parasitoïdes

Les hyménoptères constituent, après les coléoptères, l'ordre d'insectes le plus diversifié. On y trouve les abeilles, les fourmis, les guêpes et les parasitoïdes. Les hyménoptères parasitoïdes sont difficilement observables aux champs à cause de leurs petites tailles, allant pour l'essentiel de 0.5 à 10 mm. En revanche les pucerons parasités sont facilement reconnaissables car leur cuticule change de couleur au bout de quelques jours, devenant souvent dorée, et permettant ainsi de constater la présence de ces auxiliaires. Ces spécialistes des pucerons les attaquent dès leur apparition et contribuent à limiter les pullulations sur les cultures. La forte capacité de ponte des femelles, 100 à 500 œufs en fait d'eux des auxiliaires efficaces dans la régulation des ravageurs des grandes cultures (CA du PUY -DE- DOME, 2018 ; Villenave-Chasset, 2020).

2.2.5. Les staphylins

Les staphylins sont des insectes coléoptères dont la plupart des adultes et larves des milieux cultivés sont prédateurs polyphages de nématodes, acariens, collembolés, pucerons, chenilles, limaces, escargots.... Les larves chassent plutôt la nuit, lorsque le taux d'humidité est élevé (Villenave-Chasset, 2020).

2.2.6. Les sphécides

Le terme « sphécides » désigne les hyménoptères de trois familles : les Ampulicidae, les Crabonidae et les Sphecidae. La plupart des individus et des espèces sont des prédateurs d'homoptères et plus particulièrement de pucerons. Les sphécides aphidiphages constituent un groupe complémentaire des autres auxiliaires prédateurs de pucerons connus (Syrphes, Coccinelles, Chrysopes...) (Le Divelec *et al.*, 2016).

2.3. Rôle des infrastructures agroécologiques dans la biodiversité fonctionnelle

Les infrastructures agroécologiques (IAE) correspondent à des habitats semi-naturels d'un agroécosystème, spontanés ou créés par l'humain et gérés selon un régime de perturbation faible (Sebiof., 2017). Elles peuvent être un refuge, un site de reproduction ou être source de nourriture pour les insectes (Boyer *et al.*, 2017).

Les haies jouent plusieurs rôles pour les auxiliaires. Elles sont des sites de repos dans la journée, des sites d'hivernage et sont sources d'alimentation en fournissant du pollen, du nectar et du miellat (Wäckers et van Rijn., 2012 ; Villenave-Chasset, 2020).

L'implantation en France et partout en Europe des bandes enherbées est aujourd'hui imposée par les Bonnes Conditions Agro Environnementales (BCAE) ; ceci fait partie des critères de conditionnalité des aides perçues dans le cadre de la politique agricole commune de l'Union Européenne. Le choix ainsi que le nombre des espèces pour leur constitution jouent également un rôle déterminant. Lorsqu'elles contiennent un nombre important d'espèces végétales offrant plus de pollen et de nectar, elles attirent une grande variété d'auxiliaires (Albrecht *et al.*, 2016).

Les bandes fleuries sont de bons réservoirs d'auxiliaires, elles sont susceptibles d'augmenter la biodiversité fonctionnelle de régulation au sein de l'exploitation agricole (Helden Van et Decante, 2002). Elles facilitent la reproduction des auxiliaires tels que les chrysopes, syrphes, coccinelles, punaises prédatrices et parasitoïdes en leur fournissant du pollen (Lambion *et al.*, 2009 ; Villenave-Chasset et Leblond, 2019).

Toutefois, leur mise en place au sein et autour d'une parcelle n'est pas suffisante dans une lutte biologique (Winkler *et al.*, 2005). D'autres facteurs comme la morphologie florale, la couleur, l'odeur ou le timing de la production de nectar sont déterminantes pour garantir l'efficacité de telles ressources offertes aux auxiliaires de cultures (Heimpel et Jervis, 2005 ; Villenave-Chasset et Leblond, 2019).

Il semble donc important de choisir des plantes avec des traits intéressants pour les auxiliaires plutôt qu'une plus forte diversité spécifique végétale au sein de laquelle relativement peu d'espèces disposeront de valeurs pertinentes de traits d'interaction avec les insectes (Pollier, 2016).

Nous avons donc besoin de davantage de connaissances sur les espèces constituant ces IAE afin de connaître leurs rôles pour le service de régulation.

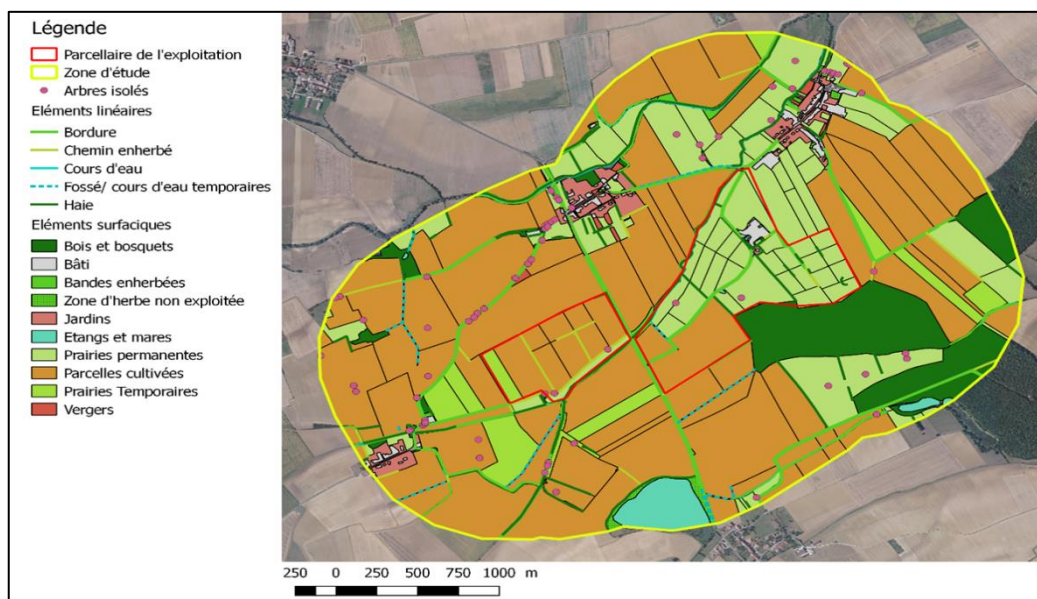
2.4. Problématique de l'étude

Cette étude est une continuité des travaux réalisés depuis deux ans. Ces travaux, débutés par un diagnostic de l'exploitation dans son territoire, ont permis de repérer dans un rayon de 1km, tous les éléments paysagers semi-naturels d'intérêt présents autour de l'exploitation (Lepage, 2020) (Figure 1). Parmi ces éléments, les haies à proximité des parcelles agricoles ont une forte attractivité vis-à-vis des auxiliaires, jouant ainsi un rôle important dans le service de régulation naturelle des ravageurs de cultures. Elles constituent des éléments essentiels sur lesquels les agriculteurs peuvent intervenir par le biais de plantation ou d'entretien de l'existant, en s'inscrivant dans la logique d'amélioration de leurs pratiques agricoles.

Pour permettre la prise en compte de cette régulation dans une prise de décision d'intervention par l'agriculteur, il est nécessaire de développer un nouvel indicateur à scoring renseignant sur le potentiel accueil auxiliaire des haies en milieu agricole et leur capacité de dissémination.

Les haies présentes dans le périmètre de l'étude présentent une hétérogénéité remarquable avec plusieurs strates (arborée, arbustive et herbacée). Leur typologie et leur abondance en espèces sont différentes. Pour tenir compte de toutes ces composantes et compléter les travaux déjà effectués sur la strate arbustive, notre travail est de caractériser la strate herbacée de ces haies. La recherche bibliographique sur le potentiel accueil auxiliaire de chacune des essences de ladite strate, l'application de coefficients de pondération en lien avec la typologie et l'abondance, et son agrégation avec la strate arborée et arbustive va permettre d'aboutir à un score final affecté à chaque haie via le nouvel indicateur à scoring. Le dispositif de piégeage d'insectes par Tentres Malaise à proximité des haies, va permettre de valider la fiabilité de cet indicateur. En complément, une première approche de la dissémination des auxiliaires dans la parcelle agricole sera réalisée par aspiration.

Figure 1: Cartographie des éléments paysagers caractérisés dans un rayon de 1 km autour de l'exploitation



3. Matériel et méthode

3.1. Les travaux déjà réalisés en lien avec le sujet

Depuis 2020, la ferme de SHW a engagé un travail de diagnostic du potentiel d'accueil en auxiliaire en remplaçant l'exploitation dans son paysage et son territoire.

Pour compléter ce diagnostic de caractérisation des éléments semis naturels d'intérêts, des travaux de recherche sur des indicateurs ont également été engagés afin d'objectiver l'attractivité de l'exploitation vis à vis des auxiliaires volants. Les auxiliaires rampants seront étudiés dans un second temps.

Ces travaux ont abouti à l'étude de trois indicateurs de natures différentes.

- Indicateur quantitatif : Il s'appuie sur le chiffrage des éléments semi-naturels (Denoirjean, 2017) de la station. Sur la base du dessin sur QGIS, on peut calculer les mètres linéaires, les surfaces, les aires, la connectivité entre les éléments (annexe 1) (Lepage, 2020). Ces indicateurs sont malheureusement difficilement interprétables en l'absence de référentiel régional.

- Indicateur qualitatif : Il est issu de l'arbre de décision DEXI ARENA développé dans le cadre du programme national de recherches ARENA (Anticiper les régulations naturelles) (Tosser *et al.*, 2022) à l'échelle de la parcelle en prenant en compte son environnement et le système de culture mis en œuvre. Il a permis d'attribuer une note correspondant au potentiel auxiliaire de chacune des parcelles de l'exploitation (Jacques, 2021). Ces dernières sont très favorables à l'accueil des auxiliaires avec des notes de 6 (plus haut score possible pour DEXI ARENA) (Annexe 2). Cet indicateur adopte une approche très globale permettant de conclure à une très bonne attractivité de l'exploitation mais ne donne ni pistes de progression par rapport à la gestion des éléments semi-naturels, ni aide au pilotage de l'exploitation.

- Indicateur à scoring relatif à la strate arbustive : Les haies sont un élément majeur du paysage. Le choix a été fait de développer un nouvel indicateur à scoring pour l'évaluation de l'attractivité des haies vis-à-vis des auxiliaires par une approche complémentaire aux indicateurs cités ci-dessus.

Les travaux réalisés en 2021 ont permis de caractériser la strate arbustive de chacune des haies et de leur attribuer les coefficients typologiques selon leur taille et leur abondance en espèces. Une première campagne de suivi a été effectuée par un piégeage d'insectes (Jacques, 2021).

3.2. Indicateur à faire évoluer : indicateur à scoring

L'indicateur à scoring est un nouvel indicateur en cours de construction. Il permet d'apprécier le potentiel d'accueil en auxiliaires des essences présentes dans les haies. Il est basé sur un score attribué pour chacune des haies de l'exploitation et permettra d'évaluer la capacité d'une haie à

accueillir des auxiliaires volants. Les familles d'auxiliaires volants suivis et pris en compte sont les chrysopes, les hyménoptères parasitoïdes, les coccinelles, les syrphes, les staphylins et les sphécides.

