

Mémoire

Auteur : Poussart, Eve-Albane

Promoteur(s) : Francis, Frédéric

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en biologie des organismes et écologie, à finalité spécialisée en biologie de la conservation : biodiversité et gestion

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/20880>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Université de Liège, Faculté des Sciences
Département Biologie, Ecologie, Evolution
Laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Évolutive (Gembloux Agro-Bio Tech)

**Étude de la biodiversité entomologique sur le site naturel humide
du Wachnet à Waremme et analyse de familles cibles :
Cantharidae, Coccinellidae et Syrphidae.**



Mémoire de fin d'étude présenté par **Eve-Albane Poussart** en vue de l'obtention du titre de
Master en Biologie des Organismes et Ecologie

Orientation : Biologie de la Conservation, Biodiversité et Gestion

Promoteur : Pr. Frédéric Francis

Année académique : 2023-2024

Août 2024

Résumé

Titre : Étude de la biodiversité entomologique sur le site naturel humide du Wachnet à Waremme et analyse de familles cibles : Cantharidae, Coccinellidae et Syrphidae.

Nom de l'étudiante : Eve-Albane Poussart

Année académique : 2023 – 2024

Laboratoire : Laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Évolutive

Promoteur : Pr. Frédéric Francis

Le déclin confirmé de l'entomofaune et les nombreuses menaces sous-jacentes poussent à renforcer les connaissances en conservation des insectes et des zones sensibles. En particulier, l'utilisation d'insectes auxiliaires de culture et la préservation d'aménagements (semi-)naturels incarnent des solutions contre la perte de biodiversité en milieu agricole. Le site naturel humide du Wachnet, malgré sa situation défavorable au sein d'une zone agricole, constitue un site de grand intérêt biologique où sont inventoriés les insectes depuis 2007.

La présente étude vise - à son tour - à inventorier la biodiversité des familles entomologiques exploitant le site et plus spécifiquement, à étudier trois familles d'auxiliaires que sont les Cantharidae, Coccinellidae et Syrphidae. À l'aide de pièges pantrap jaune, blanc, bleu et de piégeages au filet fauchoir, le site est prospecté en sept zones aux biotopes différents, entre mi-mai et début juillet 2024.

Au total, 46 familles d'insectes ont été recensées, dont 11 espèces de cantharides, 6 espèces de coccinelles et 31 espèces de syrphes. L'abondance et la richesse des familles échantillonnées ont diminué au cours de l'étude. Les zones ouvertes et fleuries sur le site du Wachnet comptabilisent les abondances et les richesses en familles entomologiques les plus élevées. Le jardin aménagé est propice à l'établissement et à la diversité en Syrphidae, le verger est adéquat pour retrouver une diversité moyenne en Cantharidae, Coccinellidae et Syrphidae, alors que les zones au sein du bois du Wachnet hébergent les trois familles d'intérêt en plus faibles effectifs et richesse.

Ce travail fournit une mise à jour de l'inventaire entomologique du site du Wachnet. Cette étude réaffirme que l'aménagement de zones naturelles et semi-naturelles en milieu agricole favorise la biodiversité entomologique et l'accueil d'insectes auxiliaires de culture.

Remerciements

En préambule à ce mémoire, je remercie Monsieur le Professeur Frédéric Francis, promoteur, de m'avoir offert la possibilité de traiter un sujet qui lie la biologie de la conservation et l'entomologie. Je souhaite remercier également le Laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Évolutive pour l'accueil et l'apprentissage de l'entomologie et, spécifiquement, Monsieur Grégoire Noël pour son suivi et ses relectures, Madame Jeannine Bortels pour la formation à la préparation entomologique et la disponibilité du matériel et Madame Ottavia Chiandotto pour les conseils de mise en collection.

Ensuite, je tiens à remercier la direction et l'ensemble de l'équipe de l'Insectarium Hexapoda pour leur accueil chaleureux et leur mise à disposition des locaux et du matériel. J'adresse un merci particulier à Monsieur Julien Bebermans qui m'a présenté les lieux, fourni le matériel nécessaire à la réalisation de mon travail et a répondu à toutes mes interrogations.

Enfin, je voudrais exprimer ma gratitude envers mes parents qui m'ont encouragé à réaliser les études dont j'avais envie. Merci à ma famille, mes amis et toutes les personnes qui m'ont soutenue et encouragée tout au long de ce travail, mais aussi ayant contribué à la réussite de mes études.

Table des matières

I. Etat de l'art	1
1. Etat général de la biodiversité entomologique	1
1.1. Déclin de la biodiversité des insectes et ses causes	1
1.1.1. Les menaces principales des activités agricoles sur la diversité des insectes	3
1.2. Importance de l'entomofaune : ses rôles écosystémiques	4
1.3. La conservation des insectes en Wallonie	7
2. Le site naturel humide du Wachnet	9
2.1. Un site humide dans un paysage agricole intensif	9
2.2. Intérêt écologique du site du Wachnet	10
3. Présentation des familles cibles	13
3.1. Cantharidae	13
3.2. Coccinellidae	13
3.3. Syrphidae	13
II. Objectifs et hypothèses	15
III. Matériels et Méthodes	16
1. Le site d'étude	16
2. L'échantillonnage	18
2.1. Les pantrap	18
2.2. Le filet fauchoir	18
3. L'identification floristique des zones d'échantillonnage	19
4. Les conditions météorologiques	20
5. La préparation entomologique et l'identification	20
6. Les analyses statistiques	21
6.1. L'encodage	21
6.2. Les indices de biodiversité α et β	22
6.3. Le rang d'abondance	23
6.4. Effort d'échantillonnage : courbes d'accumulation et de raréfaction, estimateur de Chao	23
6.5. Analyse multivariée : analyse en coordonnées principales (PCoA) et clustering hiérarchique	24
IV. Résultats	25
1. Description de la base de données	25
1.1. Conditions climatiques	25
1.2. Plantes observées sur le site	25

1.3.	Description des ordres, familles et espèces échantillonnées	25
1.4.	Evolution de l'abondance dans le temps et l'espace	27
2.	Analyse des familles cibles	30
2.1.	Richesse spécifique et abondance des familles cibles par habitat.....	30
2.2.	Rang d'abondance	31
2.3.	Effort d'échantillonnage.....	32
2.4.	Diversité alpha (α) des familles cibles	34
2.5.	Diversité bêta (β) des familles cibles.....	36
2.6.	Analyse en coordonnées principales.....	36
2.7.	Analyse de clustering hiérarchique des habitats	37
V.	Discussion.....	39
1.	Biais de l'étude.....	39
2.	Ha1 : l'abondance et la richesse taxonomique augmentent au cours du temps	40
3.	Ha2 : les familles d'insectes sont plus ou moins diversifiées en fonction du milieu	41
4.	Ha3 : certains sites sont plus favorables que d'autres à l'établissement et la diversité des Syrphidae, Coccinellidae et Cantharidae.....	41
VI.	Conclusions et perspectives	44

Table des figures

Figure 1. Facteurs (en rouge à gauche) et conséquences (en bleu à droite) des extinctions d'insectes (Cardoso et al., 2020).	6
Figure 2. Localisation des sites naturels protégés en Wallonie en 2022 (Service public de Wallonie, 2023).	8
Figure 3. Sentier du Wachnet (©Poussart E-A.).	10
Figure 4. Photographies d'une cantharide, d'une coccinelle et d'un syrphe (de gauche à droite). (a) <i>Cantharis fusca</i> (© Ignace D., 2019), (b) <i>Calvia quatuordecimguttata</i> (©Ignace D., 2019), (c) <i>Episyrphus balteatus</i> (© Smith N., 2010).	14
Figure 5. Localisation des sites d'échantillonnage sur le site du Wachnet (réalisé sur QGIS (version 3.36.1)) (©Poussart E-A.).	16
Figure 6. Lieux de collecte des insectes (de gauche à droite et de haut en bas) : (a) jardin, (b) verger, (c) prairie, (d) mare, (e) bois, (f) clairière, (g) roselière (©Poussart E-A.).	17
Figure 7. Pantrap de couleur jaune utilisé pour la récolte d'insectes (©Poussart E-A.).	18
Figure 8. Filet utilisé pour la récolte d'insectes (©Poussart E-A.).	19
Figure 9. Préparation entomologique d'un individu <i>Volucella pellucens</i> Linnaeus, 1758 (©Poussart E-A.).	21
Figure 10. Boîtes de conservation des insectes, triés par ordre, famille et espèce (©Poussart E-A.).	21
Figure 11. Abondance (en %) des familles parmi les Diptères capturés. En blanc est mise en évidence la famille cible.	26
Figure 12. Abondance (en %) des familles parmi les Coléoptères capturés. En blanc sont mises en évidence les familles cibles.	27
Figure 13. Abondance (en %) des familles parmi les Hyménoptères capturés.	27
Figure 14. Evolution de l'abondance (a) et de la richesse taxonomique (b) des insectes capturés par piège pantrap jaune, blanc et bleu au cours du temps.	28
Figure 15. Evolution de l'abondance d'insectes capturés au filet fauchoir au cours du temps.	29
Figure 16. Abondance et diversité des familles d'insectes capturées en fonction de la zone d'échantillonnage.	29
Figure 17. Richesse spécifique des 3 familles cibles confondues capturées en fonction de la zone d'échantillonnage.	30
Figure 18. Abondance des espèces des 3 familles cibles confondues capturées en fonction de la zone d'échantillonnage.	31
Figure 19. Rang d'abondance des trois familles cibles confondues sur le site du Wachnet.	32
Figure 20. Courbe d'accumulation du nombre d'espèces des 3 familles cibles confondues sur le site du Wachnet.	33
Figure 21. Courbes de raréfaction des espèces des trois familles confondues par habitat.	33
Figure 22. Indices de diversité Shannon (a), Piélou (b) et Simpson (c) par habitat.	35
Figure 23. Diversité bêta pour l'ensemble des habitats sur le site du Wachnet.	36
Figure 24. PCoA sur les deux premières dimensions pour les habitats.	37
Figure 25. Effectifs par cluster et moyennes des variables par cluster.	38
Figure 26. Clustering agglomératif des habitats en fonction de l'abondance des familles cibles par la technique de Ward.	38

Table des tableaux

Tableau 1. Calendrier des récoltes aux pièges pantrap (en grisé) et au filet fauchoir (en gras).	19
Tableau 2. Moyennes des températures (°C) et de la pluviométrie (mm) au cours de la période d'échantillonnage (en 4 sessions par type de piège). Contraste de couleur : rouge foncé lorsque la température s'élève ; bleu foncé lorsque la pluviométrie s'élève.	25
Tableau 3. Abondance des ordres, nombres d'individus et de familles d'insectes échantillonnés par ordre sur le site du Wachnet.	26
Tableau 4. Richesse spécifique observée et estimée (par la méthode de Chao1).....	34
Tableau 5. Nombre de Hill (1-Hill) par habitat.	35

Table des abréviations

MAEC : Mesures Agro-Environnementales et Climatiques

PAC : Politique Agricole Commune

SGIB : Site de Grand Intérêt Biologique

I. Etat de l'art

1. Etat général de la biodiversité entomologique

1.1. Déclin de la biodiversité des insectes et ses causes

Le groupe des insectes représente la part la plus considérable sur l'ensemble des espèces : il équivaut à près de la moitié de la biodiversité des espèces au monde (Rabitsch & Zulka, 2024). En effet, il est estimé à 5,5 millions d'espèces d'insectes (Stork, 2018). Cependant, la diversité entomologique est encore peu connue puisque 1 053 578 espèces d'insectes seraient décrites (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2023), soit environ 20% de la biodiversité totale estimée, ce qui motive la recherche.

Depuis la fin du 20^{ème} siècle, le déclin des espèces d'insectes est constaté (Rabitsch & Zulka, 2024). Le taux d'extinction des insectes équivaut à 10% (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019), cela signifie donc qu'environ 500 000 espèces d'insectes seraient éteintes. Cette perte est aussi observée en zones protégées, pourtant censées mettre sous cloche cette biodiversité : en Allemagne, 76% de la biomasse de plusieurs taxa d'insectes volants a disparu en moins de 30 ans au sein de zones protégées (Hallmann et al., 2017). Effectivement, la diversité entomologique est, dans certains cas, délaissée de la conception des milieux protégés; il est dès lors nécessaire d'établir des plans de gestion adaptés (Chowdhury et al., 2023). A titre d'exemple, en Wallonie, 17% des espèces de papillons de jour ont disparu et 16% sont sous le seuil de danger d'extinction régionale (Service public de Wallonie, 2022). Ce déclin de l'entomofaune s'explique par une synergie de causes humaines, développées ci-après.

Puisque les insectes sont des animaux fréquemment inféodés à des milieux spécifiques durant leurs phases de développement, ils sont impactés par la perte, la détérioration et la fragmentation de leur habitat (Rabitsch & Zulka, 2024). L'urbanisation réduit l'abondance et la richesse spécifique des insectes, dont la perte de biodiversité est évaluée à 40% (Vaz et al., 2023).

Le changement climatique perturbe les conditions abiotiques du milieu, favorisant entre autres le développement des espèces généralistes (Habel et al., 2016). Par exemple, l'aire de répartition de *Bombus haematurus* Kriechbaumer 1870, une espèce généraliste de bourdon originaire de l'est de la Méditerranée, a gagné 20% de surface vers le nord-ouest de l'Europe depuis 30 ans et semble continuer son expansion (Biella et al., 2021). Néanmoins, les bourdons européens sont hautement menacés d'extinction lorsque les conditions climatiques franchissent

les limites de tolérance des espèces (Soroye et al., 2020). Le changement climatique induit d'autres problèmes tels que des modifications dans la phénologie des insectes (Cardoso et al., 2020). De ce fait, la survie des insectes repose sur la connectivité des habitats (Cardoso et al., 2020), pourtant sans cesse fragmentés comme expliqué précédemment.

Les impacts des invasions biologiques sur la diversité des insectes sont nombreux (par exemples : compétition, prédation, dérèglement du milieu (Rabitsch & Zulka, 2024)), pouvant avoir des conséquences à long terme sur l'écosystème, ne le rendant plus habitable pour les espèces indigènes. Par exemple, l'abondance des carabes indigènes des montagnes d'Europe centrale est appauvrie par l'invasion de *Pinus mugo* Turra et les espèces généralistes sont privilégiées (Kašák et al., 2015), une fois de plus.

Les pollutions sont aussi des facteurs de déclin de l'entomofaune (Rabitsch & Zulka, 2024). Les polluants chimiques peuvent être bioaccumulables (concentration du polluant au sein de l'organisme) et bioamplifiables (concentration croissante du polluant le long des chaînes alimentaires) (Cardoso et al., 2020). Notamment, la pollution lumineuse artificielle désynchronise les insectes nocturnes (nuisant aux processus biologiques vitaux), les attire et les désoriente (rendant les insectes plus vulnérables à la prédation) (Owens & Lewis, 2018). Par exemple, les pollutions lumineuses nocturnes sont à l'origine du déclin des populations de papillons de nuit (Van Langevelde et al., 2018).

De surcroît, certaines espèces d'insectes sont surexploitées (Cardoso et al., 2020). À titre d'exemple, l'élevage des insectes comestibles incarne le futur de l'alimentation mondiale, car ils sont riches en ressources protéiques et leur production est plus durable que le bétail (Van Huis & Oonincx, 2017). L'élevage intensif sélectionne les espèces les plus productives, ce qui mène à une perte de diversité génétique.

Finalement, l'association de tous les facteurs énumérés précédemment fragilise les coexistences interespèces (Rabitsch & Zulka, 2024). L'extinction d'hôtes spécifiques entraîne dans leur perte leurs parasites : tel est le cas des Siphonaptères d'Australie pour lesquels de nombreuses espèces ont disparu depuis que leur hôte spécifique s'est éteint (Kwak, 2018).

Dans cette période de déclin majeur, il est plus qu'important d'étudier l'entomofaune et sa diversité pour déterminer quelles sont les méthodes de conservation adéquates dans un environnement qui est changeant.

1.1.1. Les menaces principales des activités agricoles sur la diversité des insectes

Depuis la fin de la Seconde Guerre Mondiale, les activités agricoles se sont industrialisées : agrandissement des exploitations, utilisation des machines, emploi d'engrais et de pesticides, dominance des monocultures, élimination des éléments du paysage et des zones humides pour élargir les terres arables (Raven & Wagner, 2021). Précisément, le point de départ du déclin des insectes fut la Révolution Verte, marquée par une utilisation intensive d'intrants pour l'agriculture (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). L'effet synergique du changement climatique et de l'intensification des pratiques agricoles expliquerait aussi la perte des insectes en zone agricole. Les pratiques de l'agriculture intensive conditionnent la biodiversité de l'entomofaune : simplification du paysage, application de pesticides et utilisation d'engrais sont expliqués ci-dessous.

L'homogénéisation intense du paysage supprime les niches écologiques des insectes, expliquant leur déclin et celui de leurs prédateurs supérieurs (Raven & Wagner, 2021). Notamment, la simplification du paysage réduit le taux de pollinisation (Albrecht et al., 2020).

Une cause supplémentaire expliquant le déclin des insectes en zone agricole est celle des pesticides (Rabitsch & Zulka, 2024). Intensivement utilisés pour de meilleurs rendements agricoles, ces produits transportables, persistants et synergiques sont toxiques pour les insectes (Klátyik et al., 2023; Rabitsch & Zulka, 2024), mais dégradent aussi la qualité des habitats (Cardoso et al., 2020). Les pesticides réduisent la diversité végétale, entomologique et ornithologique en milieu agricole, avec le risque d'augmenter la présence de nuisibles de culture (Geiger et al., 2010). Les herbicides peuvent de manière collatérale perturber les insectes qui ne sont pourtant pas leur cible. Effectivement, ces produits empêchent le développement de plantes adjacentes aux cultures et retirent donc une partie de ressources pour les insectes (Klátyik et al., 2023). Les herbicides épandus même à dose recommandée, tels que le glyphosate et ses coformulants, affectent les insectes à plusieurs niveaux : physiologique, génétique, cognitif, ou encore, impactent leur microbiote (Klátyik et al., 2023). Ces produits agricoles réduisent les capacités immunitaires des insectes, les rendant plus vulnérables aux maladies et pathogènes (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019).

L'application d'engrais azotés est récurrente en culture conventionnelle. Ces produits altèrent la qualité de l'habitat pour les insectes : ils réduisent l'abondance en ressources végétales, acidifient les sols et eutrophisent les zones humides (Cardoso et al., 2020). Près de la moitié

des espèces européennes du genre *Bombus* décline parce que l'application d'engrais contribue à ne plus recourir à des plantes légumineuses (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). Les légumineuses, et principalement les trèfles, sont une ressource nourricière importante pour les bourdons (Pouvreau, 1993). Les insectes peuvent pondre sur des plantes fertilisées car ces dernières semblent performantes pour le développement des larves, mais les insectes adultes ne sont pas capables de détecter une concentration élevée en azote (Raharivololoniaina et al., 2023). Or, cette concentration élevée en azote est létale pour les larves.

Pour toutes ces raisons, il est important de se tourner vers une agriculture plus saine envers les insectes. Un milieu agricole riche en habitats, géré extensivement et avec une proximité des parcelles renforce les communautés d'insectes (Bottero et al., 2023). Il est donc primordial de privilégier les aménagements naturels en zone agricole.

1.2. Importance de l'entomofaune : ses rôles écosystémiques

Les insectes fournissent de nombreux services écosystémiques, pouvant être classés en quatre catégories, en faveur de la santé et du bien-être des hommes. Les services écosystémiques sont définis tels qu'ils « représentent les avantages que les populations humaines tirent, directement ou indirectement, des fonctions des écosystèmes » (Costanza et al., 1997).

Premièrement, les services de support englobent l'ensemble des processus de base qui soutient les autres services, telle que la production primaire. Les insectes interviennent notamment dans la formation du sol en transportant de la matière et de l'énergie, comme les insectes détritivores (Sanmartín-Villar & Cordero-Rivera, 2024). À titre d'exemple, en accélérant le processus de décomposition de matières fécales du bétail, les Scarabaeidae sont des Coléoptères qui préviennent des pertes économiques aux agriculteurs en « nettoyant » les pâtures, convertissant ces matières en engrais et limitant l'établissement des parasites et des nuisibles (Losey & Vaughan, 2006).

Deuxièmement, les services d'approvisionnement correspondent à l'ensemble des ressources fournies. Par exemple, *Bombyx mori* Linnaeus 1758 produit de la fibre de soie utilisée dans l'industrie textile.

Troisièmement, les services de régulation représentent les bénéfices apportés par les processus de régulation des écosystèmes. Un service essentiel des insectes est la pollinisation des plantes pour obtenir des fleurs et des fruits (Sanmartín-Villar & Cordero-Rivera, 2024). Aux Etats-Unis, la valeur associée à la production de fruits et légumes par les abeilles sauvages est évaluée

à 3,07 millions de dollars américains (Losey & Vaughan, 2006). En 2005, les insectes pollinisateurs ont rapporté 153 milliards d'euros à l'agriculture mondiale destinée à l'alimentation humaine (Gallai et al., 2009). De plus, la régulation des ravageurs de cultures par leurs ennemis naturels représente une lutte non négligeable pour laquelle aucun pesticide n'est nécessaire. En 2006, il fut évalué que les insectes prédateurs aidaient à économiser annuellement 4,5 milliards de dollars américains dans la lutte contre les ravageurs de culture (Losey & Vaughan, 2006).

Quatrièmement, les services culturels regroupent les avantages immatériels tirés des écosystèmes. Par exemple, l'esthétique des papillons ou la symbolique spirituelle des insectes sont répandues dans le monde (Sanmartín-Villar & Cordero-Rivera, 2024). De nombreux insectes sont élevés pour l'ornementation et pas uniquement à destination de l'alimentation.

La perte de la biodiversité entomologique amoindrit ces services écosystémiques remplis par les insectes (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019) ; le résumé des facteurs de déclin des insectes et les conséquences sur les services écosystémiques qu'ils rendent sont à retrouver en Figure 1. Ceci souligne les raisons pour lesquelles le déclin de la biodiversité entomologique est préjudiciable au vu de l'importance économique de leurs services ; les insectes sont des « éléments irremplaçables » de l'environnement qui soutiennent la santé des écosystèmes (Cardoso et al., 2020).

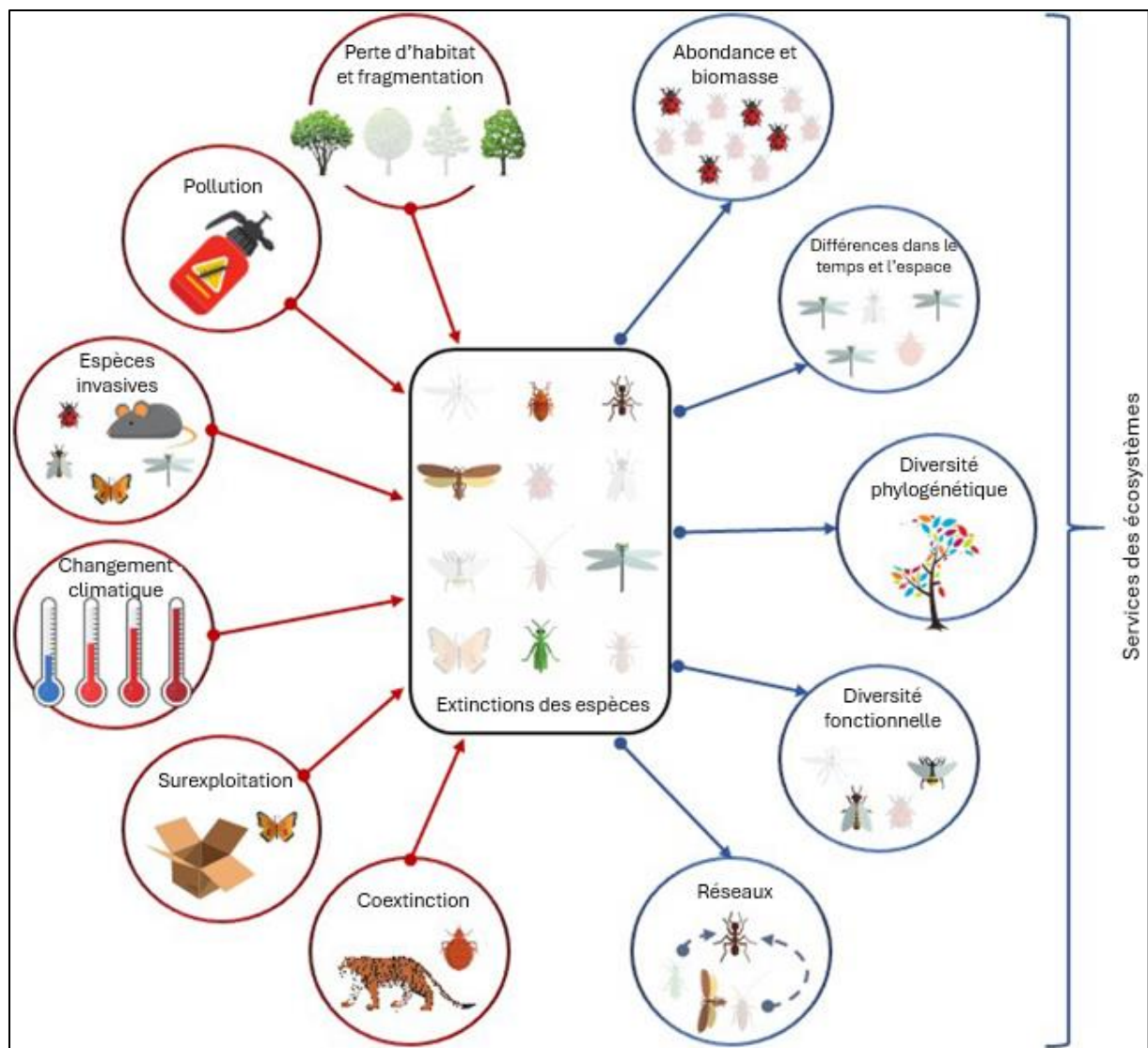


Figure 1. Facteurs (en rouge à gauche) et conséquences (en bleu à droite) des extinctions d'insectes (Cardoso et al., 2020).

