

**Adrien MAILHE**

Rapport de stage de 2<sup>ème</sup> année du  
**MASTER BIODIVERSITÉ ÉCOLOGIE ET ÉVOLUTION**  
**PARCOURS : ÉCOSYSTÈME ET ANTHROPISATION**

Année 2024-2025

**HAIE EN MILIEU AGRICOLE : IMPACT DANS LA LUTTE BIOLOGIQUE ET  
VALIDATION D'INDICATEUR**



Maître de Stage : Romain BLAZY

Lieu du Stage : Ferme expérimentale ARVALIS de Saint-Hilaire en Woëvre

(16 Rue du Moulin de Moncelle, 55160 Saint-Hilaire-en-Woëvre)

## **Remerciements :**

Ce stage a été financé par le [RMT BIOREG](#) (Réseau Mixte Technologique « Biodiversité pour la Régulation Naturelle des Bioagresseurs ») que nous remercions pour sa contribution à l'élaboration d'un indicateur de qualité des haies vis-à-vis des auxiliaires de pucerons. Je tiens également à remercier Romain BLAZY et Pascaline PIERSON de la station de Saint-Hilaire en Woëvre pour leur indéfectible soutien au cours de ce stage. Des remerciements sont également adressés à Xavier MESMIN (ARVALIS) pour ses conseils sur les aspects statistiques et rédactionnels de ce rapport, ainsi qu'aux partenaires du programme AUXIFERME pour leur accueil au sein de leurs structures.

## Sommaire :

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I. Introduction :</b>                                                            | <b>1</b>  |
| 1- Problématique agricole                                                           | 1         |
| 2- Ravageurs et traitement conventionnel                                            | 1         |
| 3 – La lutte biologique                                                             | 2         |
| 4 – Les haies en lutte biologique                                                   | 3         |
| 5- ARVALIS                                                                          | 4         |
| 6- Campagne 2021-2024                                                               | 5         |
| 7- Problématique                                                                    | 6         |
| <b>II. Matériel et Méthode :</b>                                                    | <b>7</b>  |
| 1- Inventaire des haies                                                             | 7         |
| a- Méthode de scoring                                                               | 7         |
| b- Sites d'études                                                                   | 8         |
| 2- Météorologie                                                                     | 9         |
| 3- Tente Malaise                                                                    | 10        |
| 4- Aspirations / Observations                                                       | 10        |
| 5- Statistiques                                                                     | 12        |
| 6- Tâches annexes                                                                   | 13        |
| <b>III. Résultats :</b>                                                             | <b>13</b> |
| 1- Score des haies                                                                  | 13        |
| 2- Météorologie                                                                     | 14        |
| 3- Tentes Malaise                                                                   | 14        |
| a- Effectifs                                                                        | 14        |
| b- GLM                                                                              | 15        |
| c- Diversité                                                                        | 16        |
| 4- Aspiration/ Observation                                                          | 17        |
| a- Météorologie                                                                     | 17        |
| b- Effectifs                                                                        | 18        |
| c- Pucerons                                                                         | 19        |
| d- Parasitisme                                                                      | 19        |
| <b>IV. Discussion</b>                                                               | <b>20</b> |
| 1 – L'influence du score sur l'abondance et la diversité des auxiliaires y résidant | 20        |
| 2 – L'influence de la haie sur les auxiliaires s'étend dans les cultures            | 21        |
| 3 – La favorisation des auxiliaires impacte les populations de pucerons             | 22        |
| 4 – Les différences de scores à plus petite échelle impactent les auxiliaires       | 23        |
| 5 – La prairie possède un effet sur les auxiliaires des haies                       | 23        |
| <b>V. Conclusion :</b>                                                              | <b>24</b> |
| <b>VI. Références bibliographiques :</b>                                            | <b>26</b> |
| <b>VII. Annexes :</b>                                                               | <b>32</b> |

# I. Introduction :

## 1- Problématique agricole

Depuis le siècle dernier, le monde agricole a connu une profonde transformation. L'un des grands enjeux de l'époque était d'augmenter massivement la production afin de nourrir une population croissante après la Seconde Guerre mondiale. Cela s'est notamment traduit par une augmentation significative de la taille des parcelles, permettant l'introduction de nouveaux outils agricoles. Ainsi, la Surface Agricole Utile (SAU) moyenne d'une exploitation française est passée de 20 hectares en 1970 à 70 hectares en 2020 (Agreste, 2022).

Cependant, plusieurs signaux alertent sur les conséquences négatives de cette intensification : impacts sur la santé humaine (Hawkesworth et al., 2010), dégradation des sols (Jie et al., 2002) et gestion de la biodiversité.

## 2- Ravageurs et traitement conventionnel

La relation entre les agriculteurs et la biodiversité est complexe. Elle comprend à la fois des interactions positives (services écosystémiques) et négatives, comme la concurrence entre espèces végétales ou les pertes de production causées par des agents extérieurs : les ravageurs.

On appelle ravageurs tout organisme pouvant impacter négativement, et à grande échelle, une production agricole. Si ce terme peut concerner différents taxons, il désigne le plus souvent des insectes. Or, les changements climatiques induits par l'activité humaine, combinés aux pratiques agricoles modernes, suscitent une inquiétude croissante quant à l'efficacité des moyens actuels de lutte contre ces organismes.

En effet, les systèmes agricoles deviennent de plus en plus vulnérables aux invasions biologiques, facilitées par la mondialisation. En France, le nombre d'espèces d'insectes ravageurs invasifs est passé de 1 à 2 par an dans la seconde moitié du XXe siècle à 7 à 8 par an entre 2014 et 2020. Aujourd'hui, environ 10 % des ravageurs présents sur le territoire sont des espèces invasives (Moultet et al., 2020).

Dans les grandes cultures céréalières, les Hémiptères, et plus particulièrement les pucerons (*Metopolophium dirhodum*, *Rhopalosiphum padi*, *Sitobion avenae*), représentent une menace majeure. Ces insectes piqueurs-suceurs se nourrissent de la sève élaborée, provoquant :

- une perte de ressources pour l'épi,
- l'induction de protéines végétales favorisant la sénescence,

- l'injection de pathogènes,
- et l'excrétion de miellat, limitant la photosynthèse.

Les pucerons peuvent engendrer jusqu'à 40 % de pertes de rendement (Sadras et al., 2024).

Le changement climatique pourrait aggraver ces pertes. En 2001, les pertes mondiales liées aux ravageurs (insectes, champignons, etc.) étaient estimées entre 5 et 19 % pour les principales céréales (blé, riz, maïs) (Oerke, 2005). Ces pertes pourraient augmenter de 10 à 25 % par degré supplémentaire par rapport aux températures des années 1990, la France se situant parmi les pays les plus exposés (Deutsch et al., 2018). Selon le scénario intermédiaire du GIEC, cela représenterait une hausse de 50 % d'ici 2100 (GIEC, 2021).

Face à ces risques, l'un des moyens les plus utilisés pour lutter contre les ravageurs reste l'emploi d'insecticides. En France, leur utilisation avoisinait les 900 tonnes par an dans les années 2010 (Planetoscope). Si la tendance actuelle ne vise pas une réduction drastique des quantités, elle tend néanmoins vers une diminution de leur toxicité (plan Écophyto II). Cependant, le système agricole français reste largement dépendant de ces substances (Guichard et al., 2017).

De nombreuses molécules ont été restreintes voire interdites (ex. : roténone, lindane) en raison de leurs effets sur la santé humaine (Thany et al., 2013). Leur persistance dans l'environnement et leur dispersion en font un risque pour une large partie de la population.

Les pesticides sont aussi responsables d'un effondrement de la biodiversité. Leur sélectivité n'est pas toujours garantie, et certaines molécules récentes, bien que utilisées en plus faibles quantités, se révèlent plus toxiques que les précédentes (Europa, 2023). Leur impact concerne des services essentiels comme la pollinisation (Murcia-Morales et al., 2021), et certaines études rapportent des pertes de biodiversité pouvant atteindre 60 % en 40 ans (Wagner, 2020).

Enfin, un problème majeur de l'usage des pesticides est la sélection de résistances chez les ravageurs, pouvant rendre les produits inefficaces en quelques années. Des études ont montré une résistance multipliée par 10 à 20 chez des populations de pucerons sélectionnées en laboratoire (Chen et al., 2007 ; Halder et al., 2024).

Ainsi, il est crucial de développer des stratégies alternatives pour préserver l'efficacité des moyens de lutte existants.

### 3 – La lutte biologique

Parmi les alternatives, les pratiques intégrées, consistant à intervenir uniquement lorsque cela est nécessaire, permettent de réduire significativement le recours aux produits phytosanitaires. La lutte biologique s'inscrit dans cette dynamique. Elle est définie comme l'utilisation

d'organismes vivants pour limiter la prolifération d'espèces nuisibles. Trois approches principales existent (Eilenberg et al., 2001) :

1. **Lutte classique** : introduction d'un auxiliaire pour contrôler une espèce cible dans un nouveau milieu.
2. **Lutte par inoculation ou inondation** : relâcher régulièrement des auxiliaires non résilients dans l'environnement. L'intensité et la fréquence des apports distinguent ces deux modalités.
3. **Lutte par conservation** : favoriser ou préserver les auxiliaires déjà présents localement.

Bien que les applications de la lutte biologique aient connu un essor important aux XIXe et XXe siècles, notamment en Occident (Université de Californie), cette pratique est probablement ancestrale. Des preuves suggèrent que les premières formes conscientes de lutte biologique pourraient remonter à plus de 10 000 ans, dans les zones agricoles du Proche-Orient (Ottoni & Van Neer, 2020). La lutte biologique à travers les auxiliaires est aujourd'hui reconnue comme une méthode efficace pour limiter l'usage des pesticides (Gardner et al., 2010), avec des réductions de dégâts pouvant atteindre 90 % (Smith, 1996). Toutefois, les bénéfices économiques de cette méthode restent peu évalués, bien que des effets positifs sur la santé publique aient été constatés (Naranjo et al., 2015).

#### 4 – Les haies en lutte biologique

Dans une dynamique de lutte biologique par conservation, les haies jouent un rôle primordial. Elles rendent de nombreux services écosystémiques : réduction de l'érosion des sols, séquestration du carbone, protection contre le vent et atténuation des pics de chaleur. Ces fonctions sont particulièrement intéressantes dans le contexte du réchauffement climatique, notamment dans les régions tropicales exposées à de forts aléas climatiques (Awazi, 2023).

Même sous des latitudes européennes, ces services peuvent être bénéfiques, malgré la perte de ressources agricoles que les haies peuvent entraîner pour les cultures voisines. Toutefois, des modélisations montrent que, sur une distance équivalente à 5 à 20 fois la hauteur de la haie, cet effet limitant disparaît, et une légère augmentation du rendement est observée (de 5 à 9 %) (Van Vooren et al., 2017). Les haies peuvent également servir de zones refuges pour la biodiversité, en particulier pour les auxiliaires. Par exemple, certaines espèces de sphécides utilisent les cavités des tiges ligneuses pour nidifier (Le Divelec et al., 2017).

Malgré ces nombreux bénéfices, la France a connu une forte régression du modèle bocager depuis les années 1950. Ce modèle, caractérisé par de petites parcelles délimitées par des haies, favorisait une forte connectivité paysagère. Cependant, l'agrandissement des exploitations agricoles a entraîné une perte de 70 % des linéaires de haies entre 1960 et 1980 (Pointereau, 2002 ; De Menthière et al., 2023). Pour beaucoup d'agriculteurs, les haies sont

perçues comme des contraintes, en raison de la compétition pour les ressources (lumière, eau, nutriments). Les subventions actuelles sont souvent jugées insuffisantes pour compenser les pertes potentielles (Van Vooren et al., 2017).

Pour mieux comprendre les bénéfices des haies sur l'abondance des auxiliaires, il est essentiel de considérer la matrice paysagère dans laquelle elles s'insèrent. À l'échelle du territoire, les haies agissent comme des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques, facilitant la dispersion des auxiliaires vers les parcelles cultivées. Un paysage plus complexe favorise leur présence : une méta-analyse de 28 études a montré que 74 % d'entre elles observaient une augmentation des populations d'auxiliaires en lien avec la complexité du paysage (Bianchi et al., 2006). Parmi les infrastructures agroécologiques, les zones enherbées et les jachères sont jugées bénéfiques dans 80 % des cas, et les zones boisées dans 71 % des cas. La finesse de la maille paysagère joue également un rôle : des unités paysagères plus petites sont corrélées à une amélioration du *fitness* des auxiliaires, avec des effets allant de l'augmentation du taux d'oviposition chez les syrphes ( $\times 1,6$ ) à un taux de parasitisme multiplié par 10. Néanmoins, certains ravageurs, comme les pucerons du blé, peuvent également bénéficier de cette complexité (Bianchi et al., 2006).

La structure et la quantité de haies dans un paysage influencent également la biodiversité. Lorsqu'un grand nombre de linéaires est présent, la diversité des insectes augmente, notamment en lien avec la diversité culturelle, la proportion de prairies et l'épaisseur des haies. Ces effets s'inversent si la proportion de haies devient trop faible (Tassoni et al., 2024). Des études ont estimé l'effet protecteur des haies sur les cultures grâce à la présence d'auxiliaires : la réduction des populations de pucerons sur tomate par parasitisme est observée jusqu'à 100 mètres de la haie, tandis que l'effet sur l'abondance des auxiliaires peut s'étendre jusqu'à 200 mètres (Morandin et al., 2014).

L'impact des auxiliaires sur les cultures demeure complexe, et l'identification précise des facteurs favorables à leur développement nécessite encore de nombreux travaux.

## 5- ARVALIS

Dans le cadre de sa transition vers des pratiques plus écologiques, Arvalis a souhaité approfondir ces thématiques. L'institut, fondé en 1959 sous le nom d'ITCF (Institut Technique des Céréales et Fourrages), avait initialement pour mission d'accompagner le développement de la production céréalière. Il devient Arvalis en 2002, après sa fusion avec l'AGPM (Association Générale des Producteurs de Maïs)(Arvalis, 2025). Souhaitant innover dans le domaine de la grande culture, Arvalis s'est récemment engagé dans des projets axés sur la biodiversité et ses bénéfices pour l'agriculture. C'est dans ce contexte qu'a été menée cette étude, sur la ferme expérimentale de Saint-Hilaire-en-Woëvre (Meuse).

Située au pied des côtes de Meuse, cette ferme bénéficie de précipitations relativement élevées (environ 900 mm/an) et de sols limono-argileux fins, dans un paysage largement dominé par l'agriculture. Le site s'étend sur 130 hectares, dont 70 sont dédiés aux prairies dans un système de polyculture-élevage. Les thématiques de recherche abordées y sont variées : innovation variétale, santé des plantes, couverts végétaux, robotique (réseau Digifirme), engraissement de jeunes bovins et biodiversité.

## 6- Campagne 2021-2024

Ce projet s'inscrit dans la volonté d'explorer le rôle des haies dans la transition agro-écologique, notamment en tant qu'habitats favorables aux auxiliaires volants. Les premières initiatives ont été menées dès 2020, avec une analyse paysagère du site (Lepage, 2020), bien que limitée par l'absence d'éléments de comparaison.

