

# Étude de l'influence de la zone refuge des prairies de haute valeur biologique sur les populations de papillons de jour en région liégeoise



Mémoire présenté par Justine Becker

En vue de l'obtention du grade de master en Biologie des Organismes et Écologie à finalité spécialisée en Biologie de la Conservation : Biodiversité et Gestion

Promoteur : Claude Dopagne  
Co-promoteur : Nicolas Magain  
Année académique 2023 - 2024

## Remerciements

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mes deux promoteurs, Monsieur Magain et Monsieur Dopagne, pour leur précieuse contribution tout au long de ce travail. Monsieur Dopagne, merci chaleureusement d'avoir initié ce sujet de recherche. Votre expertise dans le domaine agricole m'a permis d'approfondir mes connaissances et de mieux comprendre l'impact des prairies de haute valeur biologique sur les populations de papillons. Vos conseils avisés, votre disponibilité et votre soutien ont été inestimables.

Monsieur Magain, je vous adresse mes sincères remerciements pour vos relectures minutieuses et vos conseils éclairés. Votre expertise en statistiques a grandement contribué à l'amélioration de ce travail.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers les agriculteurs qui ont généreusement autorisé mes déplacements sur leurs parcelles. Leur collaboration a été essentielle pour la réalisation de cette étude.

Je souhaite aussi remercier l'ensemble des professeurs de l'Université de Liège. Leurs enseignements ont enrichi mes connaissances et m'ont fourni les ressources nécessaires pour mener à bien ce mémoire.

Enfin, une mention spéciale pour mes proches. Leur soutien indéfectible, tant sur le plan personnel que durant mes études, a été un moteur essentiel dans cette aventure académique. Merci également à mes amis, qui ont partagé avec moi des moments précieux pendant les cours et en dehors. Et un immense merci à ma famille, dont le soutien constant m'a permis d'atteindre ce stade de mon parcours.

## Résumé

### Étude de l'influence de la zone refuge des prairies de haute valeur biologique sur les populations de papillons de jour en région liégeoise

Réalisé par Becker Justine, année académique 2023-2024

Promoteurs : Claude Dopagne et Nicolas Magain

Le déclin des insectes pollinisateurs s'accroît avec le temps, menaçant les écosystèmes et l'humanité. Les papillons de jours, bons bioindicateurs, sont souvent étudiés dans ce contexte. Afin d'entraver ce déclin, des méthodes agroenvironnementales et climatiques (MAEC) ont été mises en places. Elles encouragent des pratiques agricoles extensives et durables. Parmi elles, la MC4 : prairies de haute valeur biologique vise à protéger la biodiversité en imposant, par exemple, la création d'une zone refuge non fauchée couvrant environ 10 % de la parcelle.

Afin d'évaluer l'influence de la zone refuge des prairies de haute valeur biologique sur les populations de papillons de jour en région liégeoise, dix parcelles classées en MC4 ont été échantillonnées entre le début juillet 2022 et la mi-juillet 2023. Plusieurs relevés ont été réalisés au sein des dix parcelles afin de couvrir une part maximale des saisons. Des relevés sur les interactions de butinages ont également été réalisés afin de visualiser les réseaux trophiques existants au sein des parcelles.

Les résultats de cette étude montrent une différence notable de richesse spécifique et d'abondance en papillons de jour entre les zones refuges et les zones fauchées. Les zones refuges présentent une plus grande diversité d'espèces et une distribution plus équitable des individus. Certaines espèces sont exclusives à chaque type de zone, soulignant l'importance de ces habitats diversifiés pour maintenir la biodiversité. Les zones refuges offrent nourriture et abri aux chenilles et papillons, favorisant les espèces moins résilientes et soutenant les papillons à faible capacité de dispersion. De plus, la fauche tardive des parcelles contribue également à la diversité des habitats. Cependant, la superficie actuelle des zones refuges ne semble pas suffisante pour accueillir une part significative des papillons présents initialement dans les zones fauchées une fois la fauche effectuée. Les résultats obtenus sont prometteurs, mais il existe une marge de progression afin d'optimiser la conservation des populations de papillons de jour. Des ajustements spécifiques à la mesure actuelle pourraient améliorer son efficacité et favoriser davantage la biodiversité.

## Table des matières

<b>1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Le déclin de la biodiversité</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Le déclin des pollinisateurs</b> .....	<b>2</b>
1.2.1. État des populations.....	2
1.2.2. Causes du déclin.....	2
1.2.3. Conséquences.....	4
<b>1.3. Le déclin des papillons de jour</b> .....	<b>5</b>
1.3.1. Qu'est-ce qu'un papillon de jour?.....	5
1.3.2. État des populations.....	6
1.3.3. Causes du déclin.....	7
1.3.4. En quoi sont-ils utiles?.....	8
<b>1.4. Les aides à la biodiversité</b> .....	<b>9</b>
1.4.1. Le réseau Natura 2000.....	9
1.4.2. Les projets Life.....	10
1.4.3. La PAC et les MAEC.....	11
1.4.3.1. Les prairies de haute valeur biologique (PHVB).....	12
<b>1.5. Objectifs du mémoire</b> .....	<b>14</b>
<b>2. Matériel et méthode</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1. Zone et période d'étude</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2. Méthode d'échantillonnage</b> .....	<b>17</b>
2.2.1. Conditions météorologiques.....	17
2.2.2. Identification et comptage des papillons de jour.....	17
2.2.3. Analyse des interactions plantes-papillons.....	18
2.2.4. Méthodes d'analyse des données.....	19
2.2.4.1. Évolution temporelle des papillons de jour au sein des sites étudiés.....	19
2.2.4.2. Analyse des paramètres météorologiques.....	19
2.2.4.3. Analyse des variations de populations entre les zones refuges et les zones fauchées.....	20
2.2.4.4. Analyse des relations plantes insectes.....	22
<b>3. Résultats</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1. Évolution temporelle des papillons de jour au sein des sites étudiés</b> .....	<b>23</b>
<b>3.2. Analyse des paramètres météorologiques</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3. Analyse de la diversité globale entre les zones refuges et les zones fauchées</b> .....	<b>29</b>
<b>3.4. Analyse des variations de populations entre les zones refuges et les zones fauchées</b> ...	<b>32</b>
<b>3.5. Analyse des relations plantes insectes</b> .....	<b>37</b>
<b>4. Discussion</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1. Évolution temporelle des papillons de jour au sein des sites étudiés en lien avec l'analyse des paramètres météorologiques</b> .....	<b>39</b>
<b>4.2. Analyse de la diversité globale entre les zones refuges et les zones fauchées</b> .....	<b>41</b>
<b>4.3. Analyse des variations de populations entre les zones refuges et les zones fauchées</b> ...	<b>44</b>
<b>4.4. Analyse des relations plantes insectes</b> .....	<b>45</b>
<b>5. Conclusion</b> .....	<b>49</b>
<b>6. Bibliographie</b> .....	<b>51</b>
<b>7. Annexes</b> .....	<b>57</b>

## Table des figures :

Figure 1 : Évolution de l'indice d'abondance des populations de papillons entre 1990 et 2018 dans les pays de l'Union Européenne (Warren, et al., 2021). .....	6
Figure 2 : Évolution de l'indice d'abondance des populations de papillons généralistes (en rouge) et spécialistes (en bleu) entre 1976 et 2018 aux îles britanniques (Warren, et al., 2021). .....	6
Figure 3 : Évolution de la richesse spécifique des populations de papillons à l'intérieur et à l'extérieur des sites Natura 2000 (Rada, et al., 2019). .....	9
Figure 4 : Évolution du taux de participation et du nombre de producteurs engagés dans au moins une MAEC entre 1998 et 2022 (État de l'environnement wallon, 2023). .....	11
Figure 5 : Aperçu de la zone refuge d'une prairie échantillonnée (Malchamps_14582) (Photos © J. Becker). .....	13
Figure 6 : Situation géographiques des parcelles étudiées. ....	15
Figure 7 : A. Machaon ( <i>Papilio machaon</i> ) butinant une Centaurée jacée ( <i>Centaurea jacea</i> ). B. Carte géographique ( <i>Araschnia levana</i> ) butinant une Cirse des champs ( <i>Cirsium arvense</i> ) (Photos © J. Becker). .....	18
Figure 8 : Évolution de l'abondance totale en papillons de jour à l'hectare dans les zones fauchées des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023. En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy. ....	24
Figure 9 : Évolution de l'abondance totale en papillons de jour à l'hectare dans les zones refuges des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023. En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy. ....	24
Figure 10 : Évolution de l'abondance totale en papillons de jour dans les zones fauchées des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023 (graphique non rapporté à l'hectare). En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy. ....	25
Figure 11 : Évolution de l'abondance totale en papillons de jour dans les zones refuges des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023 (graphique non rapporté à l'hectare). En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy. ....	25
Figure 12 : Évolution de la richesse spécifique des papillons de jour à l'hectare dans les zones fauchées des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023. En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy. ....	27
Figure 13 : Évolution de la richesse spécifique des papillons de jour à l'hectare dans les zones refuges des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023. En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy. ....	27
Figure 14 : Évolution de la richesse spécifique des papillons de jour dans les zones fauchées des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023 (graphique non rapporté à l'hectare). En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve	

les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy. ....	28
Figure 15 : Évolution de la richesse spécifique des papillons de jour dans les zones refuges des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023 (graphique non rapporté à l'hectare). En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy. ....	28
Figure 16 : A. Boîtes à moustaches représentant l'abondance en fonction des zones B. Boîtes à moustaches représentant la richesse spécifique en fonction des zones. La ligne noire correspond à la médiane, Les bords inférieur et supérieur de la boîte correspondent aux 1 <sup>er</sup> et 3 <sup>ème</sup> quartiles. La boîte représente l'écart interquartile. Les lignes qui s'étendent au-delà de la boîte (pointillées) sont les moustaches qui indiquent la variation attendue des données. ....	30
Figure 17 : A. Boîtes à moustaches représentant les valeurs de l'indice de diversité de Simpson en fonction des zones B. Boîtes à moustaches représentant les valeurs de l'indice de diversité de Shannon en fonction des zones. La ligne noire correspond à la médiane, Les bords inférieur et supérieur de la boîte correspondent aux 1 <sup>er</sup> et 3 <sup>ème</sup> quartiles. La boîte représente l'écart interquartile. Les lignes qui s'étendent au-delà de la boîte (pointillées) sont les moustaches qui indiquent la variation attendue des données. Les valeurs situées au-delà des moustaches sont considérées comme des valeurs aberrantes. ....	31
Figure 18 : Comparaison des zones refuges et fauchées par les courbes de raréfactions (lignes pleines) et d'extrapolation (lignes en pointillées) basées sur la tailles de l'échantillon et basées sur les données d'abondance des papillons de jours. Chaque panneau représente les nombres de Hill d'ordre N=0 (richesse spécifique), N=1 (indice de Shannon) et N=2 (indice de Simpson).....	32
Figure 19 : Analyse en coordonnées principales (ACoP) à partir des données d'abondance des espèces de papillons de jour : répartition des stations selon leur composition en espèces en fonction des deux premières dimensions - mise en évidence des zones refuges et fauchées. Les zones et les stations sont représentées par un nuage de points en deux dimensions et leur position est fonction des espèces composant leurs communautés. Les analyses en composantes principales ont été représentées selon leurs deux premières composantes principales correspondant aux dimensions 1 et 2 expliquant une part importante de la variance. Les points bleus correspondent aux zones fauchées, les points rouges correspondent aux zones refuges, les ellipses correspondent aux intervalles de confiance pour les groupes (zones fauchées et refuges). ....	33
Figure 20 : Analyse en coordonnées principales (ACoP) à partir des données d'abondance des espèces de papillons de jour : répartition des stations avec ajout des variables espèces. Les zones et les stations sont représentées par un nuage de points en deux dimensions et leur position est fonction des espèces composant leurs communautés. Les analyses en composantes principales ont été représentées selon leurs deux premières composantes principales correspondant aux dimensions 1 et 2 expliquant une part importante de la variance. Les points bleus correspondent aux zones fauchées, les points rouges correspondent aux zones refuges, les flèches représentent les variables espèces (uniquement celles ayant une corrélation avec les deux premières dimensions supérieures à 0.7). Ces flèches indiquent la direction et la force de la corrélation entre les espèces illustrées et les axes principaux. ....	34
Figure 21 : Analyse en coordonnées principales (ACoP) à partir des données d'abondance des espèces de papillons de jour : répartition des stations selon leur composition en espèces en fonction des deux premières dimensions - mise en évidence de la localisation des parcelles. Les zones et les stations sont représentées par un nuage de points en deux dimensions et leur position est fonction des espèces composant leurs communautés. Les analyses en composantes principales ont été représentées selon leurs deux premières composantes	

principales correspondant aux dimensions 1 et 2 expliquant une part importante de la variance. Les points rouges correspondent aux parcelles de la commune de Malmedy, les points verts correspondent aux parcelles de la commune de Lierneux, les points roses correspondent aux parcelles de la commune de Plombières, les points orange correspondent aux parcelles de la commune de Spa, les points bleus correspondent aux parcelles de la commune de Ferrières. .... 35

Figure 22 : Boîtes à moustaches de l'abondances des 4 espèces de papillons de jour en fonction des zones refuges et fauchées A. *Maniola jurtina* B. *Aphantopus hyperantus* C. *Thymelicus lineola* D. *Pieris napi*. La ligne noire correspond à la médiane. Les bords inférieur et supérieur de la boîte correspondent aux 1er et 3ème quartiles. La boîte représente l'écart interquartile. Les lignes qui s'étendent au-delà de la boîte (pointillées) sont les moustaches qui indiquent la variation attendue des données. Les valeurs situées au-delà des moustaches sont considérées comme des valeurs aberrantes. .... 36

Figure 23 : Diagramme de Sankey illustrant les relations de butinage entre diverses espèces de papillons de jour (à gauche) et de plantes à fleurs (à droite). Entre parenthèses se trouve le nombre d'observations où l'espèce a été identifiée en train de butiner ou d'être butinée. .... 38

Figure 24 : A. Diagramme de Sankey illustrant les relations de butinage entre diverses espèces de papillons de jour (à gauche) et la couleur des fleurs (blanche, mauve, bleue, jaune) (à droite). B. Diagramme de Sankey illustrant les relations de butinage entre diverses espèces de papillons de jour (à gauche) et la forme des fleurs (dialypétale, ligulée, composée, bilabée, papilionacée) (à droite). Entre parenthèses se trouve le nombre d'observations où l'espèce a été identifiée en train de butiner ou d'être butinée. .... 39

## Table des tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques des parcelles étudiées. ....	16
Tableau 2 : Résultats des Glm indiquant l'impact des facteurs environnementaux (température et humidité) sur la richesse spécifique en papillons de jour des prairies étudiées. ....	29
Tableau 3 : Résultats des Glm indiquant l'impact des facteurs environnementaux (température et humidité) sur l'abondance en papillons de jours des prairies étudiées. ....	29
Tableau 4 : Résultats des tests de Wilcoxon signés-rangés ainsi que la p-valeur, la moyenne et l'écart-type de la richesse spécifique, l'abondance, l'indice de Simpson et l'indice de Shannon. ....	30
Tableau 5 : Résultats des tests de Wilcoxon signés-rangés ainsi que la p-valeur, la moyenne et l'écart-type de l'abondance de quatre espèces de papillons de jour ( <i>Maniola jurtina</i> , <i>Aphantopus hyperantus</i> , <i>Thymelicus lineola</i> , <i>Pieris napi</i> ). ....	36

# 1. Introduction

## 1.1. Le déclin de la biodiversité

Nous sommes actuellement dans l'anthropocène, cette ère est définie par l'influence non négligeable de l'être humain sur les écosystèmes qui l'entourent. La vie sur Terre a connu 5 extinctions de masse au cours desquelles la majorité de la biodiversité a péri. Actuellement nous sommes dans la 6<sup>ème</sup> extinction de masse qui a la particularité de se produire plus rapidement que les 5 précédentes (De Vos, Joppa, Gittleman, Stephens, & Pimm, 2015). Les taux estimés d'extinction actuels des vertébrés sont estimés 100 fois plus élevés que les taux d'extinction naturels (Ceballos, et al., 2015). Quant aux taux globaux d'extinctions mesurés, ils sont plus élevés que pour les 5 extinctions précédentes. Ce déclin concerne le nombre d'espèces mais également l'abondance des individus au sein des populations (Young, McCauley, Galetti, & Dirzo, 2016; Ceballos, Ehrlich, & Dirzo, 2017).

L'origine de ce déclin massif de la biodiversité est multiple. La cause principale de ce déclin est la perte d'habitat réduisant l'aire de répartition de nombreuses espèces et par conséquent réduisant leurs populations. Le déclin de ces populations affecte le fonctionnement des écosystèmes qui se définissent justement par les interactions entre les différentes espèces. Dès lors qu'une espèce diminue drastiquement, voire disparaît totalement, le fonctionnement de l'écosystème tout entier est mis en péril ainsi que les services écosystémiques rendus aux humains (Ceballos, Ehrlich, & Dirzo, 2017).

Ces pertes d'habitats sont causées par l'homme et ses pratiques d'exploitation des terres, d'exploitation des animaux, son mode de vie et sa croissance démographique ; qui induisent des modifications climatiques et diverses pollutions (Young, McCauley, Galetti, & Dirzo, 2016; Ceballos, Ehrlich, & Dirzo, 2017). Concernant les espèces terrestres, les principales menaces sont les suivantes : la modification et l'exploitation des milieux, l'arrivée d'espèces invasives, la pollution des milieux et le changement climatique (Young, McCauley, Galetti, & Dirzo, 2016).

En plus de la diminution des ressources inspirantes et esthétiques de la planète, ce déclin généralisé des populations aura un impact non négligeable sur les activités humaines. En effet la nature offre de nombreux services écosystémiques à l'humanité, qui en l'absence de ces derniers va devoir redoubler d'efforts afin de maintenir ses civilisations (Ceballos, Ehrlich, & Dirzo, 2017).

La plupart de ces taux d'extinctions sont basés sur l'évolution des populations de vertébrés. Les populations d'invertébrés sont quant à elles moins bien documentées. Il est donc plus complexe de connaître l'état des diverses populations d'invertébrés. Cependant, dans la documentation actuelle, l'étude des invertébrés prend une place grandissante, permettant à l'IUCN de classer 42% des espèces d'invertébrés étudiées comme menacées d'extinction (Young, McCauley, Galetti, & Dirzo, 2016).

D'autres études ont démontré qu'il existe un déclin global de 45% de l'abondance des invertébrés entre 1970 et 2014 (Dirzo, et al., 2014).

## 1.2. Le déclin des pollinisateurs

### 1.2.1. État des populations

Les populations de pollinisateurs à travers le monde sont en bien mauvaise posture. Un déclin préoccupant de ces populations depuis des décennies a été mis en lumière par de nombreuses études. La diversité et l'abondance des abeilles sauvages et des syrphes a baissé dans toute l'Europe (Biesmeijer, et al., 2006; Keil, Biesmeijer, Barendregt, Reemer, & Kunin, 2011). Les abeilles mellifères déclinent dans toute l'Europe ainsi qu'en Amérique du Nord (Potts, et al., 2010; vanEngelsdorp, Hayes, Underwood, Caron, & Pettis, 2011). Les aires de répartition et l'abondance de nombreuses espèces de papillons et de bourdons ont considérablement baissé conduisant dans certains cas à l'extinction de certaines espèces dans l'hémisphère nord (Warren, et al., 2001; Foristera, et al., 2010; Bommarco, Lundin, Smith, & Rundlöf, 2012; Lozier, Strange, Stewart, & Cameron, 2011).

Dans le but d'entraver ce déclin, des zones protégées ont été créées. Leur objectif est de conserver des milieux de vie favorables à la reproduction et à la vie des insectes afin d'obtenir une croissance de leurs populations. Cependant, une récente étude réalisée en Allemagne a démontré que les efforts mis dans ces zones protégées permettent un maintien des faibles populations existantes mais ne suffisent pas à les faire croître alors que c'est le but recherché (Mühlethaler, et al., 2024). D'autres études ont également démontré une baisse du déclin des pollinisateurs suite à la mise en place de mesures de protection envers les pollinisateurs et leur habitat. Cependant, ces résultats demeurent bien en dessous des objectifs établis lors de la convention de Rio en 1992. Il est donc important de continuer les efforts fournis et d'en réaliser davantage si l'humanité veut préserver ces populations de pollinisateurs (Potts, et al., 2015).

### 1.2.2. Causes du déclin

Les causes du déclin des pollinisateurs sont multiples et sont majoritairement dues aux pressions anthropiques. Parmi elles, les principales causes de ce déclin sont : le changement climatique, l'intensification de l'utilisation des terres agricoles ainsi que la prolifération des espèces exotiques et des espèces de ravageurs ou d'agents pathogènes (Vanbergen & Initiative, 2013).

Concernant le changement climatique, il influence les aires de répartition des plantes et des pollinisateurs. Ces changements qui entraînent des déplacements de populations augmentent le risque de déclin voire le risque d'extinction de certains pollinisateurs. Les variations des aires de répartition peuvent perturber la synchronisation entre la floraison des plantes et les périodes de vol des pollinisateurs. Cette perturbation de la synchronisation peut impacter certaines espèces végétales, notamment les espèces végétales les plus spécialisées. Certaines espèces plus flexibles s'adaptent à ce changement et parviennent à maintenir les interactions existantes avec les pollinisateurs. Certaines espèces bénéficient même de ces mouvements de populations en interagissant avec de nouveaux pollinisateurs (Vanbergen & Initiative, 2013; Potts, et al., 2015).

Deux facteurs liés à l'intensification de l'utilisation des terres, jouent un rôle important dans le déclin des populations de pollinisateurs. Il s'agit de l'urbanisation croissante et de l'agriculture intensive. Ces activités mènent à une fragmentation et à la perte des habitats naturels des pollinisateurs et par conséquent à la perte des ressources qu'ils leur fournissent telles que des lieux de reproduction et d'alimentation. Les espèces spécialistes de pollinisateurs sont davantage vulnérables face à ces altérations environnementales. Les espèces généralistes quant à elles se portent un peu mieux grâce à leurs capacités d'adaptation à des variations de facteurs environnementaux plus développées (Vanbergen & Initiative, 2013; Potts, et al., 2015; Luppi, Dondina, Orioli, & Bani, 2018). L'usage répandu de pesticides au sein de l'agriculture intensive aggrave davantage la situation. Les pesticides systémiques, tels que les néonicotinoïdes, ont la capacité de s'accumuler dans le nectar et le pollen des plantes. Lorsque les pollinisateurs s'en nourrissent, des altérations de leur comportement et de leur santé peuvent se produire. D'autres produits nocifs aux pollinisateurs sont également utilisés lors des approches de lutte intégrée contre les ravageurs. Ces produits chimiques peuvent avoir des répercussions négatives sur les pollinisateurs (Vanbergen & Initiative, 2013). Une part importante de ces produits sont volatiles et ne s'arrêtent pas aux limites des parcelles pulvérisées. Ils peuvent alors se retrouver dans des zones protégées, or ces zones ont pour but de recréer un lieu de vie idéal pour les insectes. Dans ces zones protégées se trouvent les plus hautes biodiversité d'insectes. Cette dérive peut avoir un impact négatif sur ces zones dont l'objectif premier est la conservation des pollinisateurs (Mühlethaler, et al., 2024).