3.2.1. Score initial

Dans chaque haie, si une essence végétale est attractive pour l'un de ces insectes, alors une note de 1 est attribuée, sinon sa note reste à 0 (Annexe 3). Pour compléter la caractérisation déjà réalisée sur les ligneux (Jacques, 2021), nous avons ici caractérisé la strate herbacée par un mode opératoire basé sur la méthodologie d'Ecobordure de caractérisation des bordures des champs (annexe 4). En sommant l'ensemble des notes attribuées à chaque espèce végétale et pour chaque auxiliaire, la haie obtient un score brut initial. Une haie diversifiée et avec des essences favorables aux auxiliaires obtient donc un score relatif plus élevé.

3.2.2. Pondération avec le coefficient typologique

Supposant que le nombre de strates (arborée, arbustive et herbacée) ainsi que le type et la fréquence de la taille sont des facteurs importants dans le potentiel d'accueil en auxiliaires d'une haie, nous avons défini un coefficient typologique (annexe 5). Le score initial établi au paragraphe précédent a été pondéré par ce coefficient.

3.2.3. Pondération avec le coefficient d'abondance

En complément au coefficient typologique, et pour tenir compte de la diversité spécifique, l'indice de diversité de Shannon a été calculé pour pondérer le score.

L'indice de Shannon est l'un des indices les plus utilisés en recherche écologique car il permet de décrire la diversité spécifique d'une communauté sans exagérer l'importance ni des espèces rares, ni des espèces fréquentes (Jost, 2006). Il se calcule selon la formule : $H' = -\sum p_i * \ln(p_i)$; où $p_i = n_i/N$; n_i = nombre d'individu de l'espèce i ; N = nombre total d'individus. Plus la valeur de H' est élevée, plus la diversité spécifique augmente. En d'autres termes si : $H'=0$ alors une seule espèce présente ; si $H'=H_{max}$ alors toutes les espèces sont réparties de façon égale. Généralement, cet indice dépasse rarement 3 (Chapelin-Viscardi, 2021). Cet indice de Shannon a été calculé séparément sur les deux strates, ligneuse et herbacée (Annexe 6). La moyenne des indices de ces deux strates sera utilisée pour le calcul du score final. Vu le temps relativement long à consacrer pour l'identification des graminées, seuls les dicotylédones de la strate herbacée sont comptabilisées pour le calcul de cet indice.

3.2.4. Score final par l'indicateur à scoring

Le calcul du score a commencé par des recherches bibliographiques sur la méthode à utiliser afin d'agrégier les données de la strate herbacée aux données déjà existantes des ligneux. Du fait de

l'absence de références bibliographiques sur le poids de chacune de ces strates dans le potentiel auxiliaire d'une haie, l'idée de calculer séparément le score initial par strate, qui devrait aboutir sur leur agrégation n'a pas été retenue au profit d'une approche plus globale jugée cohérente. Après réflexion, un choix méthodologique a été fait pour le calcul d'un seul score initial globalisant dès le départ les deux strates. La formule utilisée pour calculer le score de chaque haie est donc la suivante :

$$\text{Score final} = (\text{Score}_i \text{ SA} + \text{Score}_i \text{ SH}) \times \text{Coef typ} \times (H_{\text{SA}} + H_{\text{SH}}) / 2$$

Score i SA = score initial strate arbustive ; Score i SH = Score initial strate herbacée ; H_{SA} = indice Shannon strate arbustive ; H_{SH} = indice Shannon strate herbacée ; Coef typ = coefficient typologique.

Toutes ces démarches de calcul du score final sont schématisées sur les figures 2 a et 2b.

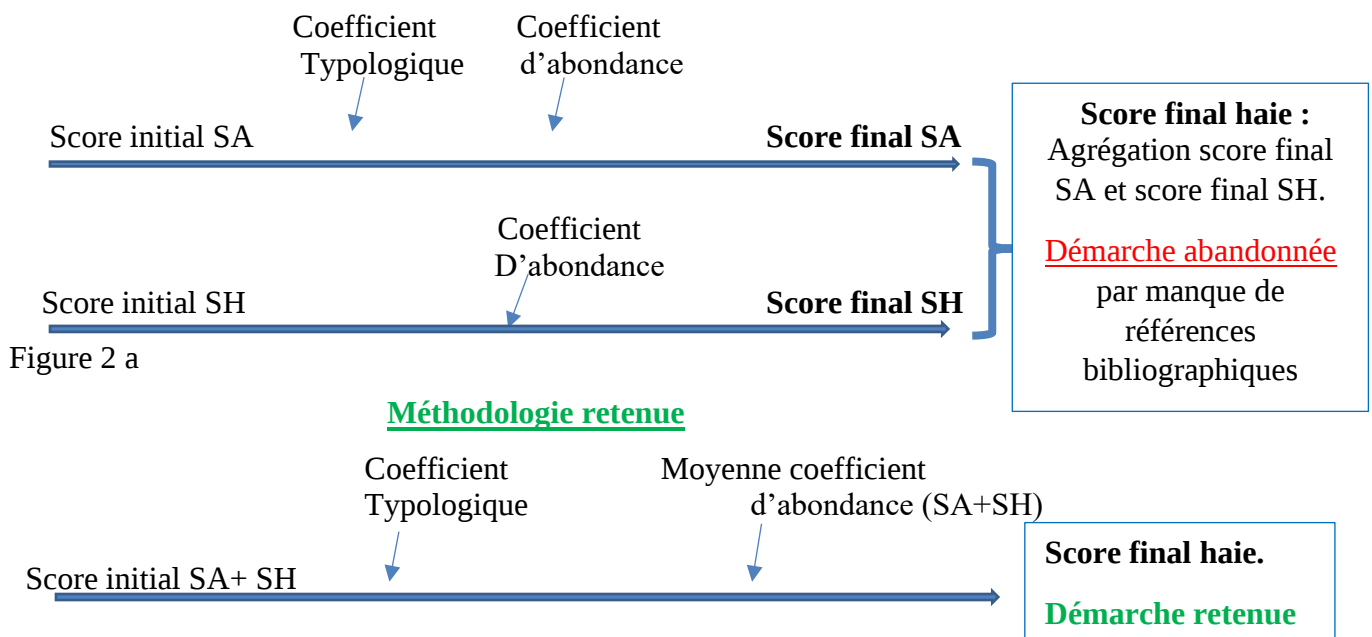


Figure 2 b

Figure 2 : Démarches abandonnée (2a) et retenue (2b) aboutissant au calcul du score final de la haie

Score initial : note auxiliaire de la haie ; SA : strate arbustive ; SH : strate herbacée ; coefficient abondance = indice de Shannon

3.3. Les haies suivies

Les haies suivies pour la validation de cet indicateur à scoring sont les haies n°217 et n°5. Elles ont été plus finement caractérisées pour aider aux choix méthodologiques évoqués précédemment. Elles sont typologiquement différentes et géographiquement éloignées l'une de l'autre (1 km entre elles) afin d'engager un suivi piégeage tout en évitant l'interférence dans les captures. L'emplacement 1 sur la figure 3 correspond à la haie n°217, et l'emplacement 2 correspond à la haie n° 5. Les dispositifs de piégeage ont été positionnés à proximité d'elles en accord avec l'entomologiste Jean-David Chapelin-Viscardi du laboratoire d'éco-entomologie d'Orléans.

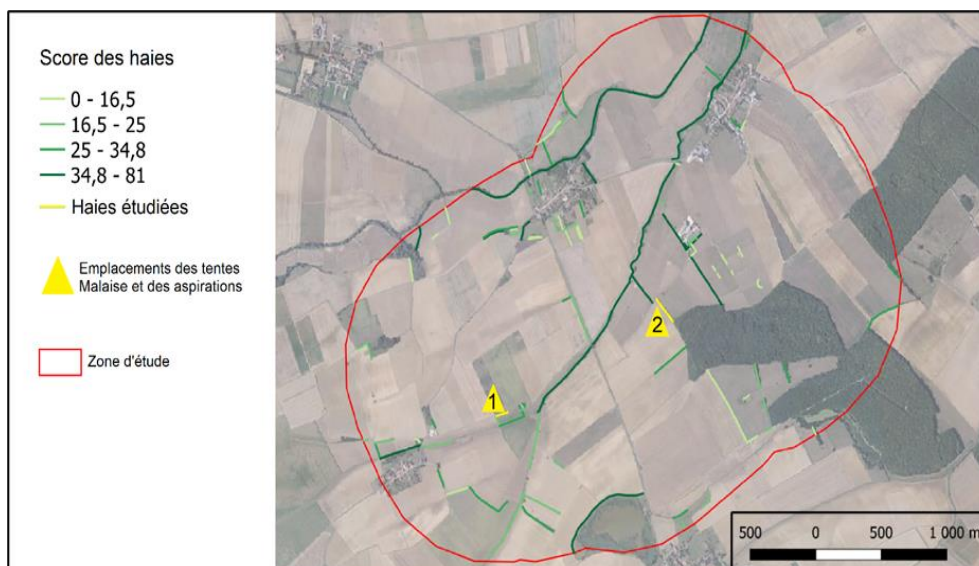


Figure 3: Emplacement des tentes Malaise et des aspirations. Le triangle 1 correspond à l'emplacement des dispositifs près de la haie à faible score, le triangle 2 correspond à l'emplacement des dispositifs près de la haie à haut score

Le tableau 2 donne le score final pour ces deux haies à caractéristiques bien différentes de point de vue typologie et abondance en espèces.

Tableau 2 : Comparaison du score final de deux typologies de haies

Strates	Numéro de la haie	217 : Faible score						5 : Haut score					
	Typologie de la haie	H2= Lisière enherbée avec clôture						H6= Haie arbustive haute					
	Longueur de la haie	87						200					
	Type auxiliaire	Ch	Co	HP	Sy	Sp	St	Ch	Co	HP	Sy	Sp	St
Arbustive	Note par auxiliaire	2	1	2	2	0	0	10	10	12	8	3	3
	Note auxiliaires haie	7						46					
Herbacée	Note par auxiliaire	10	8	11	13	1	1	6	7	7	9	1	0
	Note auxiliaires haie	44						30					
Score initial (arbuste+ herbacé)		51						76					
	Coefficient typologique	0.5						1.25					
Score Initial pondéré avec le coefficient typologique		25.5						95					
	Moyenne Indice Shannon H	0.56						1.38					
Score final haie		14.28						131.10					

Ch : Chrysope ; Co : Coccinelle ; HP : Hyménoptères Parasitoïdes ; Sp : Sphécides ; St : Staphylin

La haie numéro 217 a un score de **14.28** ; score relativement faible selon l'indicateur. Elle est nommée la haie à faible score. A l'inverse, la haie numéro 5 a un score plus élevé, **131.10**, nommée haie à haut score. La haie à faible score ne possède qu'une seule strate herbacée et arbustive, tandis que celle à haut score possède une strate arbustive plus diversifiée et plus haute (Figure 4).