1.3. La conservation des insectes en Wallonie

En Wallonie, la Loi sur la Conservation de la Nature du 12 juillet 1973 constitue la base de la protection de la biodiversité. Selon le chapitre premier, 1^{er} article, cette loi « tend à sauvegarder le caractère, la diversité et l'intégrité de l'environnement naturel par des mesures de protection de la flore et de la faune, de leurs communautés et de leurs habitats, ainsi que du sol, du sous-sol, des eaux et de l'air » (Service public de Wallonie, 2021). Par exemple, l'annexe IIb de cette loi reprend entre autres l'ensemble des insectes menacés d'extinction en Wallonie et strictement protégés, dont la majorité sont des Hyménoptères et des Lépidoptères.

En plus des statuts de protection, les insectes bénéficient de la mise en place de zones protégées en Wallonie (localisées en Figure 2), à savoir : des réserves naturelles, des réserves forestières, des zones humides d'intérêt biologique et des cavités souterraines d'intérêt scientifique. Le réseau formé par ces 619 sites, constitue en 2022 seulement 1,6% du territoire de la Wallonie (Service public de Wallonie, 2023). Les règlements et interdictions de ces sites naturels protégés assurent la préservation des lieux et la quiétude pour la faune et la flore. D'ici 2030, la Wallonie s'est engagée, au travers de son Plan de relance, à atteindre l'objectif de 5% du territoire wallon classés en zones naturelles protégées (Service public de Wallonie, 2023).

À échelle européenne, des mesures mises en place dans la préservation plus large de la biodiversité bénéficient aux insectes.

D'abord, le réseau d'aires protégées paneuropéen Natura 2000 comprend 27 000 sites naturels protégés régis par les directives « Oiseaux » de 1979 et « Habitats » de 1992 (Commission européenne, 2024). La Wallonie compte plus de 220 000 hectares de sites Natura 2000 (La biodiversité en Wallonie, 2024), formant des zones supplémentaires de protection pour les insectes. Finalement, l'Union Européenne a pour objectif de protéger 30% d'aires terrestres d'ici 2030 (Commission européenne, 2020).

Ensuite, les Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (abrégé, MAEC) faisant partie de la Politique Agricole Commune (abrégé, PAC) contribuent à la conservation des espèces d'insectes par la gestion raisonnée des terres agricoles.

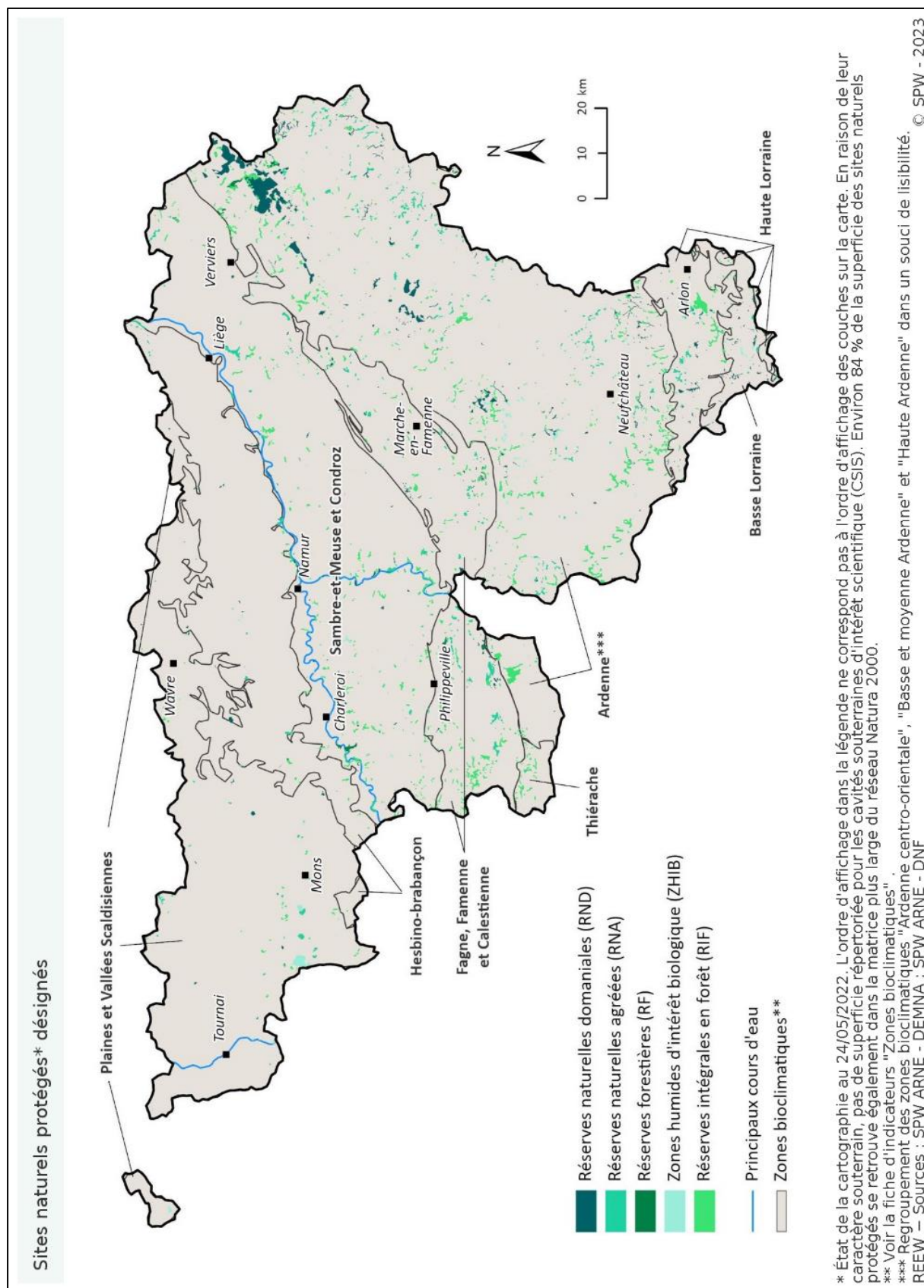


Figure 2. Localisation des sites naturels protégés en Wallonie en 2022 (Service public de Wallonie, 2023).

2. Le site naturel humide du Wachnet

2.1. Un site humide dans un paysage agricole intensif

Les milieux humides sont porteurs d'intérêt puisque 6% des espèces d'insectes y vivent (Samways et al., 2020). En 1997, la valeur des services de l'ensemble des zones humides fut évaluée à 4,9 trillions de dollars américains par an (Costanza et al., 1997). Les activités agricoles (par exemple, l'assèchement des zones humides pour étendre les parcelles) sont identifiées comme les causes premières du recul des zones humides (Chen et al., 2012). Même si ces zones ne sont pas épargnées par les menaces du changement climatique et de l'urbanisation, la principale menace pour la biodiversité de ces milieux est la pollution (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). Les polluants sont de différentes natures et origines : eaux usées, polluants de l'industrie (métaux, microplastiques, ...), polluants liés à l'agriculture (pesticides, par exemple)... À titre d'exemple, les activités agricoles vont entre autres déverser des sources d'azote dans l'environnement, responsables de l'eutrophisation des lieux humides et privant de ce fait les insectes aquatiques d'oxygène (Brinson & Malvárez, 2002). Bien que regorgeant de nombreuses ressources pour les insectes, les sites humides subissent un déclin plus prononcé de l'abondance de ceux-ci par rapport aux écosystèmes terrestres (Vaz et al., 2023). Un tiers des insectes aquatiques est menacé (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). Les insectes qui dépendent des milieux humides et qui ont une faible capacité dispersive sont particulièrement fragiles aux changements de leur habitat (Cardoso et al., 2020), souvent isolé et restreint (Brinson & Malvárez, 2002). Les insectes aquatiques qui sont capables de dispersion se propagent vers le nord pour échapper aux changements du climat : entre 1995 et 2021, 8 nouvelles espèces de libellules ont été recensées en Grande-Bretagne et en Irlande, espèces d'ordinaire communes du sud de l'Europe (British Dragonfly Society, 2021).

En 2022, 44,4% du territoire belge sont consacrés à l'agriculture, majoritairement pour l'élevage, suivi de la culture céréalière (Service Public Fédéral Belge, 2023). Les terrains en zone limoneuse font partie des plus exploités par cette activité (Service Public Fédéral Belge, 2023). Les recherches s'effectueront sur la commune belge de Waremme, située en région limoneuse, où 36% de la superficie de la commune est réservée à l'activité agricole (Ville de Waremme, 2024b).

La préservation des milieux humides dans le paysage agricole est une priorité pour la conservation des insectes; c'est pourquoi les recherches sur le site humide naturel du Wachnet, localisé sur la commune de Waremme (Belgique) représentent un intérêt marqué.

2.2. Intérêt écologique du site du Wachnet

Ce site de 20,47 hectares est classé « Site de Grand Intérêt Biologique » (abrégé, SGIB) (Motte et al., 2019). Ce type de site n'est pas considéré « site naturel protégé », mais constitue une part importante dans le réseau entre les zones naturelles, puisque les SGIB sont présents sur presque 9% du territoire wallon (Service public de Wallonie, 2023). Le site naturel de l'étude possède un intérêt écologique particulier car il abrite une diversité d'habitats repris dans 11 biotopes WalEUNIS. Cette typologie est une détermination standardisée des biotopes naturels, semi-naturels et artificiels à travers l'Europe. Sur le site du Wachnet, la flore et la faune trouvent refuge dans un jardin aménagé, un verger, des prairies, une roselière, des marais, des eaux stagnantes et courantes, mais encore, une zone boisée. La gestion de cet écrin de nature se cantonne à l'entretien du sentier pédagogique et à un fauchage annuel (Figure 3) (Ville de Waremme, 2024a).

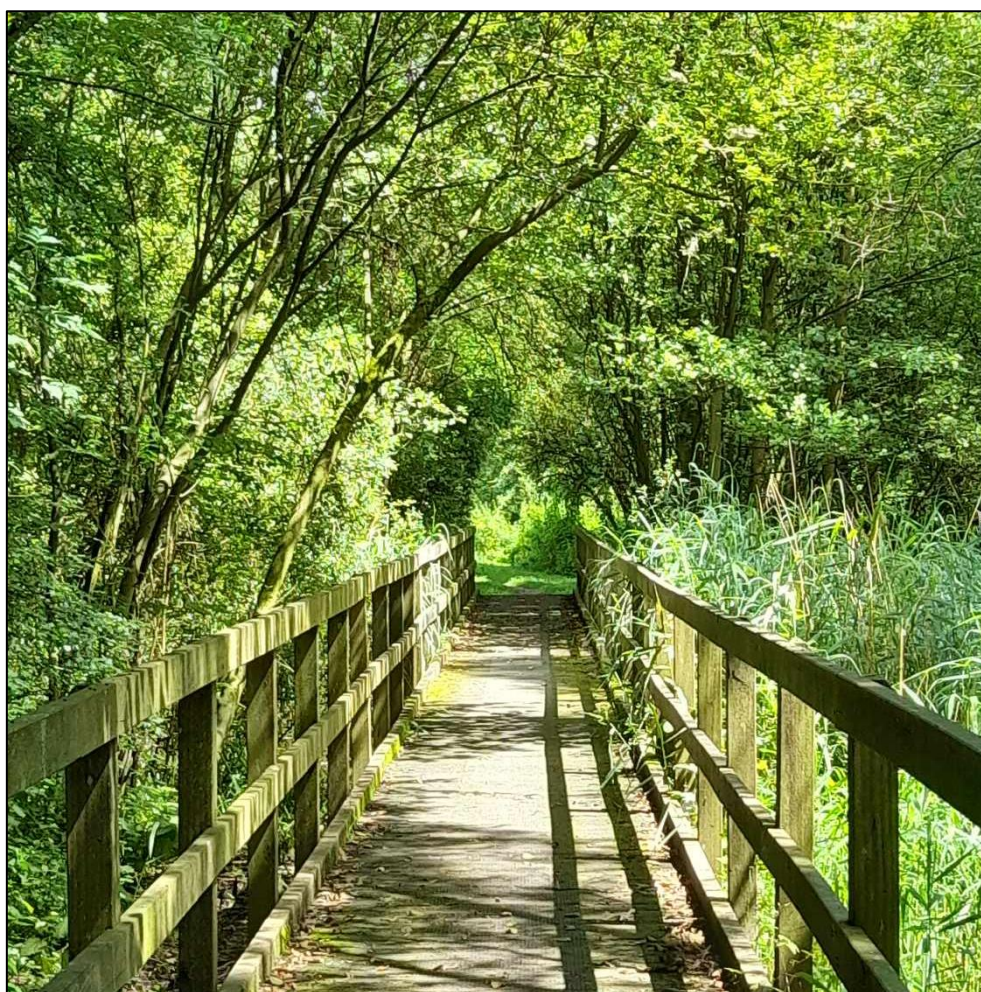


Figure 3. Sentier du Wachnet (©Poussart E-A.).

La diversité entomologique est importante dans des paysages agricoles variés et extensifs, par la création de différentes niches écologiques (Habel et al., 2023). Les nombreux habitats semi-naturels dont dispose le site naturel du Wachnet forment une zone intéressante pour y loger de la biodiversité dans un paysage environnant simplifié par l'agriculture. À titre d'exemple, le jardin aménagé de l'Insectarium Hexapoda propose des bandes fleuries, un type de MAEC. Les bandes de fleurs offrent aux insectes des ressources alimentaires et structurelles (Tschumi et al., 2016), ainsi que des lieux de reproduction lorsque les plantes hôtes sont présentes (Kolkman et al., 2022). Dans certains cas, ces aménagements fleuris sont efficaces rapidement : il suffit de deux mois pour que la densité d'activité des Coléoptères soit élevée (Killewald et al., 2024). Les bandes fleuries sauvages sont capables d'accueillir des espèces de papillons rares, menacées, protégées, et des espèces auparavant considérées comme disparues de Wallonie telle que *Cupido argiades* (Pallas, 1771) (Kolkman et al., 2022). Ce dispositif semi-naturel dans le paysage agricole est bénéfique pour d'autres groupes d'animaux puisqu'il renforce les réseaux trophiques, offrant, par exemple, des ressources nourricières aux oiseaux granivores et insectivores. Les bandes de fleurs encouragent la diversité d'espèces d'oiseaux menacées (Schmidt et al., 2022) et le développement de plantes sauvages (Uyttenbroeck, 2017), constituant ainsi des dispositifs importants pour la conservation de la nature en milieu agricole. Une preuve supplémentaire que le site naturel est intéressant pour mener une étude entomologique est que de nombreuses espèces qui consomment des insectes y sont présentes, tel le héron cendré (*Ardea cinerea* Linnaeus, 1758), le pigeon ramier (*Columba palumbus* Linnaeus, 1758), le faisan de Colchide (*Phasianus colchicus* Linnaeus, 1758), mais également la mésange charbonnière (*Parus major* Linnaeus, 1758). La situation écologique idéale de ce site naturel a permis, il y a peu, l'établissement naturel du castor, signalé officiellement en 2017 (Motte et al., 2019). *Castor fiber* Linnaeus, 1758 est un mammifère dûment protégé car c'est une espèce parapluie, encourageant le maintien d'un habitat humide et accueillant pour maintes espèces d'oiseaux et d'insectes.

Le réseau écologique est défini comme « l'ensemble des milieux de vie temporaires ou permanents des espèces végétales et animales, assurant ainsi leur survie à long terme » (Milczarczyk, 2024). Autrement dit, c'est un réseau d'aménagements naturels interconnectés favorisant la libre circulation des espèces. De ce fait, les espèces sont résilientes face aux prédateurs, pathogènes ou modifications du milieu parce qu'elles peuvent se rendre mobiles dans le paysage et enrichir l'échange génétique (Dufrêne, 2023). Pour favoriser la connectivité du réseau écologique, des éléments du maillage écologique y sont associés (Dufrêne, 2023),

telles que les bandes fleuries aux abords de cultures. La conservation des espèces en milieu agricole peut être supplée par des haies et des bosquets (Samways et al., 2020), conférant donc une hétérogénéité au paysage. Promouvoir la biodiversité entomologique en milieu agricole par des aménagements (semi-)naturels est bénéfique pour les cultures puisque les espèces pollinisatrices et les ennemis naturels (prédateurs, parasitoïdes et entomopathogènes) des ravageurs de cultures peuvent circuler et intégrer les parcelles agricoles (Cortez-Madrigal & Gutiérrez-Cárdenas, 2023; Samways et al., 2020; Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). De cette façon, la production des champs est enrichie et les dommages engendrés par les nuisibles sur les cultures sont limités sans avoir recours à des pesticides. Malgré la large exploitation du paysage pour l'agriculture à Waremmé, le site du Wachnet bénéficie d'une proximité avec une réserve naturelle humide de 26 hectares, la réserve du Haut-Geer, site important pour les espèces d'oiseaux et d'insectes, qui y trouvent des habitats au sein d'anciens bassins de décantation (Natagora, 2022). À quelques pas de cette réserve, le site naturel du Wachnet participe, de ce fait, au maillage écologique grâce à sa superficie et ses aménagements naturels et semi-naturels. Waremmé suscite donc l'intérêt pour l'étude et la conservation de la biodiversité entomologique en zone agricole intensive.

Pour résumer, le site naturel du Wachnet est un site d'étude intéressant pour la biologie de la conservation des insectes car il incarne un écrin de verdure humide au milieu d'un paysage agricole intensif. Ce site participe à la création de niches écologiques, au maillage écologique et, au vu de sa proximité avec des cultures, il pourrait attirer les pollinisateurs et ennemis naturels de ravageurs de culture. En 2007, un premier inventaire de l'entomofaune a été mené sur le site, avec un total de 63 espèces d'insectes récoltés (Gama & Francis, 2008). Cette étude révèle que la mare aménagée et les marécages du site sont les habitats avec la diversité entomologique la plus importante. Néanmoins, la présence et l'abondance d'une espèce de coccinelle envahissante *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) était signalée. Depuis, plusieurs travaux de fins d'étude perpétuent l'inventaire et le suivi entomologique du site.

3. Présentation des familles cibles

3.1. Cantharidae

La famille des Cantharidae (Figure 4 (a)) appartient à l'ordre des Coléoptères. En Belgique, on dénombre 51 espèces (Ignace, 2021). Elles présentent un corps mou, portant des élytres longues, souples et peu striées (Mignon et al., 2016), dont la taille varie entre 4 mm et 15 mm (Gurney, 2017).

Les larves sont prédatrices de petits arthropodes. Les adultes sont, quant à eux, phytophages et s'alimentent de nectar et de pollen, ou sont prédateurs d'insectes pollinisateurs et de pucerons (Albouy & Richard, 2022).

3.2. Coccinellidae

Les Coccinellidae (Figure 4 (b)) sont des Coléoptères. En Belgique, il y aurait 62 espèces (Ignace, 2021). Elles sont identifiables par un corps hémisphérique, des élytres durs et des antennes non coudées terminées en massue (Mignon et al., 2016). Elles atteignent une taille allant jusqu'à 10 mm (Baugnee & Branquart, 2000).

Les coccinelles sont phytophages et apprécient le nectar et le pollen et/ou sont prédatrices de pucerons, cochenilles et autres proies (Albouy & Richard, 2022).

3.3. Syrphidae

Les Syrphidae (Figure 4 (c)) sont une famille de l'ordre des Diptères et du sous-ordre des Cyclorhaphes. On compte un peu moins de 350 espèces en Belgique. Cette famille présente notamment comme caractéristiques un bord de l'aile libre de toute nervure et une fausse nervure longitudinale, « *vena spuria* », dans la première cellule transverse (Mignon et al., 2016). Ces Diptères sont aussi remarquables par leur mimétisme batésien, c'est-à-dire leur ressemblance colorimétrique avec des Hyménoptères aculéates. Les plus grandes espèces atteignent 22 mm (Schulten, 2019).

Les larves ont un régime alimentaire varié selon l'espèce : saprophages, phytophages et même prédatrices de pucerons par exemple. Les adultes sont polyphages et s'alimentent en pollen, nectar et miellat.

Ces trois familles sont intéressantes à étudier pour leurs aspects de prédateurs et/ou de pollinisateurs. Elles sont des alliées contre les ravageurs de cultures et une alternative aux pesticides.

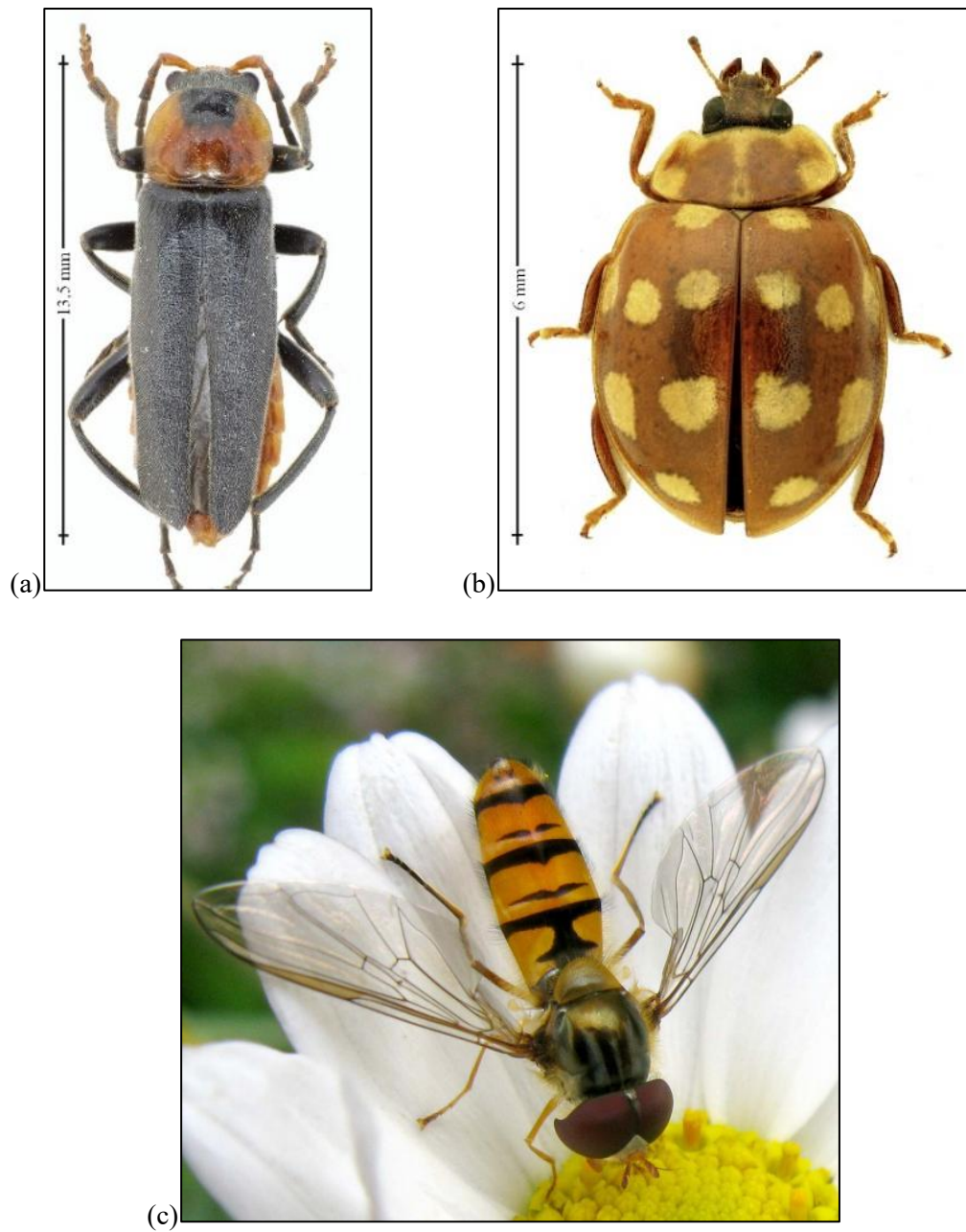


Figure 4. Photographies d'une cantharide, d'une coccinelle et d'un syrph (de gauche à droite). (a) *Cantharis fusca* (© Ignace D., 2019), (b) *Calvia quatuordecimguttata* (© Ignace D., 2019), (c) *Episyrphus balteatus* (© Smith N., 2010).

II. Objectifs et hypothèses

L'objectif de ce travail est d'inventorier et d'évaluer la biodiversité entomologique sur le site humide du Wachnet à Waremme, en Belgique, sur la période printemps-été 2024, et plus particulièrement, entre mi-mai et début juillet. Précisément, les communautés d'insectes seront comparées entre sept sites d'échantillonnage, à savoir un jardin, un verger, une prairie sauvage, une mare, un bois, une clairière et une roselière. Une analyse approfondie des familles de Syrphidae, Coccinellidae et Cantharidae sera aussi réalisée, au travers de l'évaluation de leurs diversité, abondance et répartition sur le site d'étude. Finalement, ce travail permettrait par la suite de renforcer les connaissances sur les méthodes de conservation de l'entomofaune.

La première hypothèse nulle (H01) est que l'abondance et la richesse taxonomique échantillonnées n'augmentent pas au cours du temps de piégeage. On souhaite donc démontrer l'hypothèse (Ha1) selon laquelle l'abondance et la richesse des familles entomologiques augmentent au cours de la saison.

La seconde hypothèse nulle (H02) est que les communautés d'insectes sont identiques entre les sites d'échantillonnage. On souhaite donc démontrer l'hypothèse (Ha2) selon laquelle les familles d'insectes sont plus ou moins diversifiées en fonction du milieu.

La troisième hypothèse nulle (H03) est que les communautés de Syrphidae, Coccinellidae et Cantharidae n'ont pas de préférence de niche écologique. On souhaite donc démontrer l'hypothèse (Ha3) selon laquelle certains sites seront plus favorables que d'autres à l'établissement et la diversité des communautés d'insectes de ces familles d'intérêts.

III. Matériels et Méthodes

1. Le site d'étude

L'étude a été réalisée sur le site naturel humide du Wachnet (50.683714N, 5.226689E), à Waremme. La prospection s'est faite sur sept zones aux caractéristiques différentes, localisées en Figure 5 et photographiées en Figure 6. La zone 1 (50.683357N, 5.230658E) correspond au jardin du musée Hexapoda. Le jardin possède divers aménagements : des arbres et arbustes, des haies, des tas de bois, une mare... Il dispose notamment d'une parcelle de 100 m² dédiée aux bandes fleuries, semées entre le 22 mars 2024 et le 15 avril 2024. La zone 2 (50.684149N, 5.229924E) est un verger avec de jeunes arbres, un potager et des aromates, il est jonché d'une haie d'arbustes fleuris. Le sol est laissé en friche, à dominance de graminées, mise à part quelques passages fauchés. La zone 3 (50.685178N, 5.228787E) est une prairie sauvage et fleurie en bordure du bois. La zone 4 (50.682179N, 5.224781E) est une mare localisée au cœur du bois. La zone 5 (50.681128N, 5.223184E) est un bois humide, adjacent à une petite clairière fleurie. La zone 6 (50.681359N, 5.220209E) est une grande clairière en friche. La zone 7 (50.683120N, 5.224741E) correspond en une large roselière ouverte au cœur du parc. Des exemples de plantes rencontrées sur chaque zone sont répertoriés en Annexe 2.