Quant aux espèces végétales non indigènes, elles peuvent influencer les interactions plantes-pollinisateurs. Elles fournissant des ressources alimentaires abondantes disponibles pour les pollinisateurs au détriment des espèces indigènes dont les ressources sont parfois plus faibles. Un

déséquilibre peut alors se créer en favorisant la pollinisation de certaines populations. Les pollinisateurs exotiques, introduits accidentellement ou pour des besoins agricoles, peuvent perturber les communautés de pollinisateurs indigènes. Ils peuvent concurrencer les insectes locaux pour les ressources ou propager des ravageurs et des maladies (Vanbergen & Initiative, 2013; Potts, et al., 2015). Or il est important de prendre en compte que les différents pollinisateurs ont des rôles spécifiques au sein de la nature. C'est pourquoi il est important de tenter de conserver une biodiversité maximale afin qu'aucun rôle ne disparaisse (Rader, et al., 2016).

L'arrivée d'une nouvelle faune et flore non indigène sur un territoire peut également amener diverses maladies et/ou ravageurs. Les pollinisateurs endémiques ne sont pas toujours armés pour combattre ces derniers ce qui peut causer un déclin important de leurs populations. Par exemple, le déclin des populations d'abeilles mellifères dans les pays développés est en grande partie dû aux ravageurs et aux agents pathogènes, notamment à l'acarien *Varroa destructor* vecteur de nombreux virus (Vanbergen & Initiative, 2013).

### 1.2.3. Conséquences

La disparition des pollinisateurs aurait des répercussions graves tant sur les écosystèmes que sur la santé humaine. Ces pollinisateurs jouent un rôle crucial dans la pollinisation de nombreuses cultures, ce qui accroît les rendements et la variété des aliments disponibles pour l'alimentation humaine (Vanbergen & Initiative, 2013). Les pollinisateurs ont un impact certain sur la capacité de l'homme à nourrir toutes ses populations. En effet, il a été prouvé qu'environ un tiers de notre alimentation provient de cultures pollinisées. Les pollinisateurs permettent également d'améliorer la qualité et/ou la quantité de fruits ou de graines produites par une part importante de ces cultures (Aizen, Garibaldi, Cunningham, & Klein, 2009; Rader, et al., 2016). Si les pollinisateurs venaient à disparaître, toutes ces cultures dépendantes de ceux-ci pourraient disparaître ou nécessiteraient une pollinisation technique réalisée par l'homme. Cette pollinisation technique augmenterait la dépendance de l'agriculture à la mécanisation ou à diverses technologies. La baisse de productivité de ces cultures suite à la perte des pollinisateurs devrait être compensée par une augmentation de l'utilisation d'intrants ou l'augmentation en nombre et en superficie des terres agricoles, entraînant d'autres conséquences sur l'environnement et la qualité des produits (Aizen, Garibaldi, Cunningham, & Klein, 2009).

Sur le long terme, un déclin trop important des pollinisateurs engendrerait diverses pénuries alimentaires. Ce déclin pourrait également impacter négativement la santé humaine, principalement dans les pays en voie de développement où les cultures colonisées sont une source inestimable de

nourriture et de revenus économiques pour le pays ainsi que pour ses habitants (Vanbergen & Initiative, 2013).

De plus, les divers environnements qui peuplent la planète dépendent directement des pollinisateurs pour la reproduction des différentes végétations. Les plantes étant à la base de nombreuses chaînes alimentaires, de nombreux écosystèmes seraient mis en péril ainsi que les nombreux services écosystémiques rendus par ceux-ci (Aizen, Garibaldi, Cunningham, & Klein, 2009). Le déclin des pollinisateurs met donc en péril la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes, surtout dans les zones tropicales où la dépendance à la pollinisation animale est la plus forte. Les répercussions écologiques pourraient également entraver la recherche médicale et les industries des compléments alimentaires, qui dépendent des plantes tropicales. En conclusion, la préservation des pollinisateurs est indispensable pour préserver la santé des écosystèmes et des populations humaines.

### 1.3. Le déclin des papillons de jour

#### 1.3.1. Qu'est-ce qu'un papillon de jour?

L'ordre des Lépidoptères étaient anciennement divisé en deux sous-ordres. Le premier sous-ordre des Rhopalocères qui correspondent aux papillons de jour et qui reprenaient les familles suivantes : les Nymphalidae, les Pieridae, les Lycaenidae et les Hesperidae. Les Rhopalocères se distinguent par leurs antennes en massue. Le deuxième sous-ordre des Hétérocères qui correspondaient aux papillons de nuit et qui reprenaient les familles suivantes : les Noctuidae, les Sphingidae, les Geometridae et les Saturniidae. Les termes Rhopalocères et Hétérocères correspondent à l'ancienne classification taxonomique utilisée pour les papillons mais sont toujours utilisés sur le terrain par praticité (Fichet, et al., 2008). La nouvelle classification reprend trois super familles, les Papilionoidea, les Hesperioidea et les Noctuoidea, ainsi que 3 familles : les Nymphalidae, les Pieridae et les Lycaenidae. Ce sont des insectes dont l'espèce est facilement distinguable grâce à leurs couleurs vives et aux divers motifs qu'ils portent sur leurs ailes (Thomas, 2016; Warren, et al., 2021). Cette facilité d'identification fait de ce groupe d'insectes l'un des plus étudié et documenté. Leur beauté les rend très populaires auprès du grand public, ce qui permet une sensibilisation et une communication efficace (van Swaay, et al., 2016)

### 1.3.2. État des populations

Il existe un déclin alarmant des populations de papillons de jour en Europe.

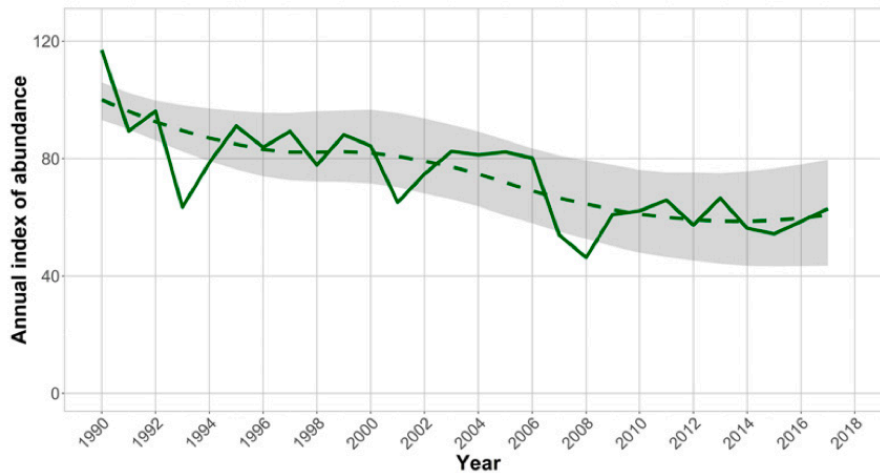


Figure 1 : Évolution de l'indice d'abondance des populations de papillons entre 1990 et 2018 dans les pays de l'Union Européenne (Warren, et al., 2021).

Ce déclin concerne de nombreux pays européens. En France métropolitaine, la baisse des effectifs de papillons est d'environ de 40 % depuis les années 1990. Au Royaume-Uni, 8 % des espèces résidentes de papillons ont disparu et le nombre total de papillons a chuté d'environ 50 % depuis 1976. Aux Pays-Bas, 20 % des espèces de papillons ont disparu et le nombre global de papillons a également diminué de 50 % depuis 1990. En Belgique (Flandre), 20 espèces de papillons ont disparu, représentant une baisse de 29 %, et leur nombre global a diminué d'environ 30 % entre 1992 et 2007. L'indicateur européen des populations de papillons de prairie montre un déclin de 36 % des populations dans 16 pays européens depuis 1990 (van Swaay, et al., 2022). La Liste rouge des papillons européens répertorie 38 espèces (8 %) comme menacées et 44 espèces (10 %) comme quasi menacées (Houard & Jaulin, 2018; Warren, et al., 2021).

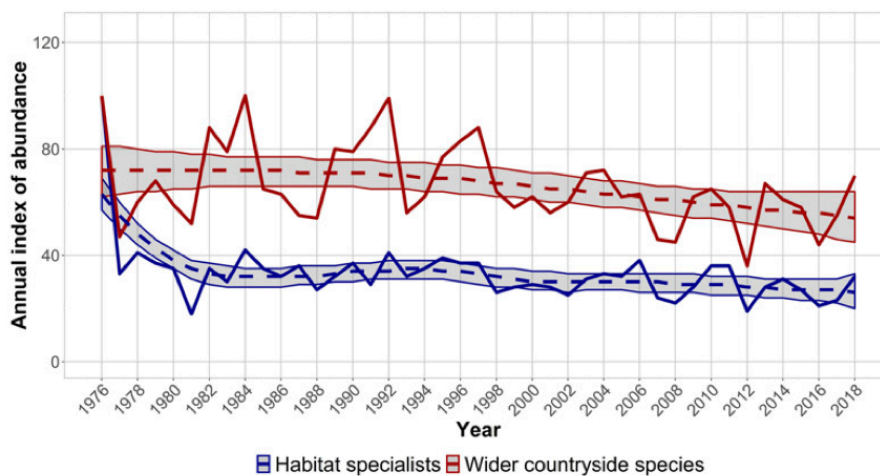


Figure 2 : Évolution de l'indice d'abondance des populations de papillons généralistes (en rouge) et spécialistes (en bleu) entre 1976 et 2018 aux îles britanniques (Warren, et al., 2021).

Toutes les espèces ne réagissent pas de manière identiques aux diverses pressions exercées. Il existe des différences importantes entre les populations d'espèce généralistes et les populations d'espèces spécialistes (Thomas, 2016; Habel, et al., 2016). Le Royaume-Uni a enregistré une diminution globale d'environ 50 % de l'abondance des papillons depuis 1976. Les espèces spécialistes ont décliné de 68 %, tandis que les espèces plus généralistes ont décliné de 30 % depuis le milieu des années 1990. Aux Pays-Bas, où l'indice d'abondance des papillons a également chuté de près de 50 % depuis 1990, le déclin des espèces spécialistes est plus prononcé également. Les résultats révèlent que les espèces rares et sédentaires, ainsi que celles habitant des biotopes oligotrophes, ont subi un déclin plus marqué par rapport aux espèces plus communes, mobiles et évoluant dans des biotopes eutrophes. Le déclin des papillons des prairies en Europe, avec une baisse de 36 % de leur abondance depuis 1990, indique une détérioration inquiétante de leurs habitats (van Swaay, et al., 2022). La mise en lumière de ces différences entre les espèces spécialistes et les espèces généralistes semble indiquer que les comportements ainsi que les différentes caractéristiques écologiques d'une espèce peuvent influencer l'évolution de sa population face aux diverses pressions (Thomas, 2016; Warren, et al., 2021).

### 1.3.3. Causes du déclin

Les causes principales du déclin des papillons sont les suivantes : la destruction de leur habitat, l'usage de pesticides et les atteintes à leur capacité de dispersion (Houard & Jaulin, 2018). L'intensification de l'utilisation des terres, principalement pour l'agriculture, est reconnue comme la principale cause du déclin des populations de papillons et des modifications dans la composition de leurs communautés (Thomas, 2016; Kolkman, Dopagne, & Piqueray, 2022). La perte d'habitats de reproduction essentiels, remplacés par des cultures, des prairies semées, et autres, est un facteur clé de ce déclin. Ces modifications de l'utilisation des terres ont conduit à la disparition de nombreuses prairies traditionnelles riches en espèces végétales nécessaires aux papillons. Les papillons vivent dans des populations fermées généralement de petite taille. Leur dispersion étant assez faible (1 à 2km si aucune connexion entre deux milieux d'intérêt n'existe), la perte des prairies qui les accueillent rend la colonisation d'autres habitats complexe suite au manque de connexion entre les sites potentiels (Thomas, 2016). Ce manque de connexion combinée à l'augmentation de la fragmentation des habitats augmente alors les distances entre les sites utiles. Les papillons peuvent alors s'épuiser et certains n'arrivent jamais à destination (Lebeau, Wesselingh, & Dyck, 2016). De plus, certaines larves de papillons sont assez spécialistes et ne se nourrissent que d'une espèce végétale ou d'un nombre restreint d'espèces végétales. Or la perte des plantes hôtes peut amener un fort déclin de ces populations de papillons spécialistes. Ces observations révèlent une tendance vers des populations de

papillons plus mobiles et généralises ainsi qu'une perte d'espèces spécialistes, accentuant ainsi les défis de conservation (Thomas, 2016).

L'impact des insecticides sur les papillons est peu documenté mais certaines études montrent que les néonicotinoïdes impactent négativement certaines espèces de papillons comme le Monarque (*Danaus plexippus*) et qu'il existe un lien entre la présence de ces néonicotinoïdes et le déclin des populations de papillons (Halsch, et al., 2020; Warren, et al., 2021).

Le changement climatique s'ajoute également aux problématiques précédentes. L'augmentation de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleurs et les sécheresses contribuent au déclin des populations de papillons de prairie (Habel, et al., 2016; van Swaay, et al., 2022).

#### 1.3.4. En quoi sont-ils utiles ?

Les papillons, souvent étudiés et admirés pour leur esthétique, jouent un rôle essentiel en tant qu'indicateurs environnementaux. Ils représentent de bons bioindicateurs grâce à leur sensibilité aux variations climatiques et leur exigence d'une bonne qualité de leur milieu de vie. Les papillons de jour sont qualifiés d'espèces parapluies signifiant que lorsqu'ils sont protégés ou que leur habitat est protégé, cette protection s'applique également aux espèces qui interagissent avec eux ou avec leur habitat (Dopagne, 2016; Houard & Jaulin, 2018; Warren, et al., 2021). En Europe, un indicateur de biodiversité appelé « EU Grassland Butterfly Indicator » a été développé pour 17 espèces réparties dans 16 pays de l'UE, incluant la France et la Belgique. Cet indicateur de biodiversité a pour but d'évaluer l'état des populations de papillons de jour des prairies. Il se base sur les fluctuations de fond des populations de papillons et fournit des informations sur les tendances de la biodiversité des prairies. Il sert également à évaluer l'efficacité des mesures de conservation mises en place pour protéger ces habitats et les espèces qui en dépendent (van Swaay, et al., 2016; van Swaay, et al., 2022). En général, les papillons constituent une source importante de nourriture pour les oiseaux, notamment en période de nidification. Ils contribuent à diverses chaînes trophiques et donc au fonctionnement global des écosystèmes ainsi qu'aux services délivrés par ceux-ci. Leur importance pour les humains réside principalement dans leur attrait esthétique et leur rôle en tant qu'indicateurs de la biodiversité bien qu'ils jouent un rôle dans la pollinisation de certaines plantes (Thomas, 2016).

## 1.4. Les aides à la biodiversité

### 1.4.1. Le réseau Natura 2000

Le réseau européen Natura 2000 a pour objectif de préserver ou réhabiliter les habitats et les populations d'espèces sauvages. Pour ce faire, une série de sites protégés répartis dans toute l'Union Européenne a été mise en place. Ces sites sont dédiés à la préservation d'une variété d'espèces et d'habitats naturels. Les activités humaines dans ces zones sont strictement réglementées afin d'assurer la sauvegarde des écosystèmes fragiles et des espèces en danger (La biodiversité en Wallonie, sd; European Commission, sd).

Ce réseau est fondé sur deux directives principales : la Directive "Oiseaux" mise en place en 1979 et la Directive "Habitats" mise en place en 1992. Ces directives imposent aux États membres de l'UE diverses obligations en matière de protection d'habitats naturels et de la biodiversité. Notamment la création de Zones de Protection Spéciale (ZPS) ou de Zones Spéciales de Conservation (ZSC), ainsi que la gestion, l'entretien et la restauration des habitats dégradés, tout en favorisant la création de nouveaux environnements propices (La biodiversité en Wallonie, sd; European Commission, sd).

Afin d'intégrer le réseau Natura 2000 à la loi belge, une modification de la Loi de la Conservation de la Nature a eu lieu en 2001. Suite à cette modification, les sites Natura 2000 wallons ont été définis entre 2002 et 2005. Ces sites sont inventoriés et cartographiés afin d'identifier les enjeux biologiques de chaque site et de déterminer les différentes mesures de préservation à y mettre en place. Chaque site est soumis à un arrêté qui précise ses enjeux écologiques et les mesures préventives qui y sont applicables afin d'anticiper et d'éviter au maximum toute détérioration de leur état de conservation (Etat de l'environnement wallon, 2018; La biodiversité en Wallonie, sd).

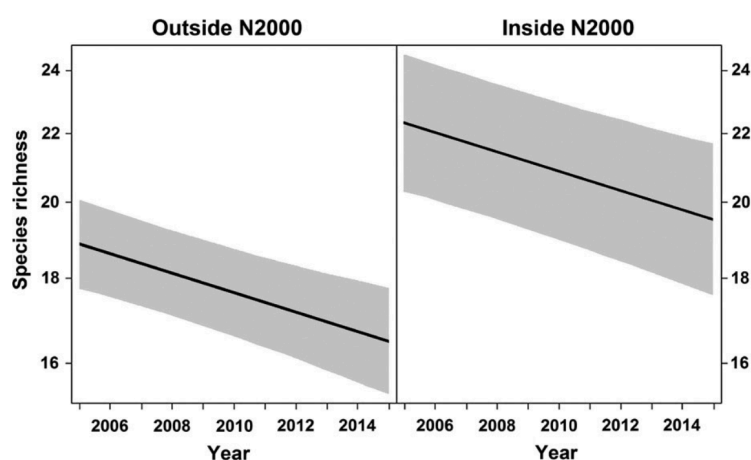


Figure 3 : Évolution de la richesse spécifique des populations de papillons à l'intérieur et à l'extérieur des sites Natura 2000 (Rada, et al., 2019).

Les zones Natura 2000 représentent des milieux importants pour les papillons. En effet, diverses études démontrent que la richesse spécifique en papillons est plus importante au sein des sites Natura 2000 qu'au sein des zones non protégées (Jones-Walters, et al., 2016; Rada, et al., 2019). Le réseau Natura 2000 est une aide précieuse pour les populations de papillons de prairie (van Swaay, et al., 2022). Cependant, actuellement ces zones Natura 2000 ne suffisent pas pour entraver le déclin des papillons dont les populations continuent de chuter également au sein de ces sites (figure 3) (Rada, et al., 2019).

En Wallonie, le réseau Natura 2000 s'étend sur 13 % de son territoire. Parmi les papillons qu'on y trouve, seules 4 espèces de papillons diurnes sont concernées par la directive « Habitat » : le Damier de la succise (*Euphydryas aurinia*), le Cuivré des marais (*Lycaena dispar*), le Cuivré de la bistorte (*Lycaena helle*) et l'Azuré du serpolet (*Maculinea arion*) (Wibail, et al., 2014).

#### 1.4.2. Les projets LIFE

L'Instrument Financier pour l'Environnement (LIFE) est un mécanisme de l'Union européenne. Il finance des actions en faveur de la nature, de l'environnement ainsi que des actions climatiques sous la forme de projets du réseau Natura 2000. Dans le cadre de ces projets, diverses actions sont réalisées telles que la restauration d'habitats, l'acquisition de terrains, la sensibilisation du public, l'aménagement d'infrastructures dans les zones protégées et la mise en place de stratégies de conservation (van Swaay, et al., 2010; La biodiversité en Wallonie, 2011).

Ces projets ont pour objectif de préserver certaines espèces ou certains milieux ciblés. Parmi eux, 46 projets étaient axés sur la préservation des papillons. Ces 46 projets ciblaient 13 espèces de papillons différentes. Cependant, il existe également d'autres projets dont l'objectif principal n'est pas la protection de papillons mais dont les aménagements réalisés impactent positivement ces derniers (van Swaay, et al., 2010).

Un projet initié en 2009 par Natagora et par la Wallonie visait la restauration d'habitats des trois espèces prioritaires de papillons en Wallonie. Ces 3 espèces prioritaires sont : le Cuivré de la Bistorte (*Lycaena helle*), le Cuivré des marais (*Lycaena dispar*) et le Damier de la succise (*Euphydryas aurinia*) car ces dernières sont des espèces parapluies. Pour ce faire, quatre axes principaux d'intervention ont été mis en place : la protection des sites les plus fragiles, la réhabilitation d'habitats favorables aux papillons, la sensibilisation et l'éducation des autorités locales ainsi que du public à la diversité des papillons de jour. Ce projet s'est fini en 2015 avec des résultats encourageants (LIFE Papillons, 2015).

### 1.4.3. La PAC et les MAEC

La politique agricole commune (PAC) est une politique mise en place par l'Union Européenne qui impose des règles et des réglementations concernant l'alimentation, l'environnement et l'espace rural à tous les états membres de l'Union Européenne. Ses objectifs principaux sont d'assurer une production agricole suffisante, de maintenir la stabilité des prix des produits agricoles ainsi qu'un niveau de vie équitable pour les agriculteurs, et de garantir la sécurité alimentaire au sein de l'Union Européenne. Elle a également pour but de participer à la lutte contre le changement climatique, d'avoir une gestion durable des ressources naturelles, de conserver et protéger les zones rurales et les paysages ruraux, de maintenir l'économie rurale en favorisant l'emploi dans le domaine de l'agriculture, de l'industrie agroalimentaire et des secteurs associés (Commission européenne, sd). L'un des modes de fonctionnement de cette politique agricole commune est de mettre des subventions à disposition des agriculteurs. Ces subventions sont des rémunérations proposées en échange d'un mode de culture bien spécifique, la plupart du temps en faveur de la biodiversité ou d'une baisse des pollutions émises par l'agriculture. Ces subventions ont pour but d'encourager les agriculteurs à transitionner vers un mode de production plus respectueux de l'environnement tout en gardant une certaine sécurité financière. Elles permettent donc aux agriculteurs d'assumer les charges et les dépenses associées à la mise en place de la modification de culture. Parmi ces subventions se trouvent les méthodes agroenvironnementales et climatiques (MAEC) (Commission européenne, sd).

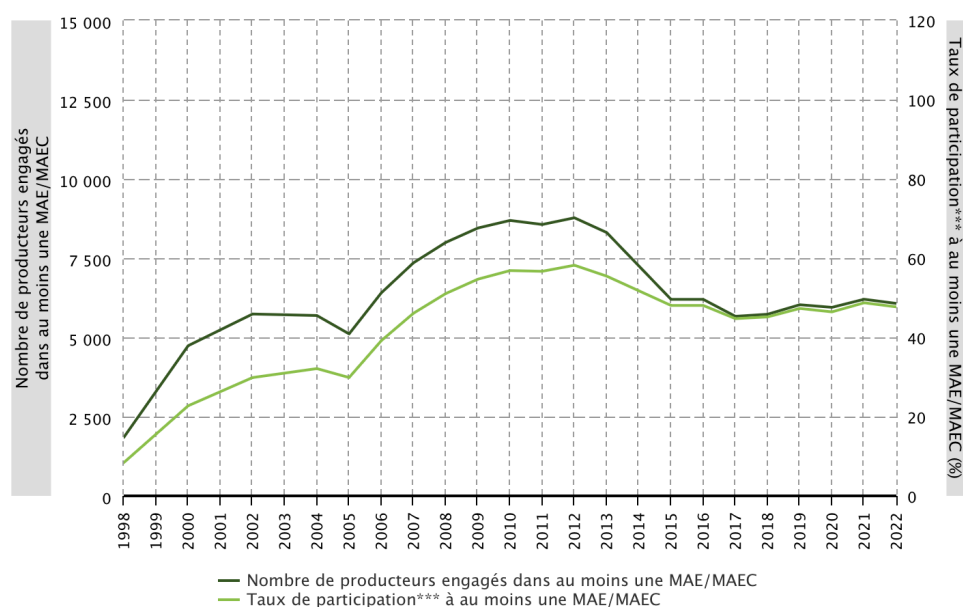


Figure 4 : Évolution du taux de participation et du nombre de producteurs engagés dans au moins une MAEC entre 1998 et 2022 (*État de l'environnement wallon, 2023*).