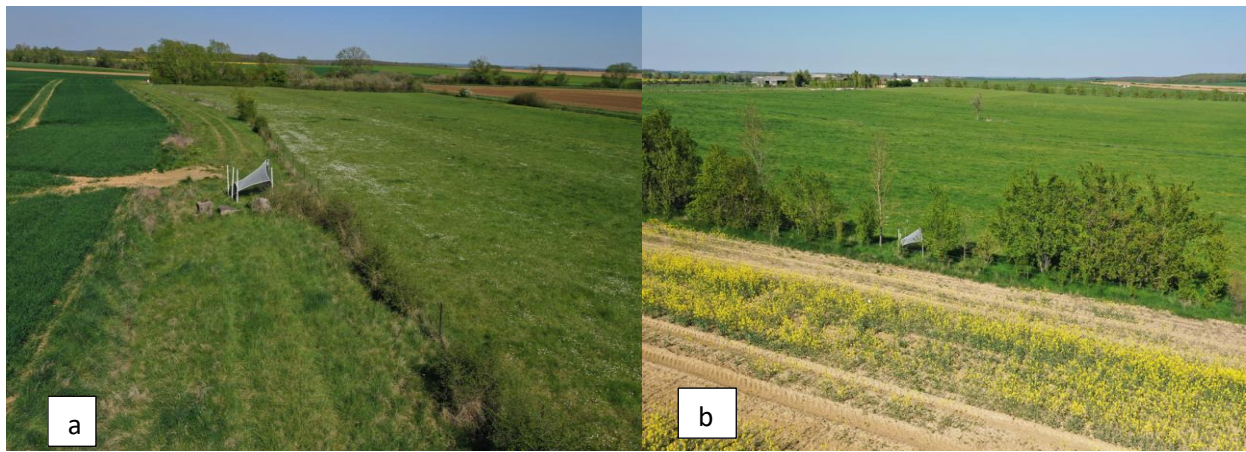


Figure 4: Haie à faible score (a, TM1 dans la suite du texte), Haie à haut score (b, TM2 dans la suite du texte)

Une fois le score final établi, l'hypothèse à valider à travers cette étude est que plus la haie possède un score élevé, plus son attractivité auxiliaire augmente et plus ces auxiliaires vont pouvoir se diffuser dans la parcelle agricole attenante.

3.4. Méthodologie de collecte d'insectes

Pour évaluer la corrélation entre le score des haies et les communautés d'insectes, le dispositif des tentes Malaise a été choisi. Cette méthode est reconnue scientifiquement et permet de collecter massivement une grande diversité d'insectes volants.

En complément de cette méthode, l'aspiration a permis d'acquérir des références sur la dissémination des auxiliaires de la haie à la parcelle attenante. Cette méthode représente un bon compromis entre le niveau de précision recherché ici et le temps d'acquisition des données. Il faut toutefois garder en tête que cette technique est très sensible aux conditions météorologiques, qu'elle ne permet pas de capturer tous les insectes notamment les plus lourds et les plus rapides (syrphes, bourdons...), et enfin qu'il peut y avoir un effet observateur.

Les observations visuelles en végétation dans la parcelle de blé ont ensuite été faites pour observer les ravageurs sur épis (pucerons).

3.5. Campagne de piégeage

La campagne de piégeage a permis la capture d'insectes auxiliaires volants à proximité directe des deux haies. Cette campagne a débuté le 18 avril 2022 pour le piégeage par tentes Malaise et le 22 avril 2022 pour le piégeage par aspiration. A ces dates, les végétaux ont commencé à fleurir et donc à fournir du nectar et du pollen pour les auxiliaires adultes.

3.5.1. Piégeage par tente Malaise

La tente Malaise (TM) est un piège passif et destructif, c'est-à-dire que les insectes piégés sont tués. Comme son nom l'indique, elle se présente sous forme d'une tente avec des ouvertures sur les côtés et une séparation en son centre par une toile. Elle se positionne de façon à ce que les ouvertures soient exposées face aux vents dominants. Le mât, muni à son sommet d'un pot collecteur rempli d'alcool à 70°C se positionne face au côté le plus ensoleillé (Figure 5). Les insectes viennent se piéger dans la tente et remontent vers l'endroit le plus



Figure 5: Photo de la TM2, la flèche indique le sens du vent dominant

ensoleillé, jusqu'au pot collecteur et se retrouvent ainsi piégés. L'intérieur de la tente et ses alentours sont régulièrement débroussaillés afin de faciliter le mouvement des insectes. Le contenu des pots est relevé une fois par semaine et envoyé au laboratoire d'éco-entomologie d'Orléans pour une identification jusqu'à l'espèce pour les familles suivantes : Coccinellidae (Coccinelles) ; Chrysopidae (Chrysopes) ; Syrphidae (Syrphes) ; Cantharidae (Cantharides) et les Sphecidae (Sphécides). Enfin, les parasitoïdes appartenant à l'ordre des hyménoptères sont comptabilisés sans aller jusqu'à l'espèce car difficiles à identifier.

Deux tentes Malaise ont été installées le 18 avril 2022. La tente Malaise installée dans la haie n°217 à faible score est nommée TM1. Celle installée dans la haie n°5, haie à haut score est nommée TM2.

Le 1^{er} relevé a eu lieu le 25 avril et la campagne se poursuit jusqu'au 15 août 2022 pour un total de 16 relevés.

3.5.2. Collecte par aspiration

Les aspirations sont effectuées dans les parcelles adjacentes à ces mêmes haies. La parcelle à côté de la TM1 est en blé tandis que celle à côté de la TM2 est en colza. Chaque semaine, sur la période du 22 avril au 15 juillet 2022, les aspirations ont lieu par temps ensoleillé, sans vent ni pluie entre 11h et 15h ; ce créneau est propice à l'activité des insectes. Les conditions météorologiques (date et heure, temps, température, humidité de l'air, couverture nuageuse, vent) ont été enregistrées lors de chaque séance d'aspiration (annexe 7).

La collecte par aspiration se pratique à l'aide d'un aspirateur souffleur. Un filet à maille fine est placé à l'entrée du tube pour piéger les insectes et constituer l'échantillon (annexe 8).

Chaque aspiration est faite sur une placette 1m² pendant une durée de 20 secondes, répétée 3 fois et à 2 distances de la haie : 10 mètres et 30 mètres. Les aspirations sont effectuées à hauteur du couvert afin de capturer les insectes volants. Six aspirations sont faites dans chacune des parcelles à proximité des deux types de haies. Toutes les placettes sont identifiées par des jalons de sorte à toujours revenir au même endroit.

Après les 20 secondes d'aspiration, le filet à maille est retourné dans un sac à congélation où les insectes tombent et le sac est aussitôt hermétiquement fermé. Tous les sacs sont ensuite mis au congélateur pendant au moins 24 h afin de tuer les insectes pour une identification. Celle-ci se fait généralement le lendemain sous une loupe binoculaire. Les insectes sont classés dans les cinq groupes suivants : chrysope, coccinelle, syrpe, staphylin et hyménoptère parasitoïde. Les auxiliaires opportunistes sont également comptabilisés tels que les araignées et les opilions. Afin d'évaluer le taux de parasitisme des hyménoptères, les pucerons et momie de pucerons sont aussi comptés.

3.5.3. Observation visuelle

Pour vérifier la présence de ces pucerons et momies de pucerons sur épis de blé, 6 autres quadrats sont faits pour leur observation visuelle (Figure 6). Dans ces quadrats, sur 10 plants choisis au hasard, on compte le nombre de pucerons vivants et de momies.

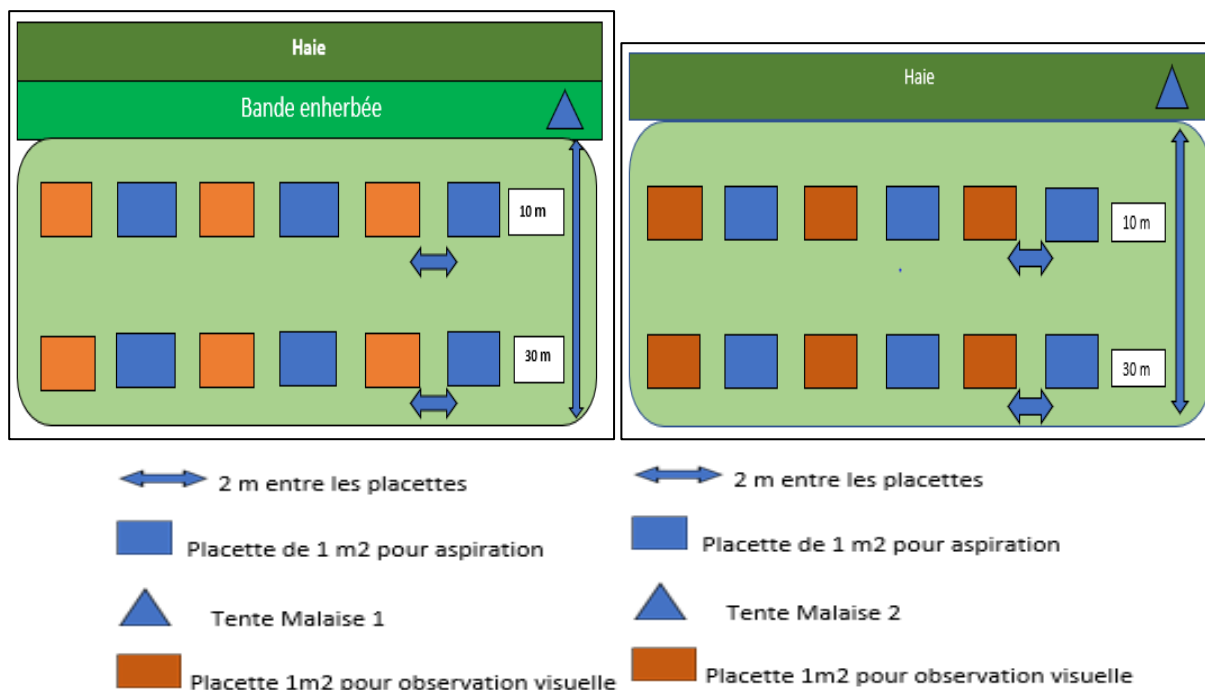


Figure 6: Plan du dispositif aspiration et observation visuelle près de la haie à faible score (TM1, à gauche) et de la haie à haut score (TM2, à droite).

3.6. Analyse statistique des données

Les abondances d'insectes collectés en tentes Malaise et par aspiration ont été analysées statistiquement par le logiciel Rstudio. Toutes les statistiques présentées ci-dessous proviennent d'analyses de variance (ANOVA, seuil de 5%) appliquées à des modèles linéaires généralisés adaptés à des données de comptage. L'adaptation de ces modèles aux données est vérifiée en observant visuellement la dispersion des résidus grâce au package R adapté « DHARMA ».

4-Résultats

4.1. Les conditions climatiques lors de la campagne

L'activité des insectes est liée aux conditions climatiques, notamment à la température et à la pluviométrie. Les données météorologiques durant la campagne de piégeage sont présentées sur la figure 7.