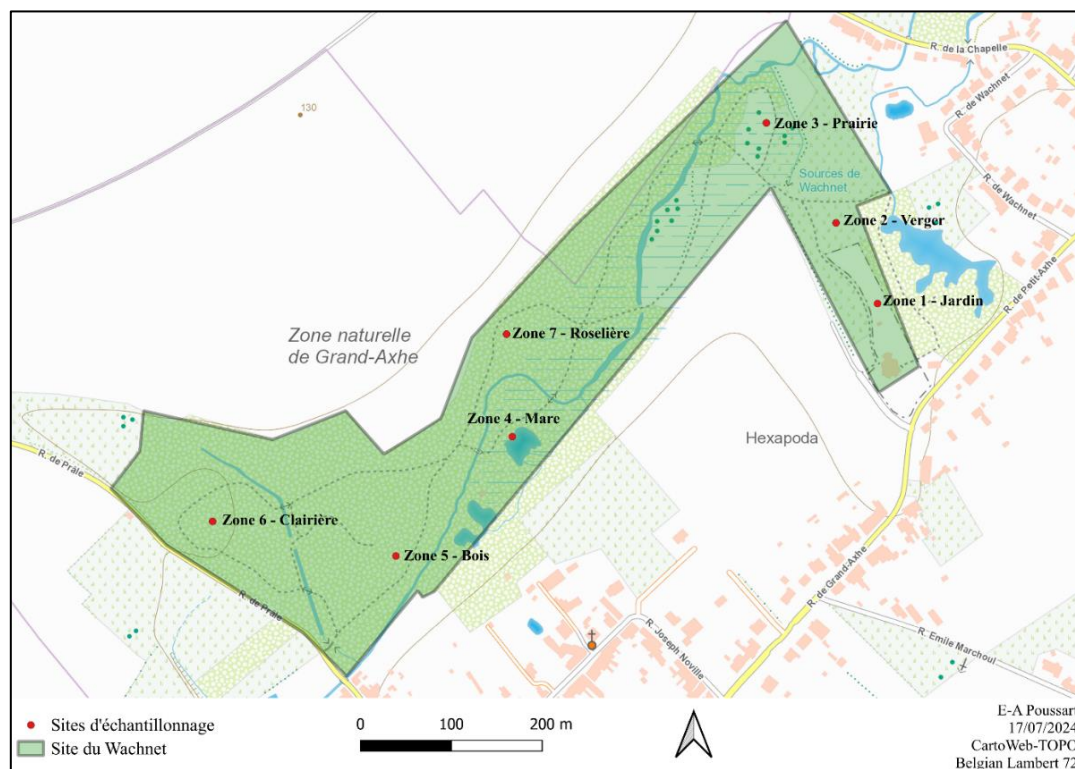


Figure 5. Localisation des sites d'échantillonnage sur le site du Wachnet (réalisé sur QGIS (version 3.36.1)) (©Poussart E-A.).



Figure 6. Lieux de collecte des insectes (de gauche à droite et de haut en bas) : (a) jardin, (b) verger, (c) prairie, (d) mare, (e) bois, (f) clairière, (g) roselière (©Poussart E-A.).

2. L'échantillonnage

2.1. Les pantrap

Le pantrap (Figure 7) est un piège qui correspond en un seau contenant de l'eau savonneuse, positionné sur un tuteur à hauteur de la cime de la végétation. Des pantrap de différentes couleurs (jaune, blanc et bleu) ont été associés pour maximiser l'échantillonnage, car les insectes ont des préférences de couleurs. À partir du 13 mai 2024 jusqu'au 27 juin 2024, quatre sessions de piégeage aux pantrap furent réalisées. Toutes les deux semaines, un triplet de seaux de couleurs différentes, espacés entre eux de 2 à 5 mètres, contenant de l'eau et un surfactant Triton (concentrations x50 et x100) était installé dans chaque zone durant 4 jours, du lundi au jeudi. Il y a donc 3 pièges par zone. Les insectes piégés sont récupérés, à l'aide d'un tamis (de maille 3 mm), et conservés dans des piluliers identifiés (identification de la zone, dates de récolte, type de piège et localité) contenant de l'éthanol à 70°. Le Tableau 1 représente le calendrier des jours de piégeage.



Figure 7. Pantrap de couleur jaune utilisé pour la récolte d'insectes (©Poussart E-A.).

2.2. Le filet fauchoir

Le piégeage au filet (Figure 8) consiste à balayer la cime de la végétation pour collecter les insectes s'y trouvant. A partir du 20 mai 2024 jusqu'au 5 juillet 2024, quatre sessions de piégeage au filet ont été réalisées. Toutes les deux semaines, une journée de piégeage au filet

fauchoir sur transect aléatoire a été menée dans chaque zone durant 20 minutes, au matin et en après-midi. Seuls les insectes appartenant aux familles des Cantharidae, Coccinellidae et Syrphidae étaient spécifiquement capturés. Les insectes piégés sont récupérés dans des piluliers identifiés (identification de la zone, dates de récolte, type de piège et localité), mis à mort au congélateur puis contenu dans de l'éthanol à 70° afin de les conserver. Les jours de piégeage sont repris dans le Tableau 1.



Figure 8. Filet utilisé pour la récolte d'insectes (©Poussart E-A).

Tableau 1. Calendrier des récoltes aux pièges pantrap (en grisé) et au filet fauchoir (en gras).

Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
13-05-24	14-05-24	15-05-24	16-05-24	17-05-24	18-05-24	19-05-24
20-05-24	21-05-24	22-05-24	23-05-24	24-05-24	25-05-24	26-05-24
27-05-24	28-05-24	29-05-24	30-05-24	31-05-24	01-06-24	02-06-24
03-06-24	04-06-24	05-06-24	06-06-24	07-06-24	08-06-24	09-06-24
10-06-24	11-06-24	12-06-24	13-06-24	14-06-24	15-06-24	16-06-24
17-06-24	18-06-24	19-06-24	20-06-24	21-06-24	22-06-24	23-06-24
24-06-24	25-06-24	26-06-24	27-06-24	28-06-24	29-06-24	30-06-24
01-07-24	02-07-24	03-07-24	04-07-24	05-07-24	06-07-24	07-07-24

3. L'identification floristique des zones d'échantillonnage

Début juillet, chaque zone fut prospectée dans le but d'établir un inventaire floristique succinct, lors d'une journée. La prospection se déroulait dans un laps de temps raisonnable pour identifier, jusqu'au genre au minimum, les plantes à fleurs croisées « au coup d'œil » dans chaque zone d'échantillonnage. Le relevé des plantes est répertorié en Annexe 2.

4. Les conditions météorologiques

Les données des conditions météorologiques lors des jours d'échantillonnage ont été téléchargées au format .xlsx via la plateforme CRA-W/Agromet.be et compilées en un fichier Excel à retrouver en Annexe 1. Les données concernent la température de l'air (°C) et les précipitations (mm).

5. La préparation entomologique et l'identification

Les insectes capturés sont rigoureusement préparés selon les conventions de « préparation immédiate après la mise à mort » (Figure 9) et triés par ordre et par famille dans des boîtes pour conservation (Figure 10) (Fagot et al., 2022). Deux boîtes sont dédiées à la représentativité de l'échantillonnage : les familles principales des ordres majoritairement récoltés et un panel des espèces des trois groupes cibles (Figure 10). Les individus de taille insuffisante pour l'épingleage sont conservés dans leur pilulier de capture d'origine et ne sont pas étudiés dans le cadre de ce travail.

L'identification des insectes s'est opérée à l'aide d'un binoculaire NOVEX AP-7. Les insectes ont été identifiés jusqu'à la famille à l'aide de la clé de détermination mise au point par Mignon et al. (l'ouvrage suivant : Mignon, J., Haubruge, E., & Francis, F. (2016). *Clé d'identification des principales familles d'insectes d'Europe*. Presses agronomiques de Gembloux).

Les individus appartenant aux familles des Cantharidae, Coccinellidae et Syrphidae ont quant à eux été identifiés jusqu'à l'espèce d'après Schulten, Baugnee et al., Gurney. (à l'aide des ouvrages suivants :

- Schulten, A. (2019). *Syrphes de Belgique et des Pays-Bas*. Natagora et le Conservatoire d'espaces naturels Nord et du Pas-de-Calais.
- Baugnee, J.-Y. & Branquart, E. (2000). *Clef de terrain pour la reconnaissance des principales coccinelles de Wallonie (Chilocorinae, Coccinellinae et Epilachninae)*. Jeunes & Nature asbl. Document réalisé en collaboration avec la FUSAGx (Unité de Zoologie générale et appliquée) et publié à l'aide de la Région wallonne (DGRNE).
- Gurney, M. (2017). *A guide to British soldier beetles.*



Figure 9. Préparation entomologique d'un individu *Volucella pellucens* Linnaeus, 1758 (©Poussart E-A.).



Figure 10. Boîtes de conservation des insectes, triés par ordre, famille et espèce (©Poussart E-A.).

6. Les analyses statistiques

6.1. L'encodage

Les insectes capturés, les plantes rencontrées sur les sites, le calendrier des récoltes et les conditions météorologiques ont été encodés dans des tableaux sur Excel. Les analyses statistiques sur les familles cibles ont été réalisées à l'aide du logiciel Rstudio version R-4.4.0, pour lequel un tableau croisé fut créé sur Excel en amont. Ce tableau reprend une colonne consacrée aux zones d'échantillonnage, aux types de pièges et ensuite l'abondance de chaque espèce par zone et par piège (un exemple du tableau est repris en Annexe 3).

6.2. Les indices de biodiversité α et β

La biodiversité alpha (α) représente le nombre d'espèces différentes sur un lieu à un moment donné. Différents indices furent calculés pour caractériser la diversité α .

L'indice de Shannon (Shannon-Weaver) varie de 0, lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce, jusqu'à une diversité maximale lorsque les espèces sont en abondance égale (Marcon, 2015). Cet indice donne plus de poids aux espèces rares. Il se calcule comme suit :

$$H = - \sum_i p_i \log_b p_i$$

Avec p_i l'abondance proportionnelle d'espèce i , et b la base du logarithme (ici, en base 10).

L'indice de Simpson (ou Gini-Simpson) détermine « la probabilité que deux individus tirés au hasard soit d'espèces différentes » (Marcon, 2015). Il varie de 0 (lorsque la probabilité est maximale) à 1 (lorsque la probabilité est nulle). Cet indice donne plus de poids aux espèces abondantes. Il se calcule comme suit :

$$D = \sum p_i^2$$

Avec p_i l'abondance proportionnelle d'espèce i . La formule $1-D$ est plutôt utilisée pour une lecture plus intuitive : plus la valeur augmente et plus la diversité augmente.

L'indice d'Équitabilité de Pielou détermine la régularité dans la répartition des espèces (Marcon, 2015). L'indice varie de 0 jusqu'à 1, c'est-à-dire lorsque les espèces ont la même probabilité d'abondance. Il se calcule comme suit :

$$E = \frac{H}{\log(S)}$$

Avec H le calcul de l'indice de Shannon et S le nombre total d'espèces.

L'indice de Hill correspond au rapport entre les indices de Simpson et de Shannon : il fournit une valeur de diversité prenant autant en compte les espèces rares et les espèces abondantes. L'indice varie de 0 (maximum de diversité) à 1 (minimum de diversité). La formule $1-Hill$ est utilisée pour une lecture plus intuitive, à savoir plus la valeur augmente et plus la diversité augmente.

L'indice de Hill se calcule comme suit :

$$\text{Hill} = \frac{1}{\overline{D}^{\exp(H)}}$$

Avec $1/\overline{D}$ l'inverse de l'indice de Simpson et H l'indice de Shannon.

La biodiversité beta (β) mesure la différence de composition d'espèces entre habitats. Elle peut se calculer par **l'indice de Sorensen**. Cet indice varie de 0 (lorsqu'il n'y a aucune espèce commune) à 1 (lorsque toutes les espèces sont communes aux sites). Il se calcule de la façon suivante (Baselga, 2010) :

$$\beta_{\text{Sor}} = \frac{b + c}{2a + b + c}$$

Avec a , le nombre d'espèces communes aux deux sites, b et c indiquent le nombre d'espèces propres qui se trouvent, respectivement, dans le premier site et dans le second site.

La diversité β (β_{Sor}) a été calculée par l'addition de ses deux composantes : le *turnover* (β_{Sim}) (remplacement des espèces) et la *nestedness* (β_{Nes}) (les sites pauvres en espèces sont des sous-ensembles des sites riches en espèces) (Baselga, 2010).

$$\beta_{\text{Sim}} = \frac{\min(b,c)}{a + \min(b,c)} \quad \text{et} \quad \beta_{\text{Nes}} = \frac{\max(b,c) - \min(b,c)}{2a + \min(b,c) + \max(b,c)} \times \frac{a}{a + \min(b,c)}$$

Avec a , le nombre d'espèces communes aux deux sites, b et c , le nombre d'espèces propres qui se trouvent, respectivement, dans le premier site et dans le second site.

6.3. Le rang d'abondance

Le rang d'abondance correspond en une courbe qui classe les espèces les plus abondantes de façon décroissante. Le but est de mettre en avant les espèces dominantes.

6.4. Effort d'échantillonnage : courbes d'accumulation et de raréfaction, estimateur de Chao

Afin de déterminer si l'effort d'échantillonnage est suffisant, les analyses de la courbe d'accumulation, de la courbe de raréfaction par habitat et la comparaison de l'estimateur de Chao avec la richesse spécifique observée seront effectuées.

La **courbe d'accumulation** représente le nombre d'espèces échantillonnées au cours du temps en fonction de l'unité d'échantillonnage. Il est attendu que le nombre d'espèces augmente au cours du temps pour atteindre la forme d'une asymptote qui correspond au nombre total d'espèces (Marcon, 2015). La **courbe de raréfaction** représente le nombre d'espèces en fonction du nombre d'individus et a pour avantage, par rapport à la courbe d'accumulation, de se détacher de la surface d'échantillonnage. La courbe de raréfaction « est obtenue en sous-échantillonnant dans l'inventaire complet des effectifs de toutes tailles et en calculant le nombre moyen d'espèces trouvé pour chacun » afin de lisser la courbe d'accumulation (Marcon, 2015).

L'**estimateur de Chao** est une mesure d'estimation de la richesse spécifique totale, il se calcule comme suit :

$$S_P = S_0 + \frac{a_1^2}{2a_2} \times \frac{N - 1}{N}$$

Avec S_P , la richesse estimée, S_0 , la richesse observée, a_1 et a_2 , le nombre d'espèces présentes uniquement dans un ou seulement dans deux sites de la collection et, N , le nombre de site.

6.5. Analyse multivariée : analyse en coordonnées principales (PCoA) et clustering hiérarchique

L'analyse en coordonnées principales (PCoA) est un graphique qui représente la distance entre les données selon les dimensions les plus explicatives de la variabilité. L'analyse en coordonnées principales se base sur une matrice de dissimilarité, ici de type Bray-Curtis. Le but de cette analyse multivariée est d'observer les similarités et dissimilarités entre les habitats selon leur positionnement dans les deux dimensions les plus représentatives de la réalité.

Le clustering hiérarchique, présenté sous forme de dendrogramme, est une autre façon de grouper les données selon leur similitude. Il est d'abord nécessaire de créer une matrice de distance, ici de type euclidienne. Ensuite, différentes méthodes basées sur des algorithmes peuvent être testées pour calculer la distance entre les groupes et choisir la méthode qui distingue le mieux les groupes.

IV. Résultats

1. Description de la base de données

1.1. Conditions climatiques

La météo fut changeante durant les échantillonnages, avec des périodes de pluie récurrentes et une température variable (Tableau 2).

Tableau 2. Moyennes des températures (°C) et de la pluviométrie (mm) au cours de la période d'échantillonnage (en 4 sessions par type de piège). Contraste de couleur : rouge foncé lorsque la température s'élève ; bleu foncé lorsque la pluviométrie s'élève.

	Session 1		Session 2		Session 3		Session 4	
	Temp moy (°C)	Pluv moy (mm)	Temp moy (°C)	Pluv moy (mm)	Temp moy (°C)	Pluv moy (mm)	Temp moy (°C)	Pluv moy (mm)
Pantrap	17,23	0,36	14,26	0,11	11,41	0,09	22,38	0
Filet	16,41	0,27	14,18	0	18,06	0,01	18,4	0,07

1.2. Plantes observées sur le site

L'Annexe 2 reprend l'ensemble des plantes observées sur le site du Wachnet lors d'une journée de prospection. Les zones du jardin, du verger et de la prairie offrent plus de ressources floristiques que les zones au sein du bois du Wachnet. Le jardin bénéficie de la diversité floristique des bandes de fleurs, dont des plantes qui ne sont pas observées dans les autres zones du Wachnet : trèfle incarnat, coréopsis lancéolé, mauve royale etc. Des plantes aromatiques ont été installées dans le verger (ciboulette, origan, thym) et la dominance de graminées, telles que la houlque laineuse et le vulpin des prés, sont des caractères propres à cette zone. La prairie est aussi unique par l'offre en fleurs de prairies humides : cirse des marais, reine des prés, salicaire. Le reste des zones est moins fleuri et la dominance d'*Urtica sp.* est remarquable sur le site du Wachnet. De façon générale, le développement de la végétation et les compositions florales se sont amplifiés au cours des échantillonnages d'insectes.

1.3. Description des ordres, familles et espèces échantillonnées

Au total, 1742 individus ont été recensés, répartis en 46 familles (Tableau 3), formant ainsi 11 boîtes de collection (Figure 10). Concernant les trois familles cibles, 64 cantharides, 75 coccinelles et 330 syrphes ont été capturés, dont 11 espèces de cantharides, 6 espèces de coccinelles et 31 espèces de syrphes.

L'ordre majoritairement échantillonné est celui des Diptères (59,47%), suivi des Coléoptères (31,69%) et des Hyménoptères (7,63%) (Tableau 3). Ces ordres sont les plus diversifiés en nombre de familles : 15 familles échantillonnées pour les Diptères, 12 familles pour les Coléoptères et 11 familles pour les Hyménoptères (Tableau 3). Parmi les Diptères capturés (1036 individus), les trois familles majoritaires sont les Syrphidae (31,85%), les Muscidae (28,96%) et les Empididae (25,29%) (Figure 11). Parmi les Coléoptères capturés (552 individus), la famille des Oedemeridae est largement dominante puisqu'elle représente plus de deux tiers de l'échantillonnage des Coléoptères (62,68%) alors que les Coccinellidae et les Cantharidae constituent environ 14% et 12% respectivement (Figure 12). Enfin, sur l'ensemble des Hyménoptères échantillonnés (133 individus), la famille des Apidae se démarque des autres familles à plus d'un tiers des effectifs (35,34%) (Figure 13).

Tableau 3. Abondance des ordres, nombres d'individus et de familles d'insectes échantillonnés par ordre sur le site du Wachnet.

Ordre	Abondance (%)	Nombre d'individus	Nombre de familles
Diptère	59,47	1036	15
Coléoptère	31,69	552	12
Hyménoptère	7,63	133	11
Hémiptère	0,63	11	5
Lépidoptère	0,46	8	1
Mécoptère	0,06	1	1
Neuroptère	0,06	1	1
<i>Total</i>	<i>100</i>	<i>1742</i>	<i>46</i>

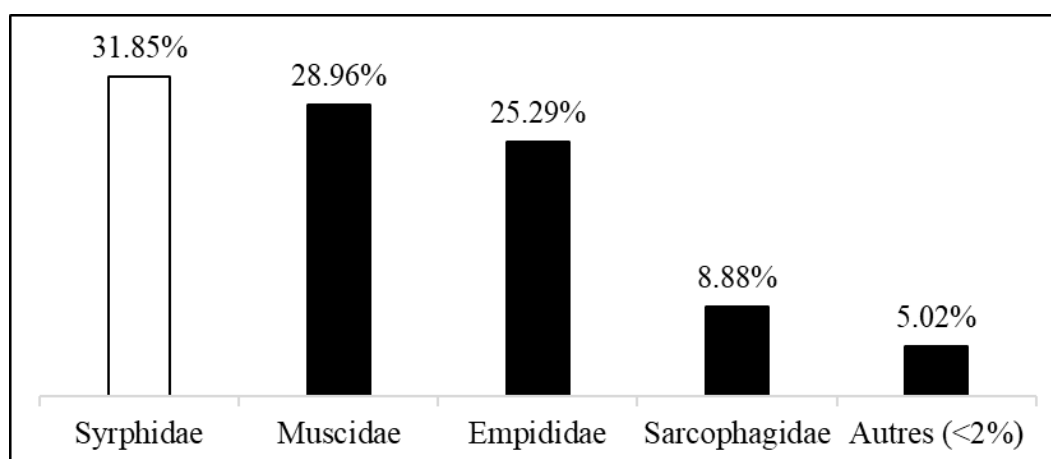


Figure 11. Abondance (en %) des familles parmi les Diptères capturés. En blanc est mise en évidence la famille cible.

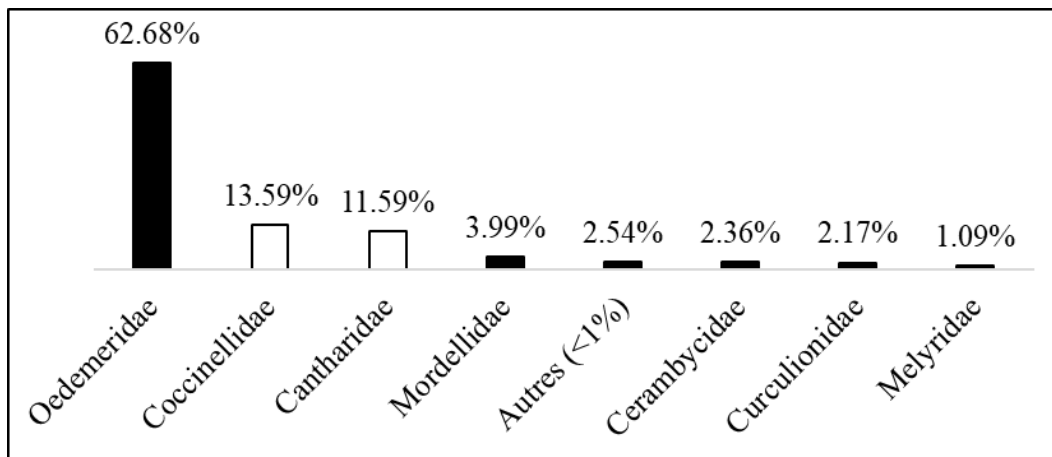


Figure 12. Abondance (en %) des familles parmi les Coléoptères capturés. En blanc sont mises en évidence les familles cibles.

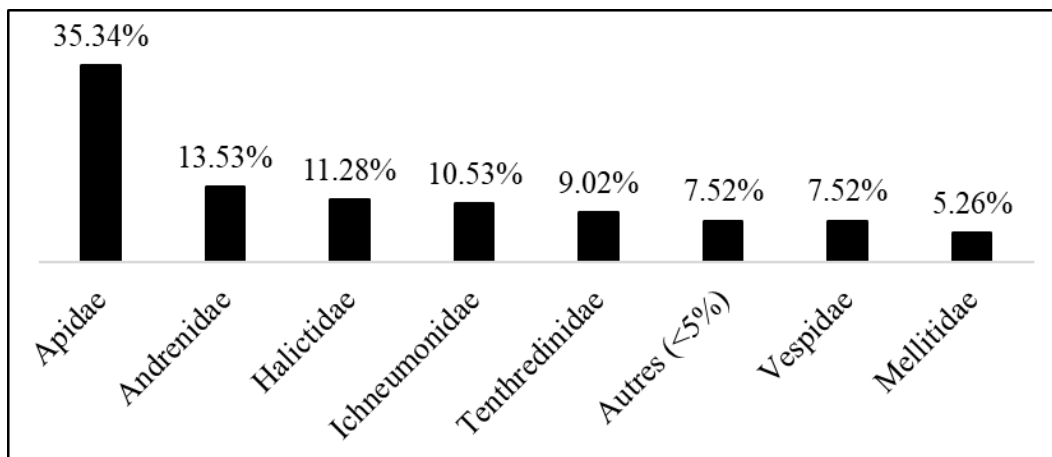


Figure 13. Abondance (en %) des familles parmi les Hyménoptères capturés.

1.4. Evolution de l'abondance dans le temps et l'espace

De façon générale, il est remarqué une baisse dans l'abondance d'insectes et la richesse de famille capturés au fur et à mesure du temps pour les pièges pantrap, avec une chute marquée entre le 10 et le 13 juin 2024 (Figure 14). *A contrario*, une augmentation dans l'abondance d'insectes capturés au filet au cours du temps est observée, avec un maximum de 141 individus capturés (Figure 15).

Les zones d'échantillonnage au sein desquelles le plus d'insectes ont été recensés sont la prairie, le verger, puis le jardin, alors que la roselière est l'endroit possédant la plus faible abondance d'insectes (Figure 16). Les zones d'échantillonnage où la plus grande diversité de familles d'insectes a été recensée sont le verger, suivi du jardin et de la prairie. La zone du bois compte

le moins de familles d'insectes. Néanmoins, les zones de la mare, de la clairière et de la roselière où moins d'insectes ont été capturés comptent une diversité de familles élevées (Figure 16).