L'engagement des agriculteurs aux différentes MAEC évolue au fil du temps. Ces fluctuations sont principalement suite aux modifications d'accès aux MAEC voire à la suppression de certaines MAEC

au cours du temps. Par exemple, la suspension de la MAEC « couverture du sol » en 2015 combinée à une interruption de l'accès aux méthodes de base entre 2012 et 2017 a eu pour effet de faire baisser le taux de participation des agriculteurs aux MAEC suite à la baisse des subventions et à l'augmentation de certaines modalités d'engagement. Cette baisse du taux de participation est le résultat d'une transition entre deux programmes (État de l'environnement wallon, 2023).

Entre 2017 et 2022, il y a une légère augmentation de 5% du taux de participation des agriculteurs à au moins une MAEC. Cette dernière est due à l'augmentation de la valeur des subventions de certaines MAEC dès 2018 combinée à l'ajout de diverses alternatives au sein de la MAEC « culture favorables à l'environnement ». Le tout rendant le programme plus séduisant pour les agriculteurs (État de l'environnement wallon, 2023). En 2022, 48% des agriculteurs wallons participent à au moins une MAEC ce qui donne un chiffre de 6071 producteurs. Une part importante de ces agriculteurs (60%) sont engagés dans des méthodes de base, une part plus faible (31%) participe à des méthodes de base et à des méthodes ciblées tandis qu'une petite partie (9%) participe à des méthodes ciblées (État de l'environnement wallon, 2023).

#### 1.4.3.1. Les prairies de haute valeur biologique (PHVB)

Les différentes zones d'études sont des prairies de haute valeur biologique (MC4). La MAEC MC4 : prairie de haute valeur biologique s'inscrit dans l'axe « prairie ». Cette MC4 est une méthode ciblée qui complète la méthode « prairie naturelle » (méthode de base : MB2). Les objectifs de la mise en place de ces méthodes sont la conservation des espèces ainsi que la conservation de leur habitat de grand intérêt biologique tels que les pelouses calcaire, les prairies maigres de fauches, etc. Elle a donc pour objectif de protéger la biodiversité mais également les ressources qui lui sont nécessaires tels que la santé sols et le bon fonctionnement du cycle de l'eau (Natagriwal, sd; SPW wallonie, 2024). Cette méthode ne peut s'appliquer que sur une parcelle considérée comme une prairie. Le cahier des charges oblige la mise en place d'une zone refuge d'environ 10% de la superficie de la parcelle. Cette zone refuge n'est pas fauchée et sa place doit être modifiée d'une année à l'autre afin d'éviter tous risques d'embroussaillage. La fauche y autorisée dès le 1<sup>er</sup> juillet, le regain peut être fauché à partir du 15 août ou être pâturé entre le 15 août et le 31 octobre tant que la charge maximale ne dépasse pas 0,25 UGB/ha/an<sup>1</sup>. La fertilisation, les produits phytosanitaire, les fourrages et les amendements y sont interdits, sauf exceptions cités par la loi (Natagriwal, sd; SPW wallonie, 2024).

---

<sup>1</sup> « Unité Gros Bétail : unité de référence permettant d'agréger le bétail de différentes espèces et de différents âges en utilisant des coefficients spécifiques établis initialement sur la base des besoins nutritionnels ou alimentaires de chaque type d'animal. L'unité standard utilisée pour le calcul du nombre d'unités de gros bétail (= 1 UGB) est l'équivalent pâturage d'une vache laitière produisant 3 000 kg de lait par an, sans complément alimentaire concentré. » (European Commission, 2021)



Figure 5 : Aperçu de la zone refuge d'une prairie échantillonnée (Malchamps\_14582) (Photos © J. Becker).

Le nombre d'agriculteurs participant à la MAEC prairie de haute valeur biologique (MC4) est en hausse entre 2012 et 2022. En 2012, 6 % des agriculteurs wallons soit 867 agriculteurs étaient engagés dans une MC4, en 2022 ce chiffre passe à 1439 soit 11% des agriculteurs wallons. Cette MC4 comptabilise un taux de réalisation de 90% par rapport aux objectifs fixés par le Programme wallon de Développement Rural (PwDR) 2014 – 2022. Cet objectif était de 13 200 ha. Les objectifs visés pour 2027 concernant la MC4 sont passés à 15 000 ha (État de l'environnement wallon, 2023).

Toutes ces méthodes sont essentielles afin de préserver les populations de papillons. Comme citées plus haut, les causes principales de leur déclin sont la destruction de leur habitat, l'usage de pesticides et les atteintes à leur capacité de dispersion. Ces effets sont causés par une intensification toujours grandissante de l'agriculture qui met en péril de nombreux papillons de prairies. Il est donc indispensable de conserver voire de restaurer les prairies naturelles et semi-naturelles. La MC4 est une aide non négligeable afin de conserver ces dites prairies. Cette méthode permet de combattre deux des trois causes principales : la destruction des habitats des populations de papillons ainsi que l'utilisation de pesticides. Cela montre l'importance non négligeable de cette MAEC dans la conservation de certaines populations de papillons rares (Rouxhet, et al., 2008; van Swaay, et al., 2022).

Concernant l'atteinte à leurs capacités de dispersion, plus il existera de prairies de haute valeur biologique, plus ce réseau sera connecté et plus les papillons pourront passer facilement d'une prairie à l'autre afin de s'y nourrir et de s'y reproduire pour améliorer les diverses populations de papillons (Rouxhet, et al., 2008).

### 1.5. Objectifs du mémoire

Comme expliqué précédemment il existe un déclin important des populations de papillons. La Belgique n'échappe pas à ce constat. Dans le but d'obtenir plus d'informations et donc d'être plus précis et plus efficace dans leur conservation, il est important d'étudier les potentiels effets des diverses méthodes mises en place pour restaurer les populations de papillons.

Ce mémoire vise à apporter des informations complémentaires sur les prairies de haute valeur biologique ainsi que sur la mise en place de zones refuge au sein de ces parcelles. L'objectif principal de ce mémoire est l'étude des populations papillons de jour des zones refuges et des zones fauchées des prairies de haute valeur biologique suivies sous la méthode MC4 en région liégeoise.

Un second objectif est d'analyser les différents liens de butinage entre les papillons de jour et les plantes à fleurs dans ces prairies de haute valeur biologique en région liégeoise. L'objectif étant d'avoir une idée des réseaux trophiques existants dans ces milieux.

Afin de répondre à ces objectifs, les populations de papillons de jour ont été recensées en termes d'abondance et de richesse spécifique au sein des zones refuges et des zones fauchées. Ces recensements ont lieu dans dix parcelles classées sous MC4 : prairie de haute valeur biologiques dont un recensement floristique a été réalisé au préalable.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. Zone et période d'étude

Dans le cadre de ce mémoire, 10 prairies sous MC4 du réseau de Natagriwal ont été sélectionnées afin d'étudier les populations de papillons de jour des zones refuges et des zones fauchées de ces prairies. Les prairies sont situées en région liégeoise dans 5 communes différentes : Spa, Lierneux, Ferrières, Plombières et Malmedy. Chaque commune est représentée par deux prairies. Des relevés botaniques ont préalablement été réalisés sur ces dix prairies.

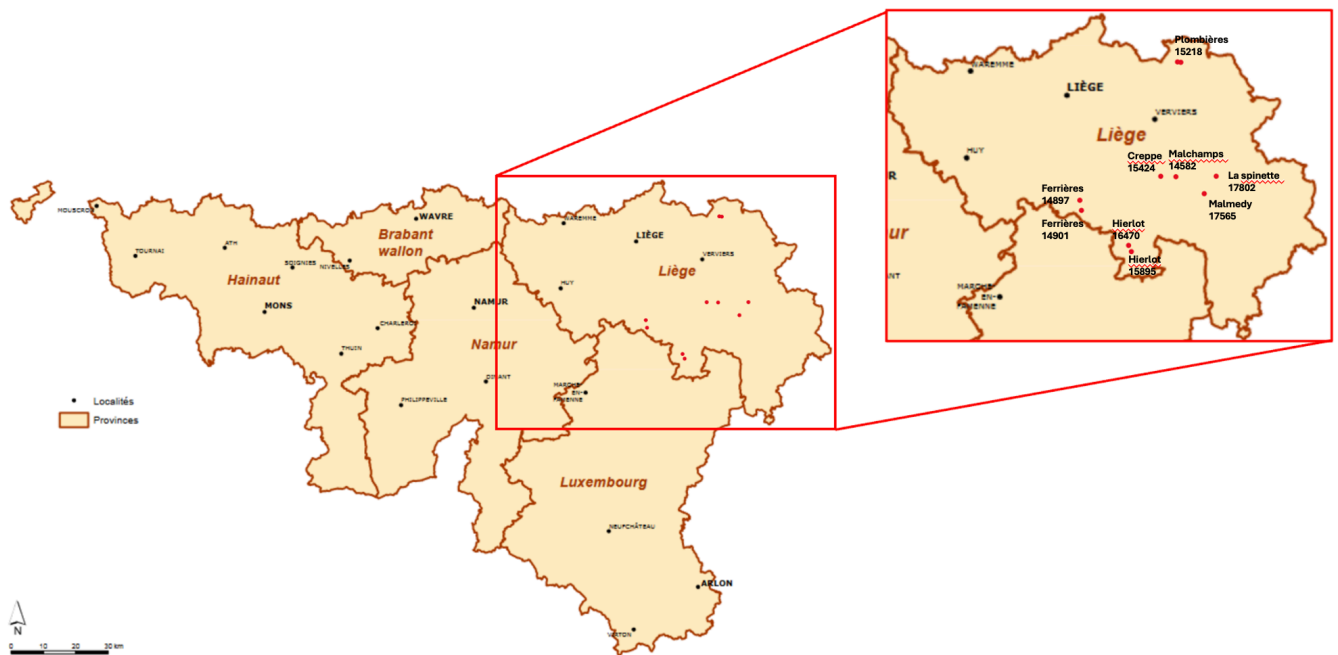


Figure 6 : Situation géographique des parcelles étudiées.

Localité	Station	Latitude	Longitude	Surface de la zone refuge (en m2)	Surface de la zone fauchée (en m2)	Type de milieu (Walleunis)
Plombières	Plombières _15218	50°42'27.9''	5°55'42.8''	4824,15	43417,35	Pâtures permanentes et prairies mixtes – Prairies de fauche de basse altitude peu à moyennement fertilisées
Plombières	Plombières _15218	50°42'26.9''	5°55'42.8''	4824,15	43417,35	Pâtures permanentes et prairies mixtes – Prairies de fauche de basse altitude peu à moyennement fertilisées
Malmedy	Malmedy _17565	50°25'52.2''	6°00'52.7''	6642	/	Pâtures permanentes et prairies mixtes – Prairies de fauche planitiaires et collinéennes
La spinette	La spinette _17802	50°28'3.6''	6°03'38.5''	1282,8	11545,2	Pâtures permanentes et prairies mixtes – Prairies humides mésotrophes et eutrophes
Malchamps	Malchamps _14582	50°28'3.4''	5°55'22.6''	1488,6	13397,4	Pâtures permanentes et prairies mixtes - Landes des régions tempérées
Creppe	Creppe _15424	50°28'5.2''	5°52'22.5''	3323	29907	Pâtures permanentes et prairies mixtes – Prairies de fauche de basse altitude peu à moyennement fertilisées
Hierlot	Hierlot _16470	50°18'49.0''	5°46'19.6''	691,4	6222,6	Pâtures permanentes et prairies mixtes - Landes des régions tempérées
Hierlot	Hierlot _15895	50°18'25.4''	5°46'40.1''	561,3	5051,7	Pâtures permanentes et prairies mixtes – Landes sèches
Ferrières	Ferrières _14901	50°23'43.4''	5°36'41.9''	1068	9612	Pâtures permanentes et prairies mixtes – Landes sèches
Ferrières	Ferrières _14897	50°24'37.9''	5°36'24.8''	2556	23004	Pâtures permanentes et prairies mixtes – Landes sèches

Tableau 1 : Caractéristiques des parcelles étudiées.

La période d'étude s'étend sur deux années : 2022 et 2023. En 2022 les relevés ont été réalisés entre début juillet et mi-septembre. En 2023 les relevés ont été réalisés entre début mai et mi-juillet.

## 2.2. Méthode d'échantillonnage

### 2.2.1. Conditions météorologiques

Les papillons étant sensibles à certains facteurs météorologiques comme la pluie, le vent et la température, les relevés dépendent de ces facteurs. Les conditions choisies pour effectuer des relevés sont les suivantes :

- une température supérieure à 14°C si le temps est principalement ensoleillé, ou supérieure à 17°C si le temps est principalement nuageux
- une température maximale ne dépassant pas 30°C
- un vent faible, ne dépassant pas 30km/h
- une absence de précipitation

Si ces conditions devenaient défavorables lors de la réalisation d'un relevé, ce dernier est annulé et un nouveau relevé des parcelles concernées est réalisé lorsque les conditions le permettent. L'ensemble de ces conditions peuvent rendre la réalisation des relevés assez complexe. C'est la raison pour laquelle la période de mi-juillet/début août 2023 n'a pas pu être échantillonnée suite à une météo inadaptée.

De plus, l'activité des papillons de jour a lieu principalement entre 10h et 18h, c'est donc dans ces heures que les relevés ont été effectués. Les différents relevés sont espacés de minimum 10 jours afin d'avoir la possibilité d'observer différentes générations de papillons selon la période.

### 2.2.2. Identification et comptage des papillons de jour

Les dix prairies ont été échantillonnées en suivant le même protocole. Ce protocole consiste en la réalisation de transects dans l'entièreté de la parcelle. Ces transects sont espacés les uns des autres de quatre mètres afin de ne pas couvrir deux fois le même endroit de la parcelle. Les papillons au stade imago sont dénombrés et identifiés lorsqu'ils passent à deux mètres cinquante ou moins de part et d'autre de l'observateur ainsi qu'à cinq mètres devant celui-ci . L'identification a été réalisée à vue l'aide de jumelles à insectes. Cependant, l'identification de certains individus nécessitait l'aide d'un appareil photo ou d'un filet à papillons afin de capturer temporairement les individus et d'assurer leur identification. Ce protocole a été réalisé dans la zone refuge et dans la zone fauchée de chaque parcelle et plusieurs transects ont été réalisés dans chaque zone. Cependant, une parcelle n'a pas été fauchée lors de la période d'étude. Il s'agit de la parcelle « Malmédy\_17565 ». Cette parcelle n'a donc pas été utilisée pour réaliser les différentes analyses, diminuant le nombre de parcelles étudiées à neuf.

Les relevés ont été réalisés sur deux années consécutives : 2022 et 2023 (annexe 1). Un relevé a été effectué tous les 10 à 15 jours quand la météo le permettait. Les relevés effectués en début juillet 2022 ont été réalisés entre le 5 et le 16 juillet 2022, représentant le 1<sup>er</sup> relevé de chaque parcelle. Les relevés effectués fin juillet 2022 ont été réalisés entre le 27 juillet et le 2 août 2022, représentant le 2<sup>ème</sup> relevé de chaque parcelle. Les relevés effectués en août 2022 ont été réalisés entre le 9 et le 16 août 2022, représentant le 3<sup>ème</sup> relevé de chaque parcelle. Les relevés effectués en septembre 2022 ont été réalisés entre le 1<sup>er</sup> et le 6 septembre 2022, représentant le 4<sup>ème</sup> relevé de chaque parcelle. Les relevés effectués en mai 2023 ont été réalisés entre le 4 et le 21 mai 2023, représentant le 5<sup>ème</sup> relevé de chaque parcelle. Les relevés effectués à la début juin 2023 ont été réalisés entre le 27 mai et le 5 juin 2023, représentant le 6<sup>ème</sup> relevé de chaque parcelle. Les relevés effectués à la fin juin 2023 ont été réalisés entre le 27 et le 30 juin 2023, représentant le 7<sup>ème</sup> relevé de chaque parcelle. Les relevés effectués en juillet 2023 ont été réalisés le 17 et le 18 juillet 2023, représentant le 8<sup>ème</sup> relevé des parcelles des communes de Plombières et de Lierneux. Le 8<sup>ème</sup> relevé n'a pas pu être réalisé sur les autres parcelle suite à une météo inadaptée.

### 2.2.3. Analyse des interactions plantes-papillons

En plus du relevé d'espèces de papillons de jour, un relevé de butinage a été effectué. Les interactions entre les plantes à fleurs et les papillons de jour ainsi que la durée de ces interactions (en secondes) ont été observées et notées durant une période de 20 minutes. Pour ce faire, un point fixe aléatoire de chaque parcelle a été choisi et délimité par un cercle d'environ 1,5m de rayon. Afin d'avoir une idée de la quantité de nectar disponible, le nombre de fleurs de chaque plante présente dans ce périmètre a également été noté.



Figure 7 : A. Machaon (*Papilio machaon*) butinant une Centaurée jacée (*Centaurea jacea*). B. Carte géographique (*Araschnia levana*) butinant une Cirse des champs (*Cirsium arvense*) (Photos © J. Becker).

#### 2.2.4. Méthodes d'analyse des données

Les données ont été encodées sur le site BIOGEOnet : <https://www.biogeonet.ulg.ac.be/> lorsque les relevés ont été terminés. L'analyse des données a été réalisée à l'aide de deux logiciels : Microsoft Excel (version 16.78, 2023) et RStudio (version 2024.04.0, Build 735). Afin de réaliser les analyses et les divers graphiques, les packages suivants ont été utilisés : readxl – version 1.4.3 (Wickham & Bryan, readxl: Read Excel Files, 2023), vegan – version 2.6-6.1 (Oksanen, et al., 2024), iNEXT – R package version 3.0.1 (Chao, et al., 2014), ggplot2 – version 3.3.5 (Wickham, 2016), networkD3 – version 0.4 (Allaire, Gandrud, Russell, & Yetman, 2017).

##### 2.2.4.1. Évolution temporelle des papillons de jour au seins des sites étudiés

Une première base de données a été utilisée pour réaliser les graphiques d'abondance des papillons de jour. Cette base de données reprend le nombre de papillons observés, à l'hectare ou à la parcelle, lors de chaque relevé. Elle reprend donc la somme des individus de chaque espèce identifiée dans la parcelle lors de chaque relevé.

Une deuxième base de données a été utilisée pour réaliser les graphiques de la richesse spécifique en papillons de jour. Cette base de données reprend le nombre d'espèces observées, à l'hectare ou à la parcelle, lors de chaque relevés. Les données à l'hectare ont été calculées sur base de la superficie de chaque zone (refuge ou fauchée) et non sur base de la superficie totale de la parcelle afin de pouvoir comparer les parcelles entre-elles sans subir l'impact de leur superficie.

L'évolution de l'abondance et de la richesse spécifique des papillons de jour dans les différentes zones des prairies de haute valeur biologique au cours du temps a été mise en lumière par des histogrammes représentant le nombre total d'individus et le nombre d'espèces de papillons rencontrés lors des différents passages. Ces histogrammes ont été réalisés via Microsoft Excel.

##### 2.2.4.2. Analyse des paramètres météorologiques

La base de données utilisée pour réaliser le Glm reprend les données de température et d'humidité réelles lors de chaque relevé ainsi que le nombre d'espèces et le nombre d'individus trouvés à l'hectare lors de chaque relevé. Elle comporte 6 colonnes : la station, la date du relevé, la température lors du relevé, le taux d'humidité lors du relevé, le nombre d'espèces à l'hectare trouvées lors du relevé ainsi que le nombre d'individus à l'hectare identifiés lors du relevé.

Afin de connaître l'impact éventuel des paramètres météorologiques tel que l'humidité et la température sur les papillons de jour, un modèle linéaire généralisé (Glm) suivant la loi de Poisson a été réalisé. Le modèle de Poisson a été utilisé suite à l'utilisation de données de comptages pour cette étude. Deux modèles ont été réalisés. Ils ont testé l'abondance et la richesse spécifique en fonction de ces deux variables environnementales : la température et l'humidité. Les données météorologiques de l'humidité et de la température ont été recueillies sur le site BIOGEOnet : <https://www.biogeonet.ulg.ac.be/>.

#### 2.2.4.3. Analyse des variations de populations entre les zones refuges et les zones fauchées

Les tests de Wilcoxon signés-rangés et les ACoP ont été réalisés sur une base de données comportant 40 colonnes (annexe 4). Les quatre premières colonnes contiennent des informations sur les parcelles : le nom de la parcelle, la zone de collecte des données, la commune à laquelle appartient la parcelle, ainsi que le nombre de relevés effectués dans chaque parcelle. Les 36 autres colonnes sont dédiées aux espèces identifiées, avec une colonne par espèce. Le nombre d'individus de chaque espèce par parcelle et par zone correspond à la somme totale des individus identifiés lors de tous les relevés de 2022 et de 2023. Afin de comparer les parcelles entre elles, le nombre d'individus des différentes espèces a été standardisé sur une superficie identique de un hectare pour toutes les zones des diverses parcelles. Étant donné que le nombre de passages variait d'une prairie à l'autre en fonction de la météo ou de la date de la première fauche, ce nombre a également été standardisé.

Afin d'analyser les variations de populations entre les zones refuges et les zones fauchées, divers paramètres ont été calculés et comparés entre les deux zones :

- L'abondance totale en papillons : comprend le nombre de papillons de jour de toutes espèces confondues par hectare.
- La richesse spécifique totale, par hectare : elle mesure le nombre d'espèces présentes dans la communauté, sans tenir compte de leur abondance relative.
- L'indice de Simpson (D) : cet indice a été calculé pour chaque zone de chaque parcelle étudiée via le logiciel Rstudio. L'indice initial de Simpson (S) calcule la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard dans un échantillon appartiennent à la même espèce. Cet indice représente une diversité faible lorsqu'il est élevé. L'indice de Simpson (D) est calculé par la soustraction de l'indice initial de Simpson (S) à 1 par la formule suivante :  $D = 1 - S$ . L'indice de Simpson (D) est proche de 0 lorsqu'une seule espèce est présente dans

l'échantillon et qu'elle le domine donc. Si l'indice de Simpson est proche de 1, cela signifie qu'un nombre élevé d'espèces est présent dans l'échantillon mais que leur probabilité de présence est quasi nulle.