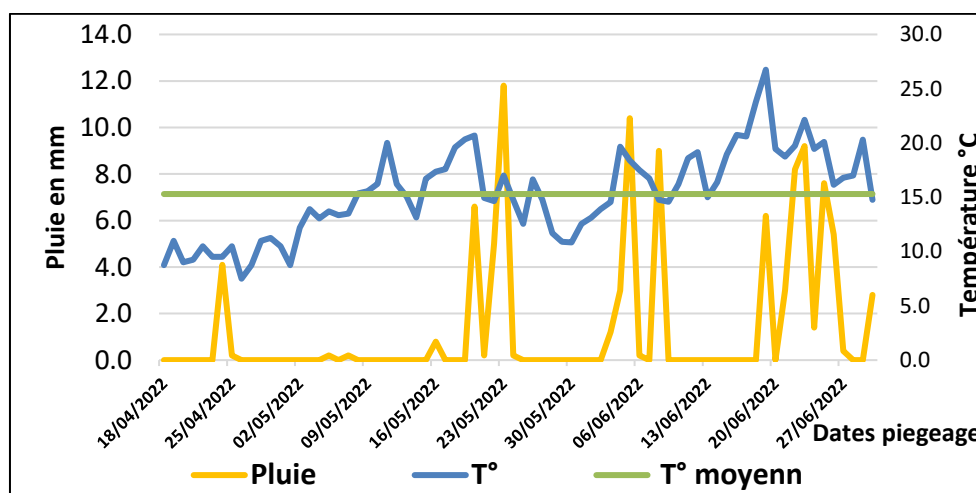


Figure 7: Evolution de la température et la pluviométrie durant la campagne

Les températures durant la campagne sont comprises entre 8 et 26.8°C avec une moyenne de 15°C. On note également une faible pluviométrie avec un cumul de 97.3 mm (Figure 7) qui a peu perturbé l'activité des insectes durant la campagne. Selon l'avis des experts (Jean-David Chapelin-Viscardi, Jonathan Marks-Perreau), ce sont des conditions globalement bonnes pour l'activité des insectes.

4.2. Résultat du piégeage par tentes Malaise

Les résultats présentés ici portent sur les 8 premiers relevés jusqu'à la date du 13 juin 2022.

4.2.1 Répartition des captures selon les tentes Malaise

Au total 4002 insectes ont été capturés dont 2658 auxiliaires pris en compte dans cette étude, parmi lesquels nous analyserons ici les coccinelles, syrphes, chrysopes, hyménoptères parasitoïdes et cantharides. La répartition des captures par tente Malaise est présentée sur la figure 8.

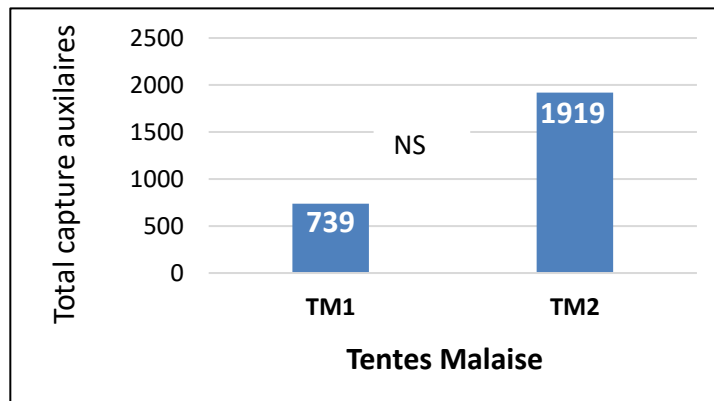


Figure 8: Répartition du total des auxiliaires capturés par tente Malaise

Ces résultats montrent que le nombre total d'auxiliaires capturés dans la TM2 installée dans la haie à haut score est plus élevé que dans la TM1 installée dans la haie à faible score. Toutefois en utilisant les répétitions temporelles pour comparer les niveaux de capture des deux tentes, l'analyse de la variance avec une $p\text{-value} = 0.23 > 5\%$, ne permet pas de mettre en évidence une différence significative entre les captures dans les deux TM (annexe 9).

Au-delà du nombre de capture, l'étude par famille d'auxiliaire a été faite (annexe 10.1). L'analyse de la variance au seuil de 5% ne montre aucune différence entre les familles dans les deux TM (annexe 10.2).

4.2.2 Evolution des captures durant la campagne

Il semble également judicieux de s'intéresser à l'évolution des captures dans le temps. La figure 9 représente cette évolution selon les différentes dates de capture.

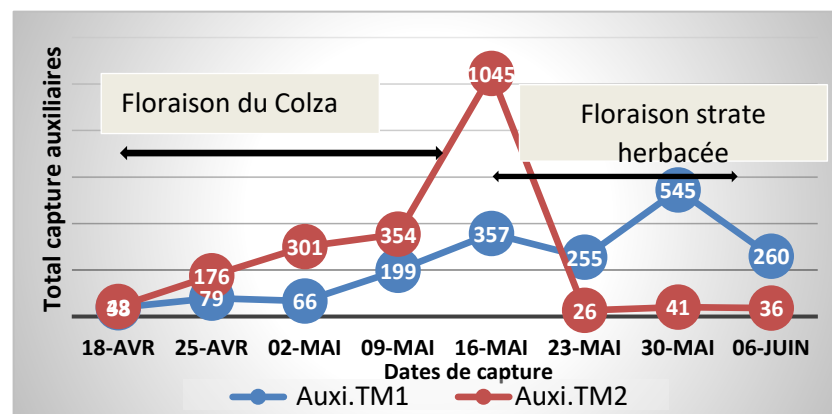


Figure 9: Evolution des captures en fonction des dates de relevés

On note deux cinétiques différentes sur l'évolution des captures dans les deux TM. Les périodes de floraison du colza et de la strate herbacée ont été présentées car elles sont susceptibles d'avoir impacté les captures en TM2 et TM1, respectivement, vu le positionnement des tentes. N'étant pas pollinisé par les insectes, la période de floraison du blé n'a pas été représentée. La chute de la courbe correspondant à TM2 au-delà du 16 mai s'explique par l'absence des

données sur les parasitoïdes en TM2, cela n'est pas à mettre en lien entre la floraison du colza. Ces données seront fournies prochainement.

4.2.3 Lien entre le score et les captures par auxiliaire

Les scores auxiliaires peuvent être comparés avec le nombre d'individus capturés. La figure 10 représente le lien entre le score et les captures par auxiliaire.

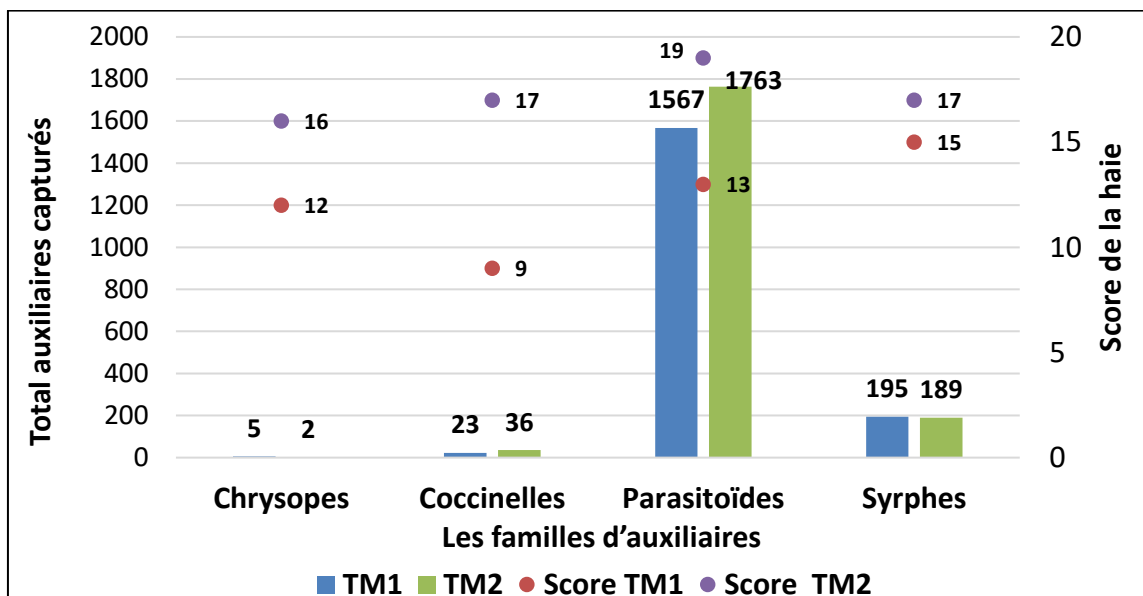


Figure 10: Lien entre le score et les captures par auxiliaires

Pour les coccinelles et les hyménoptères parasitoïdes, les captures sont légèrement plus élevées sur la TM2. En revanche, aucun lien pour les autres familles (Figure 10).

4.3. Résultat du piégeage par aspiration

4.3.1 Auxiliaires spécialistes aspirés durant la campagne

Douze séances d'aspiration ont été faites durant la campagne. Les auxiliaires spécialistes capturés sont les coccinelles, les syrphes, les chrysopes, les hyménoptères parasitoïdes et les sphécides. Au total 1302 insectes de ces familles ont été capturés dans les deux parcelles à proximité des haies. Ils sont représentés sur la figure 11 en fonction des haies

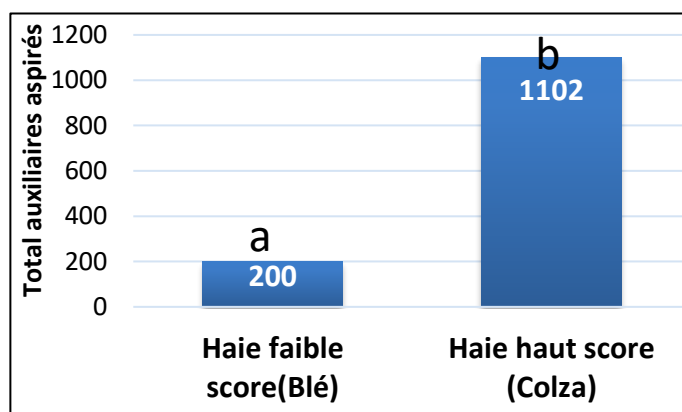


Figure 11: Total des auxiliaires aspirés selon les haies

Sur l'ensemble des aspirations, il y a significativement plus d'auxiliaires capturés dans la parcelle en colza à proximité de la haie à haut score que dans la parcelle en blé à proximité de la haie à

faible score (annexe 12.2). La confusion d'effet entre la culture et le score de la haie ne permet pas de lien de causalité.

Les auxiliaires de cultures sont attirés par la floraison des espèces végétales. Les captures d'auxiliaires dans la parcelle en colza (haie à haut score) sont élevées durant la floraison du colza (annexe 11).

L'étude des captures par famille d'auxiliaires permet de voir que les parasitoïdes sont les plus abondants dans les deux parcelles (annexe 12.1). On note significativement plus de parasitoïdes dans la parcelle en colza que dans la parcelle en blé. En revanche pas de différence pour les autres familles (annexe 12. 2)

4.3.2 Evolution des captures selon les distances d'aspiration

Le but premier du piégeage par aspiration est d'étudier la dissémination des insectes dans les parcelles adjacentes aux haies. La figure 12 représente la moyenne des captures en fonction des distances.