En 2021, le réseau de haies a été évalué à l'aide de l'arbre de décision DEXI ARENA (Tosser et al., 2022), qui attribue un score (de 0 à 6) en fonction des pratiques culturales (labour, intrants...) et de l'environnement immédiat. La plupart des parcelles ont obtenu le score maximal, indiquant une saturation de l'indicateur, et laissant peu de marges d'amélioration.

Un nouvel indicateur a donc été élaboré, basé sur la typologie et la diversité taxonomique des haies en strates hautes, chaque haie se voyant attribuer un score. Des relevés de populations d'insectes ont été réalisés à l'aide de tentes Malaise au niveau des haies, et par aspiration dans les cultures adjacentes (Jacques, 2021). En complément, la composition floristique de la strate herbacée a été intégrée dans le calcul. Des observations supplémentaires sur les plantes et les épis ont été menées, ciblant ravageurs et auxiliaires (Dohokou, 2022 ; Faget, 2023).

Les deux haies échantillonnées, aux scores contrastés, ont mis en évidence plusieurs dynamiques entre 2021 et 2024. Une haie de « haute qualité » est associée à une augmentation significative des populations d'auxiliaires, à la fois dans la haie elle-même et dans la culture à 10 et 30 mètres de distance. Cette augmentation concerne la plupart des familles étudiées.

La diversité spécifique au niveau de la haie s'est également accrue, bien que les familles impliquées ne soient pas toujours les mêmes que celles responsables de l'augmentation d'effectifs. Les indices de Pielou montrent une équitabilité supérieure chez les coccinelles (< 0,7). Peu de différences ont été notées entre les haies, sauf pour les sphéciformes, dont l'équitabilité augmente avec la qualité de la haie, contrairement aux cantharides, chez qui une tendance inverse a été observée. L'indice de Jaccard montre une similitude de 66,7 % entre les communautés de coccinelles des deux haies, contre seulement 44,4 % pour les cantharides.

Les aspirations et observations directes ont été limitées en volume échantillonné, fortement influencées par la météo. Une corrélation de 41 % (test de Spearman) a été observée entre les effectifs d'insectes et les conditions météorologiques (température, précipitations), soulignant la dépendance des résultats aux conditions estivales.

Concernant les pucerons, une augmentation significative de leurs effectifs a également été observée sur la haie à score élevé (H+), avec une tendance non significative à l'augmentation avec la distance. En parallèle, le nombre de momies de pucerons (exuvies laissées par les parasitoïdes) a aussi été plus important sur la haie H+, traduisant une hausse du taux de parasitisme, passé de 15,4 % à 18,8 %. Ce taux diminue avec la distance à la haie, en cohérence avec la portée de dispersion limitée des hyménoptères parasitoïdes.

Des observations à 100 mètres ont été réalisées en 2024, mais les conditions climatiques difficiles ont limité leur valeur interprétative.

Ce travail, initialement centré sur la ferme de Saint-Hilaire-en-Woëvre, s'est élargi dans le cadre du projet **AUXIFERME**, impliquant d'autres structures : le Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement (CPIE), la Chambre d'Agriculture de la Meuse, l'ENSAIA, AGRIVAIR (filiale de Nestlé), et le laboratoire d'entomologie d'Orléans. L'objectif est d'appliquer cette méthode de scoring à un plus grand nombre de haies, sur des territoires et des modalités variées (Annexe AUXIFERME).

## 7- Problématique

Ainsi, dans l'optique d'utiliser les haies comme levier pour favoriser les auxiliaires et mettre en œuvre une lutte biologique directement en parcelle, il est essentiel d'identifier les modalités qui permettent de maximiser leur présence. Certaines essences végétales sont connues pour attirer plus spécifiquement les taxons recherchés : par exemple, le tilleul est favorable aux syrphes, coccinelles et hyménoptères (Chapelin-Viscardi et al., 2015).

La campagne d'échantillonnage menée entre 2021 et 2024 sur un même couple de haies a suggéré qu'une méthode de *scoring* des haies pouvait constituer un indicateur pertinent pour évaluer leur capacité à accueillir des auxiliaires. L'objectif de cette étude est donc de tester ce même indice de notation sur un nouveau couple de haies.

Pour cela, cinq axes seront abordés :

1. Vérifier si les variations d'effectifs observées entre les haies à faible et à haut score sont toujours présentes ;
2. Évaluer si ces différences d'abondance se retrouvent également en parcelle, et si elles diminuent avec la distance à la haie ;
3. Analyser la réponse des populations de ravageurs (ici les pucerons) à la présence des haies et des auxiliaires associés ;
4. Conclure sur les liens entre les scores des haies, les variations de populations d'auxiliaires et les dynamiques observées ;
5. Examiner l'effet potentiel d'une prairie, introduite entre la haie H+ (2025) et la parcelle, sur la dynamique de lutte biologique.

## II. Matériel et Méthode :

### 1- Inventaire des haies

#### a- Méthode de scoring

Le système de scoring mis en place par ARVALIS pour estimer l'attractivité des haies s'appuie sur les travaux menés par la Chambre d'agriculture, qui ont abouti à la création des outils Auxil'haie (pour les strates ligneuses) et Auxil'herbe (pour les strates herbacées). Ces outils établissent un lien entre différentes essences végétales et les auxiliaires qu'elles sont susceptibles d'attirer. Relativement exhaustifs, ils permettent de pondérer la capacité d'attraction de chaque plante en fonction de sa pertinence écologique (Chambre d'Agriculture France, 2021).

Dans le cadre de cette étude, les taxons d'insectes retenus pour l'évaluation sont : les chrysopes, les hyménoptères parasitoïdes, les coccinelles, les syrphes, les staphylinins et les sphécides.

Le calcul du score suit une logique additive : pour chaque essence identifiée comme favorable à un auxiliaire donné, un point est attribué à ce taxon. Le total des points pour chaque taxon correspond à son score individuel. La somme des scores obtenus pour les six groupes d'auxiliaires constitue alors le score initial de la haie. Ainsi, les haies présentant une biodiversité végétale élevée sont censées être plus attractives pour les auxiliaires.

Au-delà de la composition floristique, la structure de la haie est également prise en compte. Sur la base des définitions de l'OFB et de Polebocage, 11 types de haies ont été discriminés. Un coefficient typologique est alors appliqué au score initial. Il tient compte de caractéristiques structurales comme la densité ou la stratification de la haie, avec des valeurs allant de 0,25 à 1,5 (Faget, 2023 ; Annexe 1).

Par ailleurs, pour intégrer la notion de diversité spécifique, l'indice de Shannon a été utilisé. Cet indice est largement reconnu en écologie car il permet de quantifier la diversité d'une communauté en équilibrant l'importance des espèces rares et communes (Jost, 2006). Il se calcule selon la formule suivante :  $H' = -\sum p_i * \ln(p_i)$  ; où  $p_i = n_i/N$  ;  $n_i$  = nombre d'individu de l'espèce  $i$  ;  $N$  = nombre total d'individus.

Plus  $H'$  est élevé, plus la diversité est importante. Par convention, une valeur de  $H' = 0$  indique une seule espèce présente, et  $H' = H_{\text{max}}$  correspond à une répartition équitable entre toutes les espèces. En pratique, cet indice dépasse rarement 3 (Chapelin-Viscardi, 2022).

Dans cette étude, l'indice de Shannon a été calculé séparément pour les deux strates :

- la strate ligneuse (combinant arbustes et arbres),
- et la strate herbacée (seules les dicotylédones sont prises en compte).

La moyenne des deux valeurs fournit un coefficient de biodiversité, intégré au score précédemment pondéré par la typologie. Le produit de ces facteurs donne alors le score final de la haie, indicateur synthétique de son attractivité vis-à-vis des auxiliaires:

$\Sigma \text{score auxiliaire} \times \text{coefficient typologique} \times (H'_{\text{ligneux}} + H'_{\text{herbacée}}) / 2 = \text{score final}$

#### b- Sites d'études

Le site d'étude comprenait deux haies distinctes, situées à une distance minimale de 500 mètres l'une de l'autre, afin d'éviter toute interférence entre les zones d'échantillonnage. L'une des haies, sélectionnée pour son faible score d'attractivité selon la méthode de scoring développée par ARVALIS, a été associée à la tente Malaise 1 (désignée H-). L'autre haie, présentant un score élevé, a été associée à la tente Malaise 2 (désignée H+).

Ces deux haies sont situées sur la ferme expérimentale de Saint-Hilaire-en-Woëvre (SHW) et ont fait l'objet d'un suivi sur une période de quatre années consécutives (2021 à 2024). Au cours de cette période, les parcelles agricoles adjacentes ont été soumises à des rotations culturales, entraînant une variabilité des cultures entre les années. (Tableau 1) :

Tableau 1: Cultures adjacentes aux haies selon les années (BTH: blé tendre d'hiver).

| <b>Année</b> | <b>H+</b> | <b>H-</b> |
|--------------|-----------|-----------|
| 2021         | BTH       | BTH       |
| 2022         | Colza     | BTH       |
| 2023         | BTH       | Colza     |
| 2024         | Colza     | BTH       |
| 2025         | BTH       | BTH       |

Parmi les haies sélectionnées pour la campagne 2025 (Figure 1), la haie à score élevé (H+) est séparée de la parcelle adjacente par une prairie d'environ 60 mètres de large, tandis que la haie à faible score (H-) est en contact direct avec sa parcelle attenante. Les deux parcelles sont cultivées en blé tendre d'hiver (BTH).



Figure 1: Localisation des haies échantillonnées chez Arvalis au niveau de Saint-Hilaire en Woëvre (les flèches indiquent dans dans quelle direction s’est fait les échantillonnage en parcelle)

## 2- Météorologie

L’ensemble des suivis de captures est accompagné d’une « échelle météorologique » permettant de suivre la tendance climatique durant la période d’échantillonnage. Les données proviennent de la station météorologique de Saint-Hilaire-en-Woëvre (données Météo-France).

Chaque jour reçoit un score climatique, calculé comme la somme de deux composantes :

- un score de température, auquel 1 point est ajouté si la température moyenne journalière dépasse 15°C ;
- un score de pluviométrie, attribué selon les seuils suivants :
  - +3 points si la pluie est inférieure à 3 mm (absence ou pluie très légère),
  - +1 point entre 3 mm et 8 mm (pluie modérée),
  - +0 point si la pluie dépasse 8 mm (pluie forte).

Ces seuils ont été choisis par expertise selon l’état actuel des connaissances. Le seuil de 15°C est reconnu comme température minimale d’activité pour de nombreux insectes (par exemple,

les coccinelles les plus communes deviennent actives entre 10 et 15°C ; Ipert, 1999). Concernant la pluie, les classes suivent la classification standard de Météo-France.

Une courbe de tendance est ensuite tracée à l'aide d'un modèle additif généralisé (GAM) afin de faire ressortir les évolutions de fond de la météo. Cet indice semi-quantitatif (compris entre 0 et 4) permet d'évaluer si la saison a été globalement favorable ( $>3$ ) ou défavorable ( $<3$ ) à l'activité des insectes, ce qui aide à interpréter la représentativité des résultats d'une année à l'autre.

### 3- Tente Malaise

La tente Malaise est un dispositif reconnu pour le piégeage d'insectes volants, notamment trois des six groupes d'auxiliaires ciblés ici : sphécides (Le Divelec et al., 2016), hyménoptères parasitoïdes (Shlyakhtenok, 2000) et syrphes (Sadeghi & Husseini, 2009). En revanche, elle est peu adaptée à la capture de chrysopes (Oliveira et al., 2012) et de staphylins (Navarrete-Heredia et al., 2020), qui ne seront donc que très peu analysés à partir de ce dispositif.

Les campagnes de capture se sont déroulées sur une période de 15 à 16 semaines par an, de fin avril à début août, avec des spécificités pour les données de 2025 (cf. 5 - Statistiques).

Les tentes ont été placées au plus près de la haie, en veillant à les orienter perpendiculairement au vent dominant. La végétation autour des tentes est régulièrement entretenue pour garantir l'accessibilité du piège et éviter tout endommagement.

Le principe de la tente repose sur une barrière centrale guidant les insectes vers le haut, où ils tombent dans un pot collecteur contenant de l'alcool à 70°. Les insectes sont changés chaque semaine, puis transmis au laboratoire d'éco-entomologie d'Orléans pour identification jusqu'à l'espèce. Seule exception : les hyménoptères parasitoïdes, trop complexes à identifier précisément, sont simplement comptabilisés.

### 4- Aspirations / Observations

Pour évaluer la dispersion des auxiliaires dans les cultures, des échantillonnages par aspiration sont réalisés à différentes distances des haies. Cette méthode est destructive, mais adaptée à la capture de certains groupes à faible mobilité, comme les hyménoptères parasitoïdes, pucerons et araignées (auxiliaires généralistes). En revanche, elle est peu efficace pour des groupes plus mobiles comme les syrphes et coccinelles.

L'aspiration est complétée par des observations directes sur les épis et les tiges, notamment pour détecter les momies de pucerons (non identifiables après aspiration). Ces observations ont lieu de fin avril à début juillet, uniquement sur les parcelles de blé, les cultures plus denses comme le colza, ainsi que la prairie, étant exclues pour des raisons de praticité.

Les échantillonnages sont effectués chaque semaine, avec 3 répétitions espacées de 5 à 10 mètres à chaque distance de la haie, dans des conditions optimales d'activité insecte (pas de pluie, pas de vent, chaleur, ciel dégagé).

Les distances échantillonnées :

- 10 et 30 m des haies pour les années 2021 à 2023 ;
- 10 et 100m en 2024
- 10, 70 et 100 m en 2025, en raison de la présence de prairie séparant la haie H+ de la culture.

Chaque aspiration est réalisée à l'aide d'un aspirateur à feuilles, dans un quadrat de 1 m<sup>2</sup>, pendant 15 à 20 secondes, en surface et à l'intérieur du végétal. Les insectes collectés sont transférés dans un sac hermétique, puis placés au congélateur pendant au moins 12 h avant identification en laboratoire.

Le tri comprend :

- un dénombrement global,
- un comptage des familles/ordres ciblés : chrysopes, coccinelles, parasitoïdes, cantharides, staphylins, sphécides,
- une quantification des pucerons (ailés, aptères, momies),
- une classification des autres insectes (ravageurs, décomposeurs, auxiliaires non ciblés) jusqu'à la famille ou l'ordre, selon le niveau d'identification possible.

Pour les observations visuelles, seuls les pucerons, coccinelles, syrphes, araignées, opilions et chrysopes sont pris en compte. Les stades de développement (œufs, larves, etc.) et les localisations (feuilles, épis, en vol...) sont précisés. Chaque point d'observation porte sur 10 tiges.

L'influence des conditions météorologiques est essentielle pour interpréter l'activité des auxiliaires, tant dans le cadre intra-annuel (choix des jours d'échantillonnage) que interannuel (comparaison entre campagnes). Température et précipitations sont des déterminants clés de leur présence, de leur mobilité et du développement végétatif des cultures hôtes (cf. 2 - Météorologie).