- L'indice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) : cet indice permet de mesurer la diversité spécifique. Contrairement à la richesse spécifique, l'abondance relative des espèces est prise en compte afin de calculer l'équitabilité. L'indice de Shannon oscille entre 0 et le logarithme naturel du nombre d'espèces présentes au sein de l'échantillon. Un indice élevé indique une grande diversité en excluant une dominance importante d'une ou plusieurs espèces là où un indice de Shannon bas indique une faible diversité et une population dominée par un nombre restreint d'espèces.
- L'indice de Hill : cet indice a pour but d'évaluer la diversité spécifique d'une communauté. Il tient compte de la richesse spécifique ainsi que de l'abondance relative des espèces donc de l'équitabilité en comparant les indices de diversité de Shannon et de Simpson. Afin d'établir le graphique des nombres de Hill, le package iNEXT a été utilisé dans Rstudio (Chao, et al., 2014).

Afin d'évaluer les potentielles différences entre l'abondance, la richesse spécifique ainsi que les valeurs des indices de diversité de Simpson et de Shannon, des tests non paramétriques de Wilcoxon signés-rangés ont été réalisés sur Rstudio. L'utilisation d'un test non paramétrique pour l'abondance et la richesse spécifique s'explique par le fait que les données recueillies proviennent de comptages et ne suivent pas une distribution normale. Concernant les différents indices de diversité calculés, bien que ces données ne soient pas des comptages, elles ne suivent pas une distribution normale. C'est pourquoi le test de Wilcoxon signé-rang a été utilisé. Ce test non paramétrique s'utilise sur des données appariées. Les résultats du test sont considérés comme significatifs si la p-valeur est inférieure à 0,05. Des boîtes à moustaches ont été créés afin d'illustrer ces différents paramètres en fonction des zones refuges et fauchées.

Plusieurs analyses en coordonnées principales (ACoP) ont été réalisées sur Rstudio à l'aide de la fonction « cmdscale » du package « vegan » (Oksanen, et al., 2024). Elles ont été réalisées dans le but d'observer les différences potentielles de communautés de papillons de jour entre les zones fauchées et refuges ainsi qu'entre les différentes localités. Ces analyses en composantes principales ont été réalisés à partir d'une matrice de distance utilisant la mesure de Bray-Curtis, choisie pour sa capacité à prendre en compte l'abondance des espèces.

Enfin, les quatre espèces les plus abondantes des zones refuges et des zones fauchées ont été identifiées. Des tests de Wilcoxon signés-rangés ont été réalisés afin de tester l'existence potentielle d'une différence d'abondance de ces espèces au sein des zones refuges et des zones fauchées. Les résultats du test sont considérés comme significatifs si la p-valeur est inférieure à 0,05. L'abondance de ces quatre espèces au sein des zones refuges et des zones fauchées a également été illustrée par des boîtes à moustaches.

#### 2.2.4.4. Analyse des relations plantes insectes

Les diagrammes de Sankey ont été réalisés sur des données de butinage de plantes à fleurs par des papillons de jour. La base de données comporte 5 colonnes : l'espèce de papillon de jour, l'espèce de la plante butinée, la couleur de la fleur, la forme de la fleur et le nombre d'observations de butinage entre les deux espèces.

Afin d'identifier les liens de butinages entre les papillons de jours et les plantes des parcelles étudiées, des diagrammes de Sankey ont été réalisés à l'aide des packages ggplot2 et network3D. Un diagramme de Sankey reprenant la couleur des fleurs a été réalisé afin d'observer un potentiel impact de la couleur sur les papillons de jour des parcelles étudiées. Un diagramme de Sankey reprenant la forme des fleurs a été réalisé afin d'observer un potentiel impact de la forme sur les papillons de jour des parcelles étudiées.

### 3. Résultats

#### 3.1. Évolution temporelle des papillons de jour au sein des sites étudiés

En 2022 dans les zones fauchées l'abondance des papillons de jour a tendance à décroître dès la fin juillet et en août avant de remonter légèrement en septembre (figure 8). En 2023, l'abondance des papillons a tendance à augmenter au fil du temps avec un pic en juin avant de chuter en juillet, mois des premières fauches. Une forte disparité est visible entre les deux années d'échantillonnages au niveau des zones fauchées, 2022 connaît une abondance globale plus faible que 2023.

Concernant les zones refuges, l'évolution de l'abondance ne semble pas suivre celle des zones fauchées. La différence d'abondance entre 2022 et 2023 semble plus faible au sein des zones refuges (figure 9). Cependant, l'abondance décroît également au fil du temps en 2022 mais ne semble pas connaître ce regain en fin de saison. En 2023, l'abondance des zones refuges semble croître au fil du temps avec un pic en juin comme au sein des zones fauchées.

Une différence notable est visible concernant l'abondance qui est nettement supérieure au sein des zones refuges (au maximum 725 individus à l'hectare au sein de « La Spinette\_17802 » en juillet 2022) par rapport aux zones fauchées (au maximum 206 individus à l'hectare au sein de « Ferrières\_14901 » fin juin 2023) (figures 8 et 9).

Il est important de noter que la différence d'abondance entre les zones refuges et les zones fauchées est nettement moins marquée lorsqu'on compare l'abondance au sein des parcelles sans standardisation à l'hectare (figures 10 et 11). Dans ce cas, les zones fauchées, qui couvrent une superficie dix fois plus grande, présentent parfois une abondance supérieure à celle des zones refuges (fin juin 2023). La plupart du temps, les abondances semblent assez similaires dans les deux zones voire légèrement supérieures dans les zones fauchées dont la superficie est dix fois supérieure à celle des zones refuges.

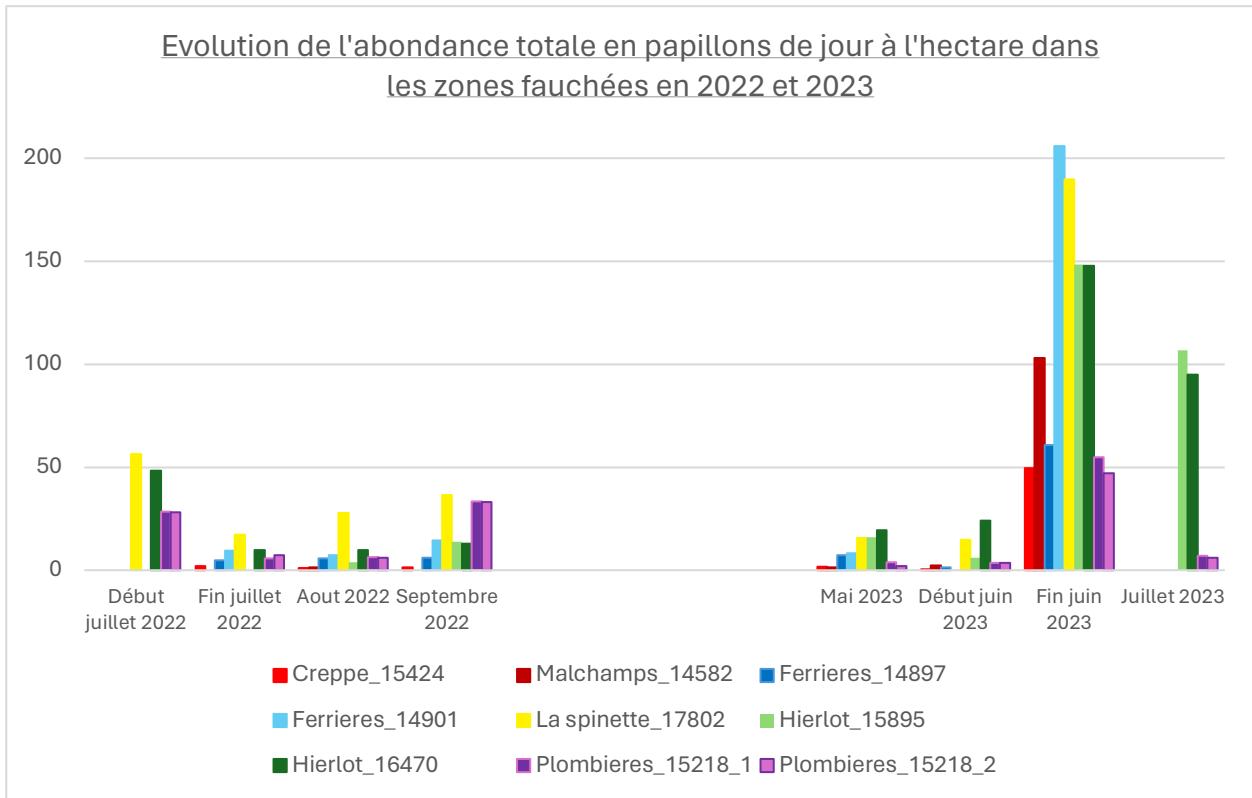


Figure 8 : Évolution de l'abondance totale en papillons de jour à l'hectare dans les zones fauchées des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023. En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy.

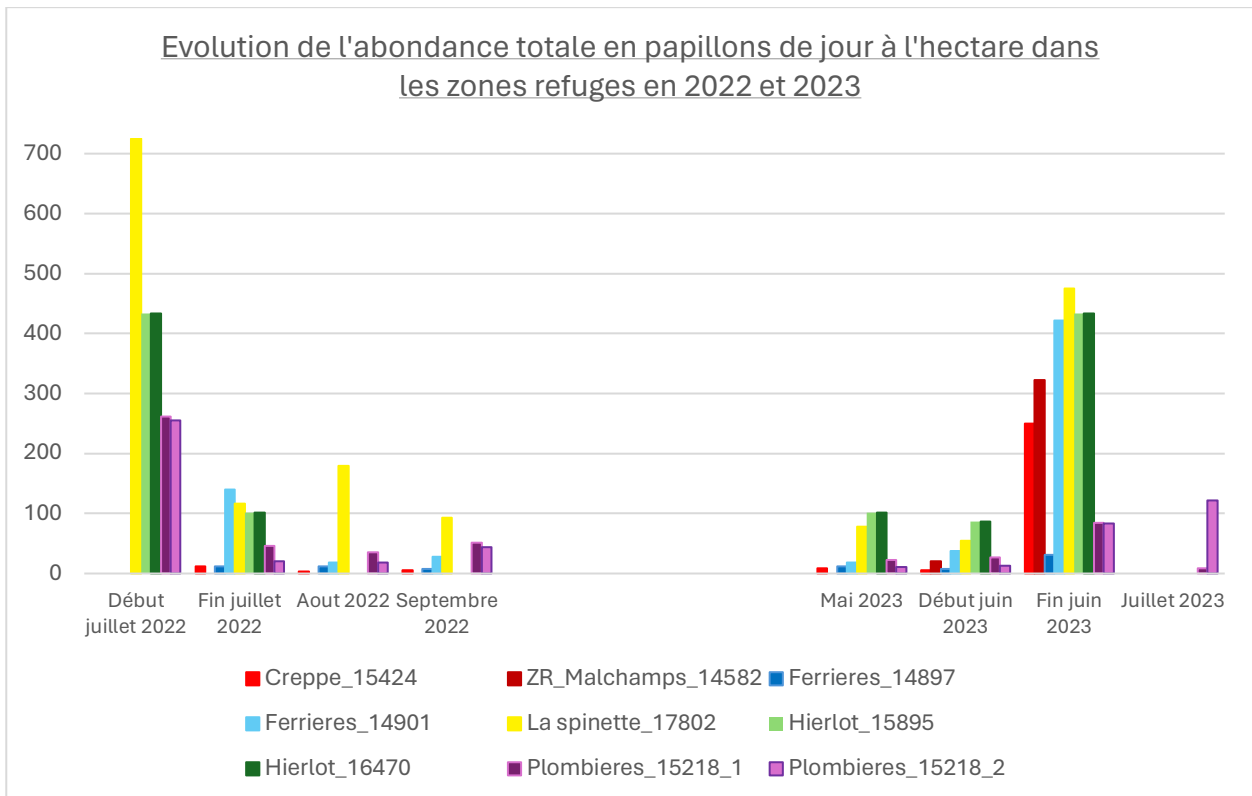


Figure 9 : Évolution de l'abondance totale en papillons de jour à l'hectare dans les zones refuges des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023. En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy.

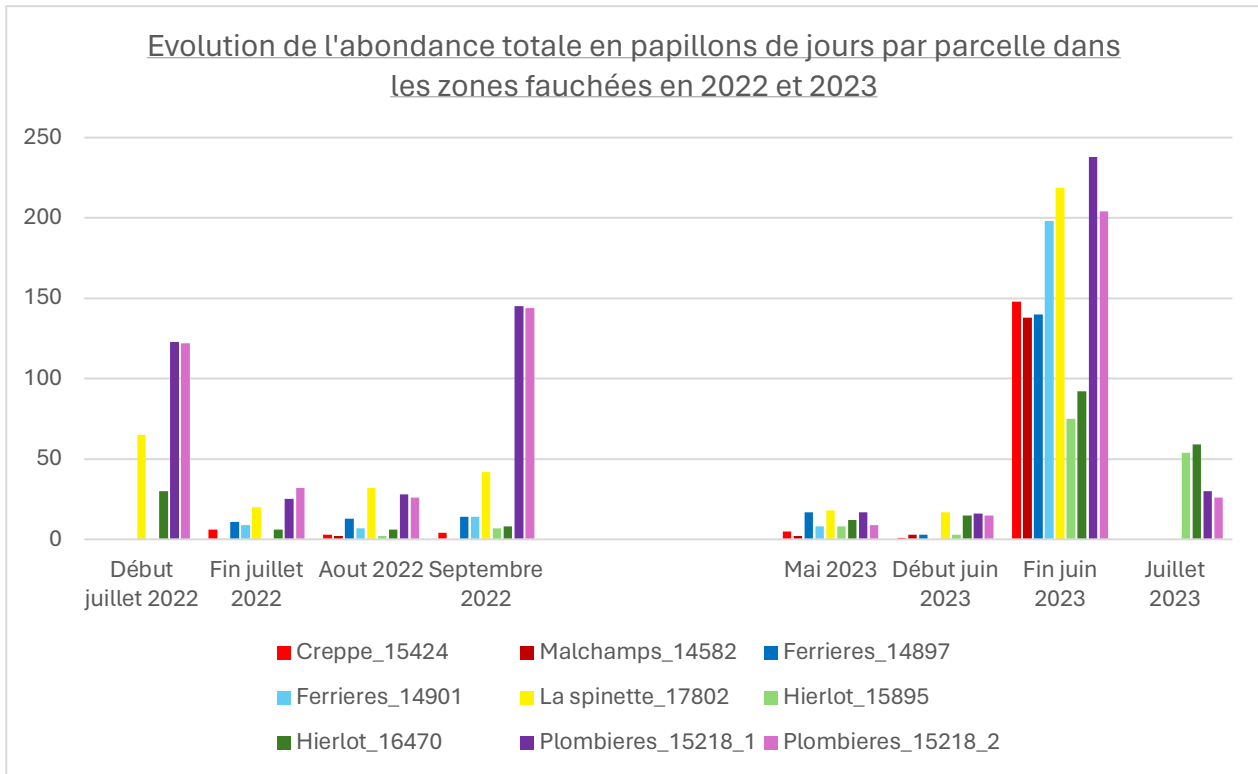


Figure 10 : Évolution de l'abondance totale en papillons de jour dans les zones fauchées des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023 (graphique non rapporté à l'hectare). En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy.

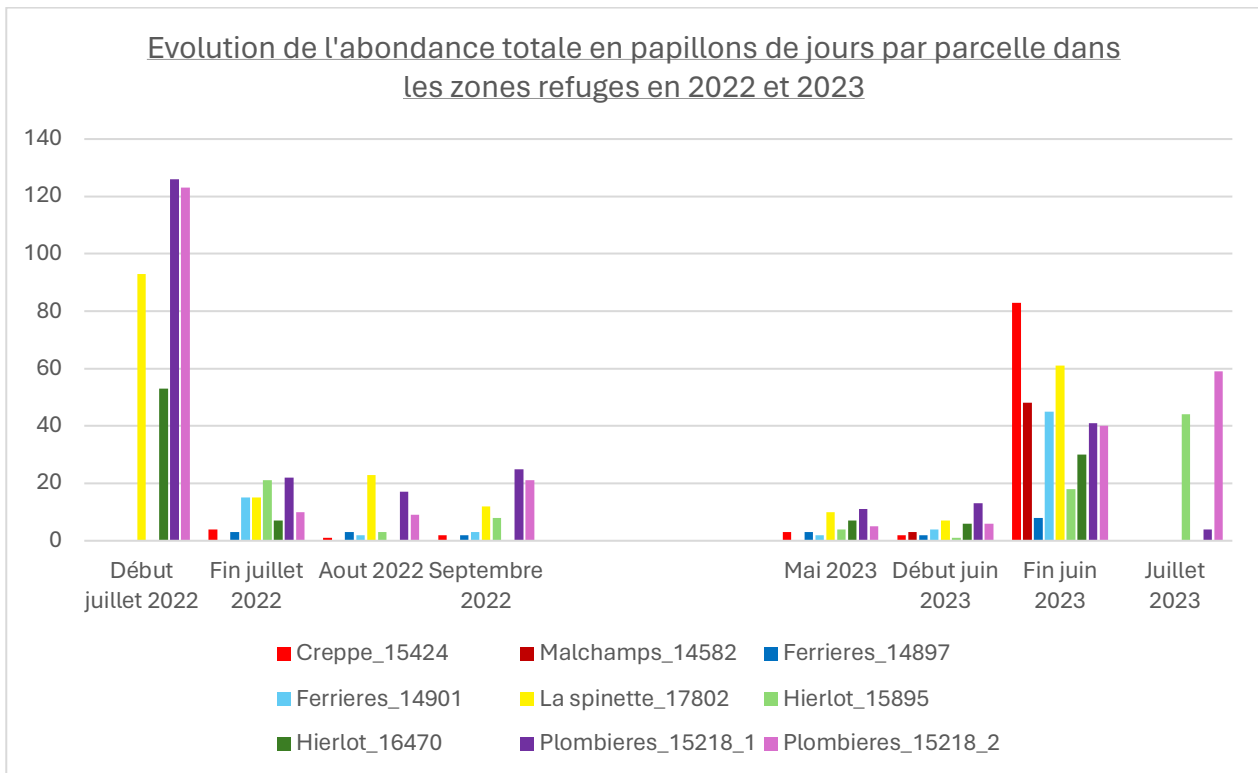


Figure 11 : Évolution de l'abondance totale en papillons de jour dans les zones refuges des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023 (graphique non rapporté à l'hectare). En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy.

Les zones fauchées en 2022 semblent connaître des légères variations de la diversité spécifique en fonction de la prairie étudiée ainsi que du mois échantillonné. Cependant en 2023, le nombre d'espèces a tendance à augmenter au fil du temps (figure 12). Il en est de même pour les zones refuges en 2022, aucune tendance ne semble être suivie. En 2023, la richesse spécifique augmente au fil du temps pour la plupart des prairies excepté pour les prairies « Hierlot\_15895 et Hierlot\_16470 » (figure 13).

Une différence notable entre ces deux zones concerne également la richesse spécifique puisqu'il est possible de trouver jusqu'à 160 espèces à l'hectare dans les zones refuges (au sein d' Hierlot\_15895 en juillet 2023) (figure 13) là où le maximum de richesse spécifique atteint est de 18 espèces à l'hectare (au sein d' « Hierlot\_15895 » en juillet 2023) dans les zones fauchées (figure 12).

Il est important de notifier que la richesse spécifique ainsi que l'abondance obtenue à l'hectare sont calculées sur base de parcelles dont la superficie est nettement plus faible qu'un hectare, c'est pourquoi les chiffres obtenus dans les zones refuges sont impressionnants et inatteignables en condition réelles. En réalité, il n'est pas possible d'atteindre 160 espèces dans un hectare de prairie non fauchée en Belgique car seulement 115 espèces sont présentes sur le territoire wallon. De plus, seule une part de ces 115 espèces est inféodée aux prairies. Le nombre d'espèces présentes en Belgique n'est cependant pas fixe puisqu'il dépend des extinctions et des réapparitions qui ont lieu au fil du temps. Concernant l'abondance, il est très peu probable de trouver 725 individus dans un hectare à cause des diverses pressions de prédation et de compétition. Cependant ces chiffres permettent de comparer les diverses zones des diverses parcelles en comparant leur richesse spécifique et leur abondance sur une superficie identique.

En effet, lorsque l'on compare la richesse spécifique des différentes zones sans la standardisation à l'hectare, la différence est nettement moins marquée (figures 14 et 15). Dans ce cas, les zones fauchées présentent parfois une richesse spécifique supérieure à celle des zones refuges (fin juin 2023), mais la plupart du temps, la richesse spécifique semblent assez similaires dans les deux zones voire légèrement supérieures dans les zones fauchées. Il est également crucial de garder à l'esprit que la zone fauchée est environ dix fois plus grande que la superficie de la zone refuge.

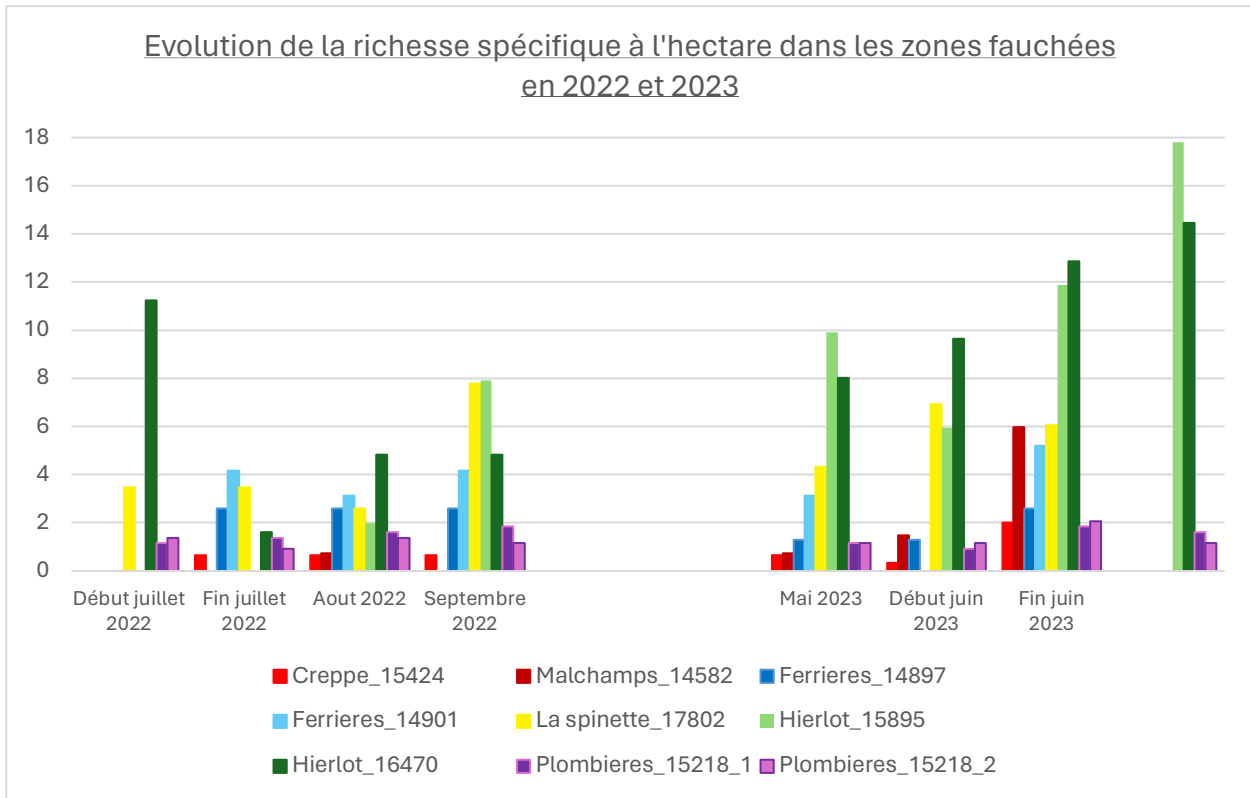


Figure 12 : Évolution de la richesse spécifique des papillons de jour à l'hectare dans les zones fauchées des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023. En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy.