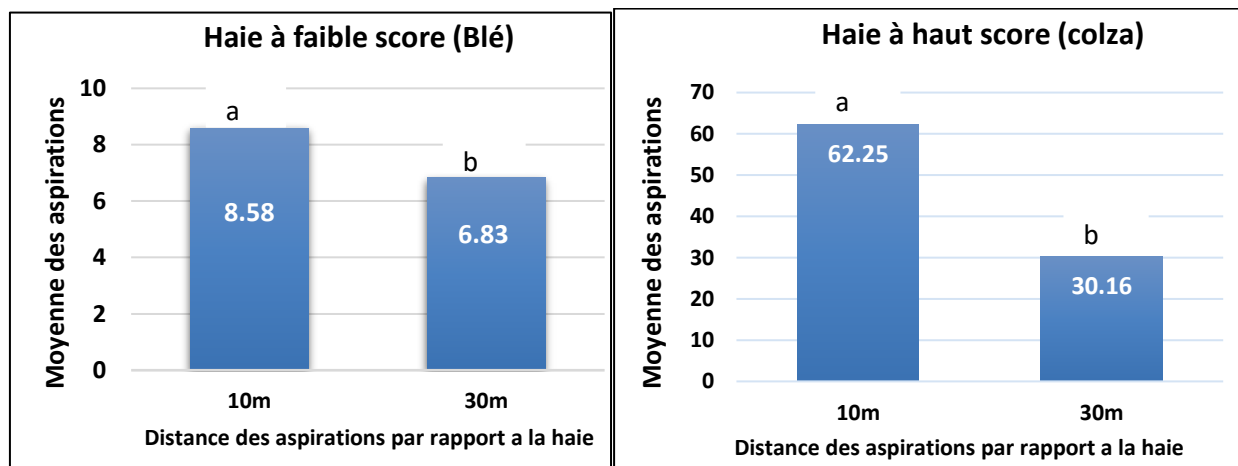


Figure 12: La moyenne des auxiliaires capturés en fonction de la distance à la haie

Il y a significativement plus de captures à 10 m qu'à 30 m, avec un écart plus marqué à proximité de la haie à haut score (figure 12) (annexe 13).

Pour faire un lien entre le score par auxiliaire des haies et le nombre d'insectes aspirés à leur proximité, le total des captures avec le score par auxiliaire sont renseignés dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3 : Comparaison entre les scores de la haie à faible score avec le total d'auxiliaires aspirés

	Haie à faible score						Total pour la haie
	Syrphes	Chrysopes	Coccinelles	Parasitoïdes	Sphécides	Staphylins	
Score de l'indicateur	15	12	9	13	1	1	14.28 (Strates arbustive + herbacée)
Somme des aspirations	2	3	1	194	0	1	201

Tableau 4 : Comparaison entre les scores de la haie à haut score avec le total d'auxiliaires aspirés

	Haie à haut score						Total pour la haie
	Syrphes	Chrysopes	Coccinelles	Parasitoïdes	Sphécides	Staphylins	
Score de l'indicateur	17	16	17	19	4	3	131.10 (Strates arbustive + herbacée)
Somme des aspirations	1	5	8	1088	0	4	1106

Le score de l'indicateur pour chacune des haies et le total des aspirations respectent les mêmes hiérarchies. Le score par auxiliaire dans la haie à haut score est plus élevé que celui dans la haie à faible score. En comparant ces scores avec le nombre d'insectes aspirés, il ne semble donc pas y avoir de relation entre l'indicateur et le nombre d'insectes capturés.

4.3.3 Evolution des auxiliaires et des pucerons aspirés

La figure 13 représente le nombre total des auxiliaires et des pucerons aspirés dans la parcelle de blé à proximité de la haie à faible score.

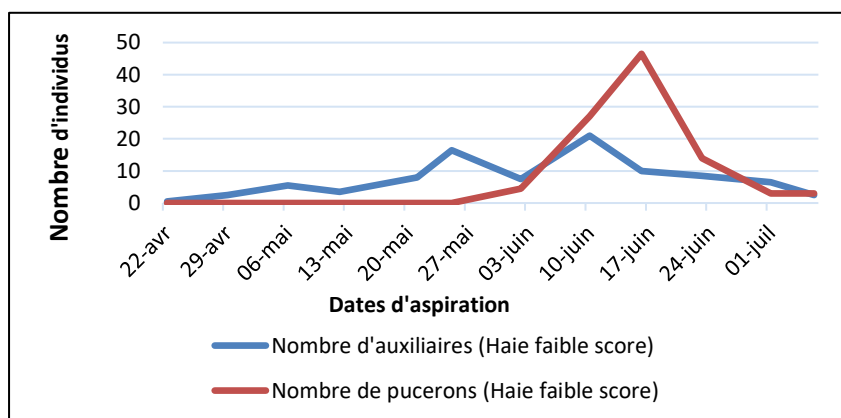


Figure 13 : Evolution du total des auxiliaires et des pucerons aspirés dans la parcelle de blé, haie faible score

Cette année, la problématique de pucerons sur épi en blé n'est pas significative avec globalement très peu de vol (BSV Lorraine, Grandes cultures, 2022).

L'évolution des captures auxiliaires, étant presque identique durant toute la campagne, il est impossible de conclure sur une éventuelle régulation des populations de pucerons par les auxiliaires.

Les résultats des observations visuelles de pucerons sur épis de blé ne sont pas présentés car aucun puceron n'a été observé.

4.4. Comparaison de 2021 et 2022

Les années 2021 et 2022 sont deux années climatiquement différentes comme le montre l'analyse fréquentielle du climat, pour autant elles ne ressortent pas du domaine climatique exploré depuis 2007 et n'ont donc pas de caractère exceptionnel. La météo a été très hétérogène durant toute la

campagne de piégeage de 2021. C'était une année très pluvieuse surtout pendant l'été (juillet), contrairement à 2022 qui est plutôt une année chaude et sèche (Figure 14) (annexe 14).

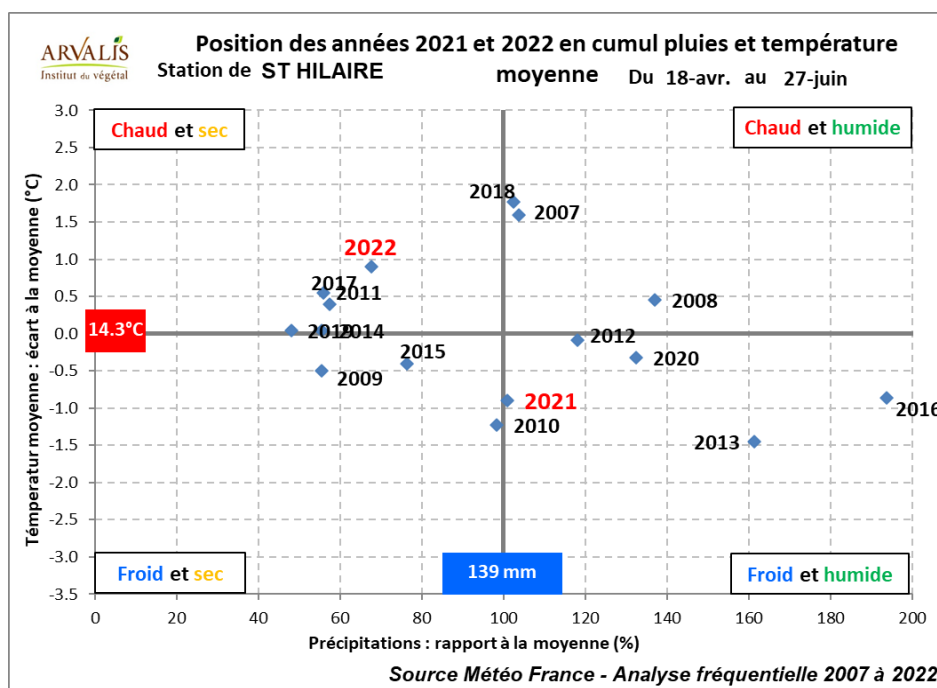


Figure 14: Comparaison des données météorologiques de 2021 et 2022

En référence à l'impact des conditions météorologiques sur les insectes, une comparaison est faite sur les aspirations de 2021 et 2022 dans les parcelles de blé à proximité de la TM1. Les chiffres et les conditions d'aspirations lors de ces deux années sont mentionnés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Comparaison des conditions et données d'aspiration de 2021 et 2022.

Années	Période d'aspiration	Nombre d'aspiration	Total auxiliaires aspirés	Avis sur les conditions de capture
2021	20 avril au 19 juillet	13	91	3 défavorable
				3 très défavorable
				3 favorable
				4 très favorable
2022	22 avril au 06 juillet	12	185	8 favorable
				4 très favorable

Les conditions météorologiques sont meilleures en 2022 : elles sont plutôt favorables voire très favorables. Il y a plus de capture en 2022 qu'en 2021 (Tableau 5). La figure 15 représente ces captures par année et en fonction des distances.

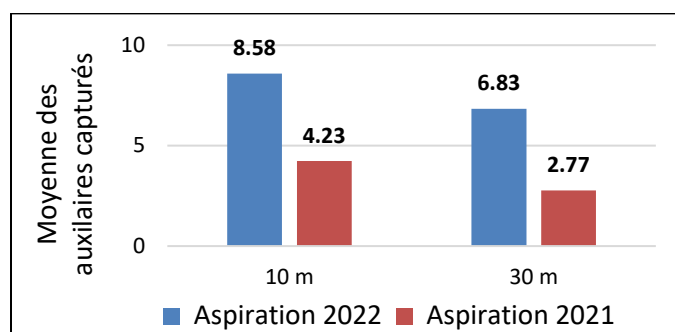


Figure 15: Comparaison entre les aspirations de 2021 et celles de 2022 à différentes distances de la haie à faible score (Parcelles en blé).

Les auxiliaires sont présents dans les 30 premiers mètres au cours de ces deux années. Il y’a plus de captures en 2022 qu’en 2021. L’analyse de la variance, au seuil de 5% montre une différence significative entre les aspirations de ces deux années, et également entre les distances quelle que soit l’année (annexe 15).

Les résultats des TM peuvent aussi être comparés sur ces deux années. Il a été décidé de ne pas faire cette comparaison avec les résultats partiels.

5-Discussion

La méthodologie de calcul du score final de la haie par l’indicateur à scoring a fait l’objet de discussions. La méthodologie finalement arrêtée et appliquée doit être soumise à la communauté scientifique afin de recueillir l’avis des uns et des autres.

Les résultats partiels des TM ne permettent pas de valider l’effet score entre les deux typologies de haies. Sur ces deux années, les résultats de piégeage par TM ne sont pas suffisamment robustes pour valider l’indicateur. Il va falloir attendre les résultats manquants de l’été 2022 pour faire une analyse complète sur deux années. Ces résultats à venir permettront de voir si l’écart de capture d’auxiliaires entre ces TM se creuse davantage avant de se prononcer sur la fiabilité de l’indicateur. Les cantharides ne sont pas prises en compte dans l’indicateur. Toutefois, leurs données peuvent renseigner sur celles des coccinelles. Ces deux auxiliaires sont aphidiphages spécifiques. Ils rentrent souvent en compétition vis-à-vis des pucerons, ainsi plus il y a des cantharides, moins il y a de chance de trouver les coccinelles (Chapelin-Viscardi, 2021). Dans ce cas-ci, il pourrait donc y avoir plus de coccinelles dans la haie à faible score, ce qui rapprocherait encore plus l’écart avec le nombre d’individus de la haie à haut score.

La haie à haut score est diversifiée en essences nectarifères et pollinifères qui lui confèrent une forte capacité d’accueil en auxiliaires. En dehors des caractéristiques spécifiques à la haie, pouvant

agir sur son potentiel auxiliaires, l'interaction avec les facteurs extérieurs joue également un rôle déterminant.