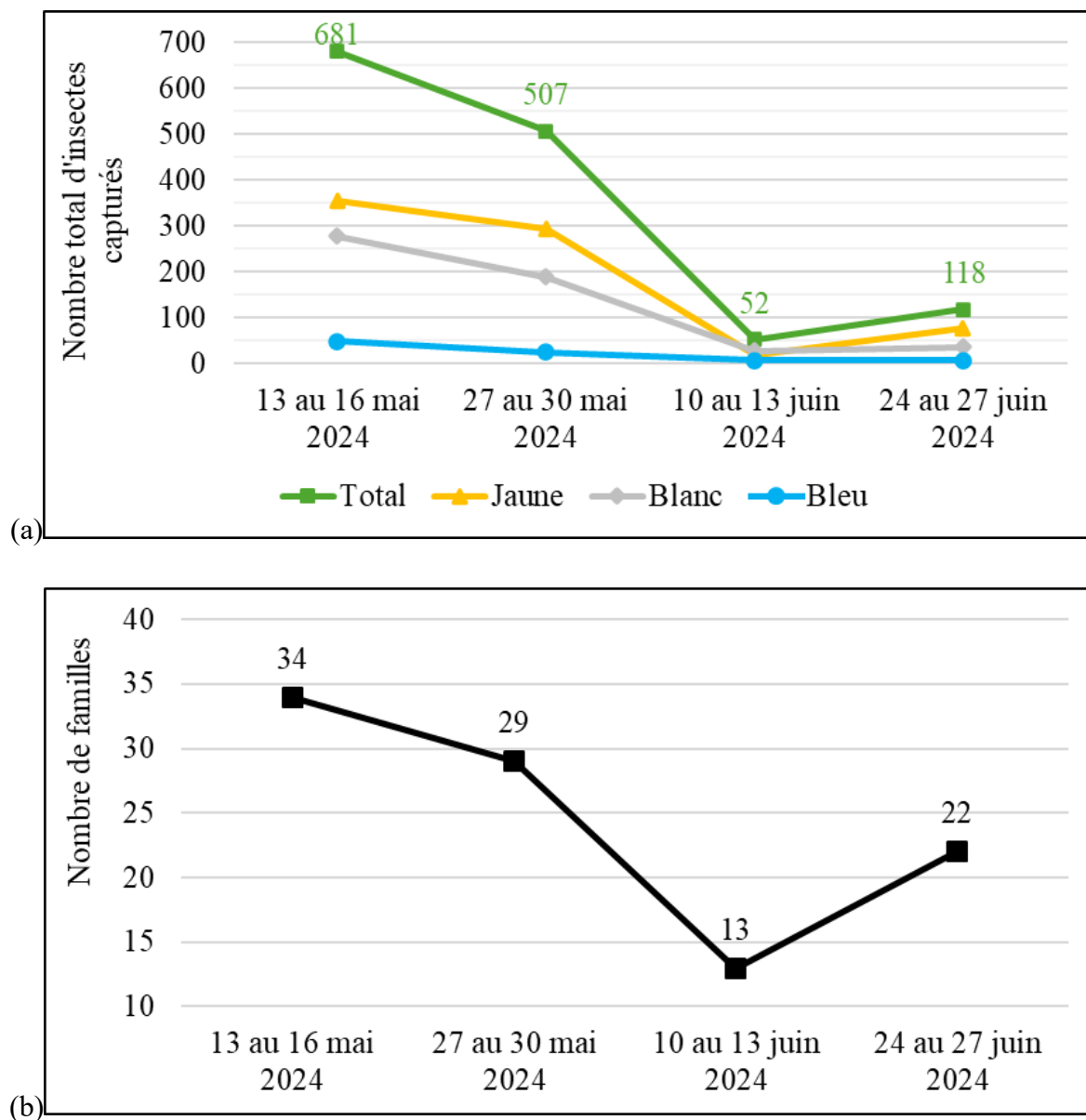


Figure 14. Evolution de l'abondance (a) et de la richesse taxonomique (b) des insectes capturés par piège pantrap jaune, blanc et bleu au cours du temps.

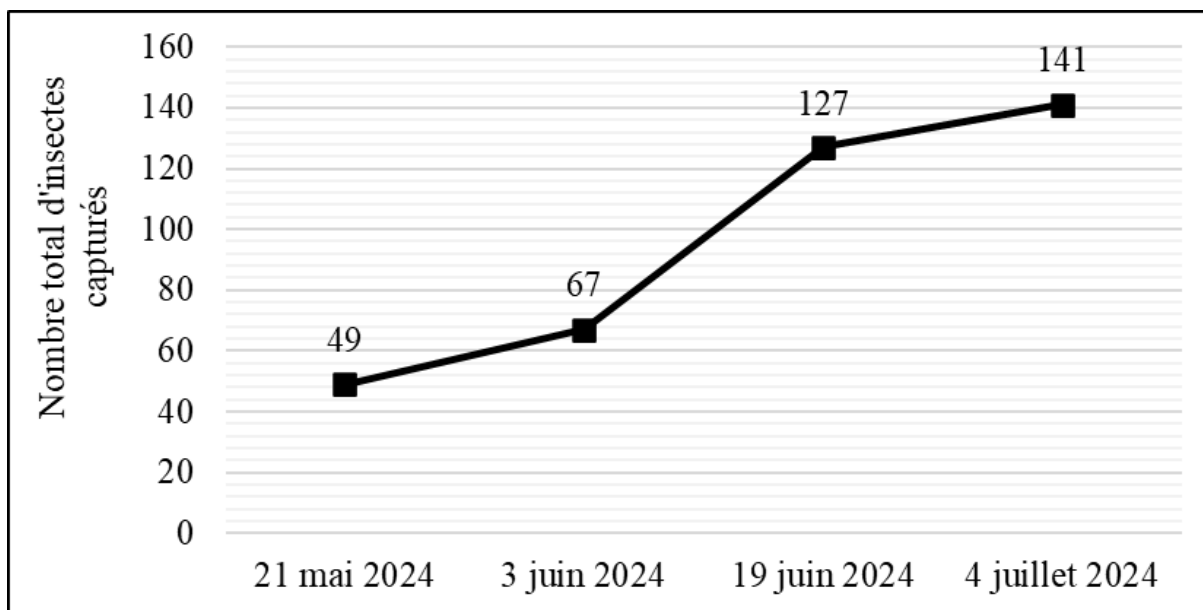


Figure 15. Evolution de l'abondance d'insectes capturés au filet fauchoir au cours du temps.

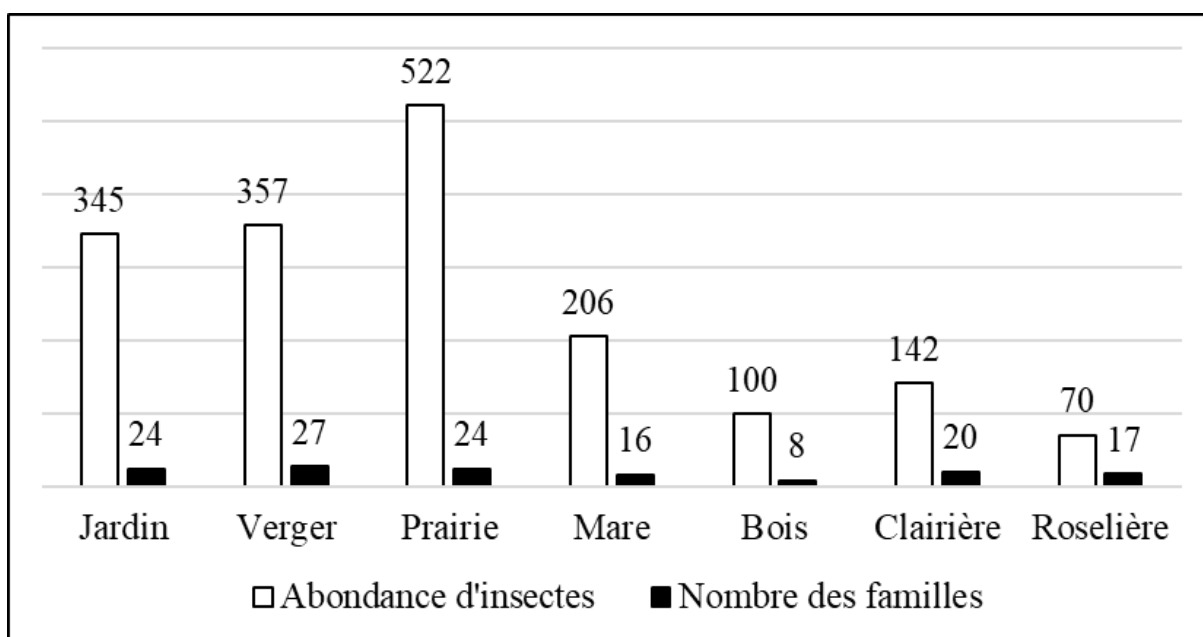


Figure 16. Abondance et diversité des familles d'insectes capturées en fonction de la zone d'échantillonnage.

2. Analyse des familles cibles

Dans cette section, des graphiques regroupant les trois familles cibles confondues sont présentés dans le but de travailler sur un jeu de données plus important, mais le détail pour chaque famille est aussi commenté lorsque c'est nécessaire. Les graphiques propres à chaque famille sont à retrouver en annexe.

2.1. Richesse spécifique et abondance des familles cibles par habitat

La richesse spécifique des familles cibles est la plus élevée dans le jardin, puis dans la prairie et le verger (Figure 17). En Annexe 4 est détaillée la richesse spécifique des Cantharidae, Coccinellidae et Syrphidae par habitat. Le plus d'espèces de Cantharidae est dénombré dans la roselière, le plus d'espèces de Coccinellidae dans le verger et la prairie et le plus d'espèces de Syrphidae dans le jardin.

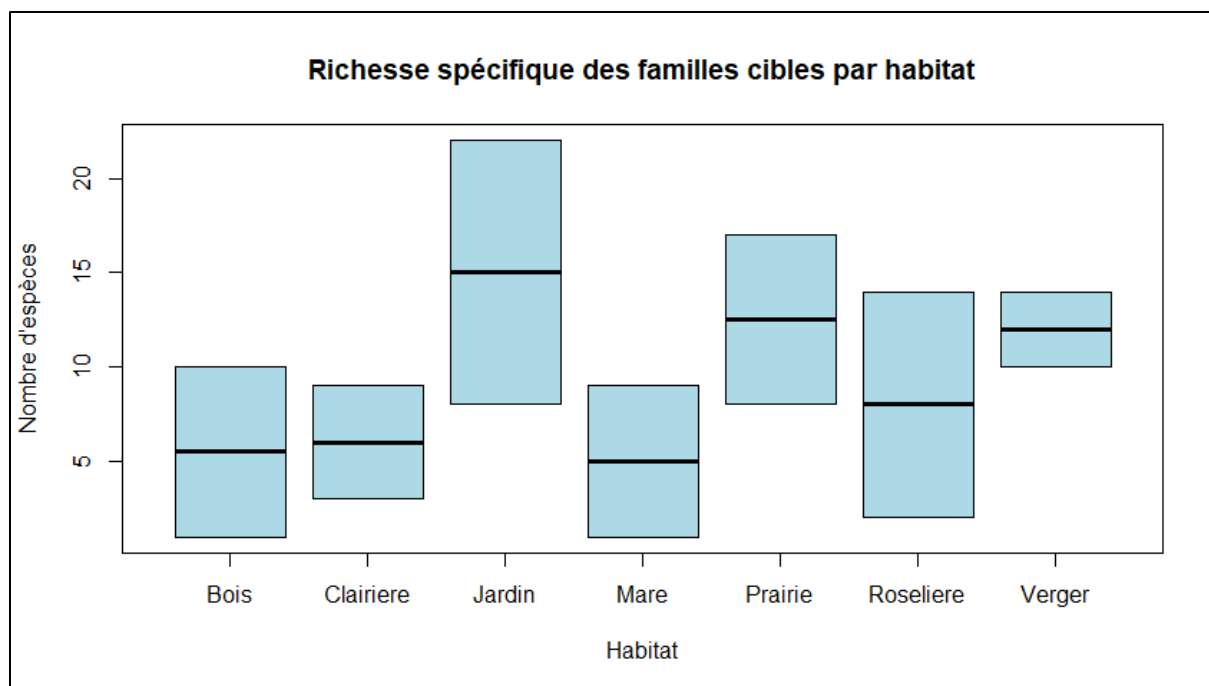


Figure 17. Richesse spécifique des 3 familles cibles confondues capturées en fonction de la zone d'échantillonnage.

L'abondance des espèces pour les trois familles cibles est la plus élevée dans le jardin, puis le verger et la prairie (Figure 18). En Annexe 5 est repris le détail de l'abondance des espèces de Cantharidae, Coccinellidae et Syrphidae par habitat. Les abondances en espèces de Cantharidae et Coccinellidae sont les plus élevées dans le verger, dominées par les espèces *Rhagonycha fulva* (Scopoli, 1763) et *Coccinella septempunctata* Linnaeus, 1758 (Annexe 6); tandis que celle des Syrphidae est dans le jardin, dominée par *Melanostoma sp.* (Annexe 6). On compte des syrphes et des coccinelles dans chaque zone, alors que les cantharides étaient absentes du jardin.

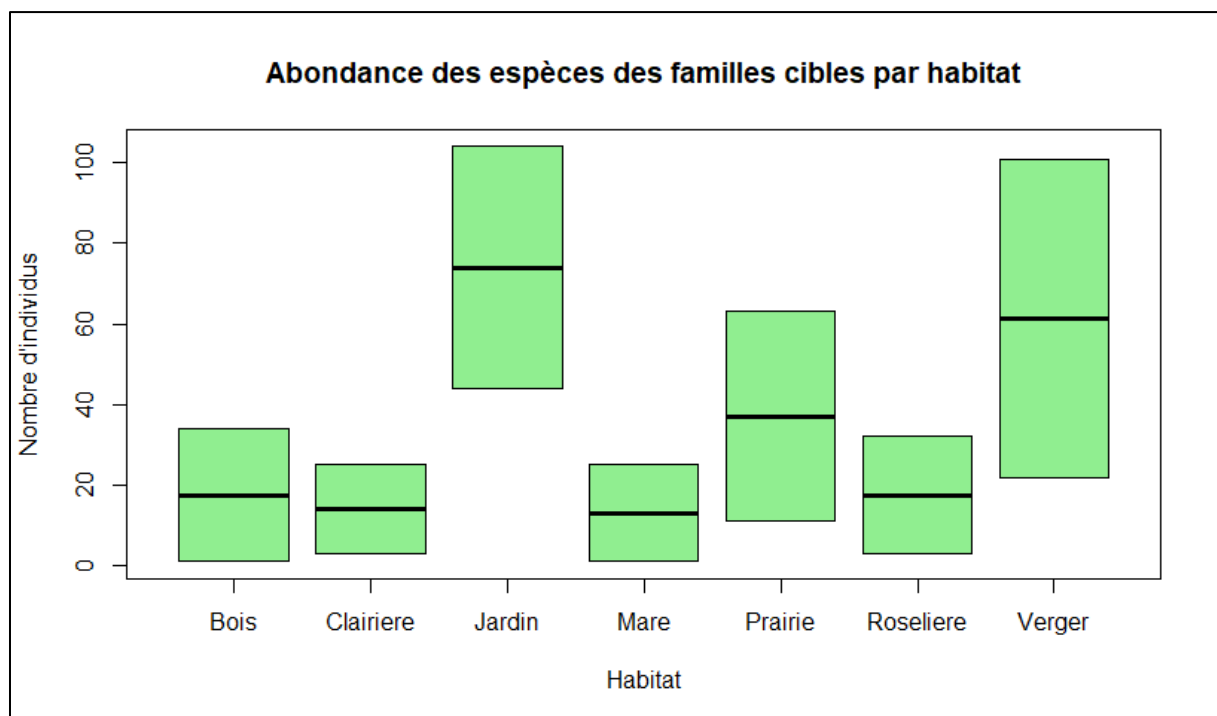


Figure 18. Abondance des espèces des 3 familles cibles confondues capturées en fonction de la zone d'échantillonnage.

2.2. Rang d'abondance

Sur le site du Wachnet, quelques espèces sont dominantes. Au global des trois familles confondues, le site est largement dominé par la présence de *Melanostoma sp.*, suivi de *C. septempunctata*, *Helophilus pendulus* Linnaeus 1758 puis *R. fulva* (Figure 19). Le reste des espèces est en abondance plus faible. En Annexe 7 se trouvent les rangs d'abondance pour chaque famille sur le site du Wachnet ; il est à noter que la seconde espèce de coccinelles la plus abondante est l'espèce envahissante *H. axyridis*.

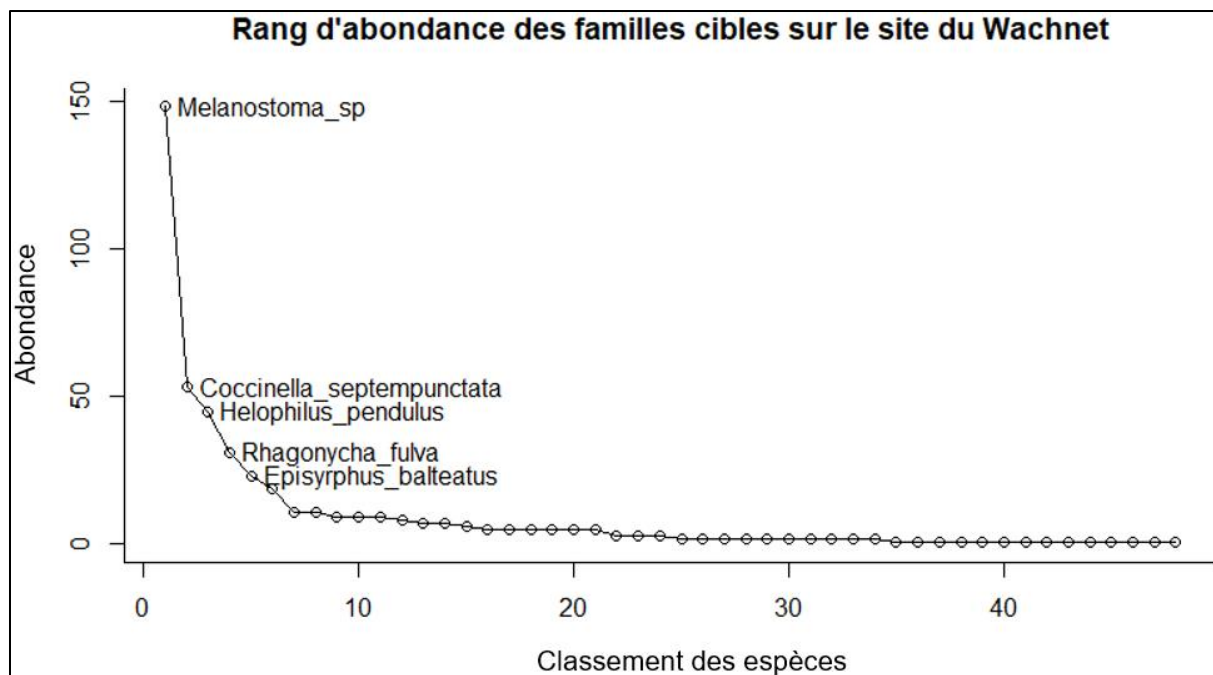


Figure 19. Rang d'abondance des trois familles cibles confondues sur le site du Wachnet.

2.3. Effort d'échantillonnage

Les courbes d'accumulation des espèces de Coccinellidae et Syrphidae (Figure 20) tendent chacune vers un plateau, représentant le nombre total d'espèces sur le site du Wachnet. La courbe d'accumulation du nombre d'espèces de Cantharidae ne forme pas d'asymptote ; l'échantillonnage de ce groupe cible n'est pas exhaustif.

Les courbes de raréfaction pour les habitats « jardin » et « bois » s'aplatissent ; l'effort d'échantillonnage peut être considéré exhaustif pour ces zones (Figure 21). Cependant, pour le reste des habitats, les courbes sont linéaires et les échantillons ne sont pas assez représentatifs de la diversité réelle.

Enfin, l'analyse de l'indice de Chao confirme les précédentes constatations sur l'effort d'échantillonnage (Tableau 4). L'échantillonnage des espèces de Coccinellidae et de Syrphidae était suffisant puisqu'il y a presque autant d'espèces dénombrées que d'espèces estimées par la méthode de Chao. Cependant, l'effort d'échantillonnage pour la famille des Cantharidae n'a pas été suffisant car l'estimateur de biodiversité Chao indique que plus de 23 espèces abriterait le site du Wachnet, alors que seulement 11 y ont été observées. Pour ce qui est des différents habitats, le jardin et le bois ont été suffisamment échantillonnés pour que les données soit représentatives de la diversité réelle. De plus, la courbe de raréfaction n'est pas assez claire pour relever que l'habitat « prairie » semble assez échantillonné, au vu de la faible différence

entre la richesse spécifique observée et celle estimée par Chao. Enfin, l'écart entre la richesse spécifique observée et celle estimée par chao est élevé pour le reste des habitats.

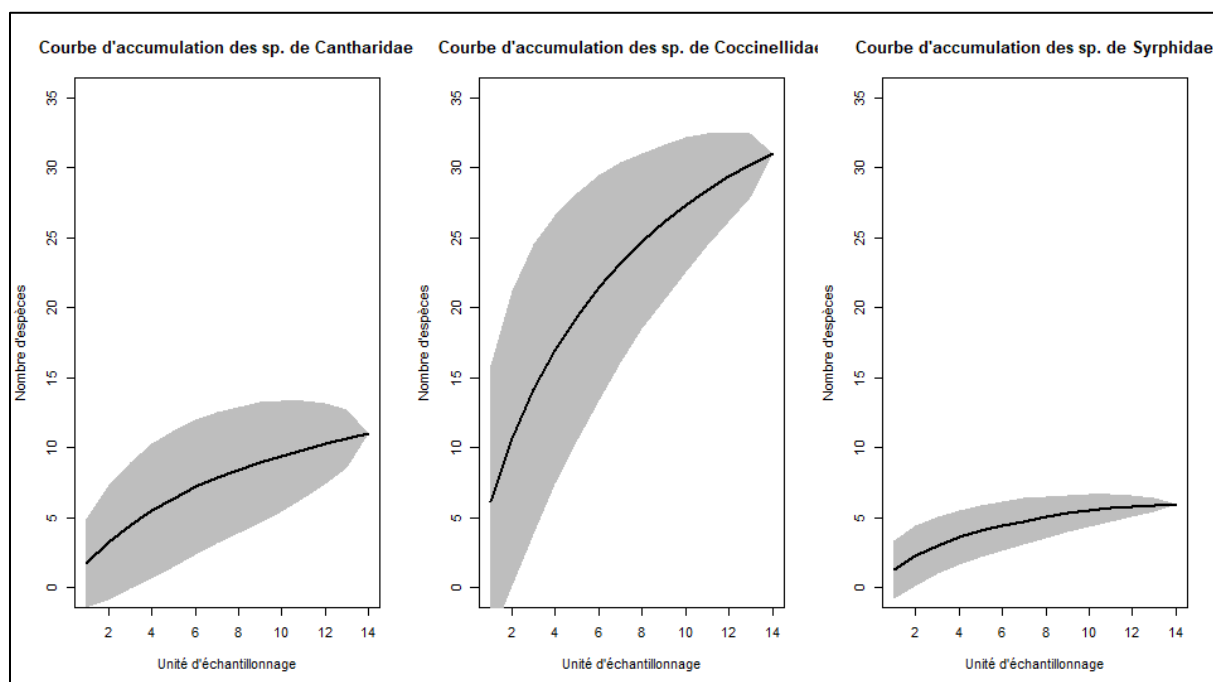


Figure 20. Courbe d'accumulation du nombre d'espèces des 3 familles cibles confondues sur le site du Wachnet.

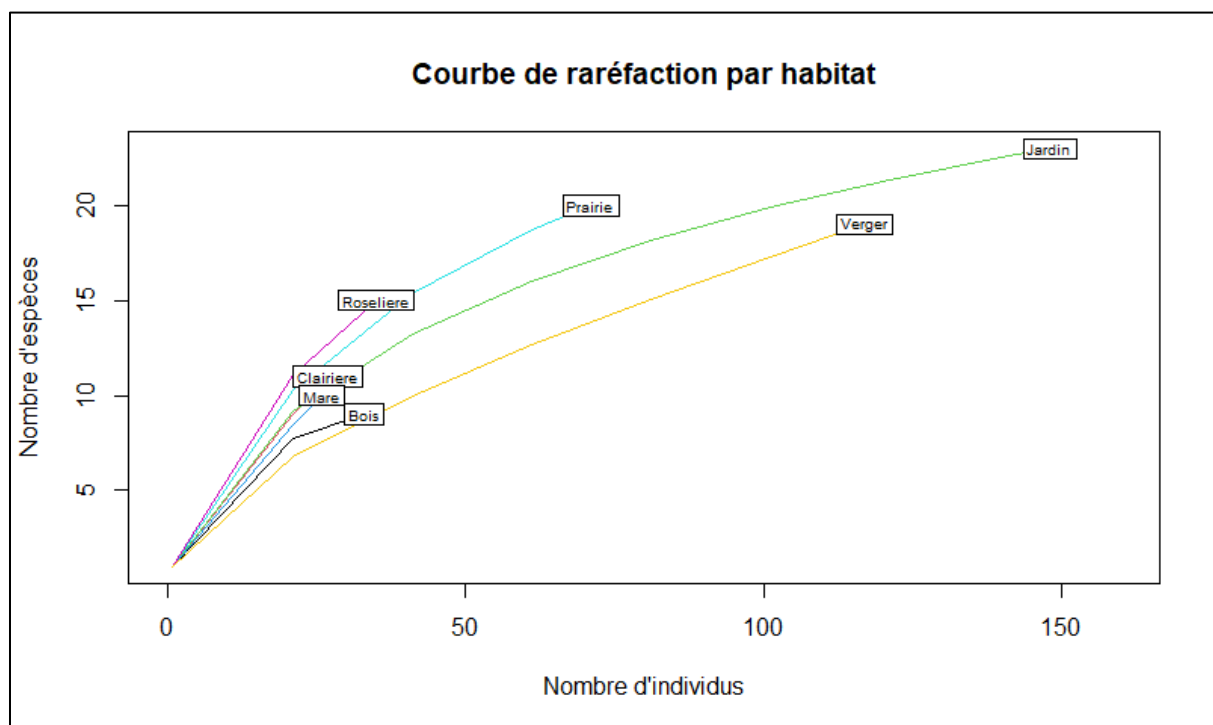


Figure 21. Courbes de raréfaction des espèces des trois familles confondues par habitat.

Tableau 4. Richesse spécifique observée et estimée (par la méthode de Chao1).