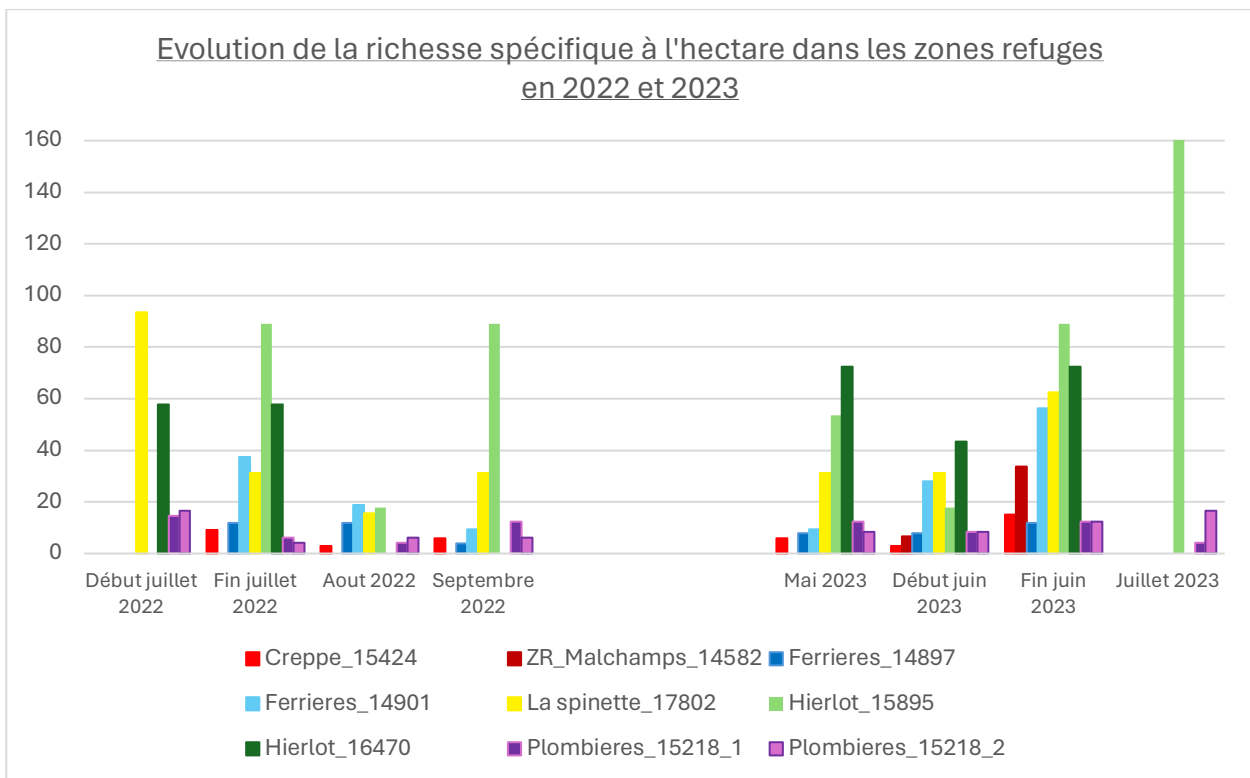


Figure 13 : Évolution de la richesse spécifique des papillons de jour à l'hectare dans les zones refuges des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023. En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy.

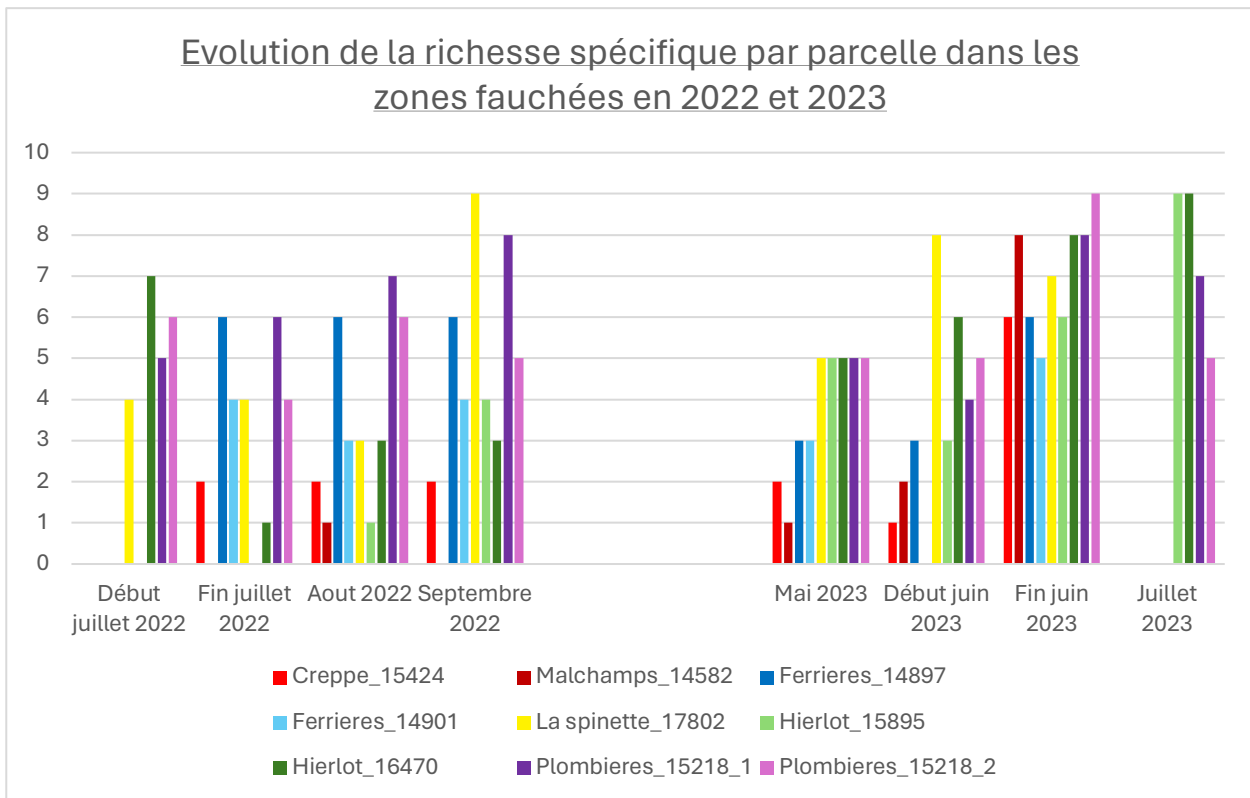


Figure 14 : Évolution de la richesse spécifique des papillons de jour dans les zones fauchées des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023 (graphique non rapporté à l’hectare). En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy.

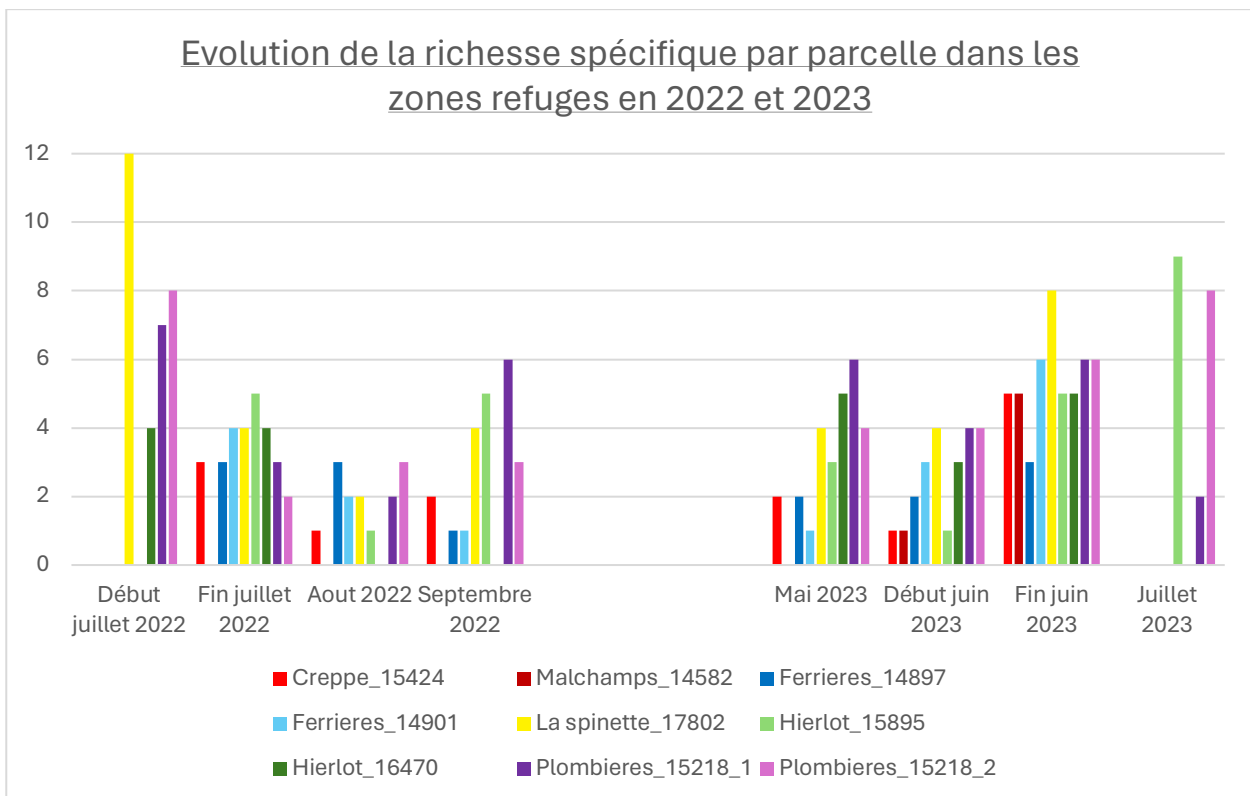


Figure 15 : Évolution de la richesse spécifique des papillons de jour dans les zones refuges des 9 parcelles étudiées en 2022 et 2023 (graphique non rapporté à l’hectare). En rouge les parcelles de la commune de Spa, en bleu les parcelles de la commune de Ferrières, en mauve les parcelles de la commune de Plombières, en vert les parcelles de la commune de Lierneux et en jaune la parcelle de la commune de Malmedy.

### 3.2. Analyse des paramètres météorologiques

Des modèles linéaires généralisés (Glm) suivant le modèle de Poisson ont été réalisés afin de tester un éventuel impact des facteurs environnementaux tels que la température et l'humidité sur l'abondance (tableau 3) et la richesse spécifique (tableau 2) des papillons de jour dans les prairies. Ces modèles linéaires généralisés montrent que l'humidité et la température n'impactent pas la richesse spécifique des papillons de jour au sein des parcelles étudiées. Cependant, la température et l'humidité influencent significativement l'abondance en papillons de jours des diverses prairies. La température a une influence négative sur l'abondance des papillons de jours au sein des parcelles étudiées tandis que l'humidité a une influence positive sur l'abondance des papillons de jours au sein des parcelles étudiées. Si la température augmente, l'abondance en papillons de jours baisse. Si l'humidité augmente, l'abondance en papillons de jours augmente.

Paramètres météo	alpha	p-valeur	significativité
Intercept	1.715657	0.0524	/
Température	-0.033346	0.2254	/
Humidité	0.012895	0.0747	/

Tableau 2 : Résultats des Glm indiquant l'impact des facteurs environnementaux (température et humidité) sur la richesse spécifique en papillons de jour des prairies étudiées.

Paramètres météo	alpha	p-valeur	significativité
Intercept	2.719387	$<2^{-16}$	***
Température	-0.055543	$8.04^{-10}$	***
Humidité	0.045978	$<2^{-16}$	***

Tableau 3 : Résultats des Glm indiquant l'impact des facteurs environnementaux (température et humidité) sur l'abondance en papillons de jours des prairies étudiées.

### 3.3. Analyse de la diversité globale entre les zones refuges et les zones fauchées

Des tests de Wilcoxon signés-rangés ont été réalisés afin de tester une potentielle différence de la richesse spécifique, de l'abondance, de l'indice de diversité de Simpson et de l'indice de diversité de Shannon entre les deux types de zones. Les résultats de ces tests Wilcoxon signés-rangés (tableau 4) indiquent que 3 des 4 indicateurs de biodiversité testés sont significativement différents entre les deux types de zones. Il s'agit de la richesse spécifique, de l'abondance et de l'indice de diversité de Simpson. En ce qui concerne l'indice de diversité de Shannon, la p-valeur obtenue est supérieure à 0.05.

Indicateur	Résultat du test (V)	P-valeur :	Moyenne (+-écart-type) : zone fauchée	Moyenne (+-écart-type) : zone refuge
Richesse spécifique	0	<b>0.0091</b>	17 ( $\pm$ 13)	113 ( $\pm$ 95)
Abondance	0	<b>0.0039</b>	228 ( $\pm$ 126)	939 ( $\pm$ 690)
Indice de Simpson	3	<b>0.0195</b>	0,6260 ( $\pm$ 0,0828)	0,7327 ( $\pm$ 0,0790)
Indice de Shannon	11	0.2031	1,5674 ( $\pm$ 0,2876)	1,7860 ( $\pm$ 0,2881)

Tableau 4 : Résultats des tests de Wilcoxon signés-rangés ainsi que la p-valeur, la moyenne et l'écart-type de la richesse spécifique, l'abondance, l'indice de Simpson et l'indice de Shannon.

Les zones refuges possèdent une abondance ainsi qu'une richesse spécifique par hectare nettement plus élevée que les zones fauchées (Figure 16).

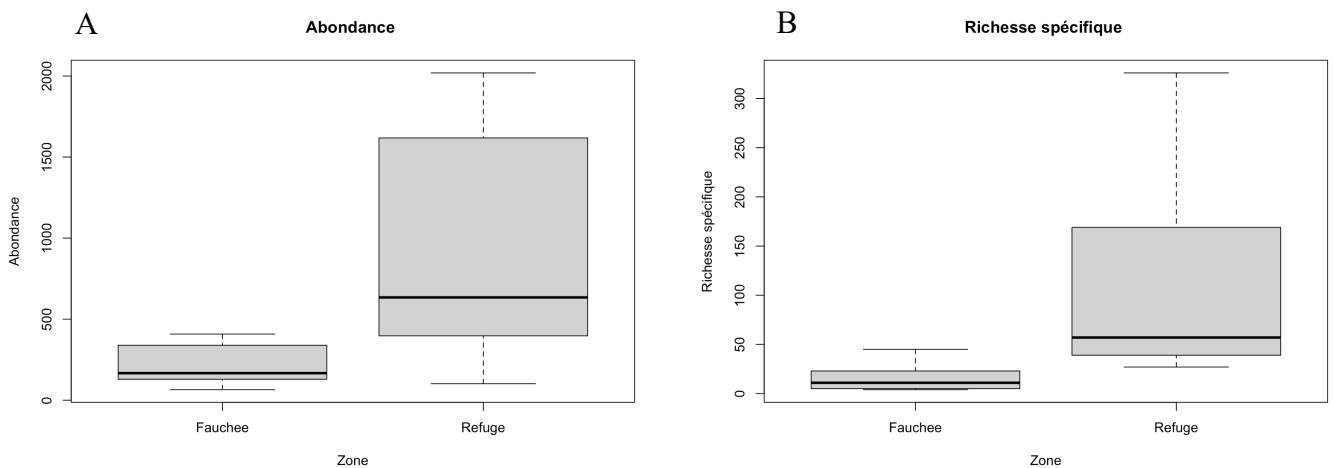


Figure 16 : A. Boîtes à moustaches représentant l'abondance en fonction des zones B. Boîtes à moustaches représentant la richesse spécifique en fonction des zones. La ligne noire correspond à la médiane, Les bords inférieur et supérieur de la boîte correspondent aux 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles. La boîte représente l'écart interquartile. Les lignes qui s'étendent au-delà de la boîte (pointillées) sont les moustaches qui indiquent la variation attendue des données.

Les boîtes à moustaches (figure 17) illustrent la différence significative concernant les valeurs moyennes de l'indice de diversité de Simpson entre la zone fauchée et la zone refuge. La médiane des zones refuges est plus élevée que celle des zones fauchées, indiquant un indice de Simpson plus élevé pour cette zone. Un indice de Simpson plus élevé indique une faible probabilité de dominance de certaines espèces. La probabilité que deux individus tirés au hasard appartiennent à la même espèce est plus faible dans la zone refuge que dans la zone fauchée. La zone refuge possède donc une diversité d'espèces plus importante avec une répartition plus équitable des individus parmi ces espèces que dans la zone fauchée.

L'indice de Shannon est également plus élevé dans les zones refuges. Bien que cette différence ne semble pas significative selon le seuil de 0.5 (p-valeur = 0.2031), cela indique que les zones refuges

possèdent un nombre d'espèces et une équité de la distribution de ces espèces plus importants que les zones fauchées.

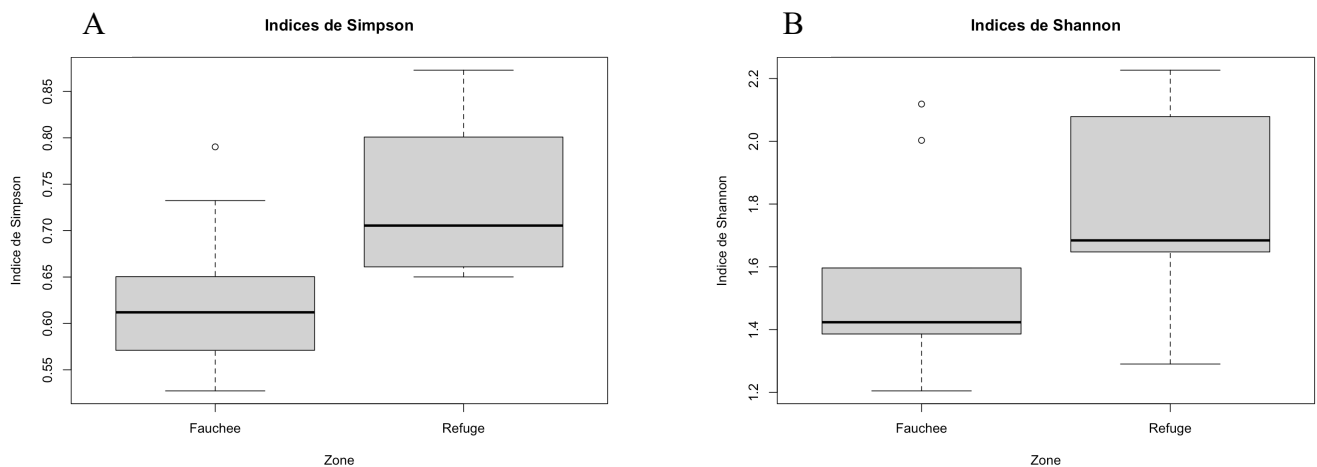


Figure 17 : A. Boîtes à moustaches représentant les valeurs de l'indice de diversité de Simpson en fonction des zones B. Boîtes à moustaches représentant les valeurs de l'indice de diversité de Shannon en fonction des zones. La ligne noire correspond à la médiane, Les bords inférieur et supérieur de la boîte correspondent aux 1er et 3ème quartiles. La boîte représente l'écart interquartile. Les lignes qui s'étendent au-delà de la boîte (pointillées) sont les moustaches qui indiquent la variation attendue des données. Les valeurs situées au-delà des moustaches sont considérées comme des valeurs aberrantes.

L'analyse des données via la technique des nombres de Hill (figure 18) permet de confirmer que la richesse spécifique ( $q=0$ ) est significativement différente entre les zones refuges et fauchées. Cette différence significative est indiquée par le non-chevauchement des courbes de raréfactions/extrapolations. Ce graphique confirme également que la richesse spécifique est supérieure dans les zones refuges et ce de manière significative.

Le cadre concernant l'indice de Shannon ( $q=1$ ) indique quant à lui des résultats légèrement différents. Le test de Wilcoxon signé-rang n'a pas mis en évidence une différence significative entre les indices de diversité de Shannon des zones refuges et des zones fauchées. Cependant, la p-valeur (0.0625) est proche du seuil de significativité. En effet, le graphique des nombres de Hill (figure 14) indique une différence significative de l'indice de Shannon entre les zones refuges et fauchées. Il indique également un indice de Shannon plus élevé pour les zones refuges confirmant les résultats obtenus avec le test de de Wilcoxon signé-rang.

Quant au cadre qui concerne l'indice de Simpson ( $q=2$ ), il permet également de confirmer les résultats obtenus par les tests de Wilcoxon signés-rangés en illustrant une différence significative entre les zones refuges et fauchées.

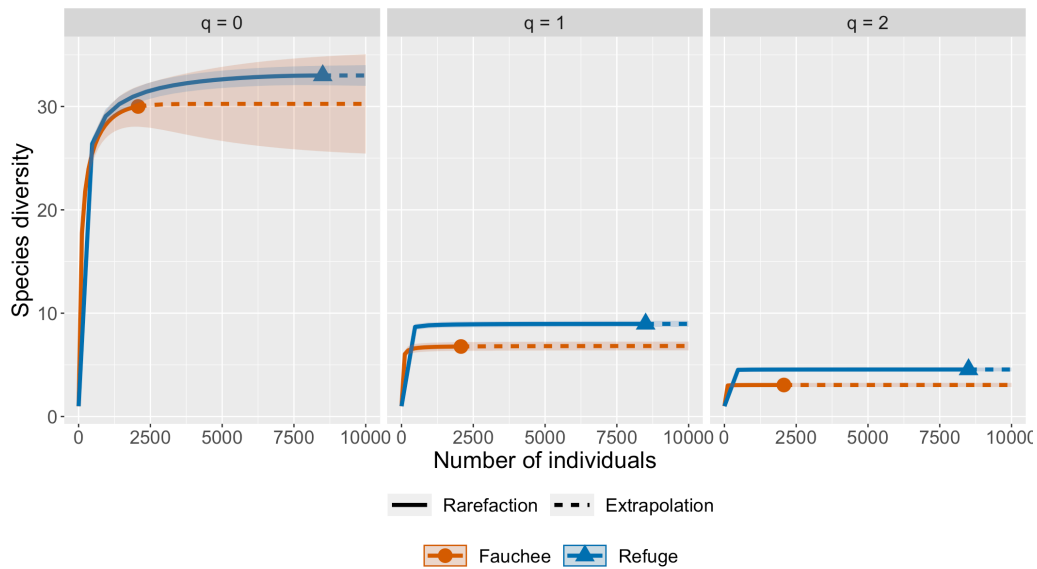


Figure 18 : Comparaison des zones refuges et fauchées par les courbes de raréfactions (lignes pleines) et d'extrapolation (lignes en pointillés) basées sur la tailles de l'échantillon et basées sur les données d'abondance des papillons de jours. Chaque panneau représente les nombres de Hill d'ordre  $N=0$  (richesse spécifique),  $N=1$  (indice de Shannon) et  $N=2$  (indice de Simpson).