La proximité avec des prairies permanentes, avec des cultures et des forêts ainsi que les conditions météorologiques lors du piégeage conditionnent l'activité des auxiliaires. Les inflorescences au cours de la floraison du colza attirent de nombreux arthropodes, et notamment des auxiliaires entomophages (Cerrutti *et al.*, 2019). Une prairie permanente bien diversifiée a un fort potentiel auxiliaire et contribue à la régulation naturelle des ravageurs (Arranz *et al.*, 2015), elle multiplie par deux l'abondance des coccinelles (Leather *et al.*, 1999). Aussi, il y a plus de surface en prairie proche de la TM2 que de la TM1. Ces facteurs pourraient expliquer en partie le nombre plus élevé d'auxiliaires aspirés à proximité de la haie diversifiée qu'à proximité de la haie peu diversifiée.

Vu l'importance connue des conditions météorologiques sur les captures d'insectes, il est intéressant de mettre en commun les données de deux années climatiquement différentes pour voir si les tendances sont robustes dans le temps malgré cette variation climatique.

Les résultats des aspirations vont globalement dans le même sens que ceux des TM. Le nombre d'auxiliaires aspirés dans la parcelle de colza à proximité de la haie à haut score est largement supérieur au nombre d'auxiliaires aspirés dans la parcelle de blé à proximité de la haie à faible score (tableaux 3 et 4).

Dans chacune des parcelles, les auxiliaires sont bien présents dans les 30 premiers mètres de la haie. Dès lors qu'il y a plus de capture à 10 m que 30 m, il vaut mieux faire en sorte de réduire la distance aux IAE dans les parcelles afin de maximiser la régulation biologique sur leurs surfaces. Réduire la taille des parcelles est une possibilité. A surface égale, on peut également reconfigurer des parcelles plutôt en longueur avec une largeur étroite, permettant de limiter les contraintes pour les agriculteurs et d'avoir des IAE toujours assez proches du cœur des parcelles (Tscharntke *et al.* 2021).

Pour avoir une limite précise sur la distance de dissémination des auxiliaires dans les parcelles, les aspirations pourront se faire jusqu'au-delà de 30 mètres.

Cette année, la problématique de pucerons en grandes cultures n'était pas préoccupante. La quasi-absence de pucerons ne permet pas de conclure sur leur régulation par les auxiliaires.

Conclusion et perspectives

Cette étude a permis d'améliorer la méthode de construction de l'indicateur à scoring. La prise en compte d'une part, du potentiel auxiliaire des strates arbustive et herbacée, d'autre part, l'intégration des coefficients typologique et d'abondance permettant d'inclure la diversité végétale d'une haie dans son attractivité vis-à-vis de la faune auxiliaire, globalisent diverses composantes de la haie dans sa note auxiliaire.

Sur la base des données disponibles à ce jour, il n'y a pas d'effet significatif du score de l'indicateur sur les piégeages auxiliaires dans les TM.

Une perspective d'analyse de données est sans nul doute de rentrer plus en détail dans la composition spécifique des groupes d'auxiliaires identifiés, en particulier chez les cantharides, coccinelles ou sphécides qui peuvent avoir des exigences écologiques très variées. Les premières impressions à l'identification suggèrent qu'il pourrait y avoir des différences assez importantes entre les deux haies de ce point de vue (communication personnelle de Jean-David Chapelin-Viscardi). En particulier, certaines espèces sont dépendantes de plantes ligneuses pour réaliser une partie de leur cycle, et pourraient donc être plutôt associées aux haies à strate arborée importante.

Les recherches sur cet indicateur doivent être poursuivies sur la station et au sein de l'Institut en se basant sur les travaux déjà réalisés. Cet indicateur à scoring pourra par la suite être testé dans d'autres stations au contexte paysager différent pour une comparaison de résultats.

Au-delà de l'Institut, toujours dans le but d'acquérir des données pour valider l'indicateur, des relations de partenariat pourraient être envisagées avec d'autres structures externes pour un projet commun dans la région Grand Est.

De nouvelles méthodes de piégeage peuvent également être testés afin de capturer les auxiliaires à forte capacité de vol, et aussi éviter la dégradation des insectes fragiles comme le fait le piégeage par aspiration. Le piégeage par filet fauchoir recommandé par le laboratoire d'éco-entomologie pourrait être testé.

D'autres familles d'auxiliaires comme les cantharidae pourront être intégrées dans cet indicateur. De même, l'intégration d'auxiliaires terricoles, comme les carabidae, pourrait être envisagée. La mise en place d'un dispositif de piégeage par pot barber, préconisé par Jean-David Chapelin-Viscardi du laboratoire d'éco-entomologie d'Orléans, pourrait être utilisé pour leur piégeage ce qui permettrait par la suite de confronter la note auxiliaire terricole avec des mesures de terrain.

Références bibliographiques

- Baldi I., Bouvier G., Cordier S., Coumoul X., Elbaz A., Gamet-Payraastre L., Le Bailly P., Multigner L., Rahmani R., Spinosi J., Van Maele-Fabry G. ; 2013. Pesticides, effets sur la santé. Synthèse et recommandations. Rapport de l'expertise collective Inserm. 141 p.
- Carpentier Mathilde, 2014. Auxiliaires des cultures : Une armée de mandibules et d'élytres à votre service.
- Céline ROBERT, Nicolas CERRUTTI, 2019. La régulation naturelle des ravageurs du colza, [en ligne]; Consulté le 08/04/2022 ; disponible sur : <https://www.terresinovia.fr/-/la-regulation-naturelle-des-ravageurs-du-colza>
- Centre Régional de la Propriété Forestière de Bourgogne, 2005. Promouvoir l'arbre et la haie en Bourgogne ; 21 p.
- Chambre d'Agriculture de Puy – de- Dôme, 2018. Les auxiliaires des cultures, les connaître et les favoriser
- Chambres d'agriculture. Outils Auxil'Herbe. Consulté le 20 avril 2022 ; disponible sur: <https://chambres-agriculture.fr/agriculteur-et-politiques/foret-et-agroforesterie/agroforesterie/auxilhaie-et-auxilherbe/>
- Charles-Antoine DEDRYVER, Joseph JAHIER¹, Jean-François LE GALLIC, Pierre RIGOLLE, MAXIME Trottet ; 2008 D. Introduction de résistance au puceron des épis *Sitobion avenae* chez le blé dur.
- Dedryver, C.-A., Le Ralec, A., & Fabre, F. 2010. The conflicting relationships between aphids and men : A review of aphid damage and control strategies. *Comptes Rendus Biologies*, 333(6), 539–553. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.03.009>
- Denoir Jean Thomas, 2017. Les haies « ecofonctionnelles » en grandes cultures favorisant les auxiliaires de cultures, conception et gestion de l'aménagement.
- 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. Disponible sur : <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- Elise Morel et Laura Brun ; 2019 ; Des bandes fleuries pour favoriser les auxiliaires
- Elyse Lepage. 2020. Approcher une notion de paysage multifonctionnel en mettant en œuvre un travail de diagnostic
- Englund, G., G. Ohlund, C.L. Hein & S. Diehl. 2011. Temperature dependence of the functional response. *Ecology Letters* 14 : 914-921.
- Évelyne Turpeau-Ait Ighil, Charles-Antoine Dedryver, Bernard Chaubet, Maurice Hullé ; 2011. Les pucerons des grandes cultures, cycles biologiques et activités de vol. *Acta*, Le réseau des instituts des filières animales et végétales, Éditions Quæ ; 136p
- Frédéric Boyer, Raphaëlle Ulrych, Marianne Sellam, Violaine Lejeune ; 2017. Les auxiliaires des cultures : Biologie, écologie, méthodes d'observation et intérêts agronomique ; Editions Acta ; ISBN 978-2-85794-283-2 ; 263p.
- Graham Martin, Maika De Bellabre, Antoine Lespine, Antoine Brin. 2020. Biodiversité fonctionnelle : Définition. *Dictionnaire d'Agroécologie*, Consulté le 09/04/2022 ; Disponible sur : <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/biodiversite-fonctionnelle/>
- Jacques Jean Baptiste, 2021. Approcher une notion de paysage multifonctionnel en mettant en œuvre un travail de diagnostic biodiversité sur la station de Saint Hilaire en Woëvre dans son territoire : validation d'indicateurs pertinents.
- Jost L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375. Consulté le 26/07/2022. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>

- J.Lambion, J.-P. Sarthou, F.Warlop ; 2009 ; RMT DévAB – AXE 1 – Santé – Fiche n° 3 : Favoriser les auxiliaires naturels en AB
- J.M Arranz, Coralie Artano-Garmendia, Nicolas Bernos, Marion Charbonneau, Pierre Gascoyat, et al., 2015. Les prairies permanentes basco-béarnaises. Caractériser la diversité, les modes d'utilisation et les services écosystémiques. [Rapport Technique] SET, UPPA, HAL Id : hal-02181104
- Leather S.R., Cooke R.C.A., Fellowes M.D.E. & Rombes R. (1999) . Distribution and abundance of ladybirds (Coleoptera : Coccinellidae) in non-crop habitats. *European Journal of Entomology* 96, 23-27.
- 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)
- Matthias Albrecht, Viktor Dubsky, Felix Herzog et Katja Jacot ; 2016 ; Les bandes fleuries pour auxiliaires limitent les ravageurs dans les grandes cultures
- Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement., 2013. Qu'est ce que l'agroécologie. Consulté le 25 mai 2022. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.gouv.fr/quest-ce-que-lagroecologie>
- Petit, S., Lavigne, C., Aviron, S., Hannachi, M., Rusch, A., & Tichit, M. (2019). Gestion multi-échelle de la biodiversité fonctionnelle pour une agriculture durable. Dans *Paysage, biodiversité fonctionnelle et santé des plantes*. Édition : Quae, Educagri, pp. 9-12.
- Pilar Otero Sancho, 2018. Prévoir les régulations naturelles des pucerons par les auxiliaires en grandes cultures : collectes et analyses de données en vue de l'amélioration d'un outil d'évaluation multicritère DEXi. *Sciences du Vivant [q-bio]*. HAL Id : dumas-02962273 ; 54p
- Pollier Anna ; 2016 ; Interactions between species composition of field margin vegetation, landscape structure, land use and pest control – an optimisation of the wildflower strip approach.
- Projet SEBIOREF. 2017. Connaître la biodiversité utile à l'agriculture pour raisonner ses pratiques - Fiche 6 : Infrastructures agroécologiques et auxiliaires des cultures. 2p. DOI : 10.15454/1.5232665702632903E12
- Thomas Minhondo, Bixente Idiart, Adeline Bouvard. 2020. Bande enherbée : Définition. *Dictionnaire d'Agroécologie*, <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/bande-enherbee/> [Bande enherbée – Dictionnaire d'agroécologie (dicoagroecologie.fr)]
- Thierry Caquet, Chantal Gascuel, J.L Peyraud. 2020. Priorités de la recherche : les apports des ateliers de réflexion prospective interdisciplinaire agroécologie et élevages pour demain d'INRAE. *Innovations Agronomiques*, INRAE, 80, pp.1-12
- Tosser Véronique, 2015. Les coccinelles : des auxiliaires utiles contre les pucerons. *ARVALIS Infos*. Consulté le 31/05/2022, Disponible sur : <http://www.arvalis-infos.fr/les-coccinelles-grandes-amatrices-de-pucerons-@/view-17106- arvarticle.html>
- Tosser V., Barrier A., Canard E., Cerrutti N., Cervek C., Chabert A., Chapelin-Viscardi J.-D., Lair P. , Lasserre-Joulin F., Meiss H., Plantegenest M. , Rouabah A. , Sacco-Martret De Preville A., Therond O., Villerd J. , Wartelle R. 2022. ARENA - Evaluation de la régulation naturelle des ravageurs en grandes cultures par les auxiliaires de cultures : réseau d'observations et construction de ressources pour intégrer ce service dans le raisonnement de la protection intégrée. *Innovations Agronomiques* 85, 17-30
- Tscharntke, T., Grass, I., Wanger, T. C., Westphal, C., & Batáry, P. 2021. Beyond organic farming – harnessing biodiversity-friendly landscapes. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(10), 919–930. Consulté le 26/07/2022. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.06.010>
- Villenave-Chasset Johanna, Sandrine Leblond ; 2019. Des bandes fleuries pour les auxiliaires dans les grandes cultures ? Oui mais lesquelles ? *Innovations Agronomiques*, INRAE, 75, pp.137-151
- Villenave-Chasset Johanna. 2020. Biodiversité fonctionnelle. Protection des cultures et auxiliaires sauvages, 2^{ème} édition, Edition France Agricole, ISBN 978-2-8557-648-0 ; 167p.