## 5- Statistiques

Le calcul des scores de chaque haie a été effectué à l'aide du logiciel Excel (version 2502). Pour la cartographie des éléments semi-naturels de l'environnement proche de l'exploitation, le logiciel QGIS (version 3.28) a été utilisé (Faget, 2023), permettant de replacer les haies dans leur contexte paysager. Les données issues des tentes Malaise, des aspirations et des observations visuelles ont également été saisies et centralisées sous Excel.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (version 4.4.2). Le seuil de significativité a été fixé à 5 % ( $p < 0,05$ ) pour l'ensemble des tests de premier ordre.

Pour comparer les modalités entre elles (par exemple : entre haies, entre distances, ou entre années), la méthode utilisée est le test des rangs signés de Wilcoxon orienté (Hervé, 2014). Ce test non paramétrique est particulièrement adapté lorsque les conditions de normalité ne sont pas garanties. L'orientation du test permet ici de vérifier des hypothèses directionnelles formulées dans l'introduction :

- une supériorité attendue de la haie à haut score (H+) en termes d'abondance d'auxiliaires,
- une abondance plus élevée de pucerons en parcelle associée à la haie à faible score (H-),
- et des variations significatives selon la distance à la haie.

Toute variation méthodologique par rapport à ce test sera spécifiée dans le corps des résultats.

Lorsque plusieurs variables explicatives sont à considérer simultanément, des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM) ont été ajustés aux données, conformément aux recommandations de Bolker et al. (2009). Ces modèles permettent de prendre en compte des effets aléatoires (par exemple, l'année ou la répétition) et des effets fixes (haie, distance, conditions climatiques, etc.). Une analyse de déviance a ensuite été conduite pour évaluer la significativité des facteurs explicatifs sur les variables réponses.

Concernant les données issues des tentes Malaise, les analyses intègrent les années 2021 à 2025. Cependant, à la date de rédaction de ce rapport, seulement 5 semaines de piégeage ont été traitées par le laboratoire pour l'année 2025. Par conséquent, les identifications taxonomiques sont majoritairement réalisées jusqu'à la famille pour les groupes d'auxiliaires, à l'exception de deux cas :

les hyménoptères parasitoïdes sont considérés comme un groupe fonctionnel paraphylétique, sans précision taxonomique fine ;

les guêpes sphéciformes (ou sphécides) regroupent les familles Sphecidae, Bembicidae, Crabronidae, Psenidae et Pemphredonidae (Sann et al., 2018).

## 6- Tâches annexes

Ce stage de fin d'études, réalisé au sein d'un institut de recherche appliquée, a également impliqué la participation à plusieurs tâches annexes, répondant aux besoins opérationnels de la structure. Cela inclut notamment la participation à des travaux de groupe, aussi bien en parcelle qu'en laboratoire, dans le cadre des expérimentations en cours sur le site.

Des rencontres et réunions ponctuelles ont été organisées avec d'autres stations expérimentales et partenaires du projet AUXIFERME, permettant un suivi coordonné des actions. Dans ce cadre, les inventaires de haies chez les différents partenaires ont été réalisés entre juin et juillet, à raison d'une journée dédiée par structure.

Enfin, le stage a comporté de la communication auprès du public. Une journée porte ouverte en juin, organisée par ARVALIS à destination des agriculteurs, où les résultats et enjeux des projets liés à la biodiversité ont été présentés ;  
une demi-journée de sensibilisation dans le cadre d'un rallye-bio, à destination du grand public, avec des activités pédagogiques autour de la biodiversité fonctionnelle.

## III. Résultats :

### 1- Score des haies

Les haies testées dans le cadre du dispositif ARVALIS présentent des scores supérieurs à 100 pour les haies dites « H+ », tandis que les haies « H- » affichent des scores inférieurs. Il est à noter que les deux haies évaluées en 2025 possèdent des scores globalement plus élevés que ceux des couples de haies étudiés les années précédentes (Tableau 2 et Annexe 2).

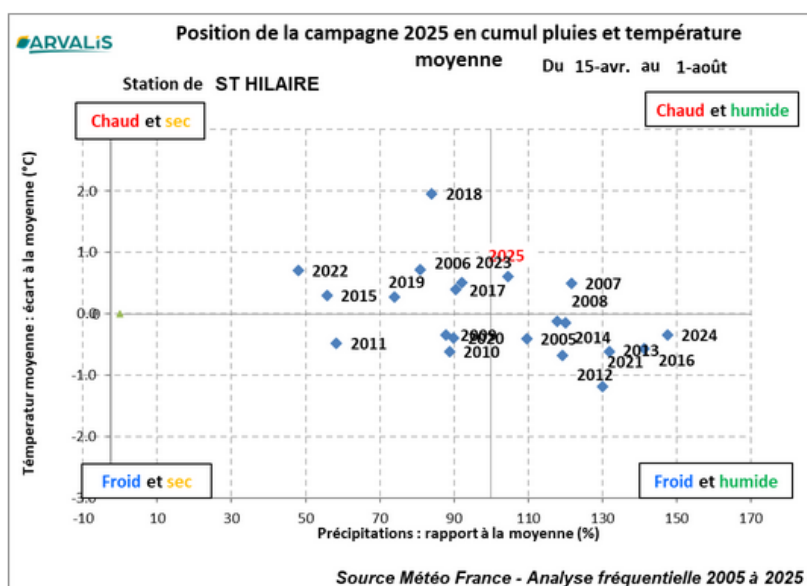
Tableau 2 : Scores des différentes haies testées sur SHW.

|                | Score final | Score Chrysope | Score Coccinelle | Score Parasitoïde | Score Syrphé | Score Sphécide | Score Staphylin | Typologie |
|----------------|-------------|----------------|------------------|-------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------|
| H+ (2021-2024) | 146.6       | 17             | 17               | 19                | 18           | 4              | 3               | H6        |
| H- (2021-2024) | 16.7        | 12             | 9                | 11                | 16           | 1              | 0               | H2        |

|           |      |    |    |    |    |   |   |    |
|-----------|------|----|----|----|----|---|---|----|
| H+ (2025) | 225  | 19 | 15 | 19 | 19 | 6 | 3 | H7 |
| H- (2025) | 72.3 | 17 | 16 | 15 | 20 | 4 | 3 | H8 |

## 2- Météorologie

Le score météo permet de situer l'année 2025 par rapport aux campagnes précédentes menées sur la station. Cette année figure parmi les plus chaudes sur la période d'échantillonnage, avec un score moyen supérieur à 3, ce qui la classe parmi les années aux conditions favorables, aux côtés de 2023 et 2022, dont les scores moyens sont respectivement de 3,29 ; 3,36 et 3,24. À l'inverse, les années 2021 et 2024 ont été moins favorables aux activités entomologiques, avec des scores respectifs de 2,87 et 2,88.



**Figure 2: Positionnement de l'année 2025 en terme de modalités météorologiques par rapport aux autres années**

Lorsque l'on compare les conditions météorologiques de 2025 à celles des 20 dernières années sur la période allant du 15 avril au 1<sup>er</sup> août, l'année se situe dans la variabilité interannuelle habituelle observée à Saint-Hilaire-en-Woëvre. On y observe néanmoins une tendance à des conditions plus chaudes et plus humides, sans toutefois présenter d'écart significatif par rapport aux normales climatiques de la

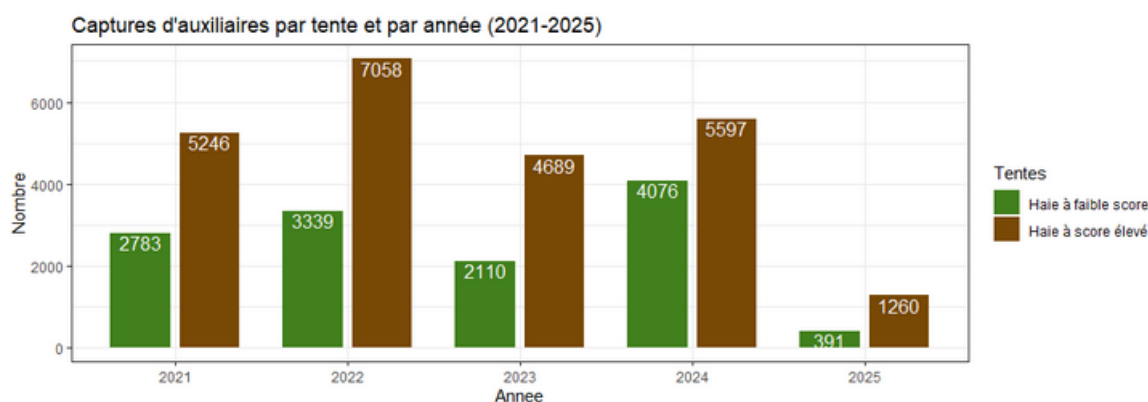
station (Figure 2)

## 3- Tentes Malaise

### a- Effectifs

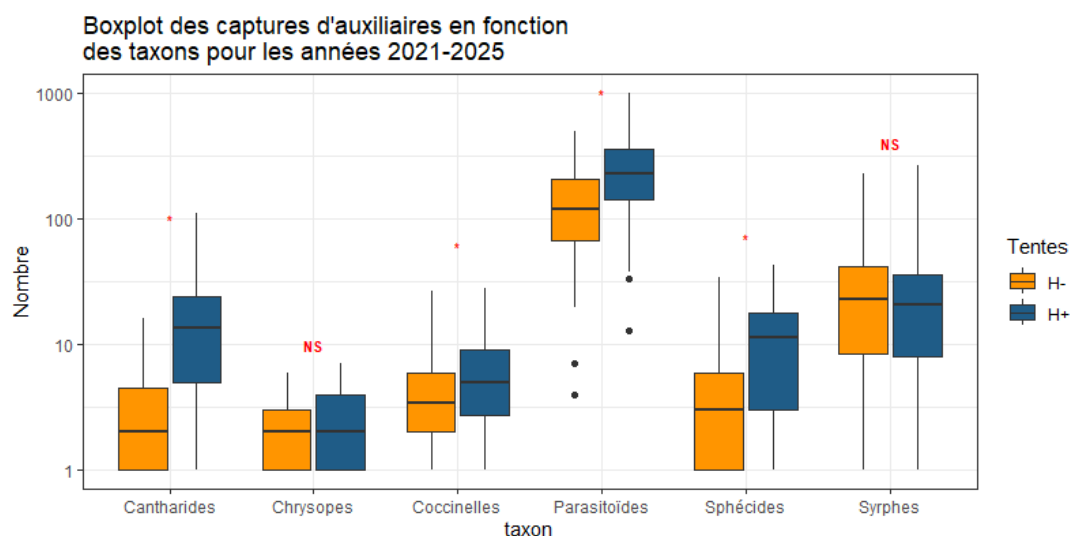
Sur les quatre haies échantillonnées entre 2021 et 2025, c'est un total de 23850 auxiliaires en H+ et 12699 en H- qui ont été capturés dont 1260 et 391 pour la période de 2025 (Figure 3) induisant une hausse de 222% du nombre d'auxiliaires de la H- vers la H+ ce qui est une variation bien supérieure au couple de haie des années précédentes (Figure 3); cette augmentation est significative que ce soit au global ou pour 2025. Entre les deux haies H- et

H+, il n'y a pas de différences significatives (test de Wilcoxon bilatéral). La plus grande partie de ces auxiliaires sont des hyménoptères parasitoïdes qui représentent plus de 80% des échantillons (Annexe 3).



**Figure 3: Abondance des auxiliaires capturés en tente Malaise en fonction de l'année et des haies.**

Entre les différents taxons, par la fluctuation du score des haies, il y a des augmentations significatives du nombre d'auxiliaire chez les cantharides, les coccinelles, les parasitoïdes et les sphécides (Figure 4). Ces tendances se retrouvent également sur les années précédentes, l'année 2025, en raison d'un échantillonnage plus faible et ne voit d'augmentations significatives que sur les parasitoïdes et les coccinelles.



**Figure 4: Boxplot des abondances d'auxiliaires capturés en tente Malaise en fonction du taxon et des haies (2021-2025).**

#### b- GLM

Le modèle linéaire généralisé utilisé concernant les effectifs d'auxiliaires a utilisé comme variables explicatives, la catégorie de la haie (H- ou H+), la température (moyenne hebdomadaire) et l'effet combiné de la catégorie de la haie avec son année (variations annuelles et de scores) (Tableau 3). Chacune de ses variables induisent une variation significative qui d'après le  $R^2$  expliquent 36,2% de la variation observée. Un autre modèle a

tenté d'intégrer la variable prairie (H+) mais cette variable a été décrite comme étant non significative en plus d'abaisser l'ajustement du modèle.

Tableau 3: Résultats du modèle linéaire généralisé construit à partir des données d'abondance d'auxiliaire en tente Malaise (Df: degrés de liberté ; Pr: équivalent à p-valeur)

|                           | Chisq  | Df | Pr        | % de variation expliquée |
|---------------------------|--------|----|-----------|--------------------------|
| H+/H-                     | 25.968 | 1  | 3.471e-07 | 40.2                     |
| Température               | 19.155 | 1  | 1.205e-05 | 30.2                     |
| Effet combiné haie/ année | 19.536 | 8  | 0.01224   | 29.6                     |

### c- Diversité

La richesse spécifique observée entre les deux haies montre une augmentation en faveur de H+, tant pour le couple de haies de l'année 2025 (Figure 5) que pour celles échantillonnées entre 2021 et 2024. Bien que la haie H+ de 2025 semble présenter une richesse plus élevée que celle des années précédentes, aucune différence significative n'a été détectée entre les deux groupes de valeurs.

Lorsqu'on examine les résultats par taxons, certains groupes présentent une augmentation marquée entre les deux tentes. C'est notamment le cas des cantharides, des syrphes et des sphécides sur la période 2021–2024. En revanche, en 2025, seule une augmentation significative du nombre de coccinelles a été observée, bien que d'autres familles semblent également favorisées en H+ (Figure 6)

Boxplot général des espèces capturées entre les deux tentes pour les années 2021-2025

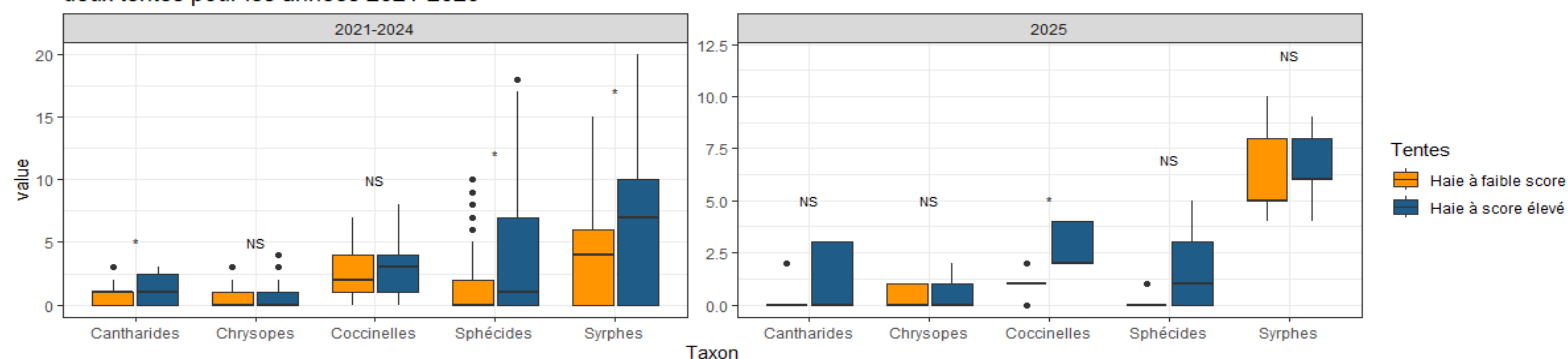


Figure 6: Boxplot des richesses spécifiques d'auxiliaires capturés en tente Malaise en fonction du taxon et des haies (2021-2025).