### 3.4. Analyse des variations de populations entre les zones refuges et les zones fauchées

Les analyses en coordonnées principales (figures 19, 20 et 21) indiquent que les deux premières dimensions permettent d'expliquer 55,3% de la variance. La première dimension permet d'expliquer 38,98% et la deuxième composante permet d'expliquer 16,32%. Les différentes parcelles se répartissent en fonction des dissimilarités de leur composition en espèces de papillons de jour.

Ces analyses en coordonnées principales (ACoP) indiquent que les zones refuges et fauchées possèdent des différences non négligeables entre leurs communautés (figure 19). Ces informations sont visibles par le regroupement des points correspondant aux zones fauchées (en bleu) et aux zones refuges en rouge. Il n'existe pas de mélange de points de différentes couleurs même si certains points rouges et bleus peuvent sembler proches. De plus, pour la plupart des prairies la zone refuge et la zone fauchée d'une même parcelle sont éloignées l'une de l'autre indiquant des différences de composition d'espèces plus ou moins importantes entre ces deux zones en fonction de la parcelle.

Il est important de noter que les points illustrant les zones fauchées (en bleu) semblent indiquer que ces dernières sont plus similaires entre elles. Les zones refuges quant à elles ont des communautés plus diversifiées entre les différentes parcelles puisqu'elles possèdent des points plus dispersés.

Cependant, les ellipses représentant les intervalles de confiance (80%) se chevauchent, indiquant qu'il n'existe pas de différence significative entre les communautés des zones refuges et les communautés

des zones fauchées. Il existe donc une certaine similarité au sein des communautés de ces deux zones mais également quelques différences qui créent deux groupes.

### Analyse en coordonnées principales - mise en évidence des zones

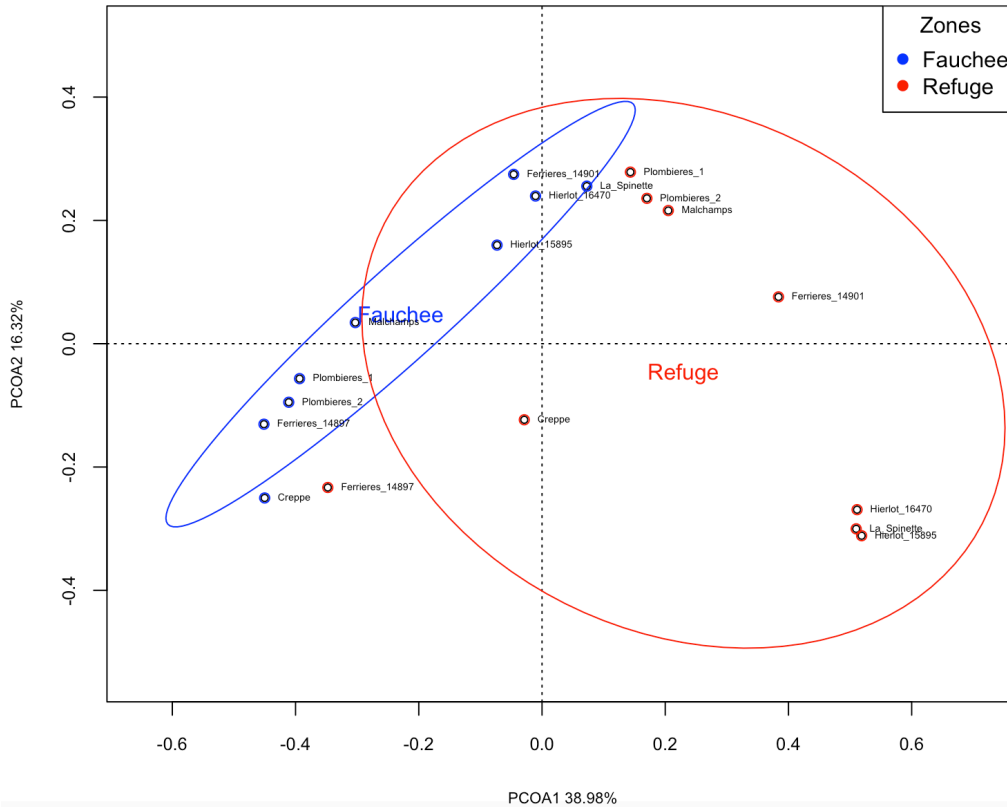


Figure 19 : Analyse en coordonnées principales (ACoP) à partir des données d’abondance des espèces de papillons de jour : répartition des stations selon leur composition en espèces en fonction des deux premières dimensions - mise en évidence des zones refuges et fauchées. Les zones et les stations sont représentées par un nuage de points en deux dimensions et leur position est fonction des espèces composant leurs communautés. Les analyses en composantes principales ont été représentées selon leurs deux premières composantes principales correspondant aux dimensions 1 et 2 expliquant une part importante de la variance. Les points bleus correspondent aux zones fauchées, les points rouges correspondent aux zones refuges, les ellipses correspondent aux intervalles de confiance pour les groupes (zones fauchées et refuges).

Sur cette analyse en coordonnées principales (figure 20), les flèches représentant la contribution des variables espèces à la variation observée dans les premières dimensions ont été ajoutées. Trois flèches représentant trois espèces semblent être fortement corrélées aux axes principaux. Il s’agit du Myrtil (*Maniola jurtina*), du Tristan (*Aphantopus hyperantus*) et de l’Aurore (*Anthocharis cardamines*). Les trois flèches pointent vers le coin inférieur droit suggérant que ces trois espèces soient plus fortement associées aux zones refuges plutôt qu’aux zones fauchées.

## Analyse en coordonnées principales - mise en évidence des zones

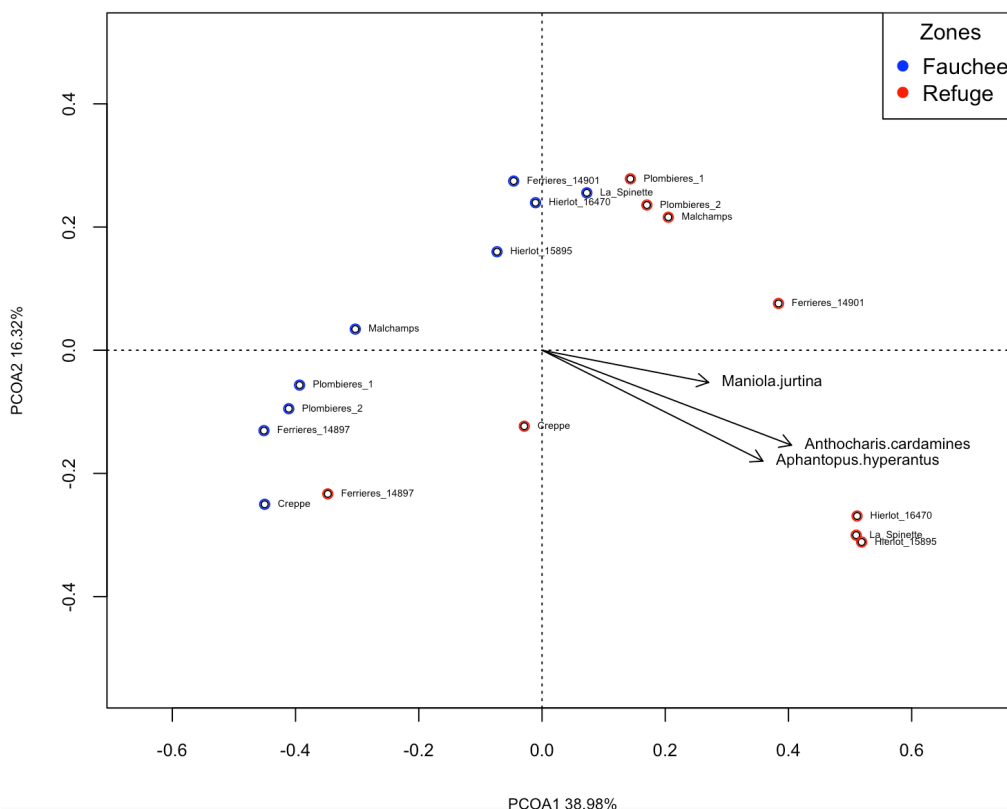


Figure 20 : Analyse en coordonnées principales (ACO) à partir des données d'abondance des espèces de papillons de jour : répartition des stations avec ajout des variables espèces. Les zones et les stations sont représentées par un nuage de points en deux dimensions et leur position est fonction des espèces composant leurs communautés. Les analyses en composantes principales ont été représentées selon leurs deux premières composantes principales correspondant aux dimensions 1 et 2 expliquant une part importante de la variance. Les points bleus correspondent aux zones fauchées, les points rouges correspondent aux zones refuges, les flèches représentent les variables espèces (uniquement celles ayant une corrélation avec les deux premières dimensions supérieures à 0.7). Ces flèches indiquent la direction et la force de la corrélation entre les espèces illustrées et les axes principaux.

L'analyse en coordonnées principales (figure 21) met également en évidence que les zones refuges et fauchées d'une même localité ne possèdent pas des populations similaires entre elles. Cependant, certaines localités semblent posséder des similitudes lorsque l'on compare les mêmes types de zones entre elles. Si l'on prend le cas des prairies « Hierlot » en vert, leurs zones refuges semblent avoir des compositions assez proches (partie inférieure droite). Il en est de même pour leurs zones fauchées (partie supérieure gauche). C'est également le cas des localités de Ferrières (en bleu) et de Plombières (en rose).

## Analyse en coordonnées principales - mise en évidence des communes

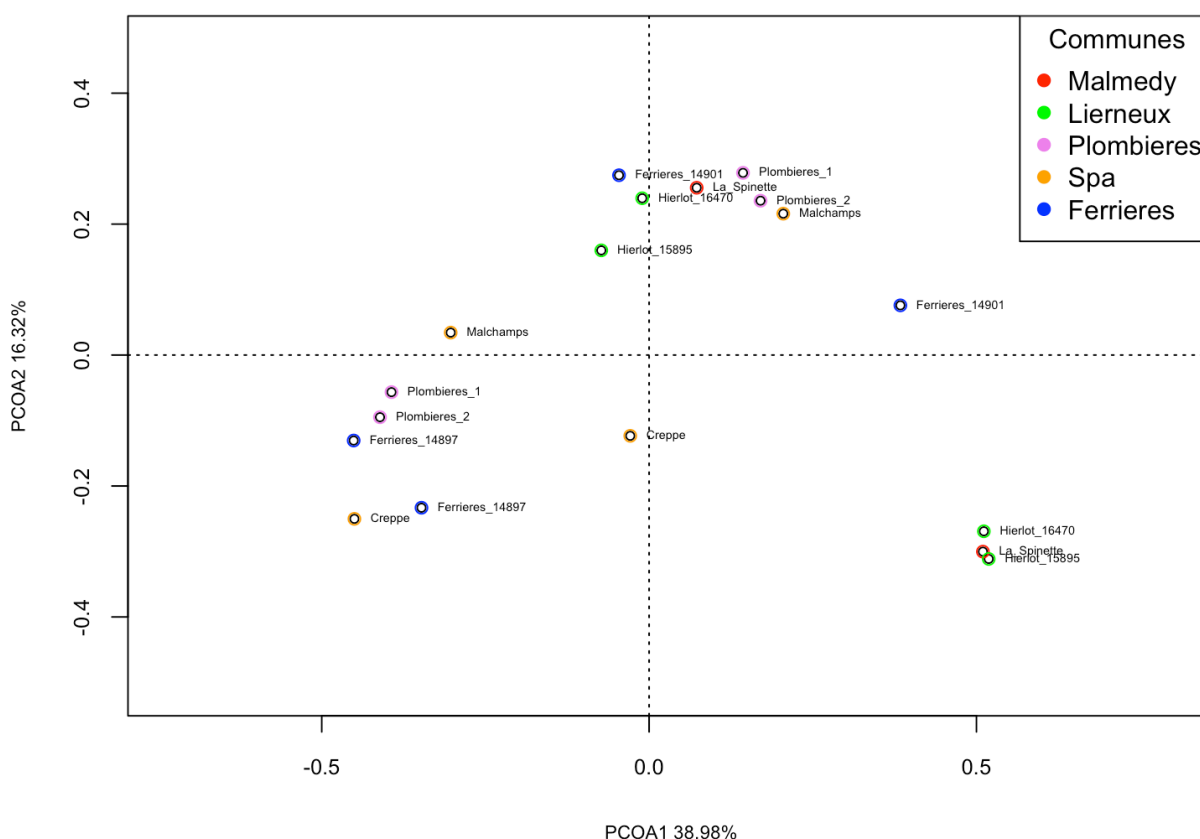


Figure 21 : Analyse en coordonnées principales (ACO) à partir des données d'abondance des espèces de papillons de jour : répartition des stations selon leur composition en espèces en fonction des deux premières dimensions - mise en évidence de la localisation des parcelles. Les zones et les stations sont représentées par un nuage de points en deux dimensions et leur position est fonction des espèces composant leurs communautés. Les analyses en composantes principales ont été représentées selon leurs deux premières composantes principales correspondant aux dimensions 1 et 2 expliquant une part importante de la variance. Les points rouges correspondent aux parcelles de la commune de Malmédy, les points verts correspondent aux parcelles de la commune de Lierneux, les points roses correspondent aux parcelles de la commune de Plombières, les points orange correspondent aux parcelles de la commune de Spa, les points bleus correspondent aux parcelles de la commune de Ferrières.

Après avoir examiné la composition des communautés dans les zones refuges et les zones fauchées, il apparaît que les quatre espèces les plus abondantes dans les zones refuges sont également les quatre espèces les plus abondantes dans les zones fauchées (annexe 2). Il s'agit du Myrtil (*Maniola jurtina*), du Tristan (*Aphantopus hyperantus*), de l'Hespérie du dactyle (*Thymelicus lineola*) et de la Piéride du navet (*Pieris napi*).

Des tests de Wilcoxon signés-rangés ont été réalisés afin de mettre en lumière une potentielle différence significative concernant l'abondance par hectare de ces quatre espèces au sein des zones refuges et des zones fauchées (tableau 5). Il ressort que l'abondance est différente en fonction de la zone pour les quatre espèces étudiées. Concernant le Myrtil (*Maniola jurtina*) et le Tristan (*Aphantopus hyperantus*), ces deux espèces semblent associées aux zones refuges (figure 20).

Indicateur	Résultat du test (V)	P-valeur :	Moyenne (+-écart-type) : zone fauchée	Moyenne (+-écart-type) : zone refuge
<i>Maniola jurtina</i>	2	<b>0.0117</b>	125 ( $\pm$ 67)	411 ( $\pm$ 284)
<i>Aphantopus hyperantus</i>	1	<b>0.0078</b>	13 ( $\pm$ 17)	105 ( $\pm$ 103)
<i>Thymelicus lineola</i>	5	<b>0.0438</b>	15 ( $\pm$ 13)	55 ( $\pm$ 52)
<i>Pieris napi</i>	1	<b>0.0078</b>	13 ( $\pm$ 17)	91 ( $\pm$ 128)

Tableau 5 : Résultats des tests de Wilcoxon signés-rangés ainsi que la p-valeur, la moyenne et l'écart-type de l'abondance de quatre espèces de papillons de jour (*Maniola jurtina*, *Aphantopus hyperantus*, *Thymelicus lineola*, *Pieris napi*).

Pour ces quatre espèces, leur abondance est supérieure dans les zones refuge par rapport aux zones fauchées (figure 22).

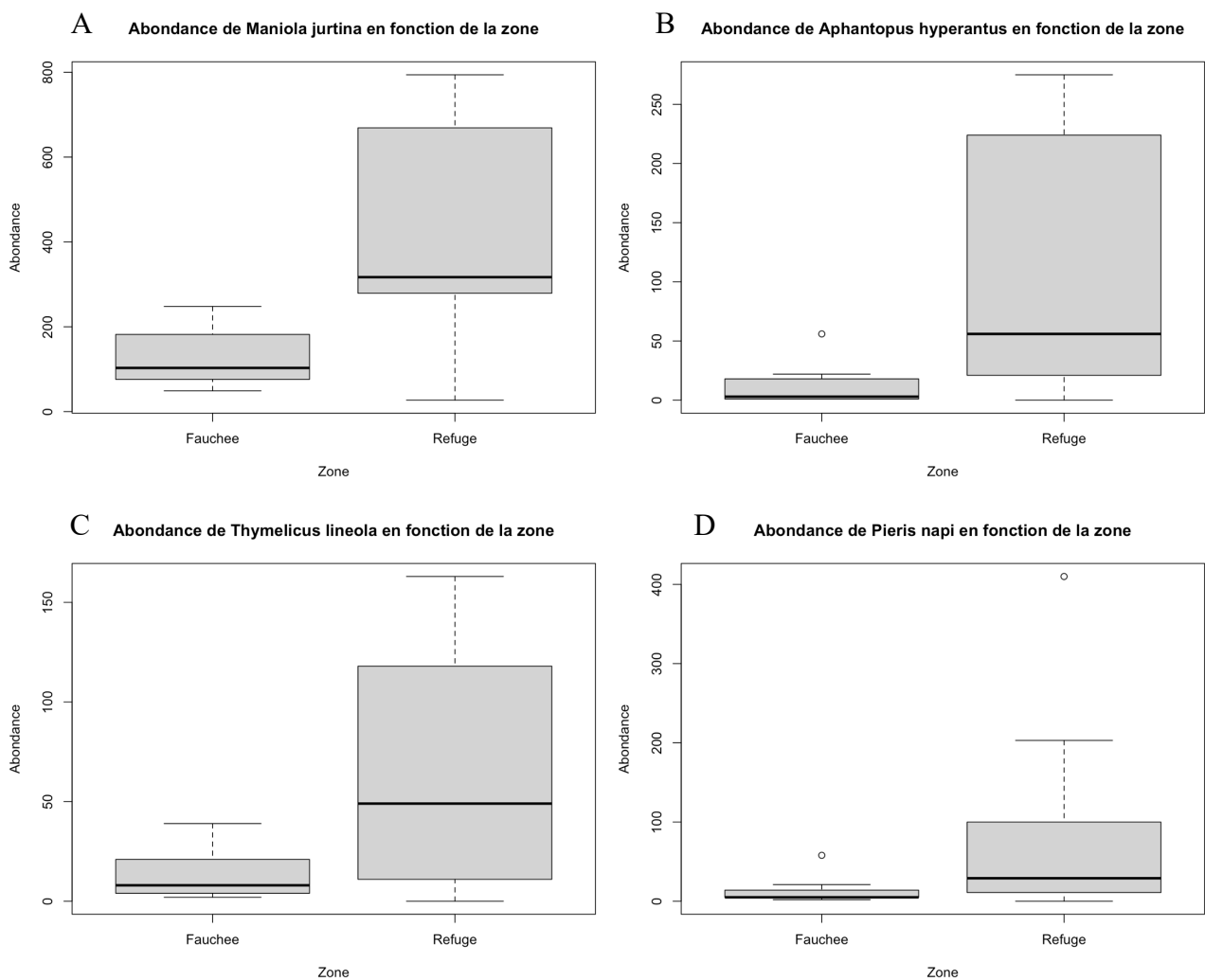


Figure 22 : Boîtes à moustaches de l'abondances des 4 espèces de papillons de jour en fonction des zones refuges et fauchées A. *Maniola jurtina* B. *Aphantopus hyperantus* C. *Thymelicus lineola* D. *Pieris napi*. La ligne noire correspond à la médiane. Les bords inférieur et supérieur de la boîte correspondent aux 1er et 3ème quartiles. La boîte représente l'écart interquartile. Les lignes qui s'étendent au-delà de la boîte (pointillées) sont les moustaches qui indiquent la variation attendue des données. Les valeurs situées au-delà des moustaches sont considérées comme des valeurs aberrantes.

Certaines espèces n'ont été rencontrées qu'en zones fauchées : il s'agit du Petit nacré (*Issoria lathonia*), de l'Azuré du trèfle (*Cupido argiades*) ainsi que du Grand mars changeant (*Apatura iris*). Par ailleurs, d'autres espèces ont été trouvées uniquement dans les zones refuges telles que le Tabac d'Espagne (*Argynnis paphia*) ainsi que le Nacré de la ronce (*Brenthis daphne*) (annexe 2). Toutes les autres espèces ont été trouvées dans les deux zones mais leur abondance varie d'une zone à l'autre.

### 3.5. Analyse des relations plantes insectes

Les espèces de papillons de jour qui ont principalement été observées en train de butiner sont le Myrtil (*Maniola jurtina*), la Sylvaine (*Ochlodes sylvanus*), l'Azuré commun (*Polyommatus icarus*), la Piéride du navet (*Pieris napi*), l'Hespérie du dactyle (*Thymelicus lineola*) ainsi que la Carte géographique (*Araschnia levana*) (figure 23). Les plantes les plus couramment butinées sont la Centaurée jacée (*Centaurea jacea*), le Cirse des champs (*Cirsium arvense*), les ronces (*Rubus sp.*), le Trèfle des prés (*Trifolium pratense*), les Liondents (*Leontodon sp.*) ainsi que le Lotier corniculé (*Lotus corniculatus*).

Le Myrtil (*Maniola jurtina*) a principalement butiné la Centaurée jacée (*Centaurea jacea*), la Cirse des champs (*Cirsium arvense*). La Sylvaine (*Ochlodes sylvanus*) a principalement butiné la Centaurée jacée (*Centaurea jacea*) et le Trèfle des prés (*Trifolium pratense*). L'Azuré commun (*Polyommatus icarus*) a principalement butiné le Lotier corniculé (*Lotus corniculatus*), la Centaurée jacée (*Centaurea jacea*) et le Trèfle des prés (*Trifolium pratense*). Les préférences de la Carte géographique (*Araschnia levana*) sont moins fortes puisqu'elle a butiné six plantes lors des périodes d'échantillonnage mais a butiné un peu plus les Ronces (*Rubus sp.*).