- Vincent Corffdir, 2018. Guide pratique des insectes et autres invertébrés des champs, Editions France Agricole, ISBN : 978-2-85557-574-2 ; 269p.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T. et al. 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 503–515. Disponible sur. <https://doi.org/10.1051/agro/2009004>

Annexes

Annexe 1 : Part des différentes classes d'éléments surfaciques et linéaires caractérisés dans le paysage (Lepage, 2020).

Eléments surfaciques	Nom de l'élément	Surface totale (Ha)	Surface (%) occupée
	Bois	92	8%
	Bandes enherbée	12	1%
	Mares	18	2%
	Prairies temporaires	46	4%
	Prairie	218	20%
	Parcelles cultivées	634	58%
	Autres éléments (Bâtis, jardins)	38	3%
	Total général	1056	97%
Eléments linéaires	Nom de l'élément	Longueur (Km)	Nombre d'éléments
	Haies	17	83
	Bandes enherbées	13	33

Annexe 2 : Potentiel auxiliaire de chaque parcelle de l'exploitation (Jacques, 2021).

	Parcelles (valeurs de références)											Plus haut score possible
	Parcelle 1	Parcelle 2	Parcelle 3	Parcelle 4	Parcelle 5	Parcelle 6	Parcelle 7	Parcelle 8	Parcelle 9	Parcelle 10	Parcelle 11	
Potentiel Auxiliaires	6	4	6	6	6	6	6	4	6	4	6	6

Annexe 3 : Note auxiliaire par strate et par espèce végétale dans la haie à haut score

Haie	5							
Typologie	H6							
Longueur	200							
Strate arbustive	Code	Ch	Co	HP	Sy	Sp	St	Note Aux. Esp.
Charme	Charme0.2	1	1	1	0	0	0	3
Chêne	Chene1	1	1	1	1	1	0	5
Cornouiller	Cornouiller0.6	1	1	1	1	0	1	5
Crataegus	Crataegus1	1	0	1	1	0	0	3
Eglantier	Eglantier0.5	1	0	1	1	1	0	4
Erable	Erable0.2	0	1	1	0	0	1	3
Frêne	Frene1	1	1	1	0	0	0	3
Fusain d'Europe	Fusain d'Europe0.1	0	1	1	0	0	1	3
Noisetier	Noisetier0.2	1	1	1	1	1	0	5
Prunus	Prunus4.5	1	1	1	1	0	0	4
Tilleul	Tilleul0.2	1	1	1	1	0	0	4
Viorne	Viorne1	1	1	1	1	0	0	4
Note par auxiliaire	-	10	10	12	8	3	3	-
Note auxiliaire Haie	46							
Strate herbacée								

Carotte	Carotte	1	0	1	1	1	0	4
Centauree jacée	Centauree jacée							0
Chardon	Chardon	1	1	1	1	0	0	4
Euphorbe	Euphorbe	0	1	1	1	0	0	3
Liseron des champs	Liseron des champs	0	0	0	1	0	0	1
Matricaire inodore	Matricaire inodore	0	1	0	1	0	0	2
Millepertuis perforé	Millepertuis perforé	0	0	0	1	0	0	1
Pâquerette	Pâquerette	1	0	0	0	0	0	1
Paturin des prés	Paturin des prés							0
Potentille rampante	Potentille rampante	1	1	1	1	0	0	4
Renoncule	Renoncule	0	0	1	1	0	0	2
Séneçon commun	Séneçon commun	1	1	0	0	0	0	2
Vesce	Vesce	1	1	1	1	0	0	4
Paturin	Paturin	0	0	1	0	0	0	1
Brome mou	Brome mou	0	1	0	0	0	0	1
Note par auxiliaire		6	7	7	9	1	0	
Note auxiliaire haie				30				
Score initial haie (arbustive + Herbacée)				76				
Coefficient typologique				1.25				
Score Initial pondéré avec coef typo				95				
Moyenne Indice H				1.38				
Score final haie (Score initial pondéré avec H)				131.1				

Annexe 4 : Mode opératoire de caractérisation de la strate herbacée

La caractérisation de la strate herbacée s'est faite en s'inspirant de la méthodologie de Ecobordure, une méthodologie de caractérisation des bordures des champs.

La taille de la bordure et son homogénéité interviennent dans la méthodologie d'Ecobordure. La délimitation des zones d'échantillonnage tient compte des caractéristiques spécifiques à chaque bordure.

Comme le préconise la méthodologie d'Ecobordure pour des bords des champs, nous avons à cet effet délimité dans chacune des haies un transect de 25 m.

Dès lors qu'une haie a un linéaire conséquent et potentiellement une flore variable, on s'autorise à fragmenter le transect de 25 m en plusieurs zones : exemple 10-10-5 m ou 5-5-5-5-5 m ; ceci à la même image de ce qui a été fait sur la strate arbustive.

Dans cette zone délimitée, des quadrats d'1m² sont faits et délimités par des jalons ; soit 18 quadrats au total pour les 25 m de transect linéaire (annexe 4.1. & 4.2.). Ces quadrats sont posés aux pieds des arbustes de la haie (1 m de la haie).

La strate herbacée est composée de graminées et de dicotylédones. Partant du principe que les graminées auront peu d'influence sur les auxiliaires et donc sur le score de la haie, l'identification des espèces présentes semble peu pertinente au vu du temps nécessaire à y consacrer.

Cependant la part qu'occupe ces graminées par rapport aux dicotylédones sera elle prise en compte.

Par exemple, elle peut être de 70% pour les graminées et 30% pour les dicotylédones de sorte que la somme donne 100% dans le quadrat.

Exception faite sur la haie à faible score (haie n°217) et la haie à haut score (Haie n°5) où les graminées et les dicotylédones ont été caractérisés dans chaque quadrat.

Exemple : Quadrat 1 = 70% graminées + 30% dicotylédones

Quadrat 2= 10% graminées +90% dicotylédones

Les différents outils d'aide à la reconnaissance : les clefs d'identification, les différents ouvrages, application Plantnet etc.

L'abondance de chaque espèce (en pourcentage de recouvrement) est calculée par rapport au total de toutes les espèces (graminées et dicotylédones) constituant la haie. Le total des abondances donne 100% pour la haie.

Annexe 4.1 : Zone de 1m2 délimitée par des jalons pour comptage graminées et dicotylédones



Annexe 4.2 : Quadrat de 1m2 délimitée par des jalons pour comptage graminées et dicotylédones



Annexe 5 : Les différentes typologies de haies et les coefficients appliqués (Lepage, 2020 ; Jacques 2021)

Code	Typologie	Coefficient (de 0,25 à 1,5)
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 6 : Indice de Shannon strate herbacée

	Indice shannon H		
Haie faible score 217			
Strate herbacée	pi	lnpi	Pi*lnPi
Gaillet	0.13111111	-2.03171014	-0.26637977
Achille mille feuilles	0.00555556	-5.19295685	-0.02884976
Aigremoine	0.00666667	-5.01063529	-0.03340424
Ail des vignes	0.00111111	-6.80239476	-0.00755822
Bleuet	0.00277778	-5.88610403	-0.01635029
Brunelle	0.00055556	-7.49554194	-0.00416419
Carex	0.00388889	-5.54963179	-0.0215819
Carote sauvage	0.00222222	-6.10924758	-0.01357611
Cereste	0.01166667	-4.45101951	-0.05192856
Chardon	0.00055556	-7.49554194	-0.00416419
colchique	0.02055556	-3.88462403	-0.07985061
Géranium	0.00888889	-4.72295322	-0.04198181
Gesse	0.02833333	-3.56371631	-0.10097196
grande oseille rumex	0.00277778	-5.88610403	-0.01635029
Indice H			1.01

Annexe 7 : Relevé des conditions météorologiques lors des aspirations.

Date	Température	Temps	Heure de capture	Pluviométrie	Humidité culture	Condition de capture
22/04/2022	17.7°	Ensoleillé	13h40-14h40	Nul	Sec	Très favorable
29/04/2022	18.95	Couvert	13h30-14h45	Nul	Sec	Favorable
06/05/2022	22.4°	Ensoleillé	13h40-14h50	Nul	Sec	Très favorable
12/05/2022	24.3°	Couvert	13h46-14h50	Nul	Sec	Favorable
21/05/2022	23.5°	Couvert	11h05-13h40	Nul	Sec	Favorable
25/05/2022	19	Couvert	13h40-15h20	Nul	Sec	Favorable
02/06/2022	29	Couvert	13h40- 15h20	Nul	Sec	Favorable
10/06/2022	28°	Ensoleillé	13h40-15h00	Nul	Sec	Très favorable
16/06/2022	31°	Ensoleillé	13h40-15h10	Nul	Sec	Très favorable
23/06/2022	30°	Couvert	14h05-15h40	Nul	Sec	Favorable
01/07/2022	26°	Couvert	15H10- 16h 30	Nul	Sec	Favorable
06/07/2022	22°	Couvert	14h50-16h04	Nul	Sec	favorable

Annexe 8 : Filet à maille fine placé à l'entrée du tube (à gauche) ; aspiration dans les placettes (à droite)



Annexe 9 : Analyse statistique des données des captures par TM

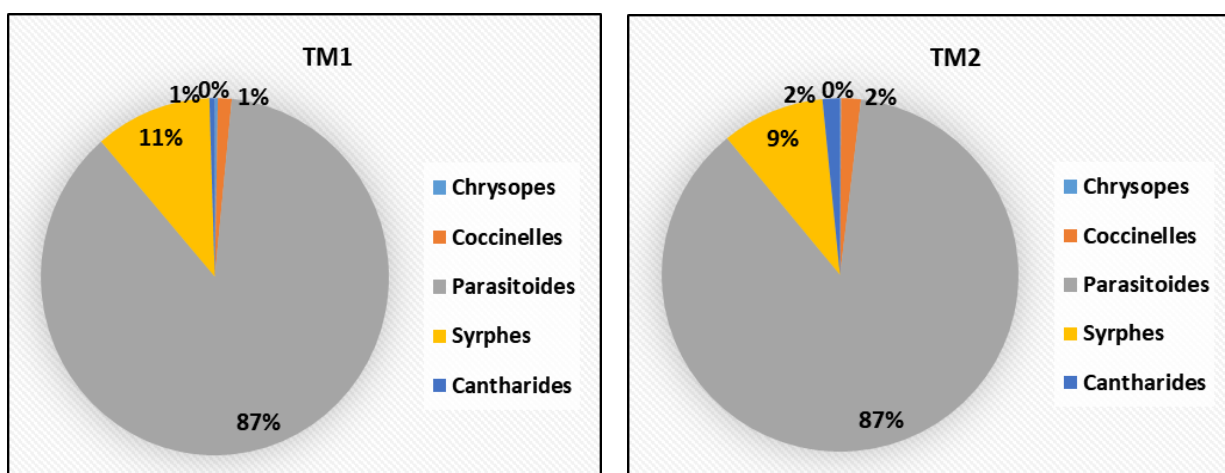
Pas de différence entre les TM, (code piège = les TM)

```
> Anova(m)
Analysis of Deviance Table (Type II wald chisquare tests)

Response: Aux_spes
             chisq Df Pr(>Chisq)
Code.piège  1.391  1    0.2382
> |
```