À partir de la richesse spécifique, les indices de biodiversité ont pu être calculés, montrant les résultats suivants : sur la période 2021 à 2025, les indices de Shannon et de Simpson tendent à augmenter lors du passage de H- à H+, en particulier pour les sphécides et les cantharides. Cela suggère une augmentation du nombre d'espèces rares, mais au détriment de l'équitabilité

globale. L'indice de Pielou, qui mesure cette équitabilité, ne présente pas de variations notables entre les haies, indiquant des dynamiques similaires malgré des différences de richesse spécifique. Les syrphes constituent le seul taxon pour lequel un gain de biodiversité est observé sans perte d'équitabilité, traduisant une répartition plus homogène des espèces, y compris les plus rares. Enfin, l'indice de Jaccard montre que les communautés les plus similaires entre H- et H+ sont celles des coccinelles (70,4 %), tandis que les cantharides présentent la plus faible similarité (38,5 %) (Figure 7)

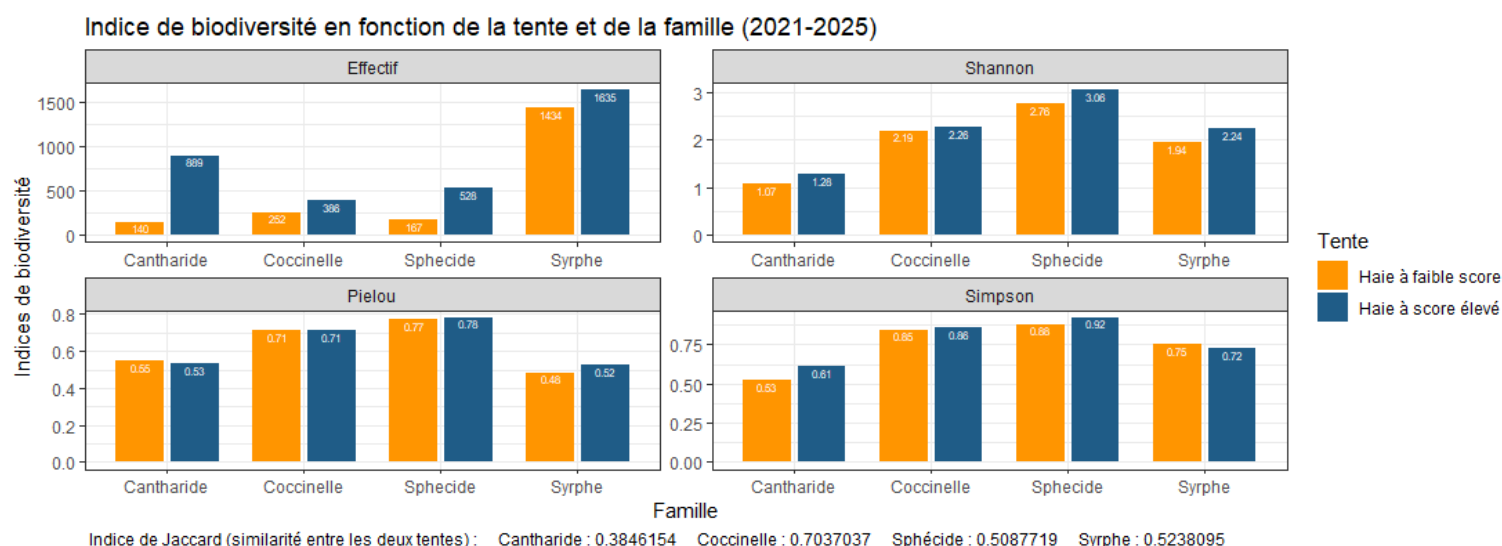


Figure 7: Indices de biodiversité et abondance des auxiliaires capturés par tente Malaise en fonction de la haie (2021-2025)

## 4- Aspiration/ Observation

### a- Météorologie

Les années précédentes ayant suggéré une forte corrélation avec les paramètres météorologiques pour les effectifs aspirés, un test de corrélation de Spearman a été réalisé concernant la variable des précipitations, de température et score météorologique (Figure 8). La seule variable ayant donné un résultat significatif est la quantité des précipitations qui possède un coefficient de corrélation de 0.758 et une p-valeur de 0.008.

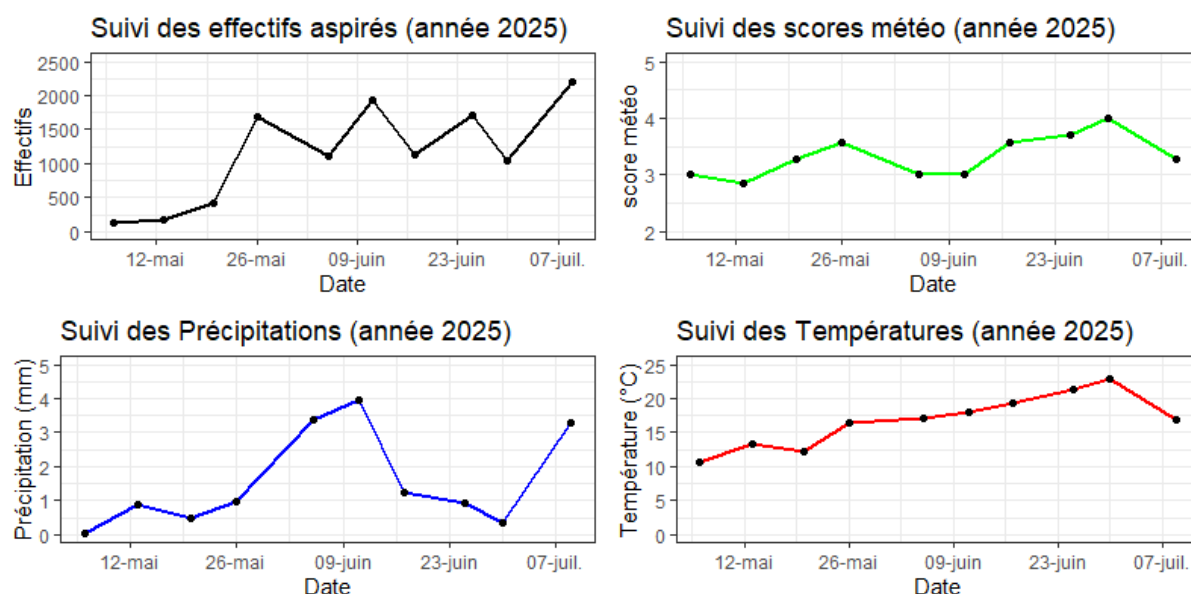


Figure 8: Suivi des effectifs aspirés en 2025 comparé au score météorologique, aux précipitations et températures de la même période.

#### b- Effectifs

Les relevés d'observations d'auxiliaires sur épis n'ont pas fourni de résultats suffisamment exhaustifs pour être pleinement exploitables. En revanche, les échantillonnages par aspiration se sont révélés plus fructueux, avec près de 300 échantillons recueillis pour chaque couple distance/haie. Une large moitié des individus collectés est constituée d'hyménoptères parasitoïdes, tandis que le reste se compose principalement d'arachnides et de spécides (Figure 9).

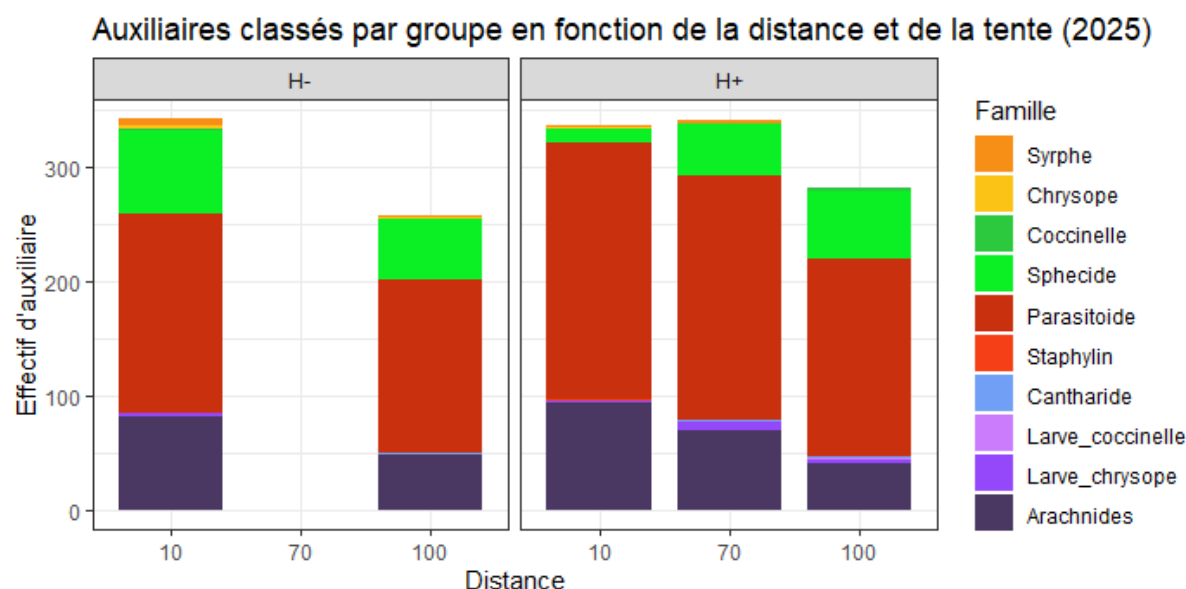
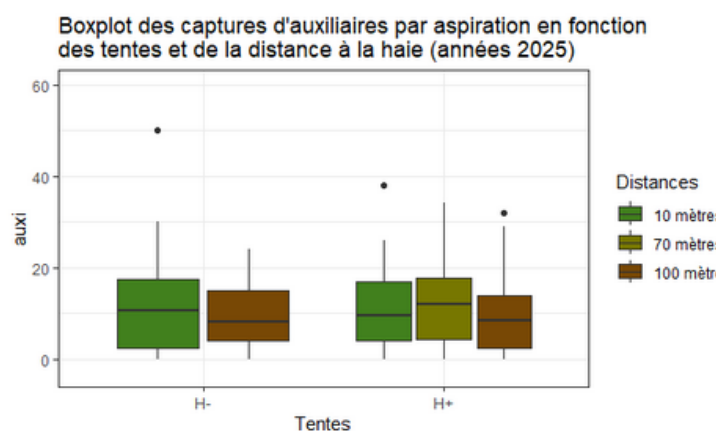


Figure 9: Abondance des auxiliaires aspirés en 2025 en fonction du taxon, des haies et de la distance à celles-ci.

Aucune variation significative n'a pu être identifiée en lien avec les haies, les distances, ou l'interaction entre ces deux facteurs. On observe toutefois une légère diminution générale des effectifs à 100 mètres des haies, ainsi qu'une autre diminution notable au niveau de la prairie en H+ (à 10 m) (Figure 10).

Les groupes majoritaires, notamment les hyménoptères parasitoïdes, suivent des tendances similaires, ces derniers étant les plus représentés dans les échantillons (Annexe 4). Les sphécides montrent un comportement comparable à celui des parasitoïdes, bien qu'ils soient davantage présents en H- (Annexe 5). Enfin, les arachnides présentent une dynamique différente : une augmentation significative de leurs effectifs est observée dans la prairie, ces derniers étant significativement plus abondants que ceux relevés en H- (Annexe 6).

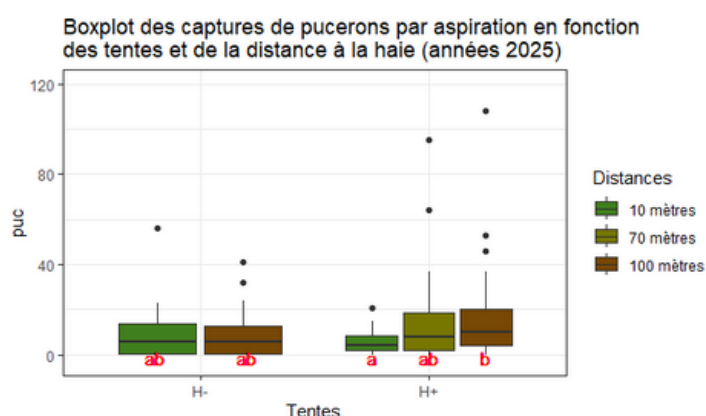


**Figure 10: Boxplot des auxiliaires aspirés en 2025 en fonction des haies et de la distance à celles-ci**

### c- Pucerons

Étant donné la contradiction perçue entre les résultats attendus des campagnes 2021-2024 et les données obtenues en 2025, les tests de significativité réalisés à partir de cette section sont désormais bilatéraux.

Les relevés issus des aspirations concernant les pucerons montrent peu de variations entre les modalités, à l'exception notable de la prairie en H+ (10 m), où les effectifs sont significativement plus faibles qu'à 100 m, et globalement inférieurs à ceux des autres modalités (Figure 11). Néanmoins, en comparant les haies H- et H+, on observe une



**Figure 11: Boxplot des pucerons aspirés en 2025 en fonction des haies et de la distance à celles-ci**

augmentation moyenne des effectifs de pucerons, allant presque du simple au double. Du côté des observations, les données recueillies sont trop limitées pour permettre de détecter des variations significatives entre modalités (Annexe 7).

### d- Parasitisme

Les taux de parasitisme observés sur pucerons n'ont pas montré de différences significatives entre les différentes modalités. Seule la haie H- présente des taux légèrement supérieurs à 10 m, tandis qu'ils sont presque nuls à 100 m (Figure 12). Les résultats issus des aspirations ne montrent pas davantage de significativité, à l'exception des distances 10 m et 100 m en H+, qui suggèrent une

diminution du taux de parasitisme dans la prairie (Figure 13). Cependant, une tendance générale à l'augmentation du taux de parasitisme peut être observée en passant de H- à H+, avec des moyennes allant de 5 à 8 % pour H-, contre 10 à 14 % pour H+.

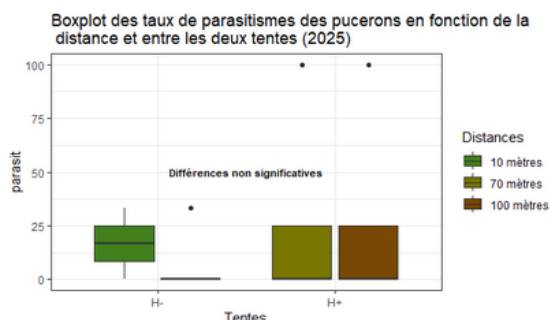


Figure 12: Boxplot du taux de parasitisme sur puceron observé en fonction des haies et de la distance à celles-ci.