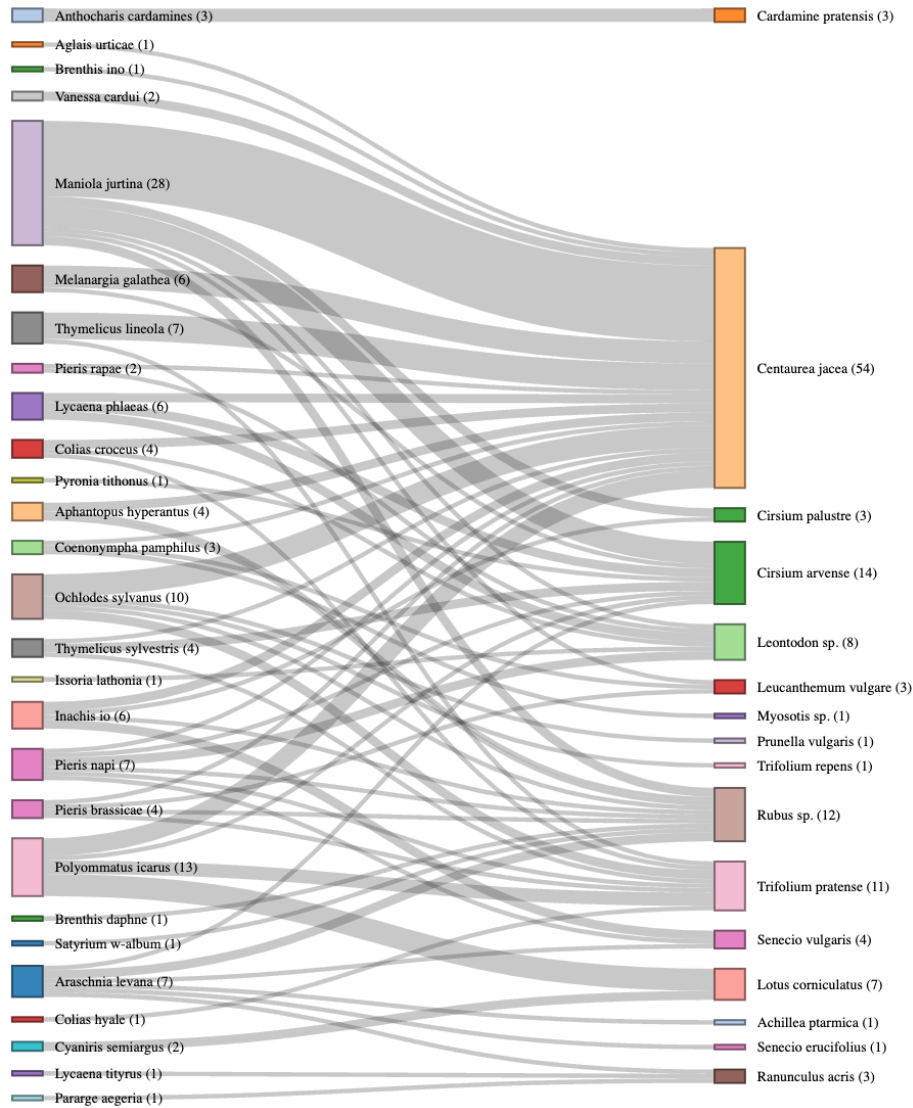


Figure 23 : Diagramme de Sankey illustrant les relations de butinage entre diverses espèces de papillons de jour (à gauche) et de plantes à fleurs (à droite). Entre parenthèses se trouve le nombre d'observations où l'espèce a été identifiée en train de butiner ou d'être butinée.

Les plantes mauves ont accumulé le plus grand nombre d'interactions avec les papillons de jour (86 observations) (figures 24). Concernant la forme des fleurs, il s'agit des fleurs ligulées qui ont accumulé le plus grand nombre d'interactions avec les papillons de jour (84 observations). Les fleurs mauves regroupent *Centaurea jacea*, *Trifolium pratense*, *Cirsium arvense* et la Cirse des marais (*Cirsium palustre*). Les fleurs ligulées regroupent *Leontodon sp.*, le Sénéçon à feuilles de roquette (*Senecio erucifolius*), le Sénéçon commun (*Senecio vulgaris*), *Centaurea jacea*, *Cirsium arvense*, *Cirsium palustre*.

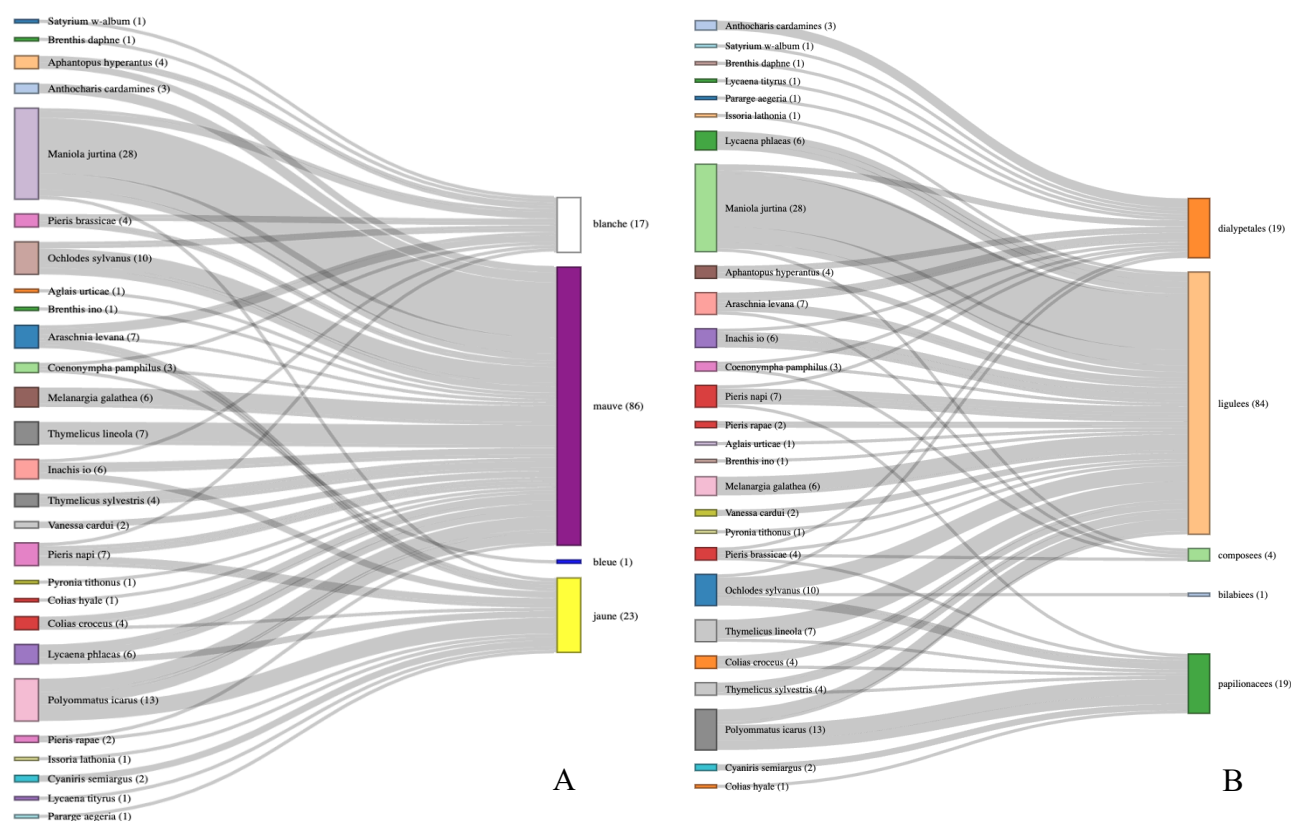


Figure 24 : A. Diagramme de Sankey illustrant les relations de butinage entre diverses espèces de papillons de jour (à gauche) et la couleur des fleurs (blanche, mauve, bleue, jaune) (à droite). B. Diagramme de Sankey illustrant les relations de butinage entre diverses espèces de papillons de jour (à gauche) et la forme des fleurs (dialypétale, ligulée, composée, bilabiée, papilionacée) (à droite). Entre parenthèses se trouve le nombre d’observations où l’espèce a été identifiée en train de butiner ou d’être butinée.

## 4. Discussion

### 4.1. Évolution temporelle des papillons de jour au sein des sites étudiés en lien avec l’analyse des paramètres météorologiques

La température a un impact négatif sur l’abondance des papillons de jours indiquant une baisse de leur abondance lorsque la température augmente. Au contraire, l’humidité a un impact positif sur cette abondance en papillons de jours (tableau3). Ces résultats peuvent sembler inattendus. En effet, les papillons de jour étant des animaux poïkilothermes, une température inférieure à 14°C les impacte négativement. Les relevés ont été effectués dans une gamme de température allant de 15,52 à 29, 72°C (annexe 3).

Une chute de l’abondance des papillons de jour a lieu dès la fin juillet et ce jusqu’en août 2022 avant de connaître un regain en septembre 2022 dans les zones fauchées (figure 8). La canicule qui s’est installée en été 2022 explique cette baisse importante d’abondance des papillons de jour. En effet,

l'impact négatif des étés particulièrement chauds et secs sur les populations de papillons de jour a déjà été démontré (van Swaay, et al., 2022). La végétation des différentes parcelles a été jaunie et asséchée par cette canicule ayant pour conséquence la perte des fleurs préalablement présentes dans les parcelles. Ce manque de fleurs, et par conséquent le manque de nectar a pu conduire au déclin des populations de papillons de jours suite au manque de nourriture. La canicule s'est dissipée en septembre 2022, ce qui correspond également au regain des populations de papillons. L'arrivée de température plus douces et le retour des précipitations a permis un retour de la floraison et par conséquent, un regain des populations de papillons suite aux ressources suffisantes en nectar (Bottero, et al., 2023).

L'évolution de l'abondance des papillons de jour en zones refuges n'est pas similaire à celle des zones fauchées (figure 9). Les zones refuges sont connues, grâce à leur végétation dense, pour offrir une protection au sol contre les fortes température et contre une sécheresse élevée. En comparaison à un sol nu, un sol couvert maintient une meilleure humidité ainsi qu'une température plus basse. Ces zones servent alors de protections contre les climats arides en maintenant un microclimat humide et frais contrairement aux zones fauchées qui s'assèchent plus rapidement. Le stress thermique subi par les papillons est alors réduit dans ces zones refuges qui servent d'abris fourni par la densité de la végétation (Lozano-Parra, Pulido, Lozano-Fondón, & Schnabel, 2018). Cela peut expliquer pourquoi les zones refuges semblent subir une perte réduite d'abondance de papillons de jour au début de la canicule (fin juillet 2022) par rapport aux zones fauchées.

Cependant, la réaction des plantes à la fauche induit un regain de la végétation. Ce regain de la végétation induit un regain des populations de papillons de jour au sein des zones fauchées en septembre 2022. Les zones refuges n'étant pas fauchées, aucun regain des populations de papillons de jour n'est constaté puisqu'aucun regain de végétation n'a lieu. La végétation morte empêche la reprise des végétaux en étouffant le milieu. Ce manque de reprise des végétaux engendre une compétition accrue pour les ressources, notamment pour le nectar, diminuant l'attractivité des zones refuges pour les papillons à cette période (Chevillat, 2021; Popović & Nowicki, 2023).

En 2023, l'abondance dans les zones refuges semble croître au fil du temps avec un pic en juin dans les deux zones étudiées (figures 8 et 9). Cette évolution des populations de papillons suit l'évolution de la floraison puisque le nombre de plantes en fleurs augmente au cours de la saison. Comme les prairies subissent une fauche tardive, lors des relevés de 2023 aucune fauche n'a encore eu lieu ce

qui laisse la possibilité aux papillons de bénéficier de l'entièreté des ressources présentes au sein des parcelles.

Lorsqu'aucune standardisation à l'hectare n'est réalisée, les zones fauchées présentent parfois une richesse spécifique et une abondance totale supérieures à celles des zones refuges (figures 10, 11, 14 et 15). Il est crucial de noter que la zone fauchée est dix fois plus grande que la zone refuge. Cette différence de superficie peut offrir une diversité de milieux plus importante dans les zones fauchées en raison de la taille de la parcelle. Cependant, il est intéressant de constater que l'abondance et la richesse spécifique sont assez comparables dans la zone fauchée et la zone refuge, malgré une superficie dix fois plus petite pour cette dernière. Cela indique une diversité et une quantité de ressources importantes pour les papillons de jour dans les zones refuges.

#### 4.2. Analyse de la diversité globale entre les zones refuges et les zones fauchées

L'objectif de la MAEC « Prairie de haute valeur biologique » (MC4) est de promouvoir une gestion durable des prairies. Parmi les outils mis en œuvre pour atteindre cet objectif figure la création de zones refuges, qui sont laissées non fauchées (État de l'environnement wallon, 2023). Nos résultats sont encourageants car ils montrent une nette différence entre les zones fauchées et les zones refuges. L'abondance et la richesse spécifique des papillons de jour par hectare sont nettement supérieures dans les zones refuges (figure 16), ce qui confirme leur utilité et justifie pleinement leur création. L'objectif de ces zones étant de lutter contre le déclin de la biodiversité, nos résultats semblent confirmer leur efficacité dans cette démarche.

Les zones refuges offrent de nombreuses ressources aux animaux. Parmi elles, la possibilité de se nourrir et de se reproduire en étant à l'abri des modifications brusques de leur environnement crée par la fauche qui crée un déficit important en ces ressources (Bruppacher, Pellet, Arlettaz, & Humbert, 2016; État de l'environnement wallon, 2023). Les espèces dont la capacité de résilience aux perturbations soudaines est faible peuvent maintenir leurs populations au sein des zones refuges. C'est également le cas des espèces de papillons dont la capacité de dispersion est faible qui profitent de la nourriture offerte par les zones refuges sans devoir parcourir de distances trop importantes. Les chenilles mais également les pupes de papillons trouvent la nourriture nécessaire à leur croissance au sein des zones refuges, permettant ainsi un accroissement des populations de papillons adultes (Bruppacher, Pellet, Arlettaz, & Humbert, 2016). Nos résultats confirment que l'ensemble des services rendus par les zones refuges impacte positivement les populations de papillons de jour. La

richesse spécifique et l'abondance des papillons de jour dans les zones refuges est nettement supérieure aux zones fauchées. De plus, une étude réalisée par Bruppacher, Pellet, Arlettaz, & Humbert en 2016 indiquait que les espèces généralistes n'étaient pas les seules à bénéficier de ces zones puisque les zones refuges bénéficient également aux espèces spécialisées. Nos résultats concordent avec cette étude puisque la richesse spécifique des zones refuges est plus élevée que celle des zones fauchées. De plus, les indices de diversités (figure 17) indiquent que les zones fauchées possèdent une répartition plus homogène des individus au sein des différentes espèces que les zones refuges où certaines espèces dominent la communauté. Cette homogénéité des populations étant plus importante au sein des zones refuges, il est probable que les espèces spécialistes aient également accès aux ressources et que ces dernières puissent s'y développer.

L'importance des zones fauchées a également été mise en lumière par diverses études. Kőrösi, et al. a réalisé une étude sur l'Azuré du srepolet (*Maculinea arion*) en Hongrie en 2014 qui a démontré l'impact de l'arrêt de la fauche sur la qualité de l'habitat de cette espèce. La dégradation du milieu induite par l'arrêt de la fauche peut conduire au développement de graminées et de carex au détriment des plantes hôtes de l'espèce (Kőrösi, et al., 2014). Une autre étude réalisée au Japon en 2024 sur *Plebejus subsolanus* a démontré l'importance de la fauche tardive pour la survie des larves et des papillons adultes de cette espèce. Une étude réalisée sur la densité et le comportement des papillons dans les zones refuges par Lebeau, Wesselingh, & Van Dyck en 2015 a démontré que les femelles de *Maniola jurtina* utilisaient préférentiellement les zones fauchées pour y pondre leurs œufs. Ces œufs auraient une probabilité plus importante de donner des papillons adultes lorsqu'ils sont déposés dans la zone fauchée (Lebeau, Wesselingh, & Van Dyck, 2015). Les zones fauchées, lorsque la fauche est tardive, peuvent être utiles au développement de certaines espèces. De plus, les zones fauchées contribuent à maintenir une diversité d'habitats importante aux niches écologiques nombreuses créant des zones intéressantes pour de nombreux papillons de jour (Goffart, 1998; Haaland & Bersier, 2011). La fauche tardive peut créer un habitat différent des zones refuges, en permettant à d'autres plantes à fleurs de s'installer et de se développer, ce qui engendre une augmentation de la diversification de l'environnement. De plus, si une zone n'est pas fauchée pendant une trop longue période, la qualité floristique du milieu peut diminuer et celui-ci peut évoluer en broussaille. Cette transformation réduit l'attractivité du site pour les papillons de jour, car elle limite la diversité des plantes hôtes et des sources de nectar essentielles à leur survie (Chevillat, 2021; Popović & Nowicki, 2023). C'est pour cela que la zone refuge doit être modifiée d'une année à l'autre au sein de la MC4 « prairie de haute valeur biologique ».

Lors de la fauche, les populations de papillons se redistribuent des zones fauchées vers les zones refuges (Aviron, 2000; Lebeau, Wesselingh, & Van Dyck, 2015). Cette redistribution engendre une concurrence accrue pour les ressources alimentaires et les sites de reproduction. Les populations initialement présentes dans ces zones refuges peuvent alors être désavantagées, étant privées de ces ressources (Popović & Nowicki, 2023). Pour éviter cela, les zones refuges devraient être suffisamment vastes pour agir comme tampon, réduisant ainsi les impacts négatifs de cette concurrence. Il est donc pertinent de se demander si maintenir seulement 10% des parcelles en prairie de haute valeur biologique (MC4) en zone refuge est suffisant. Une étude réalisée sur le Myrtil (*Maniola jurtina*) en 2015 par Lebeau, Wesselingh, & Van Dyck a démontré que l'augmentation de densité de papillons dans les zones refuges après la fauche n'est pas suffisante pour contrer ce déclin des populations dû à la fauche. Il existe alors une perte en abondance des papillons de jour dans les parcelles après la fauche. Les zones refuges bien qu'importantes et bénéfiques aux populations de papillons ne semblent pas permettre un maintien total de la biodiversité de la parcelle une fois fauchée (Lebeau, Wesselingh, & Van Dyck, 2015).

Nos résultats indiquent également qu'il existe une perte d'abondance d'environ 72,5% et une perte de richesse spécifique d'environ 47,7% en papillons de jour entre les relevés effectués avant la fauche (au début du mois de juillet) et les relevés effectués juste après la fauche (à la fin du mois de juillet) (annexe 5). Ces résultats vont dans le sens de l'étude réalisée par Lebeau, Wesselingh et Van Dyck qui suggèrent que la taille des zones refuges ne semble pas assez conquête pour pouvoir accueillir une part importante des papillons présents dans la zone fauchée avant la fauche. Cependant, ces résultats se basent uniquement sur deux relevés effectués dans 5 prairies, il faut également tenir compte des conditions météorologiques présentes lors de ces deux passages car ces dernières ont également un impact significatif sur l'abondance en papillons de jours (tableau 3).

Les résultats de la mise en place des prairies de haute valeur biologique (MC4) au niveau des zones refuges sont encourageants mais il semblerait qu'il soit possible de rendre la mesure plus optimale en suivant diverses pistes d'amélioration telles que l'augmentation de la taille de la zone refuge afin de diminuer les pressions liées à la compétition pour les ressources. Il est également crucial de maintenir ou d'améliorer la connexion et la configuration des diverses zones refuges. Pour ce faire, il est possible d'éviter la fauche d'autres parcelles telles que les bords de chemins ou de canaux, afin d'améliorer la connexion et la configuration des zones refuge en créant des corridors écologiques qui facilitent le déplacement et la dispersion des papillons de jour entre les différentes zones (Lebeau, Wesselingh, & Van Dyck, 2015; Bruppacher, Pellet, Arlettaz, & Humbert, 2016).

#### 4.3. Analyse des variations de populations entre les zones refuges et les zones fauchées

Le changement climatique impacte l'aire de répartition de certaines espèces de papillons de jour. Certaines espèces comme l'Azuré du trèfle (*Cupido argiades*) et le Nacré de la Ronce (*Brenthis daphne*) voient leur aire de répartition s'étendre vers le nord. Suite à ça, de nouvelles espèces arrivent en Belgique. L'Azuré du trèfle n'échappe pas à ce constat, cette espèce a disparu de Belgique alors qu'elle était présente dans les années 50 en Fagne-Famenne-Calestienne, en Ardenne, en Lorraine et dans le Condroz (Fichefet, Cors, & Goffart, 2019). En 2008, l'espèce a fait son grand retour et depuis lors, elle semble s'établir dans toutes les régions biogéographiques wallonnes (Fichefet, Cors, & Goffart, 2019; Stassart, 2021). Nos données confirment l'expansion de l'espèce jusqu'en région liégeoise puisqu'elle a été trouvée dans deux parcelles lors de cette étude : à Plombières\_15218\_1 le 9 août 2022 ainsi qu'à Ferrières\_14897 le 1<sup>er</sup> septembre 2022 dans leurs zones fauchées. L'expansion de l'Azuré du trèfle semble due au changement climatique. En effet l'Azuré du trèfle semble bénéficier des hivers plus doux et des étés chauds et secs de plus en plus fréquents en Belgique (Stassart, 2021). C'est d'ailleurs cohérent avec nos résultats puisqu'en 2022 une grosse canicule s'est installée de la fin juillet à la fin août comme décrit précédemment. Les azurés du trèfle ont été photographiés sur du trèfle des prés. Le trèfle des prés étant une plante poussant à proximité du sol, cela peut expliquer pourquoi il n'a été trouvé que dans les zones fauchées où le trèfle des prés a la possibilité de s'étendre contrairement aux zones refuges où d'autres végétaux plus hauts prennent le dessus.

Le Nacré de la ronce (*Brenthis daphne*) a été identifié en Belgique pour la première fois en 2006. Depuis lors, cette espèce est de plus en plus abondante et son aire de répartition s'élargit au nord suite aux changements climatiques (Dopagne, 2018). Il s'agit d'une espèce thermophile, le changement climatique ayant tendance à adoucir les hivers belges, l'espèce s'est adaptée petit à petit à nos régions (Fichefet, Cors, & Goffart, 2019). Le Nacré de la ronce a été rencontré au sein de « La Spinette\_17802 » (Malmedy) le 16 juillet 2022 et le 30 juin 2023 en zone refuge uniquement. Ce papillon se retrouve en lisières forestières ensoleillées riches en ronce. Cette description correspond parfaitement à la zone refuge dans laquelle cette espèce a été identifiée. Lorsque la zone refuge est située en bordure de parcelle et adossée à une forêt, elle forme un habitat hybride qui s'avère idéal pour certains papillons. Ce positionnement combine les avantages des milieux ouverts et forestiers, offrant ainsi une diversité de ressources et de conditions climatiques idéales pour leur survie et leur reproduction. Cela peut également expliquer la présence du Tabac d'Espagne (*Argynnis paphia*) dans la zone refuge de « La Spinette\_17802 » le 30 juin 2023. Ce papillon apprécie particulièrement les

lisières forestières et les prés en bordure de bois (Fichefet, Cors, & Goffart, 2019). La combinaison de ces habitats dans la zone refuge semble créer des conditions idéales pour le développement et la survie de ces espèces. Ceci confirme que les zones refuges sont un milieu complexe disposant d'une multitude d'opportunités pour diverses espèces.