	Richesse spécifique observée	Richesse spécifique estimée par Chao1	Pourcentage d'espèce manquante entre les espèces observées et estimées
Pour le Wachnet	48	56,27	8,27%
Cantharidae	11	23,50	12,50%
Coccinellidae	6	6,50	0,50%
Syrphidae	31	35,00	4,00%
Jardin	23	27,60	4,60%
Verger	19	41,00	22,00%
Prairie	20	23,50	3,50%
Mare	10	38,00	28,00%
Bois	9	10,50	1,50%
Clairière	11	47,00	36,00%
Roselière	15	33,00	18,00%

2.4. Diversité alpha (α) des familles cibles

Les habitats « mare » et « bois » n'ont pas pu être analysés par les indices de diversité ci-dessous, par manque de répétition. En effet, ces zones ne présentaient aucun échantillonnage des 3 familles cibles pour les pièges pantrap.

Les valeurs de l'indice de Shannon sont éloignées de 0 (au-delà de 2 pour la prairie, par exemple) (Figure 22 (a)). La diversité des espèces dans la communauté est élevée pour chaque habitat. L'analyse des indices de Piélou par habitat (Figure 22 (b)) confirme ces constatations puisque les valeurs maximales sont proches de 1 (au-delà de 0,85 pour la roselière, par exemple), signifiant qu'il y a beaucoup d'espèces et qu'elles ont une abondance égale pour chaque site. Enfin, les valeurs pour l'indice de Simpson (Figure 22 (c)) sont également proches de 1 (0,8 pour le verger, par exemple), ce qui signifie que la biodiversité est élevée et que deux individus tirés au hasard appartiendront à des espèces différentes sur le lieu.

Cependant, les p-valeurs de chaque test ANOVA, pour chaque indice décrit ci-dessus, furent supérieures à la valeur seuil de 0,05 (0,74 pour l'indice de Shannon, 0,47 pour l'indice de Piélou, 0,67 pour l'indice de Simpson). Il n'y a pas de différence significative entre deux habitats ; autrement dit, les habitats n'influencent pas la diversité.

Enfin, le nombre de 1-Hill est le plus proche de 1 pour le jardin (0,9), puis la prairie (0,895) et enfin le verger (0,889), signifiant une diversité importante. C'est dans le bois que la diversité est la plus faible (0,769) (Tableau 5).

Tableau 5. Nombre de Hill (1-Hill) par habitat.

	Jardin	Verger	Prairie	Mare	Bois	Clairière	Roselière
1-Hill	0,900	0,889	0,895	0,794	0,769	0,825	0,841

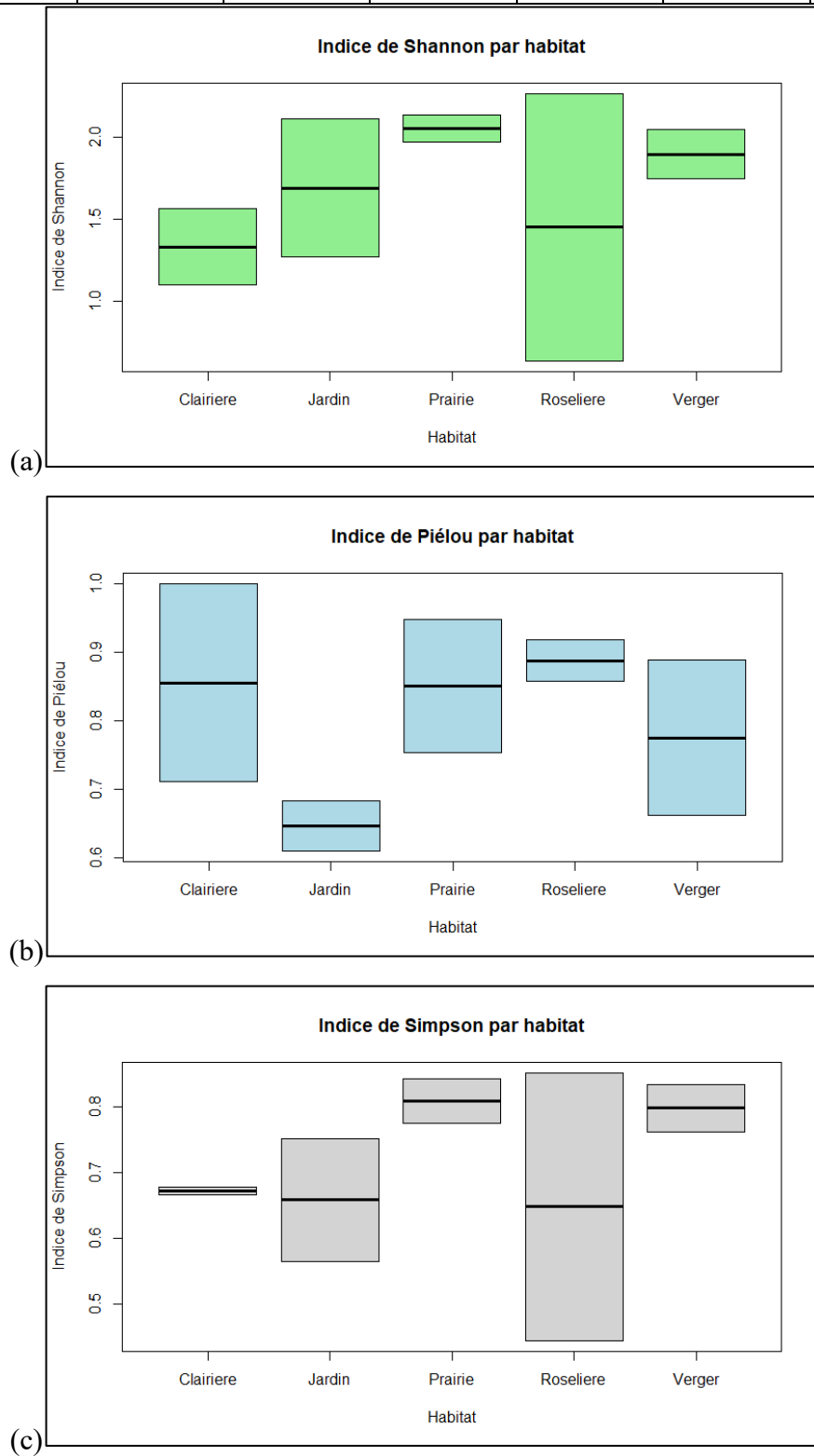


Figure 22. Indices de diversité Shannon (a), Pielou (b) et Simpson (c) par habitat.

2.5. Diversité bêta (β) des familles cibles

La courbe de Sorensen est d'une allure unimodale. Le pic de la courbe de Sorensen (Figure 23), est proche de 1 (la moyenne est égale à 0,7576), signifiant que des espèces sont communes entre les habitats. Cette courbe est cependant écrasée et, la densité de ces espèces communes est ainsi faible.

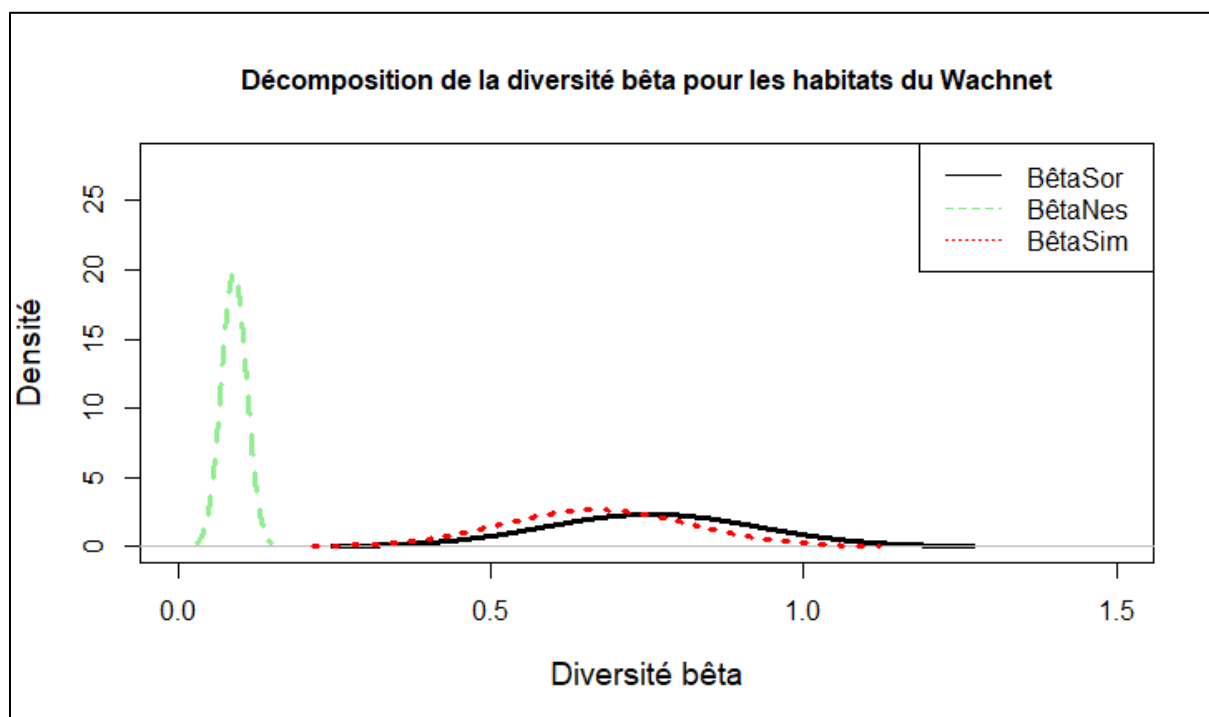


Figure 23. Diversité bêta pour l'ensemble des habitats sur le site du Wachnet.

2.6. Analyse en coordonnées principales

Cette analyse fournit l'information de similarités et dissimilarités entre les données, en fonction de leur positionnement au sein des dimensions les plus explicatives de la variabilité. Les 2 premières dimensions expliquent 37% de la variance (dimension 1 : 22,02% ; dimension 2 : 14,98%) (Annexe 8). La variabilité est la plus expliquée par les caractéristiques « milieu ouvert » et « milieu peu fleuri », car les ellipses sont les plus larges (Figure 24). Les milieux fleuris sont un sous-ensemble des milieux ouverts, et les communautés retrouvées en milieux fleuris sont donc des communautés de milieux ouverts. De la même façon, tout individu recensé en milieu fermé se retrouve en milieu peu fleuri. Un seul point se situe exclusivement en milieu ouvert, mais sa proximité avec la limite des milieux fleuris indique une faible différence avec ceux-ci. Enfin, il est remarqué un chevauchement entre les milieux ouverts et fermés,

démontrant donc des communautés tolérantes à cette contrainte du milieu, pour autant que celui-ci soit peu fleuri.

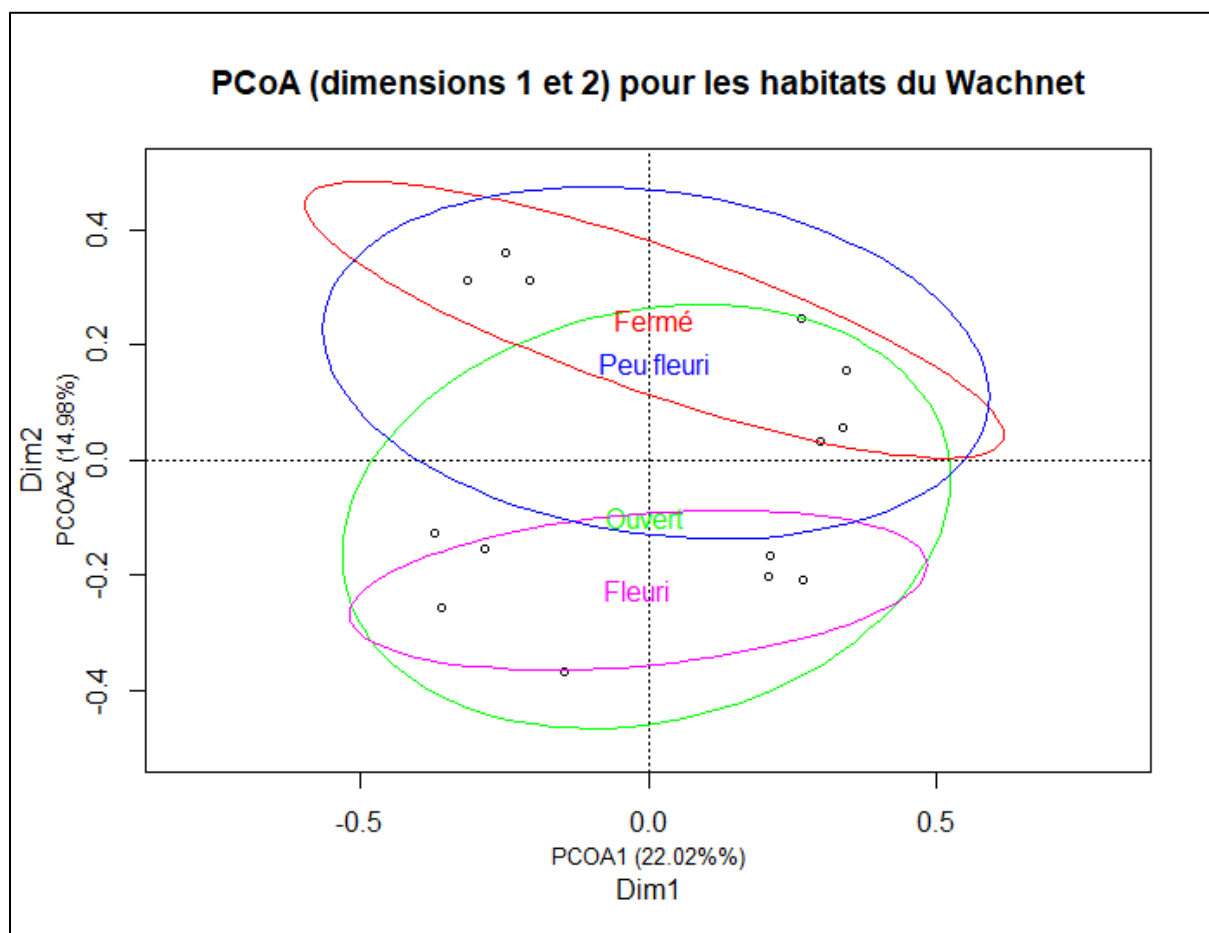


Figure 24. PCoA sur les deux premières dimensions pour les habitats.

2.7. Analyse de clustering hiérarchique des habitats

Différentes méthodes d'agrégation de clustering agglomératif des habitats en fonction de l'abondance des familles cibles ont été testées (Figure 26 et Annexe 9). Les 4 méthodes (liens simples, liens complets, liens moyens et technique de Ward) retiennent la même information : 3 groupes se distinguent (mis en évidence par une distance d'agrégation égale à 65, en rouge). L'analyse des moyennes de chaque famille dans chacun des clusters (Figure 25) révèle que le premier groupe composé du jardin est caractérisé par une absence de Cantharidae et une forte abondance de Syrphidae. Le second groupe composé du verger retient une abondance moyenne des trois familles. Le troisième groupe composé de la prairie, de la mare, de la roselière, du bois et de la clairière comprend une présence faible des trois familles.

```

> summary(as.factor(clust)) #effectif de chaque cluster
1 2 3
1 1 5
> by(Datafam, as.factor(clust), colMeans) #moyenne des variables dans chaque cluster
as.factor(clust): 1
  Cantharidae Coccinellidae   Syrphidae
             0             7         141
-----
as.factor(clust): 2
  Cantharidae Coccinellidae   Syrphidae
             31            48          44
-----
as.factor(clust): 3
  Cantharidae Coccinellidae   Syrphidae
             6.6           4.0         29.0

```

Figure 25. Effectifs par cluster et moyennes des variables par cluster.

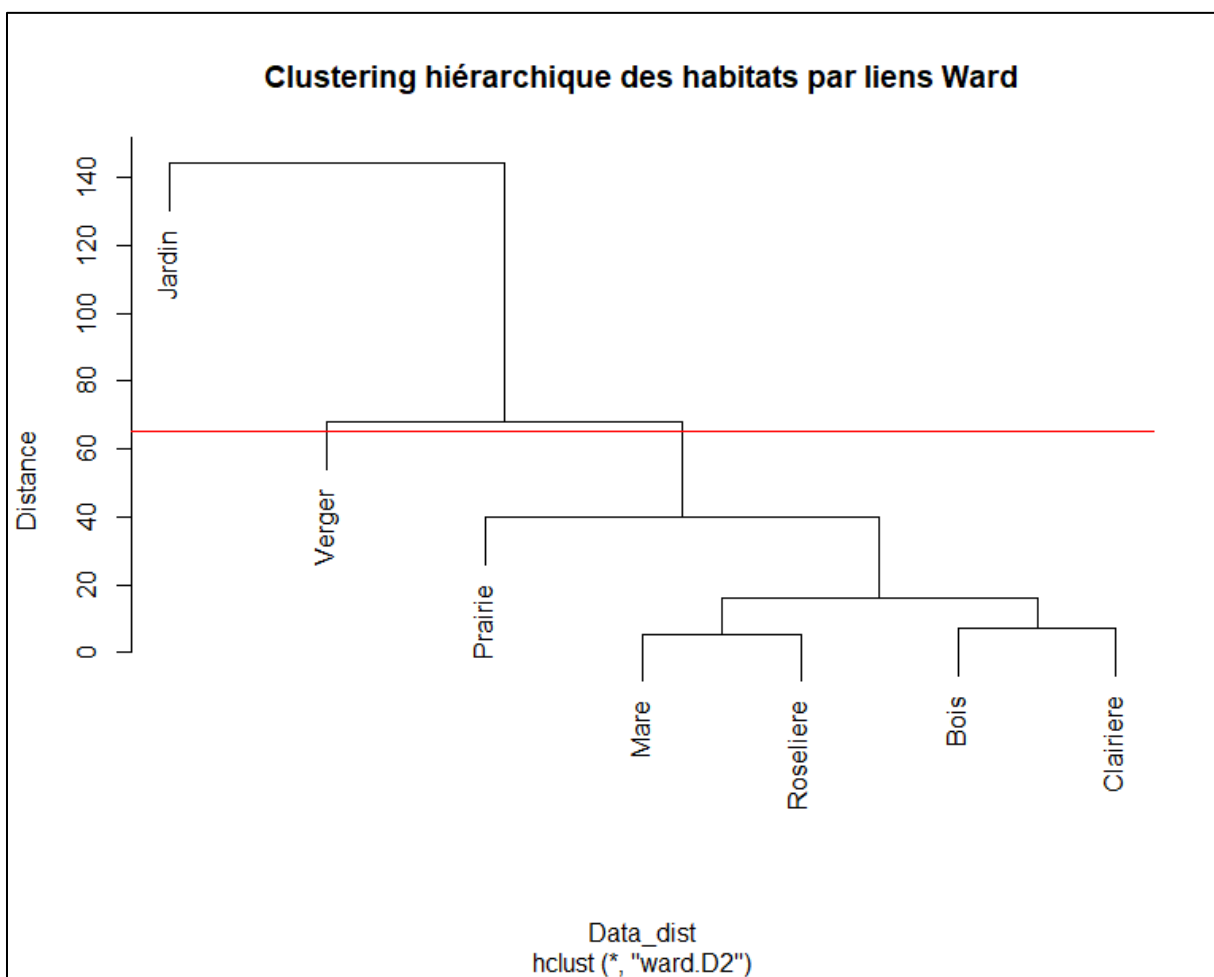


Figure 26. Clustering agglomératif des habitats en fonction de l'abondance des familles cibles par la technique de Ward.

V. Discussion

1. Biais de l'étude

Afin de conserver un esprit critique face aux conclusions qui suivront, quelques difficultés d'ordre humain, temporel et matériel rencontrées lors du travail sont à relever.

D'abord, l'expérience d'échantillonnage au filet s'est précisée au cours des captures, ce qui expliquerait en partie l'augmentation de l'abondance des insectes piégés au cours du temps. Ensuite, il aurait pu être envisagé d'user de pièges divers afin de recenser un plus large panel d'insectes. D'ailleurs, d'autres études effectuées sur le site du Wachnet, avec lesquelles des comparatifs seront fait par la suite, ont été menées avec différents pièges (pantrap, filet, tente Malaise, piège à succion...). Dans le même ordre d'idée, les périodes de collecte pour chaque type de piège auraient pu se réaliser de façon hebdomadaire plutôt que toutes les deux semaines.

De plus, la période d'échantillonnage s'étalait sur 8 semaines, les mauvaises conditions météorologiques ont retardé les relevés de deux semaines. Il serait intéressant de collecter les insectes sur une période plus longue (par exemple, du début du printemps jusqu'à la fin de l'été) afin d'observer l'évolution de l'abondance des familles entomologiques. Les études avec lesquelles des comparatifs seront faits ont chacune été menées à des périodes différentes entre mai et octobre.

Concernant les pièges pantrap, ceux de couleurs bleues ont récolté peu d'insectes, moins de 5% de l'échantillonnage total. Cette couleur est moins prisée par les insectes, comparé aux couleurs jaune et blanche qui ont plus de contraste (Vrdoljak & Samways, 2012), les pièges de couleur bleu ne sont probablement pas adaptés au site d'échantillonnage qui est majoritairement boisé. Enfin, manquant de surfactant de concentration x50, il fut nécessaire d'utiliser du surfactant concentré x100 dès la troisième session de piégeage au pantrap. Le second produit étant moins concentré que le premier, ceci pourrait expliquer en partie la chute du nombre d'insectes collectés entre le 10 et le 13 juin 2024.

2. Ha1 : l'abondance et la richesse taxonomique augmentent au cours du temps

Au cours des 8 semaines d'échantillonnage, l'abondance et la richesse taxonomique ont fluctué. Les pièges pantrap ont globalement capturé de moins en moins d'insectes, avec une chute remarquable à la troisième session de piégeage (entre le 10 et le 13 juin). La richesse de familles capturées au piège pantrap suit la même tendance que l'abondance. Cette chute pourrait être due à l'utilisation d'un surfactant moins concentré et à une température moyenne la plus froide comparée aux autres moments de piégeage au pantrap. En effet, les conditions météorologiques variables ont probablement impacté l'efficacité de l'échantillonnage. Une autre hypothèse qui pourrait expliquer la diminution de l'abondance et de la richesse taxonomique en insectes capturés au cours du temps est « l'hypothèse de dilution modérée par le paysage » (Tscharntke et al., 2012). Selon cette hypothèse, la modification temporelle ou spatiale du paysage peut être la cause d'une dilution de la population. Dans ce cas-ci, les ressources floristiques sont devenues plus importantes au cours du temps, rendant possiblement moins attirants les pièges pantrap. L'abondance et la richesse taxonomique n'ont donc pas augmenté au cours de la saison. Par exemple, un pic de richesse de Syrphidae fut atteint à la mi-juin sur le site d'étude en 2023 (Meyers, 2023), montrant une inconstance de la diversité.

La température et la pluviométrie ont été identifiées comme étant les causes principales de la variation d'abondance et de richesse, dans des études précédentes (Colinet, 2021; Gama & Francis, 2008; Lambert, 2022; Meyers, 2023). La couleur des pièges pantrap influence l'abondance et la diversité entomologique : les insectes sont préférentiellement attirés par les couleurs jaune et blanche qui ont un meilleur contraste que la couleur bleue (Vrdoljak & Samways, 2012), ce qui est aussi remarquable dans la présente étude. Le type de piège est aussi un facteur faisant varier l'abondance et la richesse taxonomique au cours du temps. Notamment, les pièges Malaise capturent une abondance élevée d'insectes (Meyers, 2023). Certains taxons seront moins attirés par les pièges pantrap, tels que les Lépidotères (Vrdoljak & Samways, 2012), ce qui pourrait expliquer que seulement 8 individus aient été capturés sur le site du Wachnet. Ainsi, il faut souligner l'importance de combiner différentes méthodes de piégeage à l'avenir (Gama & Francis, 2008). L'abondance et la richesse entomologique ne varient pas selon les compositions florales (Meyers, 2023), mais les espèces floristiques conditionnent plutôt la présence de certaines espèces (Gama & Francis, 2008; Meyers, 2023).

3. Ha2 : les familles d'insectes sont plus ou moins diversifiées en fonction du milieu

La prairie, le verger et le jardin sont les zones les plus abondantes et riches sur le site du Wachnet. Ensemble, elles comptabilisent 70% de l'abondance totale échantillonnée et chacune contient plus de la moitié de la diversité totale en familles échantillonnées sur le site. Ce sont des endroits ouverts et fleuris. La clairière et la roselière, qui sont des zones ouvertes et moins fleuries, ont tout de même attiré une richesse de familles presque équivalente à la prairie, le verger et le jardin. Le bois, quant à lui, est une zone moins diversifiée. Les communautés entomologiques sont plus diversifiées dans les zones ouvertes et plutôt fleuries, que les zones fermées dans le bois qui offrent moins de ressources floristiques.

En 2007, l'inventaire entomologique établit que la diversité du verger fut la plus faible et que les zones de marécage et de la mare étaient les plus diversifiées (Gama & Francis, 2008), alors que la présente étude conclut le contraire. Une explication est que le travail réalisé en 2007 se concentrait entre autres sur le groupe des Odonates qui, visiblement, était abondant et diversifié dans les marécages et la mare en 2007, tandis que ce travail n'en a pas inventorié. Ceci est justifié puisque tous les individus appartenant à l'ordre des Odonates ont été capturés au filet en 2007, alors que la présente étude visait à échantillonner d'autres familles d'insectes avec cette même méthode de piégeage. Par conséquent, les Odonates capturés au filet cette année n'ont pas été pris en compte. De plus, l'aménagement du verger a évolué ces dernières années, ce qui semble ainsi contribuer à une richesse taxonomique plus forte qu'auparavant.