Annexe 10 : Etude par famille d'auxiliaires

Annexe 10.1 : Répartition des familles d'auxiliaires selon les tentes Malaise



Annexe 10.2 : Analyse statistique pas famille d'auxiliaire

```
> Anova(m)
Analysis of Deviance Table (Type II wald chisquare tests)

Response: Parasitoïdes
             Chisq Df Pr(>Chisq)
Code.piège 1.3764  1    0.2407
> emmeans(m, pairwise ~ Code.piège, type = "response")
$emmeans
Code.piège response      SE df lower.CL upper.CL
TM1             173  73.1  7    63.6    470
TM2             304 103.1  7   136.7    678

Confidence level used: 0.95
Intervals are back-transformed from the log scale
```

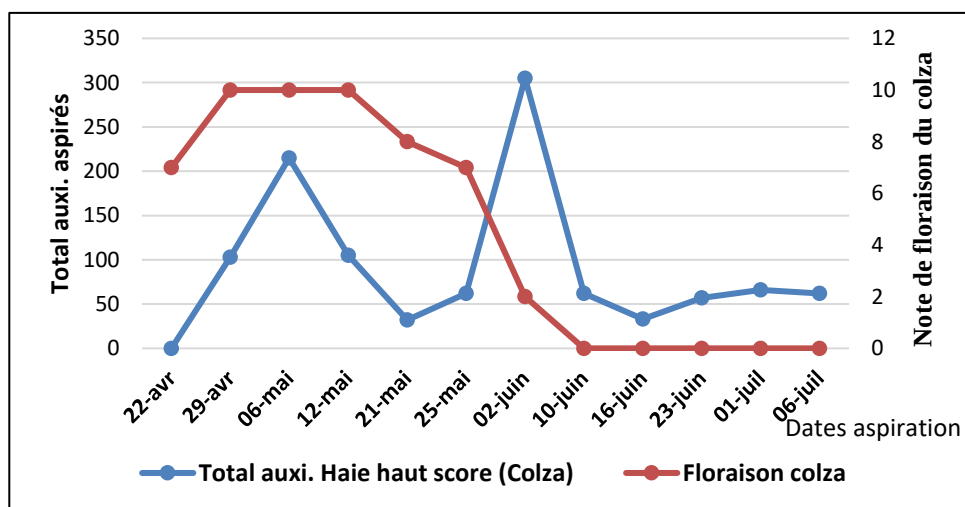
```
> Anova(m)
Analysis of Deviance Table (Type II wald chisquare tests)

Response: Syrphidae
             Chisq Df Pr(>Chisq)
Code.piège 0.721  1    0.3958
~ |
```

```
> Anova(m)
Analysis of Deviance Table (Type II wald chisquare tests)

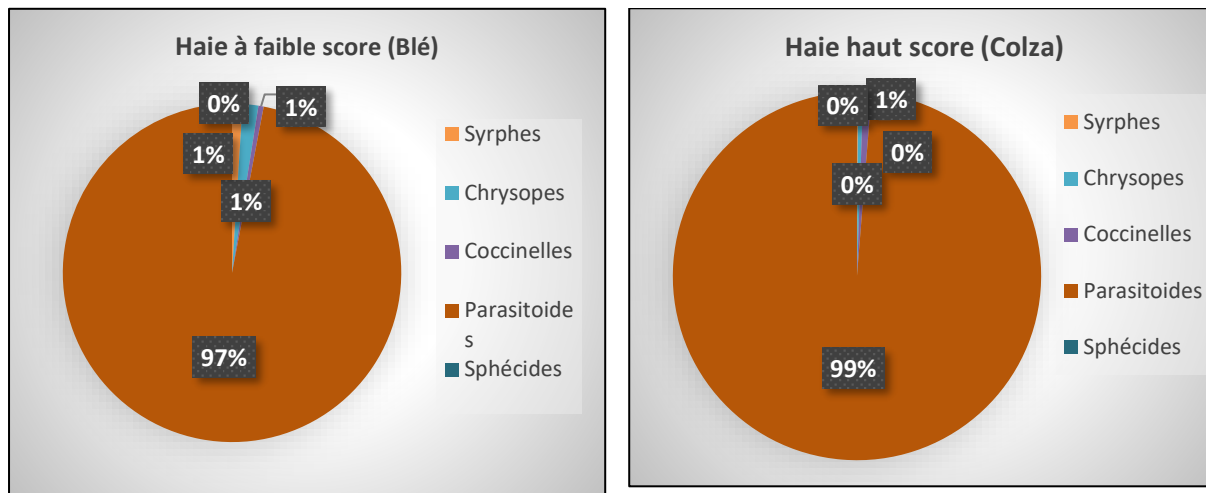
Response: Coccinellidae
             Chisq Df Pr(>Chisq)
Code.piège      0  1    0.9946
> |
```

Annexe 11 : Evolution des captures avec la floraison du colza dans la haie à haut score.



Annexe 12 : Etude par famille d'auxiliaires des captures par aspiration

Annexe 12.1 : Répartition des familles d'auxiliaires dans la haie à faible score à gauche et haie à haut score à droite



Annexe 12.2 : Analyse statistique

- Différence significative total auxiliaires dans les deux parcelles.

```
> Anova(m)
```

```
Analysis of Deviance Table (Type II wald chisquare tests)
```

```
Response: Auxiliaires_spécialisés
```

```
          chisq Df Pr(>Chisq)
```

```
Code      40.450  1  2.017e-10 ***
```

```
Distances 10.483  1  0.001205 **
```

```
---
```

Annexe 13 : Analyse statistique par distance et par parcelle : piégeage aspiration

- Total auxiliaires : Différence significative entre les distances dans les deux parcelles

```
$contrasts
```

```
Code = TM1:
```

contrast	ratio	SE	df	null	t.ratio	p.value
10 m / 30 m	1.64	0.251	140	1	3.238	0.0015

```
Code = TM2:
```

contrast	ratio	SE	df	null	t.ratio	p.value
10 m / 30 m	1.64	0.251	140	1	3.238	0.0015

- Les parasitoïdes

```

> m = glmmTMB(Parasitoïde ~ Code + Distances + Code:Distances, family = nbinom1(link =
"log"), data = Aspirations)
> simulationOutput <- simulateResiduals(fittedModel = m, plot = T)
> Anova(m)
Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: Parasitoïde
             Chisq Df Pr(>Chisq)
Code          40.0416 1  2.486e-10 ***
Distances      9.3732 1  0.002202 **
Code:Distances  4.2522 1  0.039199 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>

$contrasts
Code = TM1:
  contrast      ratio      SE df null t.ratio p.value
10 m / 30 m  1.06 0.268 139    1  0.220  0.8265

Code = TM2:
  contrast      ratio      SE df null t.ratio p.value
10 m / 30 m  2.04 0.396 139    1  3.685  0.0003

Tests are performed on the log scale

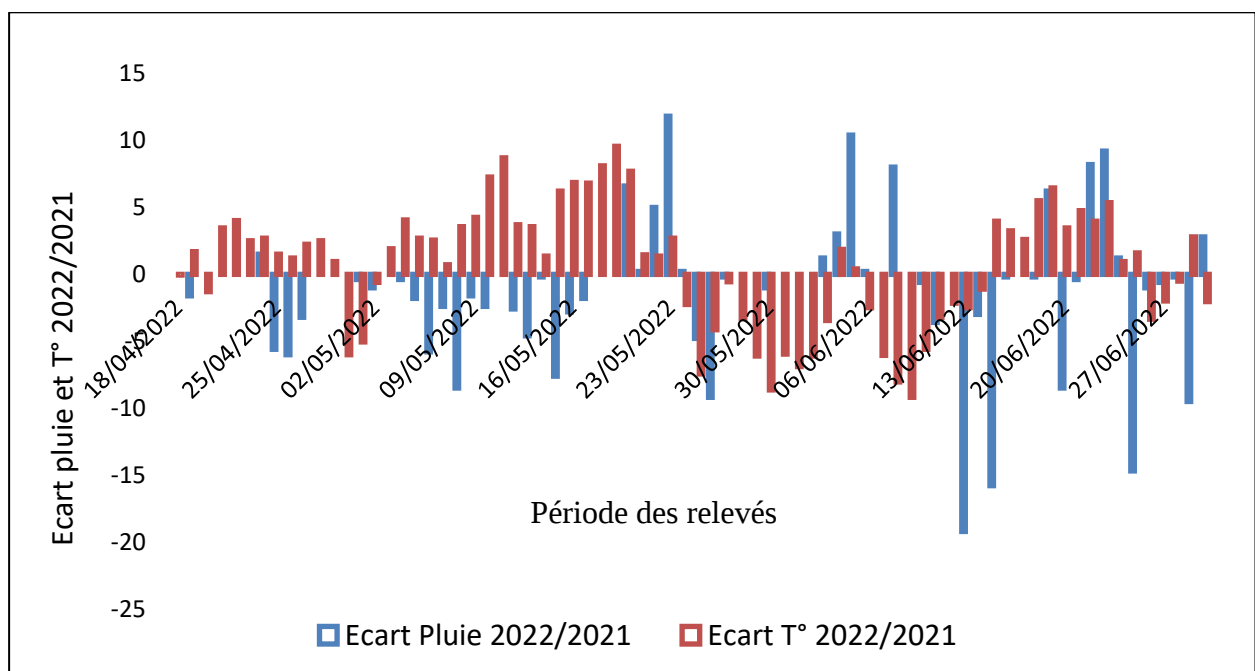
$emmeans
Code response      SE df lower.CL upper.CL
TM1         4.54 0.691 139      3.36      6.13
TM2        12.46 1.293 139     10.15     15.30

Results are averaged over the levels of: Distances
Confidence level used: 0.95
Intervals are back-transformed from the log scale

$contrasts
  contrast      ratio      SE df null t.ratio p.value
TM1 / TM2  0.364 0.0603 139    1 -6.100 <.0001

```

Annexe 14 : Ecart entre les températures et les pluviométries de 2022/2021



Annexe 15 : Comparaison aspiration 2021/2022 :

Différence hautement significative entre les aspirations de ces deux années, et également entre les distances quelle que soit l'année

```
> Anova(m)
Analysis of Deviance Table (Type II wald chisquare tests)

Response: Auxiliaires_spécialisés
      chisq df Pr(>chisq)
Annee    141.7730 1 < 2.2e-16 ***
Code      38.8380 1 4.605e-10 ***
Distance   7.4028 1 0.006512 **
Code:Distance 0.7055 1 0.400944
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```