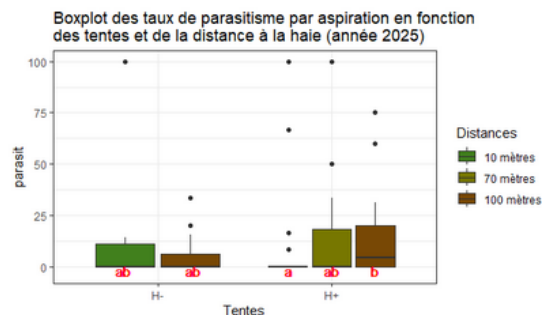


Figure 13: Boxplot du taux de parasitisme sur puceron aspiré en fonction des haies et de la distance à celles-ci.

## IV. Discussion

### 1 – L'influence du score sur l'abondance et la diversité des auxiliaires y résidant

L'analyse des données issues des tentes Malaise pour le début de la campagne de piégeage 2025 montre que la haie à faible score héberge significativement moins d'auxiliaires que la haie à haut score. Cette différence significative est également observée sur l'ensemble de la période 2021–2024 (Figure 3). Ainsi, malgré un nombre de semaines analysées plus réduit, l'hypothèse selon laquelle l'abondance en auxiliaires est plus élevée dans une haie à haut score est validée.

Bien que les conditions météorologiques et les cultures adjacentes aient varié selon les années, la dynamique des captures reste similaire pour la haie à haut score : un premier pic est observé début mai, suivi d'une baisse, puis d'une reprise des captures autour de début juin. Cette dynamique globale est essentiellement portée par les hyménoptères parasitoïdes, groupe majoritaire dans les échantillons, car englobant une grande diversité d'espèces (Whitfield, 1998). Une hypothèse explicative du premier pic repose sur le début de la floraison de la strate arborée et arbustive. Étant donné que les deux haies ont une strate herbacée comparable, la diversité arborée plus élevée de la haie à haut score pourrait fournir davantage de ressources alimentaires aux hyménoptères parasitoïdes (Forrest & Thomson, 2011 ; Boyer et al., 2017). Par ailleurs, l'effet brise-vent de la haie favorise probablement le vol de ces insectes, dont l'activité est fortement influencée par les conditions anémométriques. En effet, les hyménoptères, généralement de petite taille, voient leur activité diminuer sensiblement même sous un vent faible (Marchand & McNeil, 2000). Le second pic de captures pourrait correspondre à une seconde génération d'hyménoptères émergeant, apparaissant deux à trois semaines après le premier (Annexe 8).

Les scores auxiliaires, qui évaluent l'attractivité de la haie pour chaque groupe d'auxiliaires, sont systématiquement plus élevés pour la haie à haut score (Figure 5), à l'exception des coccinelles et des syrphes. Pourtant, les coccinelles sont nettement plus abondantes en H+ qu'en H-, tandis que les syrphes semblent montrer une tendance similaire, bien que moins marquée et plus variable selon les années.

Concernant les hyménoptères (parasitoïdes et sphéciformes), aucune augmentation significative des captures n'a été observée en H+. Toutefois, les résultats des tests sont proches du seuil de significativité (inférieur à 6 %), et le nombre restreint de semaines analysées pourrait expliquer cette absence de différence.

Le groupe des syrphes ne montre pas de différence significative entre les deux tentes, un résultat cohérent avec les campagnes précédentes (Faget, 2023). Pourtant, les syrphes sont sensibles aux conditions climatiques, et les haies peuvent leur offrir une protection contre le vent, la pluie et les fortes chaleurs (Sarhou et al., 2005). Pour comprendre leur distribution, il est nécessaire d'intégrer une approche à l'échelle paysagère. Certaines espèces de syrphes peuvent se disperser jusqu'à 400 mètres en une seule journée (Wratten et al., 2003), et leurs trajets de vol peuvent être perturbés par la structure même des haies (Harwood et al., 1994). Ainsi, la forte capacité de dispersion des syrphes peut expliquer pourquoi les effectifs capturés dans les deux tentes Malaise, séparées de quelques centaines de mètres seulement, ne diffèrent pas de manière significative. De manière plus générale, la connectivité paysagère est un facteur clé dans la répartition de nombreux auxiliaires, comme c'est le cas des sphécides, sensibles à la proximité d'habitats favorables (Le Divelec et al., 2016 ; Bianchi et al., 2006).

Du point de vue de la diversité, une augmentation de la richesse spécifique est également observée entre les haies, en faveur de la haie à haut score. Le nombre limité d'échantillons en 2025 limite néanmoins la portée de certaines conclusions. Toutefois, les données de 2025 confirment que, si les abondances de syrphes ne varient pas entre les haies, leur richesse spécifique, elle, augmente, ce qui remet en question l'hypothèse d'une population homogène partagée entre les deux tentes. L'augmentation de la richesse spécifique indépendamment de l'abondance est bien documentée dans la littérature, en lien avec la présence d'éléments semi-naturels (Morandin et al., 2014 ; Tassoni et al., 2024). Enfin, concernant les autres taxons, les résultats de 2025 suggèrent également une augmentation de la biodiversité en H+, une tendance non détectée lors des années précédentes. Cela pourrait s'expliquer par une émergence continue de différentes espèces de coccinelles au fil de l'été. Si la haie à haut score présente actuellement la plus forte diversité, il est envisageable qu'une égalisation se produise au cours des semaines suivantes.

## 2 – L'influence de la haie sur les auxiliaires s'étend dans les cultures

Bien que les tentes Malaise permettent d'observer une favorisation nette des auxiliaires en fonction du score de la haie, les résultats issus des aspirations et des observations ne permettent pas d'aboutir aux mêmes conclusions. Les différences entre les deux haies sont presque imperceptibles, et la seule tendance apparente est une diminution, non significative, des effectifs avec l'augmentation de la distance à la haie. Les campagnes précédentes ont

révélé une dynamique similaire entre les deux haies. Il a été supposé que les auxiliaires réagissent différemment selon le type de culture adjacente. En effet, le colza induisait une diminution beaucoup plus marquée des auxiliaires avec la distance à la haie, comparativement au blé (Faget, 2023). Cette observation fait écho à d'autres études montrant la capacité de dispersion limitée de certains auxiliaires dans les parcelles, en particulier chez les hyménoptères parasitoïdes (Morandin et al., 2014). La plus grande abondance des sphécides en H- par rapport à H+ est un résultat inattendu, mais qui pourrait s'expliquer par la proximité immédiate de la haie à la parcelle dans ce cas. Les ligneux étant souvent utilisés comme sites de nidification par ces insectes, leur présence pourrait être plus liée à la structure physique de la haie qu'à sa composition floristique. Concernant les araignées, leur abondance accrue en prairie pourrait résulter de la présence majoritaire d'araignées errantes dans cette modalité. La décroissance des effectifs avec l'éloignement à la haie en H+ suggère également un effet structurant de la prairie sur ce taxon (Annexe 6 ; Dennis et al., 2002).

Enfin, bien que les conditions climatiques aient été globalement favorables aux arthropodes cette année, les observations visuelles n'ont pas permis d'obtenir des résultats probants. Cette méthode, bien qu'aisée à mettre en œuvre, montre ses limites : en dehors des larves, les autres auxiliaires ciblés sont souvent trop mobiles ou trop sensibles pour être efficacement recensés de cette manière.

### 3 – La favorisation des auxiliaires impacte les populations de pucerons

On estime qu'une année sur 10 présente une quantité importante de pucerons sur épis (dépassement du seuil de nuisibilité d'après les données BSV recueillis par ARVALIS), cependant cet effet récurrent n'est pas survenu en 2025 car ayant ciblé l'année 2023. En dehors de ces années de prolifération des pucerons, les contraintes engendrées par ces organismes restent assez modérées.

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 des années passées (Annexe 9; Faget, 2023), laissant penser que la majeure partie des pucerons piégés sont des pucerons des céréales : une augmentation des pucerons aspirés est observable une fois les épis totalement sortis. C'est pendant ce stade (autour du 1er juin) qu'une hausse significative des captures de pucerons, contrairement aux années précédentes aucune différences ne s'est fait ressentir entre les captures de pucerons entre les distances et entre les haies et cela malgré les seuils de distances qui ont été encore plus éloignés. La diminution du nombre de pucerons en prairie peut correspondre à d'autres espèces de pucerons non spécifiques au blé et donc peu comparables avec le reste des échantillons. Le taux de parasitisme peut être obtenu par aspiration et observation. Ce taux augmente à partir de l'épiaison du blé ce qui correspond également à un premier pic d'abondance concernant les hyménoptères parasitoïdes. Pour les résultats en eux même, ils ne montrent qu'une augmentation assez légère du taux de parasitisme de H- vers H+ dont aucune diminution claire relative à la distance aux haies, un constat similaire aux années 2021-2024 qui, par contre, semblait déceler un léger effet (non significatif) négatif dû à la distance,

constat qui n'a donc pas été exacerbé par l'augmentation des distances effectuée pour l'année 2025. Le manque de significativité des résultats concernant l'année 2025 et les précédentes indique que tant pour les aspirations mais surtout pour les observations, il serait judicieux de réduire la période échantillonnée à partir du moment où l'épi est totalement sorti, stade où la plante est sensible jusqu'à la moisson et d'augmenter le nombre de placettes échantillonnées.

#### 4 – Les différences de scores à plus petite échelle impactent les auxiliaires

Les différences de score, bien que considérées comme très marquées entre le couple de tentes des années 2021-2024 et celui de 2025, ne semblent pas produire l'effet attendu selon l'indicateur. Jusqu'à présent, les résultats suggéraient une augmentation de l'abondance des auxiliaires dans les haies à score élevé. Cependant, la comparaison paire à paire des différentes haies ne corrobore pas systématiquement cette hypothèse. Une augmentation du nombre d'auxiliaires est certes envisageable entre les deux haies H+ si un plus grand nombre d'échantillons était disponible, mais la comparaison entre les haies H- met en évidence un paradoxe : la haie H- de 2025, pourtant dotée d'un score largement supérieur à celle des années précédentes, ne présente pas une abondance significativement plus élevée (Annexe 10). Plusieurs explications peuvent être envisagées pour comprendre ces incohérences apparentes liées au score. La première réside dans la **construction même de l'indicateur** : proposer un score global fondé sur la somme des attractivités potentielles pour les auxiliaires peut s'avérer imprécis, car toutes les familles d'auxiliaires n'ont pas les mêmes exigences écologiques ni les mêmes préférences en matière d'habitat. Une approche plus nuancée serait d'introduire l'**indice de Shannon**, non pas seulement en aval du calcul du score global, mais directement sur le **cumul des scores auxiliaires par plante**. Cela permettrait d'obtenir une pondération plus fine du score final et de refléter avec davantage de précision la diversité fonctionnelle de la haie.

Enfin, il pourrait être judicieux de regrouper les scores dans un système **semi-quantitatif** simplifié, définissant les haies comme étant à **score faible, élevé ou très élevé**, selon des intervalles de valeur clairement établis. Cette catégorisation permettrait une meilleure interprétation sur le terrain, tout en facilitant les comparaisons inter-sites.

#### 5 – La prairie possède un effet sur les auxiliaires des haies

Le faible nombre d'échantillons intégrant la variable *haie*, ainsi que l'absence de témoins stricts pour cette modalité, semblent expliquer le manque d'effet significatif de la haie sur les populations d'auxiliaires. Par ailleurs, la présence d'une prairie entre la haie et la parcelle cultivée semble agir davantage comme une **barrière** que comme un **corridor fonctionnel** pour la plupart des auxiliaires volants, ces derniers n'étant pas retrouvés en prairie dans les proportions attendues. De plus, la composition spécifique des communautés observées dans cette prairie semble nettement se distinguer de celle des parcelles adjacentes, notamment par une **forte abondance d'araignées** et d'insectes apparentés aux **cicadelles**, témoignant de conditions écologiques différentes ou d'une faible connectivité biologique entre les milieux.

## V. Conclusion :

Globalement, les captures d'auxiliaires dans les tentes Malaise révèlent une corrélation nette avec les scores des haies, validant partiellement l'indicateur de performance. Cependant, certains groupes d'auxiliaires, comme les staphylins et chrysopes, n'ont pas été adéquatement capturés par ce dispositif. La tente Malaise n'étant pas adaptée à ces taxons, il serait pertinent d'y adjoindre des méthodes complémentaires, telles que les **pots Barber** pour les staphylins, reconnus pour leur efficacité dans la capture de ces insectes rampants (ex. : De Montaigne & Robert, 2014).

Concernant les chrysopes, différentes méthodes mériteraient d'être testées : la tente Malaise, moins adéquate, pourrait être remplacée ou complétée par l'usage de pièges à colle — qui ont démontré de bonnes performances pour ce groupe — ou des cuvettes jaunes, efficaces pour syrphes et chrysopes (Boyer et al., 2017). Les relevés en parcelle par aspiration et observation visuelle ont livré des résultats peu significatifs. Pour renforcer leur pertinence, plusieurs adaptations sont envisageables :

- Réaliser les aspirations le long de **transects réguliers** (par exemple, de 10 à 100 m de la haie)
- Augmenter les répétitions de placettes (de 3 à 5, voire 10), et les réaliser **plus fréquemment**, notamment durant la période critique de floraison et croissance du blé
- Améliorer l'identification des pucerons (ex. *Sitobion avenae* vs autres morphes, momies), afin de fournir une interprétation plus robuste des dynamiques et du parasitisme.

Enfin, l'introduction d'analyses multivariées, telles que l'**Analyse en Fonction Canonique (AFC)**, pourrait permettre d'évaluer la structuration des communautés d'auxiliaires selon les haies et les prairies environnantes. Cela permettrait de considérer les insectes comme **indicateurs écologiques** pertinents des conditions paysagères. Le score actuel, basé sur l'agrégation de l'attractivité relative aux différents auxiliaires, montre certaines limites, notamment quand il s'agit de comparer des haies possédant des codes structuraux similaires mais des performances biologiques divergentes. Plusieurs pistes sont envisageables pour le renforcer :

- Appliquer l'**indice de Shannon** dès la phase de somme des scores auxiliaires par plante pour introduire une mesure de diversité fonctionnelle dès le calcul initial ;
- Travailler une version **semi-quantitative du score**, basée sur des catégories comme "faible", "élevé" ou "très élevé", permettant une interprétation plus facile en exploitation ;

- Enrichir le score avec des paramètres structuraux, tels que la largeur de la bande enherbée, la présence de **bois morts**, d'**abris et de ressources pour les insectes xylophages** ou **saproxylophages**. En effet, la proximité d'éléments boisés favorise certains auxiliaires comme les sphécides (Le Divelec et al., 2015) ;
- Intégrer des critères issus du **PGDH (Plan de Gestion Durable des Haies)**, méthodologie nationale qui propose une évaluation stratifiée et multi-critères des haies avec une notation sur 100 points (Réseau haies France, outil PGDH) (Rolland et al., 2023)(Annexe 11).