4. Ha3 : certains sites sont plus favorables que d'autres à l'établissement et la diversité des Syrphidae, Coccinellidae et Cantharidae

Depuis 2007 et jusqu'en 2024, 15 espèces de syrphes et 4 espèces de coccinelles sont perpétuellement présentes sur le site du Wachnet (Annexe 10 et Annexe 11), dont la coccinelle invasive *H. axyridis* qui est systématiquement inventoriée (Annexe 11). Cette espèce fut plus abondante que les populations de coccinelles indigènes dans les précédentes études (Colinet, 2021; Gama & Francis, 2008; Lambert, 2022), ce qui n'est pas le cas lors de ce travail. A l'inverse, *C. septempunctata* suit une augmentation d'effectifs depuis 2007. La présente étude a d'ailleurs échantillonné, en moins de temps, plus de *C. septempunctata* que les précédentes études (Annexe 11). Bien que ces constatations semblent réjouissantes, les populations d'*H. axyridis* augmentent en Wallonie au détriment des populations de coccinelles indigènes

(Durieux et al., 2012). Cela est en concordance avec les résultats de cette année puisqu'en dehors de l'abondance de *C. septempunctata*, les autres espèces de coccinelles sont en effectifs très faibles, dont *Adalia bipunctata* (Linnaeus, 1758) et *Propylea quattuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758) qui sont des proies d'*H. axyridis* (Durieux et al., 2012). 5 espèces de syrphes sont nouvellement recensées sur le site du Wachnet (*Chrysogaster* sp., *Eristalis similis* (Fallén, 1817), *Heringia* sp., *Portevinia maculata* (Fallén, 1817), *Riponnensia splendens* (Meigen, 1822)). Aucune nouvelle espèce de coccinelle n'est décrite. Le recensement spécifique des cantharides était une première sur le site du Wachnet et constitue ainsi un nouveau groupe à étudier par la suite, puisque le site hébergerait encore plus d'espèces. Le présent inventaire a recensé environ 8,8% de la diversité spécifique connue des syrphes de Belgique, 21,5% de la diversité spécifique connue des cantharides de Belgique et 9,6% de la diversité spécifique connue des coccinelles de Belgique.

Globalement, les familles cibles sont les plus abondantes et diversifiées dans le jardin, la prairie et le verger. Ce sont des milieux ouverts qui offrent des ressources floristiques à ces trois familles qui se nourrissent entre autres de nectar et de pollen. Néanmoins, les Cantharidae furent absentes du jardin. Elles ont été plus abondantes dans le verger et plus riches dans la roselière. Etant donné que l'effort d'échantillonnage dans le jardin semble exhaustif, c'est une zone où l'on retrouvera peu de cantharides. De plus, les échantillonnages du verger et de la roselière ne sont pas assez exhaustifs : ces zones regorgeraient donc d'une richesse spécifique bien plus élevée en cantharides. C'est dans le verger qu'on retrouvera une abondance et une richesse de Coccinellidae. Enfin, le jardin est le lieu d'abondance et de richesse spécifique de Syrphidae.

Sur le site du Wachnet, quelques espèces sont abondantes et la plupart sont rares. Parmi les Cantharidae, *R. fulva* est l'espèce la plus abondamment capturée sur le site. Concernant les Coccinellidae, c'est *C. septempunctata* qui fut l'espèce la plus abondante ; à noter que la coccinelle asiatique envahissante *H. axyridis* est la seconde coccinelle la plus échantillonnée sur le site. Enfin, les individus de *Melanostoma* sp. sont les syrphes les plus nombreux occupant le site du Wachnet.

Chaque habitat prospecté abrite une certaine diversité d'insectes des familles cibles. En effet, selon les indices de diversité α , chaque habitat contient beaucoup d'espèces en abondance équitable et lorsque deux individus sont tirés au hasard, il y a une forte probabilité qu'ils appartiennent à des espèces différentes. De plus, il est confirmé au moyen des différentes

analyses effectuées lors de ce travail que les zones ouvertes et fleuries sont les plus diversifiées, contrairement au bois.

Sur le site du Wachnet, des communautés de Cantharidae, Coccinellidae et Syrphidae sont spécifiquement inféodées à des milieux ouverts et fleuris ou fermés et peu fleuris. Cependant, des communautés sont plus tolérantes et se retrouvent dans un milieu autant ouvert que fermé, confirmant qu'il existe quelques espèces communes entre les sites. Précisément, une première communauté composée de quelques Coccinellidae et énormément de Syphidae se trouve dans le jardin. Une seconde communauté composée des trois familles cibles en abondance équitable habite le verger. Enfin, une dernière communauté constituée d'une faible abondance de Cantharidae et Coccinellidae et près d'un tiers supplémentaire de Syrphidae occupe les zones de la prairie, de la mare, de la roselière, du bois et de la clairière.

Pour conclure, certains sites sont plus favorables que d'autres à l'établissement et la diversité des Syrphidae, Coccinellidae et Cantharidae. Le jardin n'est pas une zone accueillant les cantharides et les coccinelles y sont en abondance et diversité faibles. Cette constatation est étonnante puisque les cantharides et coccinelles ont un régime carnivore et/ou phytophage, et que le jardin offre beaucoup de ressources floristiques pour elles mais aussi pour leurs potentielles proies. Une hypothèse serait que le jardin - bien qu'il soit riche en fleurs - ne le soit pas en proies. En revanche, le jardin abrite une forte abondance et une diversité spécifique de syrphes. Les précédentes études confirment que les zones ouvertes et fleuries sont celles qui accueillent la plus haute diversité de syrphes (Colinet, 2021; Meyers, 2023). Si les cantharides et coccinelles ne sont pas intéressées par le jardin par manque de proie, la forte abondance de syrphes adultes dans le jardin confirmerait que cette zone est plutôt un endroit pour butiner que pour se nourrir de ravageurs de culture. Un suivi des larves d'auxiliaires (qui sont prédatrices) et de leurs proies (comme les pucerons) dans le jardin pourrait être intéressant dans le futur, afin de confirmer ou infirmer cette hypothèse. Le verger est le lieu qui abrite les trois familles cibles en abondance équitable et permet la plus forte diversité de cantharides et de coccinelles. Ce lieu dispose probablement plus de ressources floristiques et de proies que le jardin. Enfin, les zones non aménagées, qui se trouvent dans le bois du Wachnet, vont accueillir les trois familles cibles avec une diversité et une abondance moindre. Ces zones sont fermées et disposeraient de moins de ressources intéressantes pour les trois familles d'auxiliaires, friandes de fleurs et de ravageurs de culture.

VI. Conclusions et perspectives

Le site naturel humide du Wachnet à Waremme fut prospecté en sept habitats différents au long de 8 semaines d'échantillonnage, entre le 13 mai et le 4 juillet 2024, à l'aide de pièges pantrap jaune, blanc et bleu et de piégeage au filet fauchoir. Au total, 1742 insectes répartis en 46 familles furent échantillonnés. Les ordres qui priment en termes d'abondance et de diversité de familles sont les Diptères, Coléoptères et Hyménoptères. Trois familles d'insectes auxiliaires ont été spécifiquement étudiées : 11 espèces de cantharides, 6 espèces de coccinelles et 31 espèces de syrphes furent capturées.

L'abondance et la richesse taxonomique des familles échantillonnées ont diminué au cours de l'étude. Les zones ouvertes et fleuries sur le site du Wachnet comptabilisent les abondances et les richesses en familles entomologiques les plus élevées. Le jardin aménagé est propice à l'établissement et la diversité en Syrphidae, le verger est adéquat pour retrouver une diversité moyenne en Cantharidae, Coccinellidae et Syrphidae, alors que les zones au sein du bois du Wachnet hébergent les trois familles d'intérêt en plus faibles effectif et richesse.

Ce travail fournit une mise à jour de l'inventaire entomologique du site du Wachnet. Le recensement spécifique des cantharides était une première sur ce site. À cours termes, les prochaines études pourraient envisager de continuer le suivi de cette famille, voire d'étudier d'autres familles d'insectes. De plus, il serait intéressant de diversifier les méthodes de capture ou encore les périodes d'échantillonnage. Cette étude réaffirme que l'aménagement de zones naturelles et semi-naturelles en milieu agricole favorise la biodiversité entomologique et l'accueil d'insectes auxiliaires de culture. Le suivi régulier des sites de grand intérêt biologique, tel que le site du Wachnet, permettrait d'encore mieux les gérer. Dans un avenir proche, au niveau de la conservation, il pourrait être envisagé de modifier le statut du site du Wachnet en zone naturelle protégée afin de renforcer encore le réseau de sites protégés en Wallonie. Il est dès lors nécessaire de continuer les recherches pour mieux comprendre et évaluer le déclin des insectes, dans le but de mettre en place des mesures de préservation de ce groupe animal des plus importants et pourtant encore peu connu.

Bibliographie

- Albouy, V., & Richard, D. (2022). *Coléoptères d'Europe*. Delachaux et Niestlé.
- Albrecht, M., Kleijn, D., Williams, N. M., Tschumi, M., Blaauw, B. R., Bommarco, R., Campbell, A. J., Dainese, M., Drummond, F. A., Entling, M. H., Ganser, D., Arjen De Groot, G., Goulson, D., Grab, H., Hamilton, H., Herzog, F., Isaacs, R., Jacot, K., Jeanneret, P., ... Sutter, L. (2020). The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield : A quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 23(10), 1488-1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>
- Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1), 134-143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>
- Baugnee, J.-Y., & Branquart, E. (2000). *Clef de terrain pour la reconnaissance des principales coccinelles de Wallonie (Chilocorinae, Coccinellinae et Epilachninae)*. Jeunes & Nature asbl.
- Biella, P., Četković, A., Gogala, A., Neumayer, J., Sárospataki, M., Šima, P., & Smetana, V. (2021). Northwestward range expansion of the bumblebee *Bombus haematurus* into Central Europe is associated with warmer winters and niche conservatism. *Insect Science*, 28(3), 861-872. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12800>
- Bottero, I., Dominik, C., Schweiger, O., Albrecht, M., Attridge, E., Brown, M. J. F., Cini, E., Costa, C., De La Rúa, P., De Miranda, J. R., Di Prisco, G., Dzul Uuh, D., Hodge, S., Ivarsson, K., Knauer, A. C., Klein, A.-M., Mänd, M., Martínez-López, V., Medrzycki, P., ... Stout, J. C. (2023). Impact of landscape configuration and composition on pollinator communities across different European biogeographic regions. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1128228>

Brinson, M. M., & Malvárez, A. I. (2002). Temperate freshwater wetlands : Types, status, and threats. *Environmental Conservation*, 29(2), 115-133.

<https://doi.org/10.1017/S0376892902000085>

British Dragonfly Society. (2021, septembre 7). *State of Dragonflies 2021 report press release*. British Dragonfly Society. <https://british-dragonflies.org.uk/state-of-dragonflies-2021-report-press-release/>

Cardoso, P., Barton, P. S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon, C., Fartmann, T., Fukushima, C. S., Gaigher, R., Habel, J. C., Hallmann, C. A., Hill, M. J., Hochkirch, A., Kwak, M. L., Mammola, S., Ari Noriega, J., Orfinger, A. B., Pedraza, F., Pryke, J. S., Roque, F. O., ... Samways, M. J. (2020). Scientists' warning to humanity on insect extinctions. *Biological Conservation*, 242, 108426.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108426>

Chen, X., Bain, M., Sullivan, P. J., & Wang, Z. (2012). Wetland Loss and Research Orientation. *Challenges*, 3, 43-48. <https://doi.org/10.3390/challe3010043>

Chowdhury, S., Jennions, M. D., Zalucki, M. P., Maron, M., Watson, J. E. M., & Fuller, R. A. (2023). Protected areas and the future of insect conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(1), 85-95. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.09.004>

Colinet, J. (2021). *Etude de la biodiversité entomologique d'un site humide aménagé, le Wachnet en Wallonie : Sélection et analyses de groupes cibles*. Université de Liège-Gembloux Agro-bio Tech.

Commission européenne. (2020). *COMMUNICATION DE LA COMMISSION AU PARLEMENT EUROPÉEN, AU CONSEIL, AU COMITÉ ÉCONOMIQUE ET SOCIAL EUROPÉEN ET AU COMITÉ DES RÉGIONS Stratégie de l'UE en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030 Ramener la nature dans nos vies*. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:52020DC0380>

Commission européenne. (2024, juin 27). *Natura 2000*. Commission Européenne.

https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/natura-2000_en

Cortez-Madrigal, H., & Gutiérrez-Cárdenas, O. G. (2023). Enhancing biological control :

Conservation of alternative hosts of natural enemies. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33, 25. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00675-2>

Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K.,

Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

Dufrêne, M. (2023). Qu'est-ce qu'un réseau écologique ? *Carnets des Espaces Naturels*, 15, 4-9.

Durieux, D., Vandereycken, A., Joie, E., & Haubruge, E. (2012). Evolution des populations de coccinelles indigènes et de l'espèce exotique, *Harmonia axyridis* (Pallas 1773), en Wallonie et en Région de Bruxelles- Capitale. *Entomologie faunistique – Faunistic Entomology*, 65, 81-92.

Fagot, J., Bortels, J., & Dekoninck, W. (2022). La pratique de l'entomologie du terrain au conservatoire ou l'essentiel est de bien transmettre. *Entomologie faunistique - Faunistic Entomology*, 75, 125-146. <https://doi.org/10.25518/2030-6318.5838>

Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810-821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>

Gama, G., & Francis, F. (2008). Etude de la biodiversité entomologique d'un milieu humide aménagé : Le site du Wachnet, le long du Geer à Waremme (Province de Liège, Belgique). *Faunistic Entomology – Entomologie faunistique*, 61(1-2), 33-42.

- Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B., Ceryngier, P., Liira, J., Tscharntke, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Pärt, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L. W., Dennis, C., Palmer, C., Oñate, J. J., ... Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001>
- Gurney, M. (2017). *A guide to British soldier beetles*.
- Habel, J. C., Segerer, A., Ulrich, W., Torchyk, O., Weisser, W. W., & Schmitt, T. (2016). Butterfly community shifts over two centuries. *Conservation Biology*, 30(4), 754-762. <https://doi.org/10.1111/cobi.12656>
- Habel, J. C., Ulrich, W., Segerer, A. H., Greifenstein, T., Knubben, J., Morinière, J., Bozicevic, V., Günter, A., & Hausmann, A. (2023). Insect diversity in heterogeneous agro-environments of Central Europe. *Biodiversity and Conservation*, 32, 4665-4678. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02717-5>
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D., & De Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE*, 12(10), e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Ignace, D. (2021). *Insectes de Belgique*. www.insectesdebelgique.be
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. (2023). *The IUCN red list of threatened species*. The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org>
- Kašák, J., Mazalová, M., Šipoš, J., & Kuras, T. (2015). Dwarf pine : Invasive plant threatens biodiversity of alpine beetles. *Biodiversity and Conservation*, 24, 2399-2415. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0929-1>

- Killewald, M. F., Costamagna, A. C., Lawley, Y., Gulden, R. H., & Gibbs, J. (2024). Floral strips adjacent to Manitoba crop fields attract beneficial insects shortly after establishment regardless of management type or landscape context. *Agricultural and Forest Entomology*, 26(1), 18-37. <https://doi.org/10.1111/afe.12595>
- Klátyik, S., Simon, G., Oláh, M., Mesnage, R., Antoniou, M. N., Zaller, J. G., & Székács, A. (2023). Terrestrial ecotoxicity of glyphosate, its formulations, and co-formulants : Evidence from 2010–2023. *Environmental Sciences Europe*, 35(51). <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00758-9>
- Kolkman, A., Dopagne, C., & Piqueray, J. (2022). Sown wildflower strips offer promising long term results for butterfly conservation. *Journal of Insect Conservation*, 26, 387-400. <https://doi.org/10.1007/s10841-021-00347-2>
- Kwak, M. L. (2018). Australia's vanishing fleas (Insecta : Siphonaptera): a case study in methods for the assessment and conservation of threatened flea species. *Journal of Insect Conservation*, 22, 545-550. <https://doi.org/10.1007/s10841-018-0083-7>
- La biodiversité en Wallonie. (2024). *Natura 2000 en Wallonie*. La biodiversité en Wallonie. <http://biodiversite.wallonie.be/fr/natura-2000.html?IDC=829>
- Lambert, V. (2022). *Etude sur l'évolution de la population des 4 familles d'intérêt bioindicatrice au sein du site du Wachnet, le long du Geer à Waremme*. Haute Ecole de la Province de Liège.
- Losey, J. E., & Vaughan, M. (2006). The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. *BioScience*, 56(4), 311-323. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[311:TEVOES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[311:TEVOES]2.0.CO;2)
- Marcon, E. (2015). *Mesures de la Biodiversité*. <https://agroparistech.hal.science/cel-01205813v5>

- Meyers, J. (2023). *Evaluation des populations de Syrphidae au sein du site naturel du Wachnet à Waremme*. Haute Ecole Charlemagne.
- Mignon, J., Haubruge, E., & Francis, F. (2016). *Clé d'identification des principales familles d'insectes d'Europe*. Presses agronomiques de Gembloux.
- Milczarczyk, D. (2024, janvier 17). *Le réseau écologique*. Ardenne et Gaume. <https://ardenne-et-gaume.be/le-reseau-ecologique/>
- Motte, G., Bisteau, E., & Baugnee, J.-Y. (2019, mars 18). *1885—Le Wachnet*. La biodiversité en Wallonie. <http://biodiversite.wallonie.be/fr/1885-le-wachnet.html?IDC=1881&IDD=251659800>
- Natagora. (2022). *Haut-Geer*. Natagora. <https://www.natagora.be/reserves/haut-geer>
- Owens, A. C. S., & Lewis, S. M. (2018). The impact of artificial light at night on nocturnal insects : A review and synthesis. *Ecology and Evolution*, 8(22), 11337-11358. <https://doi.org/10.1002/ece3.4557>
- Pouvreau, A. (1993). *Courrier de l'Environnement de l'INRA : les Bourdons pollinisateurs menacés*. 19, 63-70.
- Rabitsch, W., & Zulka, K. P. (2024). Chapter Three—The insect decline syndrome. In *Biological Invasions and Global Insect Decline* (p. 47-89). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99918-2.00003-3>
- Raharivololoniaina, A., Moewert, E., & Fischer, K. (2023). Simulating effects of agricultural intensification and climate change : Nitrogen fertilisation and drought stress decrease insect herbivore performance. *Ecological Entomology*, 48(3), 325-335. <https://doi.org/10.1111/een.13224>
- Raven, P. H., & Wagner, D. L. (2021). Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2), e2002548117. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002548117>

- Samways, M. J., Barton, P. S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon, C., Fartmann, T., Fukushima, C. S., Gaigher, R., Habel, J. C., Hallmann, C. A., Hill, M. J., Hochkirch, A., Kaila, L., Kwak, M. L., Maes, D., Mammola, S., Noriega, J. A., Orfinger, A. B., Pedraza, F., ... Cardoso, P. (2020). Solutions for humanity on how to conserve insects. *Biological Conservation*, 242, 108427. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108427>
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna : A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8-27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Sanmartín-Villar, I., & Cordero-Rivera, A. (2024). Chapter Two—Biodiversity and the importance of insect diversity. In *Biological Invasions and Global Insect Decline* (p. 19-46). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99918-2.00002-1>
- Schmidt, A., Fartmann, T., Kiehl, K., Kirmer, A., & Tischew, S. (2022). Effects of perennial wildflower strips and landscape structure on birds in intensively farmed agricultural landscapes. *Basic and Applied Ecology*, 58, 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.10.005>
- Schulten, A. (2019). *Syrphes de Belgique et des Pays-Bas*. Natagora et le Conservatoire d'espaces naturels Nord et du Pas-de-Calais.
- Service public de Wallonie. (2021). 12 juillet 1973—*Loi sur la conservation de la nature*. Wallex. <http://wallex.wallonie.be/cms/render/live/fr/sites/wallex/contents/acts/19/19851/36.html>
- Service public de Wallonie. (2022, décembre 21). *Listes rouges des espèces et priorités de conservation—État de l'environnement wallon*. Etat de l'environnement wallon. http://etat.environnement.wallonie.be/cms/render/live/fr_BE/sites/eev/contents/indicatorsheets/FFH 5.html

- Service public de Wallonie. (2023, septembre 1). *Sites naturels protégés—État de l'environnement wallon*. Etat de l'environnement wallon.
[http://etat.environnement.wallonie.be/cms/render/live/fr_BE/sites/eew/contents/indicatorsheets/FFH 16.html](http://etat.environnement.wallonie.be/cms/render/live/fr_BE/sites/eew/contents/indicatorsheets/FFH%2016.html)
- Service Public Fédéral Belge. (2023, juillet 25). *Chiffres clés de l'agriculture 2023 Statbel*. Statbel. <https://statbel.fgov.be/fr/nouvelles/chiffres-cles-de-lagriculture-2023>
- Soroye, P., Newbold, T., & Kerr, J. (2020). Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. *Science*, 367, 685-688.
<https://doi.org/10.1126/science.aax8591>
- Stork, N. E. (2018). How Many Species of Insects and Other Terrestrial Arthropods Are There on Earth? *Annual Review of Entomology*, 63, 31-45.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348>
- Tscharntke, T., Tylianakis, J. M., Rand, T. A., Didham, R. K., Fahrig, L., Batáry, P., Bengtsson, J., Clough, Y., Crist, T. O., Dormann, C. F., Ewers, R. M., Fründ, J., Holt, R. D., Holzschuh, A., Klein, A. M., Kleijn, D., Kremen, C., Landis, D. A., Laurance, W., ... Westphal, C. (2012). Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. *Biological Reviews*, 87, 661-685.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x>
- Tschumi, M., Albrecht, M., Collatz, J., Dubsy, V., Entling, M. H., Najar-Rodriguez, A. J., & Jacot, K. (2016). Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *Journal of Applied Ecology*, 53(4), 1169-1176.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12653>
- Uyttenbroeck, R. (2017). *Functional diversity and mowing regime of flower strips as tools to support pollinators and to suppress weeds*. Université de Liège-Gembloux Agro-bio Tech.

- Van Huis, A., & Oonincx, D. G. A. B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(43).
<https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>
- Van Langevelde, F., Braamburg-Annegarn, M., Huigens, M. E., Groendijk, R., Poitevin, O., Van Deijk, J. R., Ellis, W. N., Van Grunsven, R. H. A., De Vos, R., Vos, R. A., Franzén, M., & WallisDeVries, M. F. (2018). Declines in moth populations stress the need for conserving dark nights. *Global Change Biology*, 24(3), 925-932.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14008>
- Vaz, S., Manes, S., Khattar, G., Mendes, M., Silveira, L., Mendes, E., De Moraes Rodrigues, E., Gama-Maia, D., Lorini, M. L., Macedo, M., & Paiva, P. C. (2023). Global meta-analysis of urbanization stressors on insect abundance, richness, and traits. *Science of The Total Environment*, 903, 165967. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165967>
- Ville de Waremme. (2024a). *Le site naturel de Grand-Axhe*. Waremme.
<https://www.waremme.be/loisirs/sites-naturels/Le%20site%20de%20Grand-Axhe/Le%20site%20naturel%20de%20Grand-Axhe>
- Ville de Waremme. (2024b). *Waremme en chiffres*. Waremme.
<https://www.waremme.be/economie/developpement%20local/adl/waremme-en-chiffres/Waremme-en-chiffres>
- Vrdoljak, S. M., & Samways, M. J. (2012). Optimising coloured pan traps to survey flower visiting insects. *Journal of Insect Conservation*, 16, 345-354.
<https://doi.org/10.1007/s10841-011-9420-9>

Annexes

Date et heure	°C	mm	Piege	Date et heure	°C	mm	Piege	Date et heure	°C	mm	Piege	Date et heure	°C	mm	Piege
2024-05-13 08+00	16.8	0	pantrap	2024-05-27 08+00	14.9	0	pantrap	2024-06-10 08+00	12.5	0	pantrap	2024-06-24 08+00	20.9	0	pantrap
2024-05-13 09+00	17.8	0	pantrap	2024-05-27 09+00	15.2	0	pantrap	2024-06-10 09+00	12.4	0.1	pantrap	2024-06-24 09+00	22.3	0	pantrap
2024-05-13 10+00	19.1	0	pantrap	2024-05-27 10+00	15.5	0	pantrap	2024-06-10 10+00	12.9	0.3	pantrap	2024-06-24 10+00	23.1	0	pantrap
2024-05-13 11+00	20	0	pantrap	2024-05-27 11+00	15.8	0	pantrap	2024-06-10 11+00	12.7	0.6	pantrap	2024-06-24 11+00	23.6	0	pantrap
2024-05-13 12+00	20.4	0.2	pantrap	2024-05-27 12+00	16.8	0	pantrap	2024-06-10 12+00	12.6	0.5	pantrap	2024-06-24 12+00	24	0	pantrap
2024-05-13 13+00	20.9	0	pantrap	2024-05-27 13+00	16.9	0	pantrap	2024-06-10 13+00	12.4	1.7	pantrap	2024-06-24 13+00	24.4	0	pantrap
2024-05-13 14+00	21.8	0	pantrap	2024-05-27 14+00	15	0.6	pantrap	2024-06-10 14+00	12.5	0.5	pantrap	2024-06-24 14+00	25	0	pantrap
2024-05-13 15+00	21.9	0	pantrap	2024-05-27 15+00	13.2	0.7	pantrap	2024-06-10 15+00	13	0	pantrap	2024-06-24 15+00	25.2	0	pantrap
2024-05-13 16+00	22.3	0	pantrap	2024-05-27 16+00	14	0	pantrap	2024-06-10 16+00	12.1	0	pantrap	2024-06-24 16+00	25.3	0	pantrap
2024-05-13 17+00	22.2	0	pantrap	2024-05-27 17+00	14.3	0	pantrap	2024-06-10 17+00	11.3	0	pantrap	2024-06-24 17+00	25	0	pantrap
2024-05-13 18+00	21.2	0	pantrap	2024-05-27 18+00	14	0	pantrap	2024-06-10 18+00	11.4	0	pantrap	2024-06-24 18+00	24.5	0	pantrap
2024-05-13 19+00	20.3	0	pantrap	2024-05-27 19+00	13.3	0	pantrap	2024-06-10 19+00	10.5	1.7	pantrap	2024-06-24 19+00	23.5	0	pantrap
2024-05-13 20+00	17.2	0	pantrap	2024-05-27 20+00	12	0.9	pantrap	2024-06-10 20+00	9.2	0.2	pantrap	2024-06-24 20+00	21.8	0	pantrap
2024-05-13 21+00	16.1	0	pantrap	2024-05-27 21+00	11.7	0	pantrap	2024-06-10 21+00	9.5	0	pantrap	2024-06-24 21+00	20.7	0	pantrap
2024-05-13 22+00	15.7	0	pantrap	2024-05-27 22+00	11.5	0	pantrap	2024-06-10 22+00	9.5	0	pantrap	2024-06-24 22+00	19.7	0	pantrap
2024-05-13 23+00	15.2	0	pantrap	2024-05-27 23+00	10.6	0	pantrap	2024-06-10 23+00	9.3	0.2	pantrap	2024-06-24 23+00	17.9	0	pantrap
2024-05-14 00+00	15.1	0	pantrap	2024-05-28 00+00	9.7	0	pantrap	2024-06-11 00+00	9.1	0	pantrap	2024-06-25 00+00	16.8	0	pantrap
2024-05-14 01+00	15	0	pantrap	2024-05-28 01+00	9.2	0	pantrap	2024-06-11 01+00	8.7	0	pantrap	2024-06-25 01+00	16.8	0	pantrap
2024-05-14 02+00	15	0	pantrap	2024-05-28 02+00	8.7	0	pantrap	2024-06-11 02+00	8.2	0	pantrap	2024-06-25 02+00	15.6	0	pantrap
2024-05-14 03+00	14.6	0	pantrap	2024-05-28 03+00	8.4	0	pantrap	2024-06-11 03+00	7.8	0	pantrap	2024-06-25 03+00	14.7	0	pantrap
2024-05-14 04+00	15.2	0	pantrap	2024-05-28 04+00	8.7	0	pantrap	2024-06-11 04+00	7.7	0	pantrap	2024-06-25 04+00	14.3	0	pantrap
2024-05-14 05+00	15.3	0	pantrap	2024-05-28 05+00	9.6	0	pantrap	2024-06-11 05+00	8.1	0	pantrap	2024-06-25 05+00	15.3	0	pantrap
2024-05-14 06+00	17	0	pantrap	2024-05-28 06+00	10.9	0	pantrap	2024-06-11 06+00	9.3	0	pantrap	2024-06-25 06+00	18.4	0	pantrap

2024-05-14 07+00	19.1	0	pantrap	2024-05-28 07+00	12.1	0	pantrap	2024-06-11 07+00	11	0	pantrap	2024-06-25 07+00	20.8	0	pantrap
2024-05-14 08+00	20.8	0	pantrap	2024-05-28 08+00	13.5	0	pantrap	2024-06-11 08+00	12	0	pantrap	2024-06-25 08+00	22.6	0	pantrap
2024-05-14 09+00	22.1	0	pantrap	2024-05-28 09+00	14.9	0	pantrap	2024-06-11 09+00	13	0	pantrap	2024-06-25 09+00	24	0	pantrap
2024-05-14 10+00	23.8	0	pantrap	2024-05-28 10+00	15.9	0	pantrap	2024-06-11 10+00	14.2	0	pantrap	2024-06-25 10+00	24.8	0	pantrap
2024-05-14 11+00	24.8	0	pantrap	2024-05-28 11+00	16.9	0	pantrap	2024-06-11 11+00	14	0	pantrap	2024-06-25 11+00	25.6	0	pantrap
2024-05-14 12+00	25.6	0	pantrap	2024-05-28 12+00	17.6	0	pantrap	2024-06-11 12+00	14.1	0.2	pantrap	2024-06-25 12+00	26.1	0	pantrap
2024-05-14 13+00	25.3	0	pantrap	2024-05-28 13+00	16.9	0	pantrap	2024-06-11 13+00	13.7	0	pantrap	2024-06-25 13+00	26.6	0	pantrap
2024-05-14 14+00	25.2	0	pantrap	2024-05-28 14+00	15.5	0.3	pantrap	2024-06-11 14+00	13.5	0	pantrap	2024-06-25 14+00	26.7	0	pantrap
2024-05-14 15+00	24.7	0	pantrap	2024-05-28 15+00	14.6	0.5	pantrap	2024-06-11 15+00	15	0	pantrap	2024-06-25 15+00	27	0	pantrap
2024-05-14 16+00	23.4	0	pantrap	2024-05-28 16+00	14.9	0	pantrap	2024-06-11 16+00	14.9	0	pantrap	2024-06-25 16+00	26.9	0	pantrap
2024-05-14 17+00	21.6	0	pantrap	2024-05-28 17+00	15	0	pantrap	2024-06-11 17+00	14.7	0	pantrap	2024-06-25 17+00	26.6	0	pantrap
2024-05-14 18+00	20.1	0	pantrap	2024-05-28 18+00	15	0	pantrap	2024-06-11 18+00	13.4	0.9	pantrap	2024-06-25 18+00	26.1	0	pantrap
2024-05-14 19+00	18.3	0	pantrap	2024-05-28 19+00	14.7	0	pantrap	2024-06-11 19+00	12.4	0	pantrap	2024-06-25 19+00	25	0	pantrap
2024-05-14 20+00	17	0	pantrap	2024-05-28 20+00	14.3	0.8	pantrap	2024-06-11 20+00	11.2	0	pantrap	2024-06-25 20+00	23.5	0	pantrap
2024-05-14 21+00	15.7	0	pantrap	2024-05-28 21+00	14.4	0	pantrap	2024-06-11 21+00	10.1	0	pantrap	2024-06-25 21+00	22.6	0	pantrap
2024-05-14 22+00	16.2	0	pantrap	2024-05-28 22+00	14.6	0	pantrap	2024-06-11 22+00	9.2	0	pantrap	2024-06-25 22+00	22.2	0	pantrap
2024-05-14 23+00	15.6	0	pantrap	2024-05-28 23+00	14.8	0	pantrap	2024-06-11 23+00	8.2	0	pantrap	2024-06-25 23+00	21.2	0	pantrap
2024-05-15 00+00	15.2	0	pantrap	2024-05-29 00+00	14.8	0.1	pantrap	2024-06-12 00+00	7.4	0	pantrap	2024-06-26 00+00	18.6	0	pantrap
2024-05-15 01+00	14.8	0	pantrap	2024-05-29 01+00	14.7	0	pantrap	2024-06-12 01+00	6.7	0	pantrap	2024-06-26 01+00	16.6	0	pantrap
2024-05-15 02+00	14.5	0	pantrap	2024-05-29 02+00	14.4	0.2	pantrap	2024-06-12 02+00	6.6	0	pantrap	2024-06-26 02+00	15.9	0	pantrap
2024-05-15 03+00	14.5	0	pantrap	2024-05-29 03+00	14.2	0.3	pantrap	2024-06-12 03+00	7.1	0	pantrap	2024-06-26 03+00	15.3	0	pantrap
2024-05-15 04+00	14.3	0	pantrap	2024-05-29 04+00	13.7	0.5	pantrap	2024-06-12 04+00	7.5	0	pantrap	2024-06-26 04+00	15.1	0	pantrap
2024-05-15 05+00	14.1	0	pantrap	2024-05-29 05+00	13.7	0.2	pantrap	2024-06-12 05+00	7.6	0	pantrap	2024-06-26 05+00	16.1	0	pantrap
2024-05-15 06+00	13.8	0.5	pantrap	2024-05-29 06+00	14.1	0	pantrap	2024-06-12 06+00	9.5	0	pantrap	2024-06-26 06+00	19.1	0	pantrap
2024-05-15 07+00	13.8	1.4	pantrap	2024-05-29 07+00	14.1	0.7	pantrap	2024-06-12 07+00	10.4	0	pantrap	2024-06-26 07+00	21.7	0	pantrap

2024-05-15 08+00	14	1.8	pantrap	2024-05-29 08+00	14.6	0.1	pantrap	2024-06-12 08+00	11.3	0	pantrap	2024-06-26 08+00	23.1	0	pantrap
2024-05-15 09+00	15.1	0.2	pantrap	2024-05-29 09+00	15.5	0	pantrap	2024-06-12 09+00	12.8	0	pantrap	2024-06-26 09+00	24.9	0	pantrap
2024-05-15 10+00	15.3	0.4	pantrap	2024-05-29 10+00	15.9	0	pantrap	2024-06-12 10+00	13.5	0	pantrap	2024-06-26 10+00	25.9	0	pantrap
2024-05-15 11+00	15.2	0.1	pantrap	2024-05-29 11+00	16.4	0.2	pantrap	2024-06-12 11+00	13	0	pantrap	2024-06-26 11+00	26.6	0	pantrap
2024-05-15 12+00	15.2	0	pantrap	2024-05-29 12+00	15.4	1.4	pantrap	2024-06-12 12+00	13.3	0	pantrap	2024-06-26 12+00	27.5	0	pantrap
2024-05-15 13+00	15.6	0	pantrap	2024-05-29 13+00	16.5	0.1	pantrap	2024-06-12 13+00	12.7	0	pantrap	2024-06-26 13+00	27.6	0	pantrap
2024-05-15 14+00	16	0	pantrap	2024-05-29 14+00	17.1	0	pantrap	2024-06-12 14+00	13.8	0	pantrap	2024-06-26 14+00	27.7	0	pantrap
2024-05-15 15+00	16	0.1	pantrap	2024-05-29 15+00	18	0	pantrap	2024-06-12 15+00	13.6	0	pantrap	2024-06-26 15+00	28	0	pantrap
2024-05-15 16+00	15.7	0.7	pantrap	2024-05-29 16+00	18.7	0	pantrap	2024-06-12 16+00	14.2	0	pantrap	2024-06-26 16+00	28.3	0	pantrap
2024-05-15 17+00	15.5	0.1	pantrap	2024-05-29 17+00	18.6	0	pantrap	2024-06-12 17+00	14.3	0	pantrap	2024-06-26 17+00	28.1	0	pantrap
2024-05-15 18+00	15.3	0	pantrap	2024-05-29 18+00	17.4	0	pantrap	2024-06-12 18+00	14	0	pantrap	2024-06-26 18+00	27.7	0	pantrap
2024-05-15 19+00	15.1	0.1	pantrap	2024-05-29 19+00	16.2	0	pantrap	2024-06-12 19+00	13.6	0	pantrap	2024-06-26 19+00	27.3	0	pantrap
2024-05-15 20+00	14.7	0.3	pantrap	2024-05-29 20+00	15.3	0	pantrap	2024-06-12 20+00	12.4	0	pantrap	2024-06-26 20+00	25.3	0	pantrap
2024-05-15 21+00	14.5	0.3	pantrap	2024-05-29 21+00	14.7	0	pantrap	2024-06-12 21+00	11.2	0	pantrap	2024-06-26 21+00	21.1	0	pantrap
2024-05-15 22+00	14.3	0.1	pantrap	2024-05-29 22+00	14	0	pantrap	2024-06-12 22+00	10.9	0	pantrap	2024-06-26 22+00	20.1	0	pantrap
2024-05-15 23+00	14.2	0.1	pantrap	2024-05-29 23+00	13.6	0	pantrap	2024-06-12 23+00	9.6	0	pantrap	2024-06-26 23+00	19	0	pantrap
2024-05-16 00+00	14.2	0.2	pantrap	2024-05-30 00+00	13.9	0.7	pantrap	2024-06-13 00+00	8.7	0	pantrap	2024-06-27 00+00	18.3	0	pantrap
2024-05-16 01+00	14	0.1	pantrap	2024-05-30 01+00	13.9	0.3	pantrap	2024-06-13 01+00	8.3	0	pantrap	2024-06-27 01+00	17.4	0	pantrap
2024-05-16 02+00	14.1	4.9	pantrap	2024-05-30 02+00	13.6	0	pantrap	2024-06-13 02+00	7.4	0	pantrap	2024-06-27 02+00	17.1	0	pantrap
2024-05-16 03+00	14.1	3.2	pantrap	2024-05-30 03+00	12.5	0	pantrap	2024-06-13 03+00	7	0	pantrap	2024-06-27 03+00	17.1	0	pantrap
2024-05-16 04+00	14.1	1.8	pantrap	2024-05-30 04+00	11.3	0	pantrap	2024-06-13 04+00	6.5	0	pantrap	2024-06-27 04+00	16.8	0	pantrap
2024-05-16 05+00	14.1	8.7	pantrap	2024-05-30 05+00	11.6	0	pantrap	2024-06-13 05+00	7.1	0	pantrap	2024-06-27 05+00	17.5	0	pantrap
2024-05-16 06+00	13.8	1.7	pantrap	2024-05-30 06+00	13.2	0	pantrap	2024-06-13 06+00	9.7	0	pantrap	2024-06-27 06+00	20	0	pantrap
2024-05-16 07+00	14.1	0.7	pantrap	2024-05-30 07+00	14	0	pantrap	2024-06-13 07+00	12.7	0	pantrap	2024-06-27 07+00	21.4	0	pantrap
2024-05-16 08+00	15.6	0	pantrap	2024-05-30 08+00	13.6	0	pantrap	2024-06-13 08+00	14.3	0	pantrap	2024-06-27 08+00	23.4	0	pantrap

2024-05-16 09+00	16.2	0	pantrap	2024-05-30 09+00	14.2	0	pantrap	2024-06-13 09+00	15.5	0	pantrap	2024-06-27 09+00	24.7	0	pantrap
2024-05-16 10+00	16.7	0	pantrap	2024-05-30 10+00	15.1	0	pantrap	2024-06-13 10+00	16.4	0	pantrap	2024-06-27 10+00	26	0	pantrap
2024-05-16 11+00	16.8	0	pantrap	2024-05-30 11+00	16	0	pantrap	2024-06-13 11+00	16.8	0	pantrap	2024-06-27 11+00	27	0	pantrap
2024-05-16 12+00	16.7	0	pantrap	2024-05-30 12+00	16.7	0	pantrap	2024-06-13 12+00	16.8	0	pantrap	2024-06-27 12+00	27.5	0	pantrap
2024-05-16 13+00	17	0	pantrap	2024-05-30 13+00	15.9	0	pantrap	2024-06-13 13+00	18.3	0	pantrap	2024-06-27 13+00	27.8	0	pantrap
2024-05-21 08+00	17	0	Filet	2024-06-03 08+00	12	0	Filet	2024-06-19 08+00	15.1	0	Filet	2024-07-04 08+00	16.7	0	Filet
2024-05-21 09+00	16.9	0	Filet	2024-06-03 09+00	12.1	0	Filet	2024-06-19 09+00	15.7	0	Filet	2024-07-04 09+00	15.6	0.6	Filet
2024-05-21 10+00	16.4	0	Filet	2024-06-03 10+00	12.5	0	Filet	2024-06-19 10+00	16.6	0	Filet	2024-07-04 10+00	16.4	0	Filet
2024-05-21 11+00	16.2	0.2	Filet	2024-06-03 11+00	13.2	0	Filet	2024-06-19 11+00	17.1	0	Filet	2024-07-04 11+00	18.2	0	Filet
2024-05-21 12+00	16.3	0.2	Filet	2024-06-03 12+00	13.9	0	Filet	2024-06-19 12+00	17.9	0.1	Filet	2024-07-04 12+00	18.9	0	Filet
2024-05-21 13+00	16.4	0.4	Filet	2024-06-03 13+00	14.5	0	Filet	2024-06-19 13+00	18.7	0	Filet	2024-07-04 13+00	19.6	0	Filet
2024-05-21 14+00	16.3	0.6	Filet	2024-06-03 14+00	15.4	0	Filet	2024-06-19 14+00	19.6	0	Filet	2024-07-04 14+00	20	0	Filet
2024-05-21 15+00	16.6	0	Filet	2024-06-03 15+00	15.8	0	Filet	2024-06-19 15+00	20.1	0	Filet	2024-07-04 15+00	19.8	0	Filet
2024-05-21 16+00	16.3	0	Filet	2024-06-03 16+00	16.3	0	Filet	2024-06-19 16+00	20	0	Filet	2024-07-04 16+00	19.4	0.1	Filet
2024-05-21 17+00	15.7	1.3	Filet	2024-06-03 17+00	16.1	0	Filet	2024-06-19 17+00	19.8	0	Filet	2024-07-04 17+00	19.4	0	Filet

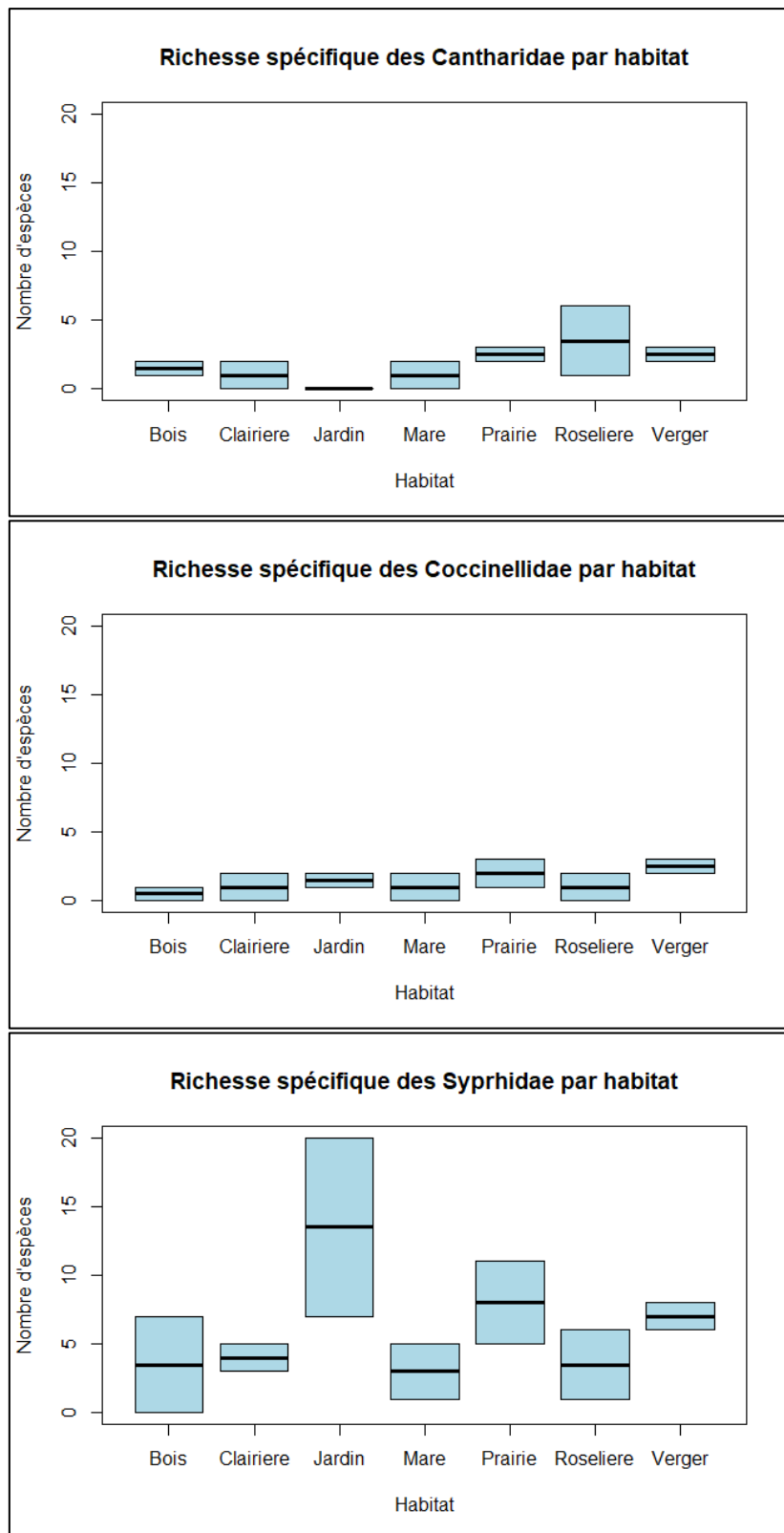
Annexe 1. Conditions météorologiques à Waremmе lors des échantillonnages. Date (année-mois-jour) et heure, Température de l'air [°C], Précipitations [mm], type de piège (pantrap ou filet fauchoir) (CRA-W/Agromet.be <https://agromet.be/>).

Zone 1 jardin	Zone 2 verger	Zone 3 prairie	Zone 4 mare	Zone 5 bois
<p>*<i>Achillea millefolium</i> L.</p> <p>*<i>Borago officinalis</i> L.</p> <p>*<i>Coreopsis lanceolata</i> L.</p> <p>*<i>Crepis pulchra</i> L.</p> <p>*<i>Cyanus segetum</i> Hill</p> <p>*<i>Eschscholzia californica</i> Cham.</p> <p>*<i>Glebionis coronaria</i> (L.) Cass. ex Spach</p> <p>*<i>Malva arborea</i> (L.) Webb & Berthel.</p> <p>*<i>Nigella sativa</i> L.</p> <p>*<i>Papaver</i> sp.</p> <p>*<i>Phacelia tanacetifolia</i> Benth.</p> <p>*<i>Trifolium incarnatum</i> L.</p> <p><i>Crataegus</i> sp.</p> <p><i>Heracleum sphondylium</i> L.</p> <p><i>Primula</i> sp.</p> <p><i>Ribes nigrum</i> L.</p> <p><i>Ribes rubrum</i> L.</p> <p><i>Urtica</i> sp.</p> <p>*Dans les bandes fleuries</p>	<p><i>Allium schoenoprasum</i> L.</p> <p><i>Alopecurus pratensis</i> L.</p> <p><i>Cornus sanguinea</i> L.</p> <p><i>Crataegus</i> sp.</p> <p><i>Cucurbita pepo</i> L.</p> <p><i>Helichrysum italicum</i> (Roth) G.Don</p> <p><i>Holcus lanatus</i> L.</p> <p><i>Lathyrus pratensis</i> L.</p> <p><i>Lolium</i> sp.</p> <p><i>Origanum vulgare</i> L.</p> <p><i>Rumex</i> sp.</p> <p><i>Solanum lycopersicum</i> L.</p> <p><i>Thymus vulgaris</i> L.</p> <p><i>Viburnum opulus</i> L.</p>	<p><i>Achillea millefolium</i> L.</p> <p><i>Alopecurus pratensis</i> L.</p> <p><i>Centaurea</i> sp.</p> <p><i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.</p> <p><i>Equisetum</i> sp.</p> <p><i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.</p> <p><i>Hypericum</i> sp.</p> <p><i>Lathyrus pratensis</i> L.</p> <p><i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.</p> <p><i>Lythrum salicaria</i> L.</p> <p><i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. Ex Steud.</p> <p><i>Salix</i> sp.</p> <p><i>Trifolium</i> sp.</p>	<p><i>Alliaria petiolata</i> (M. Bieb.) Cavara & Grande</p> <p><i>Chaerophyllum temulum</i> L.</p> <p><i>Corylus avellana</i> L.</p> <p><i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.</p> <p><i>Geranium robertianum</i> L.</p> <p><i>Geum urbanum</i> L.</p> <p><i>Iris pseudacorus</i> L.</p> <p><i>Lysimachia vulgaris</i> L.</p> <p><i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. Ex Steud.</p> <p><i>Ribes rubrum</i> L.</p> <p><i>Rubus</i> sp.</p> <p><i>Rumex conglomeratus</i> Murray</p> <p><i>Stachys sylvatica</i> L.</p> <p><i>Urtica</i> sp.</p>	<p><i>Carduus</i> sp.</p> <p><i>Chaerophyllum temulum</i> L.</p> <p><i>Convolvulus sepium</i> L.</p> <p><i>Crataegus</i> sp.</p> <p><i>Geranium robertianum</i> L.</p> <p><i>Hedera helix</i> L.</p> <p><i>Heracleum sphondylium</i> L.</p> <p><i>Lapsana communis</i> L.</p> <p><i>Rubus</i> sp.</p> <p><i>Sorbus aucuparia</i> L.</p> <p><i>Stachys sylvatica</i> L.</p> <p><i>Symphytum officinale</i> L.</p> <p><i>Urtica</i> sp.</p>
Zone 6 clairière		Zone 7 roselière		
<p><i>Carduus</i> sp.</p> <p><i>Chaerophyllum temulum</i> L.</p> <p><i>Convolvulus sepium</i> L.</p> <p><i>Crataegus</i> sp.</p>	<p><i>Geranium robertianum</i> L.</p> <p><i>Sambucus nigra</i> L.</p> <p><i>Symphytum officinale</i> L.</p> <p><i>Trifolium</i> sp.</p> <p><i>Urtica</i> sp.</p>	<p><i>Convolvulus sepium</i> L.</p> <p><i>Crataegus</i> sp.</p> <p><i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.</p> <p><i>Geranium robertianum</i> L.</p> <p><i>Geum urbanum</i> L.</p>	<p><i>Lythrum salicaria</i> L.</p> <p><i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. Ex Steud.</p> <p><i>Rumex conglomeratus</i> Murray</p> <p><i>Symphytum officinale</i> L.</p> <p><i>Urtica</i> sp.</p>	

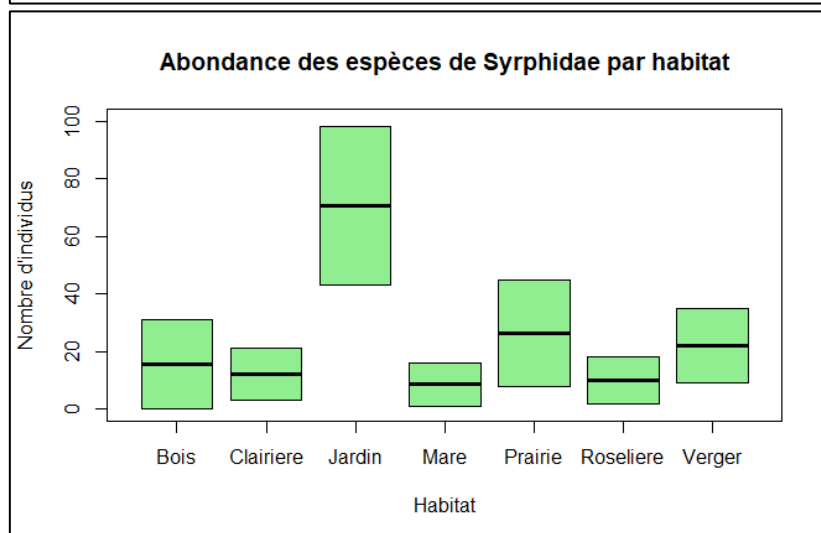
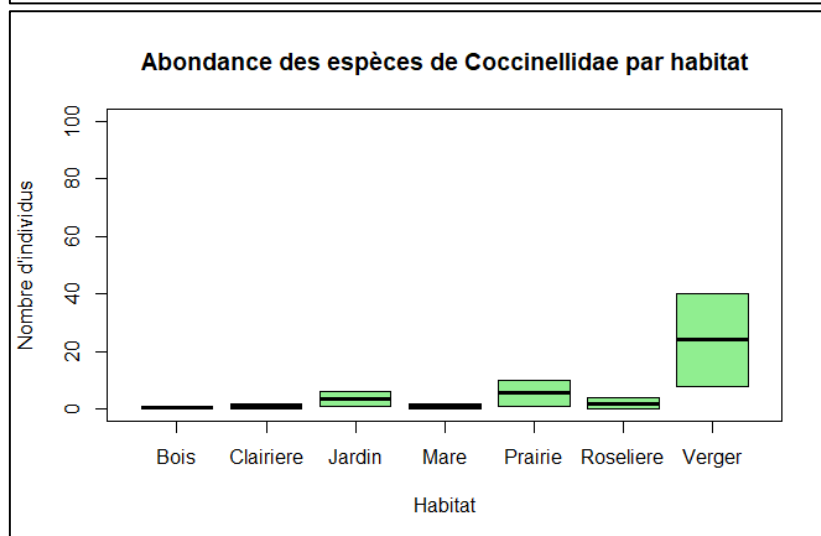
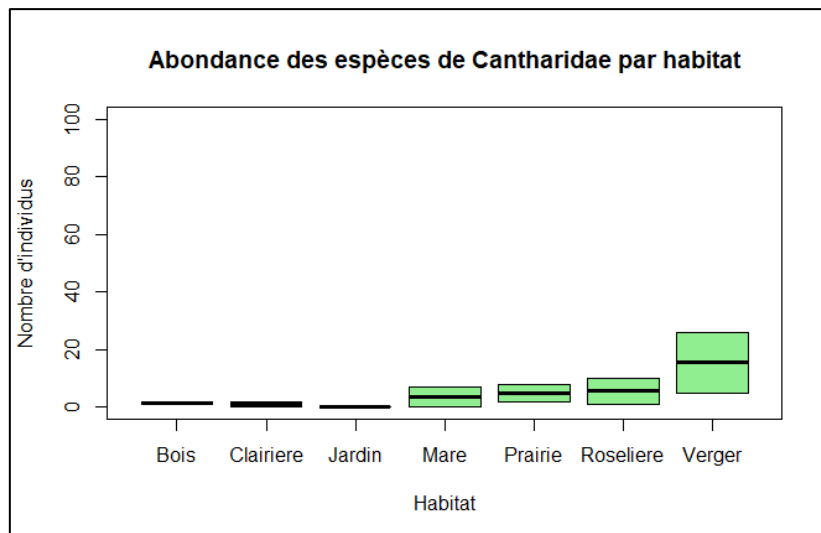
Annexe 2. Exemples des plantes rencontrées sur chaque zone de prospection.