Plusieurs groupes d'auxiliaires, comme les syrphes ou sphécides, nécessitent d'être analysés au-delà de l'échelle locale. Les haies ne peuvent pas être étudiées de manière isolée : leur attractivité et leur fonction écologique s'articulent au sein d'un **réseau paysager plus large**, incluant bosquets, corridors et zones semi-naturelles (Bianchi et al., 2006). Cette approche permet une meilleure compréhension des phénomènes de dispersion et des services écosystémiques rendus. Dans un contexte de dérèglement climatique, les dynamiques des auxiliaires pourraient être modifiées. Des études montrent, notamment, que la diversité et l'efficacité parasitaire des auxiliaires peuvent être altérées par les températures élevées et les épisodes de sécheresse (Romo & Tylianakis, 2013). De même, des effets sur les coccinelles ont déjà été documentés (Sloggett, 2021 ; Thomson et al., 2010). Le programme **AUXIFERME**, en cours, permettra d'étendre cette méthodologie à davantage de haies et d'exploitations, sur plusieurs années, afin de tester la validité de l'indicateur. Si nécessaire, il permettra également d'intégrer des variables supplémentaires pertinentes pour mieux caractériser l'attractivité des haies (largeur de la bande, bois mort, gestion, etc.). 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 les pucerons, 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 donc important dans le but de sauvegarder les haies et de favoriser la biodiversité dans les territoires agricoles afin d'en garantir la pérennité.

## VI. Références bibliographiques :

### Webographie:

Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire, 2022. Recensement agricole 2020. Surface moyenne des exploitations agricoles en 2020 : 69 hectares en France métropolitaine et 5 hectares dans les DOM (consulté le 23/06/2025).

[https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Pri2213/Primeur%202022-13\\_RA2020\\_%20VersionD%C3%A9finitive.pdf](https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Pri2213/Primeur%202022-13_RA2020_%20VersionD%C3%A9finitive.pdf)

Mouttet, R., Balmès, V., Pierre, É., Ramel, J.M., Reynaud, P., Streito, J.C., 2020. Insectes ravageurs introduits en France métropolitaine sur la période 2014-2020. Webinaire. ANSES, INRAE (consulté le 23/06/2025).

[https://hal.inrae.fr/hal-03851913/file/CIRAA\\_Mouttet\\_Streito\\_2020\\_v201211.pdf](https://hal.inrae.fr/hal-03851913/file/CIRAA_Mouttet_Streito_2020_v201211.pdf)

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Chen, Y., 2021. Changement climatique 2021 Les bases scientifiques physiques, Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC (consulté le 23/06/2025).

[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WG1\\_SPM\\_French.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_French.pdf)

Planetoscope. Consommation de pesticides phytosanitaires en France. (consulté le 23/06/2025).

<https://www.planetoscope.com/sols/47-consommation-de-pesticides-phytosanitaires-en-france.html>

Ecophyto, 2021. Note de suivi du plan ÉCOPHYTO année 2019 - 2020. (consulté le 23/06/2025).

[https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/note\\_de\\_suivi\\_plan\\_ecophyto\\_2019-2020.pdf](https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/note_de_suivi_plan_ecophyto_2019-2020.pdf)

European Environment Agency, 2023. How pesticides impact human health and ecosystems in Europe. (consulté le 23/06/2025).

<https://www.eea.europa.eu/publications/how-pesticides-impact-human-health>

Legner, F.L. HISTORY OF BIOLOGICAL PEST CONTROL. University of California (consulté le 23/06/2025).

<https://faculty.ucr.edu/~legneref/biotact/bc-2.htm>

ARVALIS. Qui sommes-nous?. (consulté le 23/06/2025).

<https://www.arvalis.fr/l-institut/nous-connaître/qui-sommes-nous>

Chambre d'Agriculture France, 2021. Auxil'haie et Auxil'herbe. (consulté le 23/06/2025).

<https://ecophytopic.fr/pic/prevenir/auxilhaie-et-auxilherbe>

Réseau Haies France. Présentation du PGDH. (consulté le 23/06/2025).

<https://reseauhaies.fr/plan-de-gestion-durable-des-haies-pgdh/>

ROLLAND, D., PERQUIS, W., LE BOT HUMBLLOT, S. et BÉTOLAUD, S., 2023. L'indice biodiversité des haies pour mesurer la fonctionnalité des habitats. Webinaire. 6 décembre 2023. <https://www.youtube.com/watch?v=1hMIRYYfVpU>

#### 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.

Awazi, N. P. (2023). *Reducing Agro-pastoralists' Vulnerability to Climate Change through hedge-based agroforestry practices: Case study of the hedgescape ("Bocage") in the West Region of Cameroon*.

Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H., & Tscharntke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1595), 1715–1727. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>

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.

Chambre d'Agriculture de Puy – de- Dôme, (2018). Les auxiliaires des cultures, les connaître et les favoriser

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 milieu agricole (Diptera Syrphidae). *L'entomologiste*, 71, 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.

- Chen, M., Han, Z., Qiao, X., & Qu, M. (2007). Resistance mechanisms and associated mutations in acetylcholinesterase genes in *Sitobion avenae* (Fabricius). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 87(3), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.07.009>
- DE MENTHIERE, C., FALCONE, P., PIVETEAU, V., ORY, X., (2023). *La haie, levier de la planification écologique*, rapport n° 22114, CGAAER.
- DENNIS, P., YOUNG, M. R., & GORDON, I. J. (1998). Distribution and abundance of small insects and arachnids in relation to structural heterogeneity of grazed, indigenous grasslands. *Ecological Entomology*, 23(3), 253–264. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.1998.00135.x>
- 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 [Mémoire de fin d'étude]. Arvalis.
- 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>
- FAGET, R., (2023). Haies en milieu agricole : Impact des auxiliaires de culture et validation d'un indicateur [Mémoire de fin d'étude]. Arvalis.
- Forrest, J. R. K., & Thomson, J. D. (2011). An examination of synchrony between insect emergence and flowering in Rocky Mountain meadows. *Ecological Monographs*, 81(3), 469–491. <https://doi.org/10.1890/10-1885.1>
- Gardner, J., Hoffmann, M. P., Pitcher, S. A., & Harper, J. K. (2011). Integrating insecticides and *Trichogramma ostrinae* to control European corn borer in sweet corn: Economic analysis. *Biological Control*, 56(1), 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.08.010>
- Guichard, L., Dedieu, F., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Reau, R., & Savini, I. (2017). Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer. *Cahiers Agricultures*, 26(1), 14002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017004>
- Halder, J., Das, H., Majumder, S., & Gowda, M. T. (2024). An analysis of insecticide-resistant aphids in the vegetable ecosystem: a case study. *International Journal of Tropical Insect Science*, 44(6), 2959–2967. <https://doi.org/10.1007/s42690-024-01395-2>
- HARWOOD, R., HICKMAN, J., MACLEOD, A., SHERRATT, T., & WRATTEN, S., (1994). *Managing field margins for hoverflies*. 147 152.
- Hawkesworth, S., Dangour, A. D., Johnston, D., Lock, K., Poole, N., Rushton, J., Uauy, R., & Waage, J. (2010). Feeding the world healthily: the challenge of measuring the effects of

agriculture on health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 3083–3097. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0122>

HERVÉ, M., (2014). Aide-mémoire de statistique appliquée à la biologie. *Constr Son Étude Anal Résultats À Aide Logiciel R Version*, 5.

Iperti, G. (1999). Biodiversity of predaceous coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1–3), 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* [Mémoire de fin d'étude]. Arvalis.

Jie, C., Jing-zhang, C., Man-zhi, T., & Zi-tong, G. (2002). Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *Journal of Geographical Sciences*, 12(2), 243–252. <https://doi.org/10.1007/BF02837480>

Jost, L. (2006). *Entropy and diversity*. *Oikos*, 113(2), 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>

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>

Laura, V. V., Bert, R., Steven, B., Pieter, D. F., Victoria, N., Paul, P., & Kris, V. (2017). Ecosystem service delivery of agri-environment measures: A synthesis for hedgerows and grass strips on arable land. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 244, 32–51. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.015>

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>

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](https://www.persee.fr/doc/linly_2554-5280_2017_num_86_1_17815)

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.

- 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>
- Morandin, L. A., Long, R. F., & Kremen, C. (2014). Hedgerows enhance beneficial insects on adjacent tomato fields in an intensive agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 189, 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.030>
- Murcia-Morales, M., Díaz-Galiano, F. J., Vejsnæs, F., Kilpinen, O., van der Steen, J. J. M., & Fernández-Alba, A. R. (2021). Environmental monitoring study of pesticide contamination in Denmark through honey bee colonies using APIStrip-based sampling. *Environmental Pollution*, 290, 117888. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117888>
- Naranjo, S. E., Ellsworth, P. C., & Frisvold, G. B. (2015). Economic Value of Biological Control in Integrated Pest Management of Managed Plant Systems. *Annual Review of Entomology*, 60(1), 621–645. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-021005>
- 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.
- OERKE, E.-C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Otoni, C., & Neer, W. van. (2020). The Dispersal of the Domestic Cat. *Near Eastern Archaeology*, 83(1), 38–45. <https://doi.org/10.1086/707312>
- Petit, S., Muneret, L., Carbonne, B., Hannachi, M., Ricci, B., Rusch, A., & Lavigne, C. (2020). *Landscape-scale expansion of agroecology to enhance natural pest control: A systematic review* (pp. 1–48). <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.09.001>
- POINTEREAU, P., (2002). *Les haies : Évolution du linéaire en France depuis quarante ans*.
- 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>

Sadras, V. O., Fereres, A., & Ratcliffe, R. H. (2024). Wheat Growth, Yield, and Quality As Affected by Insect Herbivores. In *Wheat* (pp. 183–227). CRC Press.  
<https://doi.org/10.1201/9781003578444-11>

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.

SHLYAKHTENOK, A., 2000. Effectiveness of Malaise-Traps for collection of wasps (Hymenoptera : Aculeata). *Pakistan Journal of Zoology*, 32(1), 45 48.

Simone Alves de Oliveira. (2012). Population dynamics of *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) in a silvopastoral system. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 4(4). <https://doi.org/10.5897/IJBC11.138>

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>

Smith, S. M. (1996). Biological Control with *Trichogramma* : Advances, Successes, and Potential of Their Use. *Annual Review of Entomology*, 41(1), 375–406.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.41.010196.002111>

Tassoni, S., Becker, D., Kasten, M. K., Morinière, J., & Grass, I. (2024). Insect conservation in agricultural landscapes needs both high crop heterogeneity and semi-natural habitats. *Global Ecology and Conservation*, 55, e03218. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03218>

Thany, S. H., Reynier, P., & Lenaers, G. (2013). Neurotoxicité des pesticides. *Médecine/Sciences*, 29(3), 273–278. <https://doi.org/10.1051/medsci/2013293013>

Thomson, L. J., Macfadyen, S., & Hoffmann, A. A. (2010). Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, 52(3), 296–306.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.01.022>

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 Préville, 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.*

Wagner, D. L. (2020). Insect Declines in the Anthropocene. *Annual Review of Entomology*, 65(1), 457–480. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025151>

Whitfield, J. B. (1998). PHYLOGENY AND EVOLUTION OF HOST-PARASITOID INTERACTIONS IN HYMENOPTERA. *Annual Review of Entomology*, 43(1), 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.

## VII. Annexes :

### Annexe AUXIFERME :

Le projet AUXIFERME porté par ARVALIS va dans la continuité de travaux portés au sein de l'institut ayant pour but de faire contribuer des acteurs de l'environnement de la région Grand Est à la perspective d'un indicateur permettant aux agriculteurs de pouvoir noter et/ou améliorer les structures semi-naturelles que sont les haies autour de ses parcelles afin que celles-ci soient plus résilientes face aux ravageurs.

Les objectifs sont :

- Déployer ce nouvel indicateur « haie » au sein d'un réseau de parcelles d'agriculteurs (entre 10 et 20) situées en proximité directe d'une haie (notion de couple haie/parcelle agricole attenante) pour faire connaître, en l'évaluant, le rôle (notion d'attractivité) de la haie en milieu agricole (et possiblement l'impact de son entretien) sur les phénomènes de régulation (approche par couples auxiliaires/bioagresseurs) en parcelles agricoles.
- Mettre en œuvre au sein de certaines haies pilotes (entre 5 et 10) de ce réseau, des campagnes de suivi d'auxiliaires (tentes Malaise et prestation de reconnaissance par un entomologiste) pour valider et si besoin faire évoluer l'indicateur dans l'objectif de maximiser sa corrélation avec la biodiversité auxiliaire réellement mesurée dans des contextes paysagers et conditions climatiques variés du Grand Est.
- Mettre en œuvre au sein de certaines parcelles pilotes de ce réseau (entre 5 et 10 ; sans traitement insecticide) des campagnes de suivi d'auxiliaires et de ravageurs (aspirations, observations directes) pour évaluer la corrélation entre score des haies, dissémination des auxiliaires et pression en ravageurs dans les parcelles adjacentes

Les partenaires concernés par ce projet (hors ARVALIS) sont les suivants :

#### **a. ARVALIS (porteur)**

La mission d'ARVALIS, telle que définie par le Conseil d'Administration dans le projet ARVALIS 2025, est de mobiliser son expertise pour permettre l'émergence et d'accompagner l'adoption de techniques de production et de systèmes d'exploitations agricoles conciliant dans tous les territoires français : performance économique, adéquation aux marchés, résilience face aux évolutions réglementaires économiques, aux aléas climatiques, ainsi qu'une contribution positive aux enjeux de l'environnement et de la biodiversité.

Pour répondre aux enjeux des agricultures de demain, le programme d'ARVALIS se donne comme cadre de référence l'agroécologie qui vise à utiliser au maximum les fonctionnalités offertes par les écosystèmes comme facteurs de production. Ils sont interdépendants, nécessitent l'alliance de nombreux acteurs, s'inscrivent sur le long terme et ne s'accommodent pas de réponses simplistes.

Au service des producteurs, son métier de base concerne l'acquisition de références techniques et économiques. Il se développe à la fois dans les stations et laboratoires, mais aussi sur de nombreux sites expérimentaux dans toutes les régions, dont un grand nombre est conduit en partenariat avec les acteurs régionaux à l'exemple de la station expérimentale de Saint-Hilaire-en-Woëvre (55). Il s'appuie sur des méthodologies éprouvées permettant de détecter, d'évaluer et de valider les innovations les plus performantes.

La station expérimentale de Saint-Hilaire-en-Woëvre est une ferme représentative des structures lorraines de polyculture élevage : 130 ha dont 70 ha de prairies permanentes, 170 jeunes bovins engraisés/an, des systèmes de culture à base de colza, blé, céréales de printemps et d'été, protéagineux, prairies temporaires. Le cap donné à la station d'engager une transition agroécologique s'appuie sur des changements de pratiques, la combinaison de leviers agroécologiques et le développement d'une approche plus territorialisée. La transition engagée y est ainsi soutenue d'une part, par les services rendus par la biodiversité et d'autre part, par les services rendus par le numérique, la station étant par ailleurs labellisée Digiferme®.