▲	Habitat	Piege	Cantharis_fusca	Cantharis_pallida	Cantharis_pellucida
1	Jardin	J_Pantrap	0	0	0
2	Jardin	J_Filet	0	0	0
3	Verger	V_Pantrap	2	0	0
4	Verger	V_Filet	4	0	0
5	Prairie	P_Pantrap	0	0	0
6	Prairie	P_Filet	1	2	0
7	Mare	M_Pantrap	0	0	0
8	Mare	M_Filet	0	0	0
9	Bois	B_Pantrap	0	1	0
10	Bois	B_Filet	0	1	1

Annexe 3. Exemple du tableau croisé utilisé sur Rstudio.



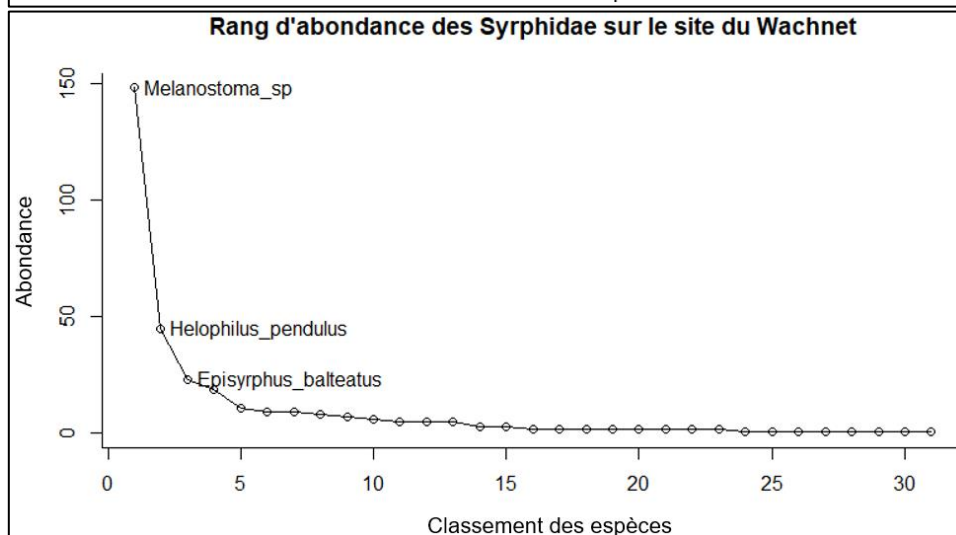
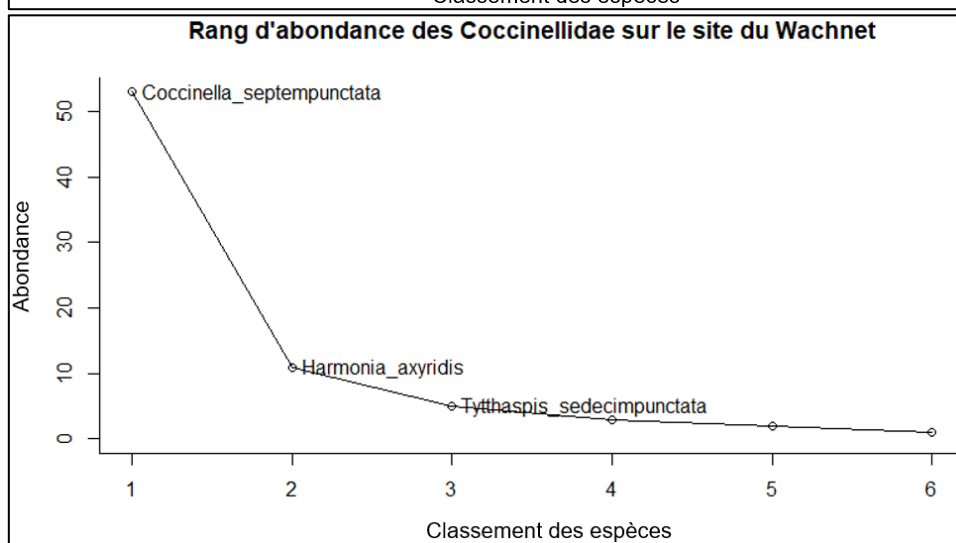
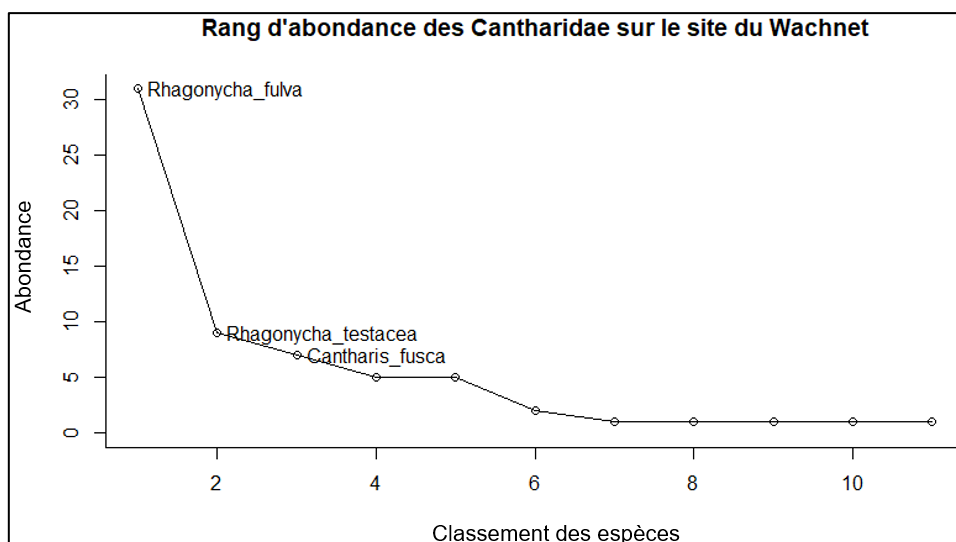
Annexe 4. Richesse spécifique par famille cible en fonction de l'habitat.



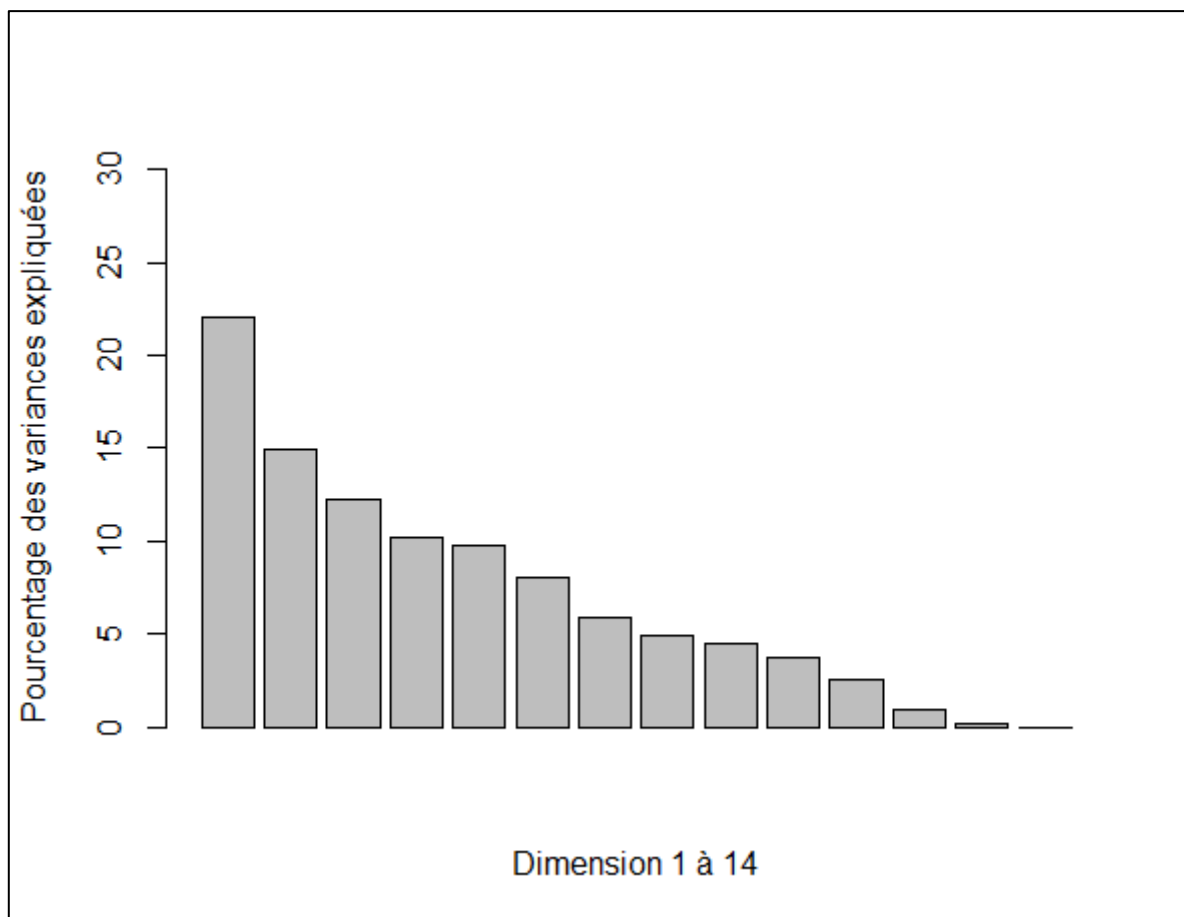
Annexe 5. Abondance des espèces par famille cible en fonction de l'habitat.

N°	Espèces		Zones							Effectifs par espèces
			1	2	3	4	5	6	7	
	Cantharidae									
1	<i>Cantharis</i>	<i>fusca</i> Linnaeus, 1758	0	6	1	0	0	0	0	7
2	<i>Cantharis</i>	<i>pallida</i> Goeze, 1777	0	0	2	0	2	1	0	5
3	<i>Cantharis</i>	<i>pellucida</i> Fabricius, 1792	0	0	0	0	1	0	4	5
4	<i>Cantharis</i>	<i>figurata</i> Mannerheim, 1843	0	0	0	0	0	0	1	1
5	<i>Cantharis</i>	<i>decipiens</i> Baudi, 1871	0	0	0	0	0	0	1	1
6	<i>Cantharis</i>	<i>flavilabris</i> Fallen, 1807	0	1	1	0	0	0	0	2
7	<i>Malthodes</i>	<i>sp.</i>	0	0	0	1	0	0	0	1
8	<i>Podabrus</i>	<i>alpinus</i> (Paykull, 1798)	0	0	0	0	0	0	1	1
9	<i>Rhagonycha</i>	<i>testacea</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0	6	0	0	3	9
10	<i>Rhagonycha</i>	<i>fulva</i> (Scopoli, 1763)	0	24	6	0	0	1	0	31
11	<i>Silis</i>	<i>ruficollis</i> (Fabricius, 1775)	0	0	0	0	0	0	1	1
	Coccinellidae									
12	<i>Adalia</i>	<i>bipunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	1	0	0	0	0	1
13	<i>Calvia</i>	<i>quattuordecimguttata</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0	0	1	0	1	2
14	<i>Coccinella</i>	<i>septempunctata</i> Linnaeus, 1758	5	41	5	1	0	1	0	53
15	<i>Harmonia</i>	<i>axyridis</i> (Pallas, 1773)	2	1	4	1	0	0	3	11
16	<i>Propylea</i>	<i>quattuordecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0	2	0	0	0	1	0	3
17	<i>Tytthaspis</i>	<i>sedecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0	4	1	0	0	0	0	5
	Syrphidae									
18	<i>Baccha</i>	<i>elongata</i> (Fabricius, 1775)	0	0	0	0	1	0	1	2
19	<i>Cheilosia</i>	<i>sp.</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
20	<i>Chrysogaster</i>	<i>solstitialis</i> (Fallén, 1817)	2	1	0	1	10	5	0	19
21	<i>Chrysogaster</i>	<i>sp.</i>	1	0	2	0	0	0	0	3
22	<i>Epistrophe</i>	<i>sp.</i>	0	1	1	0	0	0	0	2
23	<i>Episyrphus</i>	<i>balteatus</i> (De geer, 1776)	12	1	2	1	2	1	4	23
24	<i>Eristalis</i>	<i>similis</i> (Fallén, 1817)	1	0	0	0	0	0	0	1
25	<i>Eristalis</i>	<i>pertinax</i>	2	0	1	1	4	0	1	9
26	<i>Eristalis</i>	<i>tenax</i> (Scopoli, 1763)	5	1	0	0	0	0	0	6
27	<i>Eristalis</i>	<i>nemorum</i> (Linnaeus, 1758)	8	0	2	0	0	1	0	11
28	<i>Eristalis</i>	<i>arbustorum</i> (Linnaeus, 1758)	4	1	0	0	0	0	0	5
29	<i>Eristalis</i>	<i>intricaria</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	1	0	0	0	0	1
30	<i>Helophilus</i>	<i>pendulus</i> Linnaeus, 1758	32	3	6	1	0	1	2	45
31	<i>Helophilus</i>	<i>trivittatus</i> (Fabricius, 1805)	0	2	0	0	0	0	0	2
32	<i>Helophilus</i>	<i>hybridus</i> Loew, 1846	0	0	2	0	0	0	0	2
33	<i>Heringia</i>	<i>sp.</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
34	<i>Melanostoma</i>	<i>sp.</i>	49	29	28	12	7	13	10	148
35	<i>Myathropa</i>	<i>florea</i> (Linnaeus, 1758)	1	0	0	0	0	0	0	1
36	<i>Pipizella</i>	<i>sp.</i>	2	0	0	0	0	0	0	2
37	<i>Portevinia</i>	<i>maculata</i> (Fallén, 1817)	3	1	0	0	0	1	0	5
38	<i>Rhingia</i>	<i>campestris</i> Meigen, 1822	1	0	2	0	3	0	1	7
39	<i>Riponnensia</i>	<i>splendens</i> (Meigen, 1822)	0	0	0	0	0	1	0	1
40	<i>Scaeva</i>	<i>sp.</i>	1	0	0	0	0	0	0	1
41	<i>Sphaerophoria</i>	<i>scripta</i> (Linnaeus, 1758)	7	0	2	0	0	0	0	9
42	<i>Sphaerophoria</i>	<i>sp.</i>	5	1	2	0	0	0	0	8
43	<i>Syritta</i>	<i>pipiens</i> (Linnaeus, 1758)	2	1	0	0	0	0	0	3
44	<i>Syrphus</i>	<i>ribesii</i> (Linnaeus, 1758)	1	0	0	0	0	0	1	2
45	<i>Volucella</i>	<i>pellucens</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	1	0	4	0	0	5
46	<i>Volucella</i>	<i>bombylans</i> (Linnaeus, 1758)	1	0	0	1	0	0	0	2
47	<i>Xylota</i>	<i>segnis</i> (Linnaeus, 1758)	1	1	0	0	0	0	0	2
48	<i>Xylota</i>	<i>sylvarum</i> (Linnaeus, 1758)	0	1	0	0	0	0	0	1
	Effectifs totaux par zone		148	123	74	26	35	28	35	469

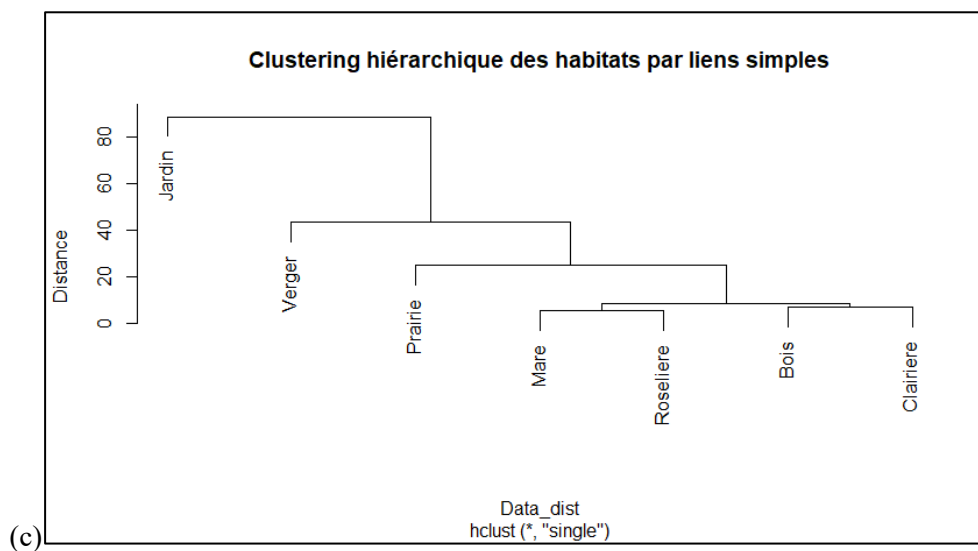
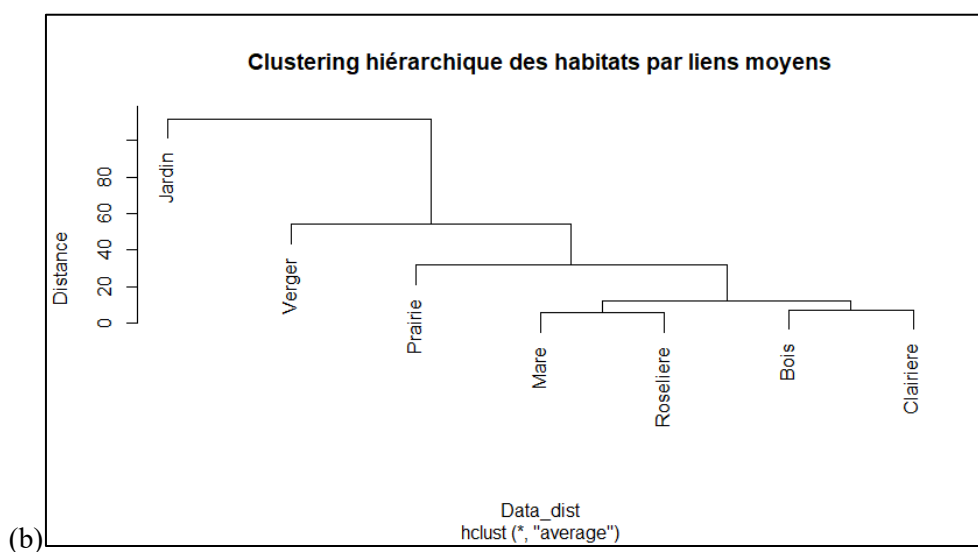
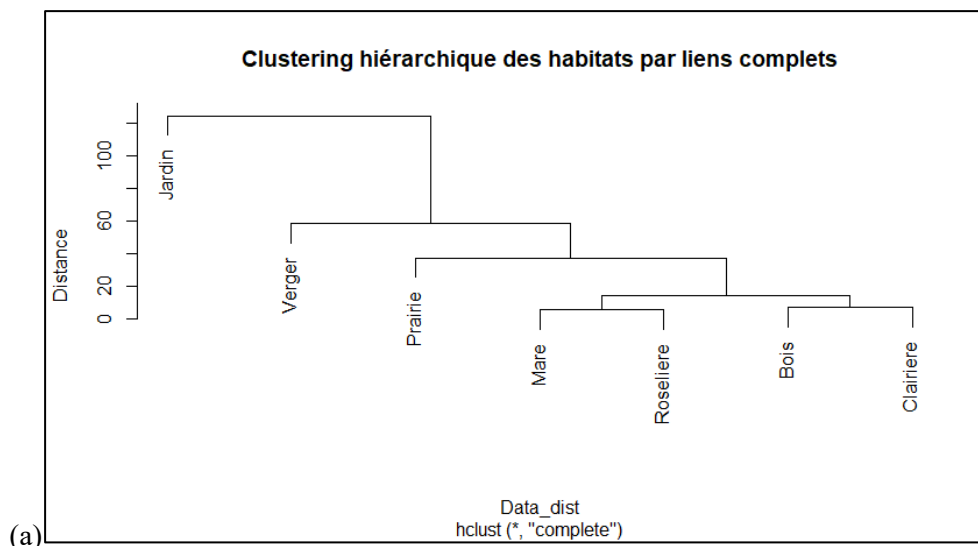
Annexe 6. Abondance des espèces de Cantharidae, Coccinellidae et Syrphidae récoltés par habitat.



Annexe 7. Rangs d'abondance pour chaque famille cible sur le site du Wachnet.



Annexe 8. Pourcentage des variances expliquées en fonction des dimensions, dans le cadre de l'analyse en coordonnées principales.



Annexe 9. Clustering hiérarchique des habitats selon les méthodes de liens complets (a), moyens (b) et simples (c).

N°	Genre	Espèce	2007	2021 (1)	2021 (2)	Total 2021	2023	2024
Syrphidae								
1	<i>Cheilosia</i>	<i>Cheilosia sp.</i>	2,41	0	0,30	0,25	1,28	0,30
2	<i>Episyrphus</i>	<i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer, 1776)	4,22	20,96	0,71	4,53	15,24	6,97
3	<i>Eristalis</i>	<i>Eristalis pertinax</i>	4,46	0	0,51	0,41	0,18	2,73
4		<i>Eristalis tenax</i> (Scopoli, 1763)	7,23	1,31	15,31	12,67	0,79	1,82
5		<i>Eristalis nemorum</i> (Linnaeus, 1758)	2,89	0	11,26	9,14	0,30	3,33
6		<i>Eristalis arbustorum</i> (Linnaeus, 1758)	12,29	0	12,47	10,12	0,61	1,52
7	<i>Helophilus</i>	<i>Helophilus pendulus</i> Linnaeus, 1758	6,63	3,49	13,08	11,28	2,93	13,64
8		<i>Helophilus trivittatus</i> (Fabricius, 1805)	4,94	0,44	14,40	11,77	0,18	0,61
9	<i>Melanostoma</i>	<i>Melanostoma sp.</i>	12,89	2,62	3,35	3,21	0,55	44,85
10	<i>Myathropa</i>	<i>Myathropa florea</i> (Linnaeus, 1758)	1,57	0,87	14,20	11,69	0,37	0,30
11	<i>Rhingia</i>	<i>Rhingia campestris</i> Meigen, 1822	0,12	1,31	0,91	0,99	0,73	2,12
12	<i>Sphaerophoria</i>	<i>Sphaerophoria scripta</i> (Linnaeus, 1758)	7,71	28,38	2,33	7,24	19,15	2,73
13	<i>Syrphus</i>	<i>Syrphus ribesii</i> (Linnaeus, 1758)	0,12	2,18	0	0,41	3,17	0,61
14	<i>Xylota</i>	<i>Xylota segnis</i> (Linnaeus, 1758)	16,51	0,87	7,81	6,50	1,71	0,61
15		<i>Xylota sylvarum</i> (Linnaeus, 1758)	0,84	0,44	2,33	1,98	0,43	0,30

Annexe 10. Espèces de Syrphidae communes pour chaque inventaire depuis 2007 (en %). 2007 (Gama & Francis, 2008), 2021 (1) (Colinet, 2021), 2021 (2) (Lambert, 2022), 2023 (Meyers, 2023).

N°	Genre	Espèce	2007	2021 (1)	2021 (2)	Total 2021	2024
Coccinellidae							
1	<i>Adalia</i>	<i>Adalia bipunctata</i> (Linnaeus, 1758)	11,11	0,85	0	0,66	1,33
2		<i>Adalia decempunctata</i> (Linnaeus, 1758)	3,70	1,71	0	1,32	0
3		<i>Anisosticta novemdecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,85	0	0,66	0
4	<i>Calvia</i>	<i>Calvia quatuordecimguttata</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,85	0	0,66	2,67
5	<i>Coccinella</i>	<i>Coccinella septempunctata</i> Linnaeus, 1758	14,81	17,95	17,14	17,76	70,67
6	<i>Coccinula</i>	<i>Coccinula quatuordecimpustulata</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,85	0	0,66	0
7	<i>Harmonia</i>	<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773)	55,56	31,62	74,29	41,45	14,67
8	<i>Propylea</i>	<i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	14,81	30,77	5,71	25,00	4,00
9	<i>Psyllobora</i>	<i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0	12,82	2,86	10,53	0
10	<i>Tytthaspis</i>	<i>Tytthaspis sedecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0	1,71	0	1,32	6,67

Annexe 11. Espèces de Coccinellidae inventoriées depuis 2007 (en %). 2007 (Gama & Francis, 2008), 2021 (1) (Colinet, 2021), 2021 (2) (Lambert, 2022).