**ARVALIS est porteur du projet AUXIFERME ; l'institut y apporte ses connaissances acquises sur le sujet et ses compétences en matière d'expérimentations et de méthodologies indispensables à la réussite du projet. L'institut suivra en propre 2 sites d'expérimentations (haie couplée à une parcelle agricole) et apportera son appui aux autres sites suivis par les partenaires. Il y sera également moteur de transfert et de communication.**

#### **b. AGRIVAIR**

AGRIVAIR est une filiale de NESTLE WATERS, dont la mission principale est la préservation de la qualité de l'eau sur l'impluvium de Vittel-Contrexéville, via des partenariats agricoles.

Leur rôle se traduit par 5 objectifs : préserver les sols pour préserver l'eau, programme de recherche pour tester des mélanges (bords de champs, interculture) et ainsi sécuriser la qualité en limitant les intrants, analyse de la qualité de l'eau en dessous du système racinaire, le zéro phyto, par l'achat de matériel mis à disposition des agriculteurs, comme des bineuses, ou bien le prêt de foncier pour permettre l'extensification du système herbacé.

Depuis 2020, un second objectif fort d'AGRIVAIR est la biodiversité avec une approche scientifique (réalisation de diagnostics) pour avoir un état de référence : réalisation de Bee monitoring (analyse du pollen des abeilles avec l'idée de la diversité floristique, des polluants et de l'utilisation des produits phytosanitaires), programme d'agroforesterie (plantation d'arbres isolés dans les pâtures), la plantation et la gérance de haies, la valorisation des déchets végétaux.

Des conventions sont signées avec des agriculteurs locaux, sur la base d'un cahier des charges déployé actuellement sur 38 fermes partenaires avec utilisation de pratiques améliorées (pas forcément en agriculture biologique), ainsi que la gestion de toute la chaîne azotée par AGRIVAIR (épandages, fumure, ...), afin de préserver les sols et l'eau de toute pollution.

À la suite de la signature d'une convention de recherche en 2022, AGRIVAIR s'est engagé dans la caractérisation des haies et les premiers suivis sur l'impluvium de Vittel dès 2023.

**Dans le projet, la structure apporte ses compétences spécifiques en matière de biodiversité (Aude LAMERANDT, Responsable Biodiversité), s'engage sur le suivi de 2 sites d'expérimentations (haies à scores discriminants en proximité de parcelles agricoles), des actions de communication et ouvre une réflexion sur l'impact des haies à l'échelle d'un territoire.**

### **c. CPIE de la Meuse**

Créé en 1976, le CPIE de la Meuse œuvre pour une information et une sensibilisation active à l'environnement et au développement durable par des actions d'animation, de formation et d'éducation fondées sur des démarches pédagogiques envers les différents publics.

L'association accompagne les porteurs de projets dans la mise en place d'initiatives en faveur du développement durable, par un appui méthodologique et le développement d'outils adaptés aux besoins recensés. Fort de ses compétences techniques et pédagogiques, le CPIE travaille en partenariat avec les collectivités et les associations de proximité dans la coordination, la création ou l'animation d'actions de sensibilisation sur les thématiques de l'environnement et du développement durable.

Dans la continuité d'une convention de partenariat signée en 2021, le CPIE apporte au projet son lien avec d'autres acteurs du territoire pour déployer l'indicateur, est légitime pour porter des actions de communication auprès d'un large public, **s'engage sur le suivi de 2 sites expérimentaux (haies à scores discriminants en proximité de parcelles agricoles), sur actions de communications et ouvre une réflexion sur la complémentarité du projet avec**

**le Plan Herbe (Plan d'appui à l'émergence de filières de valorisation des systèmes herbagers vertueux pour l'eau et la biodiversité) déployé en Meuse.**

**d. Chambre d'Agriculture de la Meuse**

Etablissement public au service des agriculteurs et de l'agriculture départementale, la Chambre d'Agriculture de la Meuse agit au travers des missions déléguées par l'Etat, de programmes d'intérêt général, d'informations, d'expertises et de conseils collectifs et individuels.

Elle forme, informe, conseille les agriculteurs au quotidien. Elle accompagne des projets collectifs. Elle est aux côtés des collectivités territoriales concernant la gestion de l'espace et les projets d'animation locale. Elle contribue au dynamisme et à la performance de l'agriculture. Elle représente les intérêts du monde agricole auprès des pouvoirs publics et des collectivités locales.

Elle est particulièrement investie (Gilles FRENE) dans le pilotage et le suivi du projet Life Biodiv'Est. Lancé officiellement en février 2022, et pour une durée de 10 ans, le projet LIFE Biodiv'Est constitue un levier pour démultiplier et accélérer les projets liés à la restauration et la préservation de la biodiversité en Grand Est et préparer l'agriculture de demain avec des fermes pilotes représentant les différents modes de culture et type de sols de la région pour mesurer l'impact des pratiques agroécologiques (haies, mares, alignements d'arbres) sur la biodiversité et les données technico-économiques des exploitations agricoles. 40 exploitations pilotes sont ainsi engagées avec l'objectif d'aménager 6 000 ha de surface agricole utile, 20 km de haies et 20 km de bandes enherbées. Un suivi tout particulier sur l'étude de la vie du sol sera également lancé sur 20 parcelles (150 ha).

**La Chambre d'Agriculture de la Meuse s'engage sur le suivi de 2 sites expérimentaux (haies à scores discriminants chez des agriculteurs en mode de production conventionnel ou biologique), sur des actions de communication et ouvre une réflexion sur la complémentarité du projet avec le projet LifeBiodiv'Est.**

**e. Laboratoire d'Eco-Entomologie d'Orléans**

Le Laboratoire d'Eco-Entomologie d'Orléans est une structure scientifique proposant diverses prestations relatives aux insectes. Le laboratoire est un établissement d'accompagnement des instituts de recherche publics et privés ou de bureaux d'études dans l'analyse de leurs échantillons, prélevés dans le cadre de protocoles scientifiques, d'inventaires faunistique. Les entomologistes réalisent des expertises éco-entomologiques en régions pour des associations de protection de la Nature, des gestionnaires d'espaces naturels ou des collectivités territoriales.

La valorisation des études et la diffusion des connaissances sont assurées par la publication d'articles scientifiques et la dispense de formations.

L'ensemble de ses activités contribue à mieux connaître et faire connaître les insectes dans leurs milieux. Le Laboratoire d'Eco-Entomologie est une structure dédiée à l'étude des insectes. L'établissement possède des locaux et du matériel d'analyse adéquats pour proposer des traitements d'échantillons en routine. Un travail rendu possible par la consultation de collections entomologiques de référence (conservées en conditions contrôlées) et par l'utilisation d'une importante bibliographie (plus de 6 500 références).

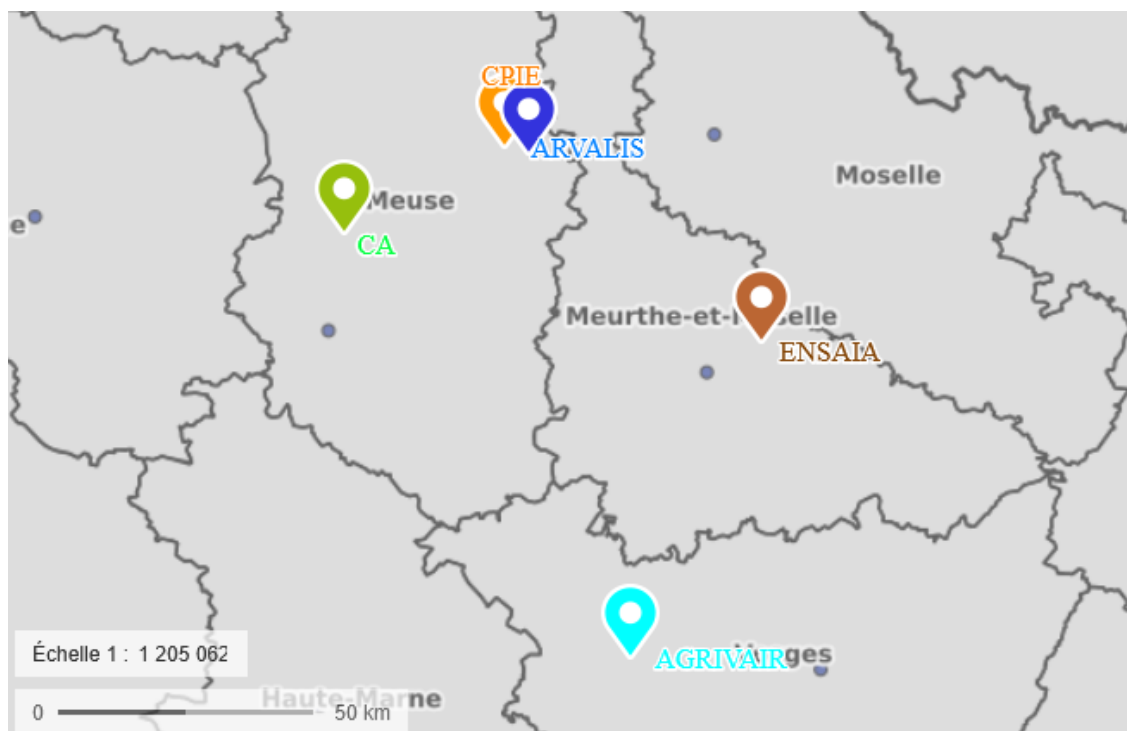
Au-delà d'une simple prestation de reconnaissance d'auxiliaires, **le laboratoire s'engage dans le projet en tant que partenaire à part entière en apportant son appui à la consolidation des références acquises, leur interprétation et ouvre à une meilleure connaissance des espèces patrimoniales présentes dans le Grand Est (peu documentées aujourd'hui). Il s'engage également sur des actions de communications notamment scientifiques.** Le Laboratoire d'Eco-Entomologie d'Orléans est un partenaire récurrent des travaux portés par ARVALIS sur le sujet de la biodiversité, par les services et l'engagement proposé. Aucun équivalent n'est connu à ce jour dans le Grand Est.

#### **f. Université de Lorraine – Ferme de la BOUZULE**

Présente sur 2 métropoles ainsi que 11 villes et agglomérations de son territoire, l'Université de Lorraine place toute son énergie au service de la production et du partage des connaissances. Elle s'engage pour l'élévation du niveau de formation des citoyens, en s'appuyant sur une dynamique de recherche intensive, aussi bien fondamentale qu'appliquée. Au sein de cette université, l'ENSAIA forme chaque année plus de 170 ingénieurs destinés à être des acteurs majeurs des secteurs de l'agriculture, de l'environnement, de la biotechnologie et des industries alimentaires. Des ingénieurs qui contribuent significativement à mettre en œuvre les priorités de la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt.

Propriété de l'ENSAIA depuis le milieu des années 60, le Centre R&D « La Bouzule » est un domaine expérimental de 228 ha. Il comprend une plateforme agronomique : production et transformation laitière (bovins, caprins), production fourragère et cultures de céréales, site d'expérimentation d'agroforesterie unique en France ; une plateforme de méthanisation qui s'inscrit dans une dynamique de faire de la Bouzule, un lieu d'émergence de solutions innovantes pour accompagner l'agriculture dans ses transitions. Il s'agit tout particulièrement d'expérimenter des solutions de production d'agro-énergie durables, compatibles avec la fourniture de biens alimentaires et s'appuyant au maximum sur les ressources naturelles et les compétences du territoire. La Bouzule est un outil pédagogique pour la formation des élèves-ingénieurs, un laboratoire à ciel ouvert par la mise en œuvre et l'expérimentation de nouvelles techniques d'élevage et de culture, un modèle pour imaginer et concevoir une ferme durable fondée sur le renouvelable, l'autonomie alimentaire et énergétique ainsi que sur le respect de la biodiversité.

**Au sein de ce projet l'Université de Lorraine s'engage sur le suivi de 2 sites expérimentaux (haies à scores discriminants en proximité de parcelles agricoles) sur le domaine de la Bouzule et ouvre une approche pédagogique sur le partage de la méthodologie et des résultats obtenus auprès des élèves ingénieurs de l'ENSAIA pour une sensibilisation sur le sujet de la Biodiversité.**

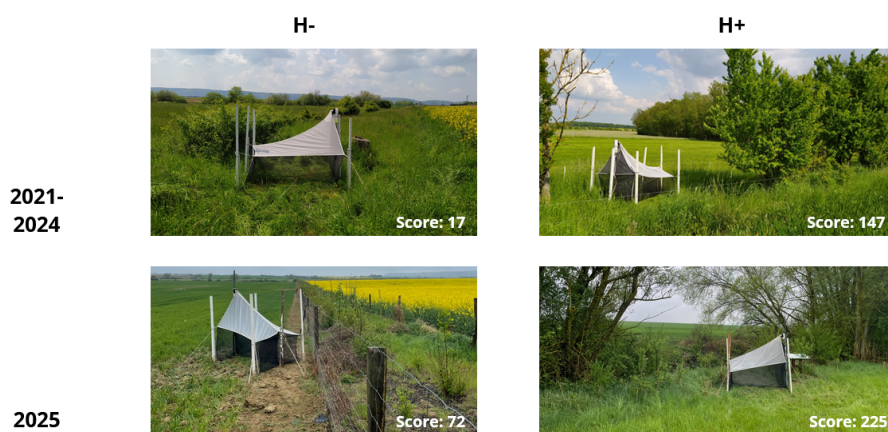


Localisation des différentes stations du programme AUXIFERME dans la région Grand-est

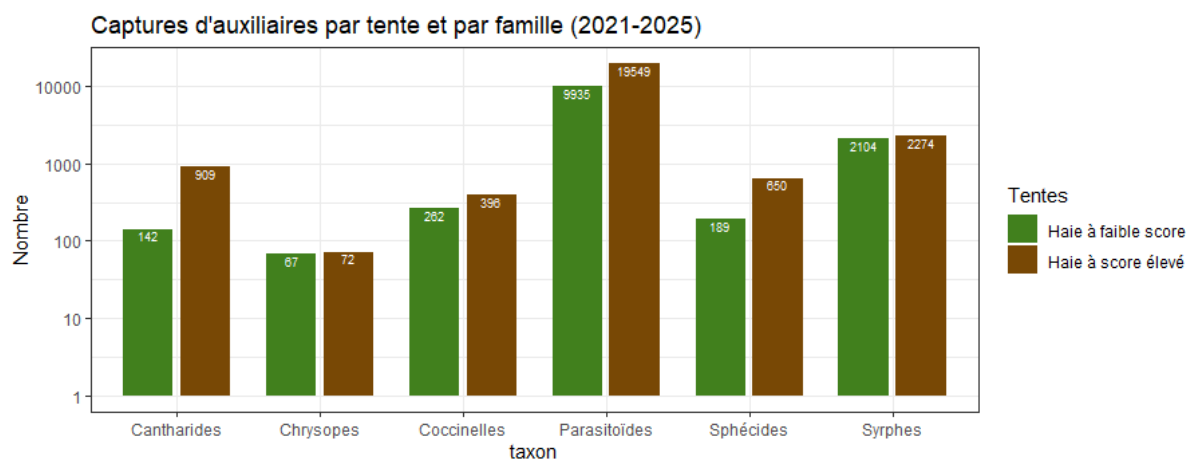
Autres Annexes:

Annexe 1 : Les différentes typologies de haies et les coefficients appliqués (Lepage, 2020 ; Jacques 2021)

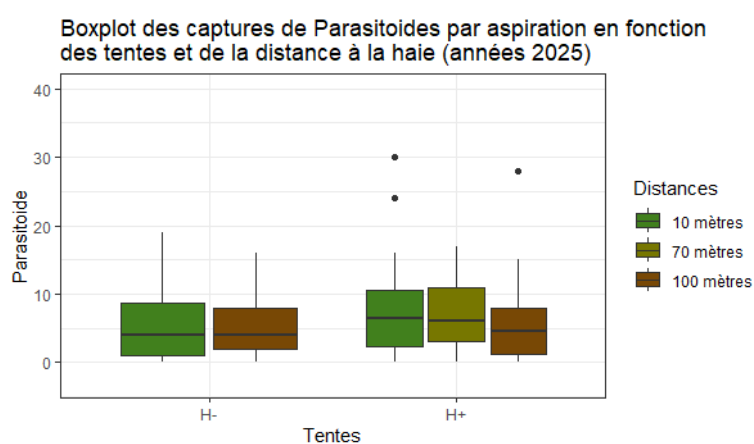
| Code | Typologie                                | Coefficient (de 0,25 à 1,5) |
|------|------------------------------------------|-----------------------------|
| H1   | Haie disparue                            | 0.25                        |
| H2   | Lisière enherbée avec clôture            | 0.5                         |
| 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 multistrata                         | 1.5                         |
| H8   | Haie récente                             | 0.5                         |
| H9   | Haie urbaine                             | 1                           |
| H10  | Haie abandonnée                          | 1.25                        |



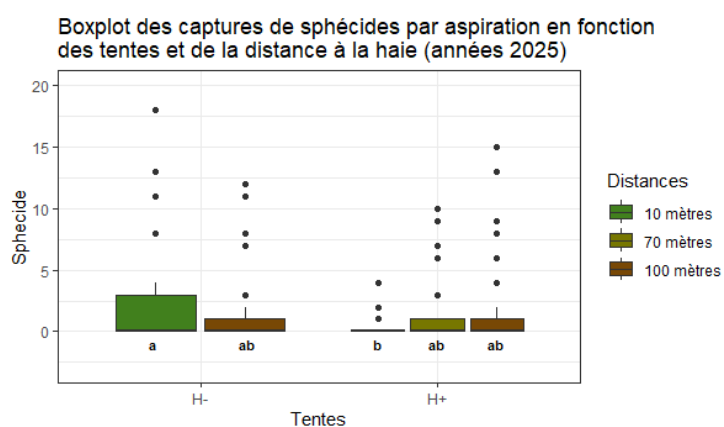
Annexe 2: Présentation des différentes haies testées sur SHW



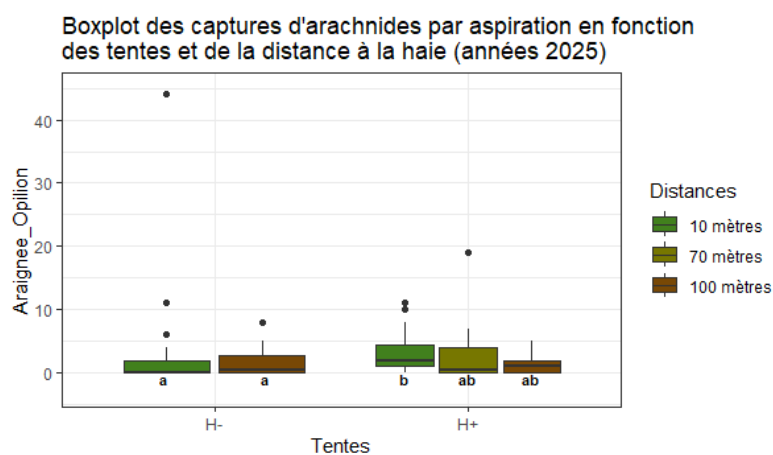
Annexe 3: Abondance des auxiliaires capturés en tente Malaise en fonction de leur famille et des haies (2021-2025).



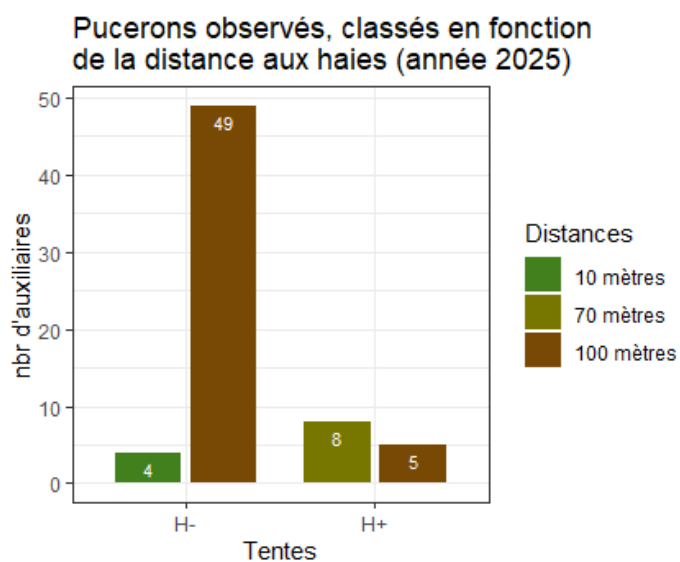
Annexe 4: Boxplot des parasitoïdes aspirés en 2025 en fonction des haies et de la distance à celles-ci



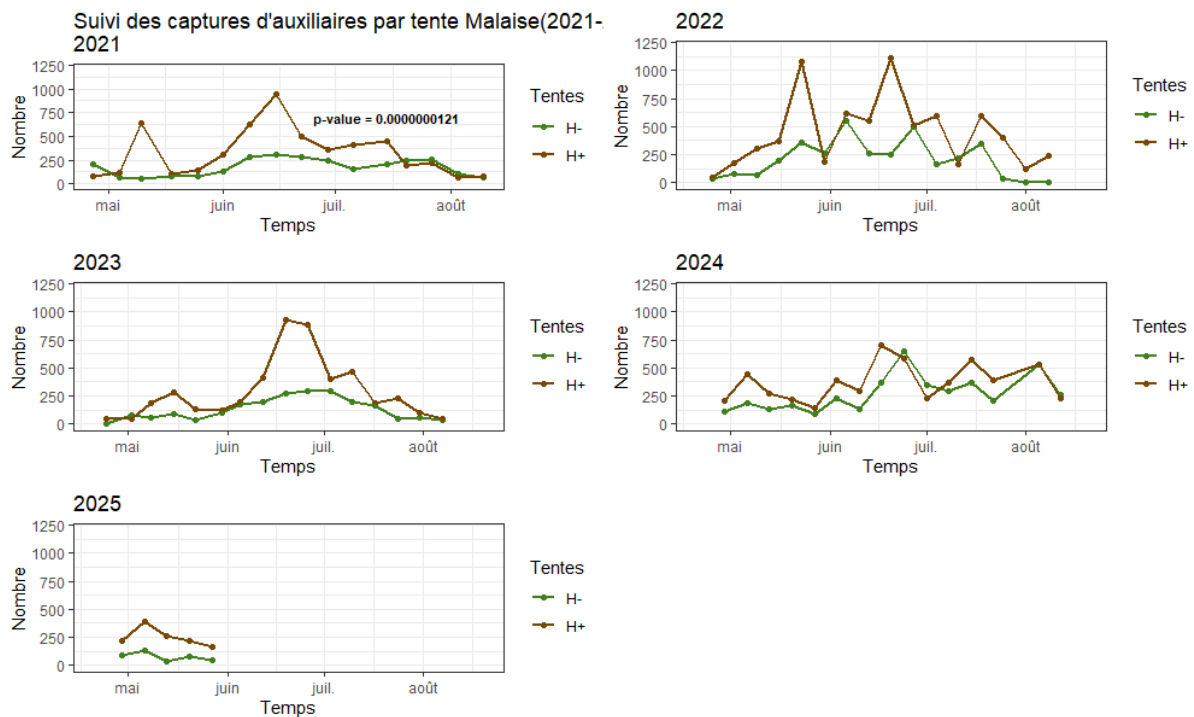
Annexe 5: Boxplot des sphécides aspirés en 2025 en fonction des haies et de la distance à celles-ci



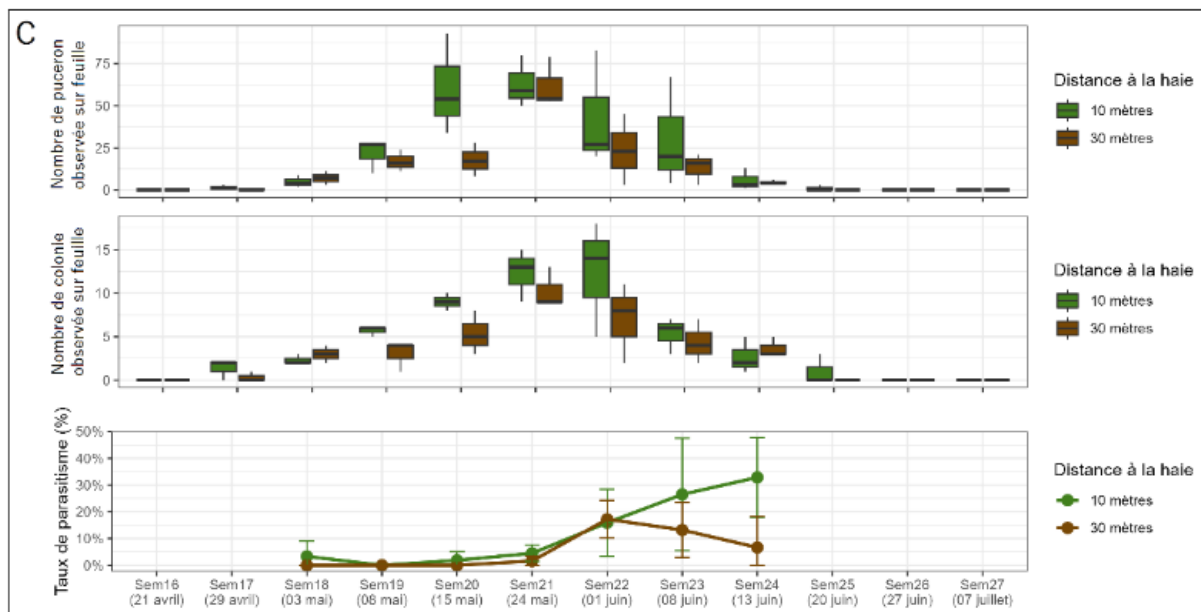
Annexe 6: Boxplot des arachnides aspirés en 2025  
en fonction des haies et de la distance à celles-ci



Annexe 7: Abondance de pucerons observés en fonction  
des haies et de la distance à celles-ci.



Annexe 8: Suivi des abondances d'auxiliaires en tente Malaise en fonction des haies de 2021 à 2025 (p-value: comparaison des abondances entre haies H+ et H- sur toutes les années).



Annexe 9: Suivi des pucerons et effectifs retrouvés sur feuilles et épis en 2023 en fonction de la distance (Faget, 2023).

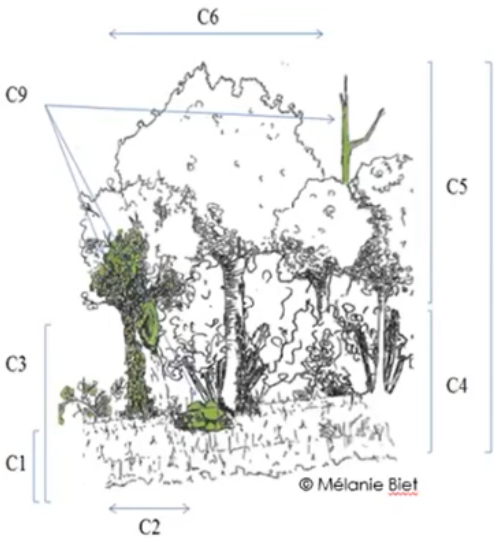
|           | H-    | H+    |
|-----------|-------|-------|
| 2021      | 197,6 | 347,2 |
| 2022      | 179,7 | 315,8 |
| 2023      | 153,7 | 270,2 |
| 2024      | 248,4 | 436,6 |
| 2025      | 174,3 | 342,4 |
| 2021-2024 | 194,9 | 342,5 |

Annexe 10: Tableau des abondances d'auxiliaires prédites en tente Malaise par le modèle linéaire généralisé pour une température moyenne de 16°C.



**PGDH - Plan de  
Gestion Durable  
des Haies**

## Le PGDH, un outil de diagnostic de l'intérêt des haies pour la biodiversité



© Mélanie Biet

|                                           |                   |
|-------------------------------------------|-------------------|
| <b>IMPLANTATION DE LA HAIE</b>            | <b>45 points</b>  |
| Morphologie du pied de la haie            | 30 points         |
| C1 : Embase de la haie                    |                   |
| C2 : Ourlet enherbé                       |                   |
| Gestion du pied de la haie                | 15 points         |
| C3 : Lianes présentes dans étages 1 et 2  |                   |
| <b>STRUCTURE VERTICALE ET HORIZONTALE</b> | <b>45 points</b>  |
| Morphologie de la haie                    | 35 points         |
| C4 : Présence et continuité étage 2       |                   |
| C5 : Présence et continuité étages 3 et 4 |                   |
| C6 : Largeur de la canopée                |                   |
| Les essences                              | 10 points         |
| C7 : La diversité des essences            |                   |
| C8 : Les espèces d'intérêt sectoriel      |                   |
| <b>MICRO-HABITATS</b>                     | <b>10 points</b>  |
| C9 : Nombre de micro-habitats             |                   |
| <b>TOTAL</b>                              | <b>100 points</b> |

Annexe 11: Méthode de notation des haies selon le PGDH (Réseau Haie France)

**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 concernant les haies se portant sur leurs potentiels attractifs en auxiliaires de culture volant dans un cadre de lutte biologique, 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. Les résultats des haies de l'année 2025 ont été comparés avec ceux des années précédentes. Il semble y voir un constat sur un lien entre l'indicateur et l'abondance/ la richesse spécifique de plusieurs familles d'auxiliaires mais cet effet ne semble pas s'étendre aux cultures adjacentes.

Mots clés : indicateur ; auxiliaire de culture ; haies ; puceron ; parasitisme

**Abstract:**

As part of the agroecological transition undertaken by Arvalis, increasing knowledge of biological control became necessary in order to reduce the use of chemical insecticides. Building on the study initiated in 2020, this report aims to validate an indicator related to hedgerows, focusing on their potential to attract flying beneficial insects within the framework of biological control, particularly those involved in regulating cereal aphids (*Sitobion avenae*). The capture campaign using Malaise traps enabled the assessment of two target hedgerows, which were clearly distinct in terms of their structure and floristic composition. The results from the 2025 hedgerows were compared with those from previous years. There appears to be evidence of a link between the indicator and the abundance/specific richness of several beneficial insect families, although this effect does not seem to extend to the adjacent crops.

Keywords : indicator; beneficial insect; hedges; aphid; parasitism