Certaines espèces n'ont été identifiées qu'en zone fauchée (annexe 2), il s'agit du Grand Mars Changeant (*Apatura iris*), du Petit Nacré (*Issoria lathonia*) et de l'Azuré du trèfle (*Cupido argiades*) évoqué ci-dessus. *Apatura iris* a été trouvé au sein de la parcelle « Plombières\_15218\_1 » le 5 juillet 2022. Il s'agit d'un papillon plutôt inféodé aux milieux fermés comme les forêts mais on peut également le trouver en lisière forestière ainsi qu'en prairie humide. (Dopagne, 2018 ; Fichefet, Cors, & Goffart, 2019). Il est assez étonnant de trouver *Apatura iris* au sein d'une zone fauchée. Cependant la parcelle dans laquelle il a été identifié est une prairie plutôt sèche, identifiée comme une pelouse basciline et une prairie de fauche de basse altitude peu à moyennement fertilisées selon la phytosociologie (Waleunis) obtenue sur BIOGEOnet. Cette parcelle est également entourée par une forêt. De plus, l'observation de cette espèce a eu lieu dans la partie accolée à la forêt de cette parcelle. Le Grand Mars Changeant a juste été observé en train de traverser cette zone fraîchement fauchée. Il est alors possible que cette zone ne soit pas intéressante pour cette espèce, d'autant plus qu'à cette période aucun regain de végétation n'était présent. Une autre espèce a également été identifiée uniquement en zone fauchée. Il s'agit du Petit Nacré (*Issoria lathonia*). Cette espèce est intégralement protégée au sens de la loi sur la conservation de la nature. Elle est principalement présente dans les prairies calaminaires mais on peut également la trouver dans des talus, des friches ainsi que des bords de cultures ou de prairies de fauche (Dopagne, 2018; Doncel, Baltus, & Sevrin, 2020). Dans notre étude, cette espèce a été identifiée dans la parcelle « Hierlot\_16470 » le 12 août 2022. Cette parcelle correspond à une prairie pâturée permanente pas ou peu fertilisée ainsi qu'à une prairie de fauche de basse altitude peu à moyennement fertilisée selon la classification phytosociologique (Waleunis). Il s'agit d'une espèce qui apprécie les sols assez nus et assez pauvres ce qui concorde avec la zone fauchée d'une prairie non fertilisée (Fichefet, Cors, & Goffart, 2019).

#### 4.4. Analyse des relations plantes insectes

La Centaurée jacée (*Centaurea jacea*), le Cirse des champs (*Cirsium arvense*), les ronces (*Rubus spp.*), le Trèfle des prés (*Trifolium pratense*), les Liondents (*Leontodon spp.*) et le Lotier corniculé (*Lotus corniculatus*) sont les plantes les plus butinées lors de cette étude (figure 23). Concernant *Centaurea jacea* et *Lotus corniculatus*, une étude réalisée en 2021 par Kolman, Dopagne et Piqueray

au sein des bandes fleuries de Wallonie démontrait que les papillons visitaient principalement trois espèces : *Centaurea jacea*, *Lotus corniculatus* et la Luzerne cultivée (*Medicago sativa*). Cette étude confirme nos résultats indiquant que *Centaurea jacea* et *Lotus corniculatus* attirent une abondance importante ainsi qu'une grande diversité de papillons de jours grâce à leur production importante de nectar dès la fin juin (Kolkman, Dopagne, & Piqueray, 2022). Nos résultats indiquent également que *Maniola jurtina* est le papillon butinant le plus *Centaurea jacea*, ce qui concorde également avec les résultats obtenus par Kolkman, Dopagne et Piqueray ainsi qu'avec les résultats obtenus par Lebeau, Wesselingh, & Van Dyck en 2015 dans une étude sur la densité et le comportement des papillons, notamment *Maniola jurtina*, dans les zones refuges.

Le Myrtil (*Maniola jurtina*), la Sylvaine (*Ochlodes sylvanus*), l'Azuré commun (*Polyommatus icarus*) et la Carte géographique (*Araschnia levana*) sont les espèces qui ont été principalement observées lors des interactions de butinage (figure 23). En ce qui concerne *Maniola jurtina* et *Polyommatus icarus*, il s'agit d'espèces de papillons généralistes dont les populations sont stables à l'échelle de la région wallonne (Kolkman, Dopagne, & Piqueray, 2022). Ces espèces ont été abondamment observées lors de nos relevés. Il n'est donc pas étonnant qu'elles représentent une part importante des interactions de butinage. *Polyommatus icarus* a principalement butiné *Centaurea jacea*, *Lotus corniculatus* et *Trifolium pratense*. Ces résultats concordent avec la littérature puisque *Centaurea jacea*, *Lotus corniculatus* et *Trifolium pratense* sont connues pour attirer de nombreux papillons (Kolkman, Dopagne, & Piqueray, 2022; Harris & Ratnieks, 2024). *Maniola jurtina* a principalement butiné *Centaurea jacea* et *Cirsium arvense*, dont de nombreuses fleurs ont été dénombrées lors de nos relevés.

Les papillons ayant butiné la plus grande diversité de plantes sont *Maniola jurtina*, *Pieris napi* et *Araschnia levana* avec 6 plantes sur les 16 observées. Concernant *Maniola jurtina* et *Pieris napi* il s'agit de deux des espèces les plus abondantes dans nos relevés, *Araschnia levana* représente la 5<sup>ème</sup> espèce la plus abondante dans nos relevés. Cela semble logique que plus l'abondance d'une espèce est importante plus la diversité de plantes qu'elle butine est importante. De plus, ces trois espèces sont généralistes ce qui explique pourquoi elles ont butiné une diversité de plante importante (Cors & Goffart, 2019; Kolkman, Dopagne, & Piqueray, 2022).

Certaines espèces de papillons de jour n'ont butiné qu'une seule plante. Il s'agit de l'Aurore (*Anthocharis cardamines*), la Petite tortue (*Aglais urticae*), le Nacré de la sanguisorbe (*Brenthis ino*), le Soufré (*Colias hyale*), le Demi-argus (*Cyaniris semiargus*), le Petit Nacré (*Issoria lathonia*), le

Tircis (*Pararge aegeria*), l'Amaryllis (*Pyronia tithonus*), le Thécla de l'Orme (*Satyrrium w-album*) ainsi que la Belle-Dame (*Vanessa cardui*). Ces espèces n'ont été que peu présentes lors de la période de relevé. Elles n'ont été identifiées qu'en nombre restreint par rapport à des espèces comme *Maniola jurtina* ou *Polyommatus icarus* qui se sont montrées très abondantes au sein des différents relevés. Il est alors cohérent que peu d'individus aient été observés en interaction avec des plantes.

Cependant, dans cette liste des espèces comme *Aglais urticae*, *Pyronia tithonus* et *Vanessa cardui* sont également considérées comme des espèces généralistes. Il est alors étonnant de ne les avoir observées que sur une plante, *Centaurea jacea* pour *Aglais urticae* et *Vanessa cardui* ou *Cirsium arvense* pour *Pyronia tithonus*. En ce qui concerne *Aglais urticae*, cette espèce montre une tendance à la baisse qui, selon Kolkman, Dopagne, & Piqueray (2021), pourrait être expliquée par les effets néfastes de la sécheresse estivale sur sa plante hôte la Grande ortie (*Urtica dioica*). Cette hypothèse pourrait également expliquer pourquoi *Aglais urticae* n'a été que peu observée durant cette étude (lors de 6 relevés totalisant 10 individus). Concernant *Vanessa cardui*, aucune tendance ne semble se dégager, l'espèce est répandue et commune dans toute la Wallonie (Fichefet, Cors, & Goffart, 2019). Il est assez étonnant de l'avoir observée si peu lors de nos relevés (lors de 6 relevés comptant 9 individus). *Pyronia tithonus* bien que généraliste est une espèce en déclin en Wallonie, ce qui peut expliquer sa faible présence au sein des parcelles étudiées (lors de 6 relevés comptant 11 individus) et donc son observation uniquement sur une plante, *Cirsium arvense* (van Swaay, et al., 2020). Une autre espèce assez commune a été observée ne butinant qu'une seule plante, la Renoncule âcre (*Ranunculus acris*). Il s'agit du Tircis (*Pararge aegeria*). Le Tircis est un papillon assez répandu en Wallonie qui a été assez peu observé lors de ces relevés (lors de 8 relevés comptant 11 individus). A la base il s'agit d'une espèce strictement forestière mais suite au changement climatique, le Tircis est de plus en plus présent dans les paysages agricoles. Il est assez étonnant d'avoir observé si peu d'individus de cette espèce lors de nos relevés. Sa faible présence au sein des relevés rend logique le fait qu'on ne l'a observé que de faibles fois en train de butiner en pleine prairie (Fichefet, Cors, & Goffart, 2019).

Il est intéressant d'observer que *Anthocharis cardamines* n'a été observé que sur la Cardamine des prés (*Cardamine pratensis*) qui est une de ses plantes hôtes bien que ce papillon soit assez abondant au sein des relevés (lors de 23 relevés comptant 67 individus) car commun en Wallonie. Cela pourrait être expliqué par l'apparition de plus en plus précoce de *Anthocharis cardamines* dans la saison, lui laissant peu d'autres opportunités de plantes à butiner que *Cardamine pratensis* dont la floraison a lieu dès la fin mars jusqu'en juin (Navarro-Cano, et al., 2015). *Anthocharis cardamines* était présent

dès les premiers relevés effectués le 4 mai 2023 et ce jusqu'au 1er juin 2023. Cependant, deux relevés ont été effectués dans les différentes parcelles en juin. Un premier au tout début du mois de juin (entre le 1 et le 5 juin) et un second à la fin du mois (entre le 27 et le 30 juin) mais aucun relevé n'a été effectué à la mi-juin. *Anthocharis cardamines* pouvant être observé principalement jusqu'à la mi-juin, il est possible qu'à cette période l'espèce trouve davantage de plantes à butiner (Fichefet, Cors, & Goffart, 2019).

Le Nacré de la sanguisorbe (*Brenthis ino*) a butiné exclusivement *Centaurea jacea*. Comme décrit précédemment il s'agit d'une plante fabricant une grande quantité de pollen et de nectar qui attire de nombreux papillons. Le Soufré (*Colias hyale*) a butiné exclusivement *Trifolium pratense*, une de ses plantes hôtes qui est connue pour être une source importante de nectar et de pollen attirant de nombreux pollinisateurs (Harris & Ratnieks, 2024). Le Demi-argus (*Cyaniris semiargus*) a butiné exclusivement *Lotus corniculatus*, l'une de ses plantes hôte connue pour attirer de nombreux papillons par suite d'une production importante de nectar (Kolkman, Dopagne, & Piqueray, 2022). Le Petit Nacré (*Issoria lathonia*) a butiné exclusivement une plante du genre *Leontodon sp.* Cette observation semble plus inhabituelle, en effet la plupart du temps le Petit Nacré semble butiner des plantes calaminaires. De plus, l'espèce a tendance à augmenter en Wallonie mais reste assez rare et seules certaines espèces de Pensées (*Viola spp.*) semble permettre aux chenilles de se développer (Ertz & Graitson, 2001; Noret, et al., 2007). Cependant, il s'agit d'une espèce migratrice partielle qui possède de bonnes capacités de dispersion et une bonne mobilité ce qui pourrait expliquer sa présence à Lierneux à butiner une espèce de Liondent (Fichefet, Cors, & Goffart, 2019). De plus, 495 fleurs de Liondents ont été dénombrées lors de cette étude, offrant une quantité de pollen importante à disposition des papillons.

Le Thécla de l'Orme (*Satyrrium w-album*) est une espèce intégralement protégée au sens de la loi sur la conservation de la nature de 1973. Cette espèce a tendance à augmenter en Wallonie mais reste assez discrète voire assez rare (Kolkman, Dopagne, & Piqueray, 2022). Un seul individu a été identifié à Malmedy le 16 juillet 2022, ce qui explique pourquoi il a été observé butinant une seule plante (*Rubus sp.*). Il a été trouvé dans la seule parcelle qui n'a pas été fauchée lors de deux années d'échantillonnage. Il s'agit d'une parcelle encerclée par une forêt dont la description phytosociologique est une formation dominée par des arbustes ou des buissons non éricoïdes dont le développement n'est pas entravé par une taille régulière, et qui ne sont ni plantés, ni disposés linéairement (F3 - Fourrés tempérés et méditerranéo-montagnards selon la classification Waleunis). Cette description explique la présence de cette espèce au sein de cette parcelle puisqu'elle fréquente

les forêts ainsi que les lisières et les parcs renfermant des ormes ou de grands arbres mûres et florifères (Fichefet, Cors, & Goffart, 2019).

Les fleurs mauves ont accumulé le plus grand nombre d'interactions avec les papillons de jour (86 observations) (figure 24). Concernant la forme des fleurs, il s'agit des fleurs ligulées qui ont accumulé le plus grand nombre d'interactions avec les papillons de jour (84 observations). Les fleurs mauves regroupent *Centaurea jacea*, *Trifolium pratense*, *Cirsium arvense* et la Cirse des marais (*Cirsium palustre*). Les fleurs ligulées regroupent *Centaurea jacea*, *Cirsium arvense*, *Cirsium palustre*, *Leontodon spp.*, le Sénéçon à feuilles de roquette (*Senecio erucifolius*) ainsi que le Sénéçon commun (*Senecio vulgaris*).

Les fleurs mauves et les fleurs ligulées accumulent le plus grand nombre d'interactions car elles ont été identifiées en plus grand nombre au cours de cette étude. 2408 fleurs mauves ont été dénombrées au cours des différents relevés contre 1675 fleurs jaunes, 525 fleurs blanches, 200 fleurs bleues et 190 fleurs violettes. Sur un total de 4998 fleurs dénombrées, les fleurs mauves représentent 48,18% des fleurs dénombrées pour 67,72% des observations recensées. *Centaurea jacea* représente à elle seule 42,52% des observations recensées, confirmant que cette dernière attire de nombreux papillons (Kolkman, Dopagne, & Piqueray, 2022). Concernant les différentes formes de fleurs, 3147 fleurs ligulées, 855 fleurs dialypétales, 726 fleurs papilionacées, 260 fleurs composées et 10 fleurs bilabiées ont été dénombrées. Les fleurs ligulées représentent 63,5% des fleurs dénombrées pour 66,14% des observations. Encore une fois, *Centaurea jacea* participe fortement à ces pourcentages importants.

## 5. Conclusion

Le déclin des pollinisateurs, y compris des papillons, est une préoccupation importante afin de garantir la sécurité alimentaire humaine ainsi que le bon fonctionnement des écosystèmes. Face à ce déclin, il est crucial d'étudier les effets des méthodes de conservation sur leurs populations. Ce mémoire se concentre sur l'analyse des populations de papillons de jour dans les prairies de haute valeur biologique en analysant les populations des zones refuges et des zones fauchées dans des prairies de haute valeur biologique en région liégeoise. Un second objectif est d'examiner les préférences de butinage des papillons afin de mieux comprendre les réseaux trophiques existants dans ces prairies.

En conclusion, la mise en place de la MAEC « Prairie de haute valeur biologique » (MC4) comportant des zones refuges montre des résultats prometteurs pour la conservation des papillons de jour. Nos résultats indiquent une abondance et une richesse spécifique par hectare nettement supérieures dans les zones refuges par rapport aux zones fauchées. Les zones refuges se distinguent par une plus grande diversité d'espèces et une distribution plus équitable des individus parmi ces espèces. Il existe des différences significatives entre les communautés des zones refuges et fauchées. Ces différences sont également présentes au sein d'une même localité. Certaines espèces sont exclusives à l'une ou l'autre des zones, soulignant l'importance de préserver ces habitats diversifiés pour maintenir la biodiversité des papillons de jour. Ces résultats confirment l'importance cruciale des zones refuges pour la biodiversité, offrant aux animaux un espace pour se nourrir et se reproduire sans subir les perturbations causées par la fauche. Elles favorisent les espèces moins résilientes, fournissent abri et nourriture aux chenilles et pupes de papillons tout au long de l'année, et soutiennent les papillons à faible capacité de dispersion. Il est également important de souligner l'utilité de la partie fauchée des parcelles. Le regain de la végétation suite à une fauche tardive, combiné au maintien d'une zone refuge non fauchée, permet de maintenir une diversité d'habitats élevée incluant de nombreuses niches écologiques favorisant une diversité supérieure en papillons de jours.

Cependant, la superficie de ces zones refuges ne semble pas suffisante afin d'accueillir une part significative des papillons présents initialement dans les zones fauchées. Afin d'améliorer davantage la conservation des populations de papillons de jour, une marge d'amélioration est possible. La gestion de ces prairies peut être davantage perfectionnée afin d'éviter les effets négatifs de la fauche sur certaines espèces et d'améliorer la connectivité entre les zones refuges. Des ajustements, tels que l'augmentation de la taille des zones refuges et le renforcement de la connectivité entre les zones refuges pourraient renforcer leur efficacité pour la conservation des papillons de jour.

En ce qui concerne les préférences de butinage des papillons de jour, certaines plantes comme *Centaurea jacea*, *Lotus corniculatus* et *Trifolium pratense* connaissent un succès important auprès d'une grande diversité de papillons notamment pour leur production importante de nectar. Les papillons butinant la plus grande diversité de plantes sont des espèces généralistes telles que *Maniola jurtina* et *Polyommatus icarus* tandis que les espèces en déclin qui ont été faiblement observées lors de cette étude, comme la *Aglais urticae* et *Pyronia tithonus*, sont moins diversifiées dans leurs interactions de butinage.

## 6. Bibliographie

- État de l'environnement wallon. (2023, Juillet 13). *Méthodes agro-environnementales et climatiques*. Récupéré sur État de l'environnement wallon: <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/AGRI%2010.html#>
- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (2009). How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of botany*, 1579-1588.
- Allaire, J., Gandrud, C., Russell, K., & Yetman, C. (2017). *networkD3: D3 JavaScript Network Graphs from R*.
- Aviron, S. (2000). *Dynamique des paysages agricoles et flux de papillons rhopalocères (Maniola jurtina L., Satyridae)*.
- Biesmeijer, J. C., Roberts, S. P., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., . . . Kunin, W. E. (2006, Juillet 21). Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science*, pp. 351-354.
- Bommarco, R., Lundin, O., Smith, H. G., & Rundlöf, M. (2012, Janvier). Drastic historic shifts in bumble-bee community composition in Sweden. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, pp. 309-315.
- Bottero, I., Dominik, C., Schweiger, O., Albrecht, M., Attridge, E., Brown, M. J., . . . Ivar. (2023, Mai 5). Impact of landscape configuration and composition on pollinator communities across different European biogeographic regions. *Frontiers in ecology and evolution*.
- Bruppacher, L., Pellet, J., Arlettaz, R., & Humbert, J.-Y. (2016, Avril). Simple modifications of mowing regime promote butterflies in extensively managed meadows: Evidence from field-scale experiments. *Biological conservation*, pp. 196-202.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., & Dirzo, R. (2017, Juillet 25). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, pp. E6089-E6096.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M., & Palmer, T. M. (2015, Juin). Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science advances*.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. pp. 45-67.
- Chevillat, V. (2021, Février 18). Protéger les habitants des prairies pendant la fauche. *BIOActualities*.
- Commission européenne. (2023). *Plan Stratégique de la PAC - Wallonie*.
- Commission européenne. (s.d.). *La politique agricole commune: 2023-2027*. Récupéré sur Commission européenne: [https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27\\_fr#:~:text=La%20PAC%202023%2D2027%20aide,d%27environnement%20et%20de%20climat](https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27_fr#:~:text=La%20PAC%202023%2D2027%20aide,d%27environnement%20et%20de%20climat).
- Cors, V. F., & Goffart, P. (2019, Juin 19). *Carte géographique (Araschnia levana)*. Récupéré sur La biodiversité en Belgique: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/araschnia-levana.html?IDD=50333869&highlighttext=A.+levana+&IDC=719>
- De Vos, J. M., Joppa, L. N., Gittleman, J. L., Stephens, P. R., & Pimm, S. L. (2015). Estimating the normal background rate of species extinction. *Conservation biology*, 452-462.
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J., & Collen, B. (2014, Juillet). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, pp. 401-406.

- Doncel, A., Baltus, H., & Sevrin, D. (2020). *Monitoring des papillons diurnes - Résultats des inventaires 2019*. Natagora.
- Dopagne, C. (2016). *Suivi des populations de papillons diurnes sur les bandes fleuries (MC8) Suivi 2016*. Liège: Natagriwal.
- Dopagne, C. (2018). *Suivi des populations de papillons diurnes sur les bandes fleuries (MC8c) Suivi 2018*. Liège: Natagriwal.
- Ertz, D., & Graitson, E. (2001, Juin). Effectifs des populations, répartition et statut du petit nacré, *Issoria lathonia* L., sur les terrains calaminaires du bassin de la Vesdre (province de Liège, Belgique) (Lepidoptera: Nymphalidae). *Linneana Belgica: Revue Belge d'Entomologie*, pp. 87-92.
- Etat de l'environnement wallon. (2018, Janvier 10). *Réseau Natura 2000*. Récupéré sur Etat de l'environnement wallon: <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/FFH%2015.html>
- European Commission. (2021, Janvier 13). *Glossaire: Unité de gros bétail (UGB)*. Récupéré sur European Commission: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Livestock\\_unit\\_\(LSU\)/fr](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Livestock_unit_(LSU)/fr)
- European Commission. (s.d.). *Natura 2000 : The largest network of protected areas in the world*. Récupéré sur European Commission: [https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/natura-2000\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/natura-2000_en)
- Fichefet, V., Barbier, Y., Bagnée, J.-Y., Dufrière, M., Goffart, P., Maes, D., & Van Dyck, H. (2008). *Papillons de jour de Wallonie (1985-2007)*. Jambes, Belgium: Service Public de Wallonie, Direction Générale de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et de l'Environnement. Récupéré sur Service Public de Wallonie, Direction Générale de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et de l'Environnement.
- Fichefet, V., Cors, R., & Goffart, P. (2019, Juin 12). *Aurore (Anthocharis cardamines)*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/anthocharis-cardamines.html?IDD=50333897&highlighttext=cardamines+&IDC=279>
- Fichefet, V., Cors, R., & Goffart, P. (2019, Juin 12). *Azuré du trèfle (Cupido argiades)*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/cupido-argiades.html?IDD=50333838&IDC=280>
- Fichefet, V., Cors, R., & Goffart, P. (2019, Juin 12). *Belle Dame (Vanessa cardui)*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/vanessa-cardui.html?IDD=50333894&highlighttext=vanessa+cardui+&IDC=276>
- Fichefet, V., Cors, R., & Goffart, P. (2019, Juin 12). *Grand Mars changeant (Apatura iris)*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/apatura-iris.html?IDD=50333868&highlighttext=Apatura+iris+&IDC=276>
- Fichefet, V., Cors, R., & Goffart, P. (2019, Juin 12). *Nacré de la ronce (Brenthis daphne)*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/brenthis-daphne.html?IDD=50334625&highlighttext=Brenthis+daphne+&IDC=276>
- Fichefet, V., Cors, R., & Goffart, P. (2019, Juin 12). *Petit Nacré (Issoria lathonia)*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/issoria-lathonia.html?IDD=50333880&highlighttext=Issoria+lathonia+&IDC=276>
- Fichefet, V., Cors, R., & Goffart, P. (2019, Juin 12). *Petit Nacré (Issoria lathonia)*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie : <http://biodiversite.wallonie.be/fr/issoria-lathonia.html?IDD=50333880&highlighttext=+Issoria+lathonia+&IDC=276>
- Fichefet, V., Cors, R., & Goffart, P. (2019, Juin 12). *Tabac d'Espagne (Argynnis paphia)*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/argynnis-paphia.html?IDD=50333870&highlighttext=Argynnis+paphia+&IDC=276>

- Fichefet, V., Cors, R., & Goffart, P. (2019, Juin 12). *Thécla de l'Orme (Satyrium w-album)*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/satyrium-w-album.html?IDD=50333862&highlighttext=Satyrium+w-album+&IDC=280>
- Fichefet, V., Cors, R., & Goffart, P. (2019, Juin 12). *Tircis (Pararge aegeria)*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/pararge-aegeria.html?IDD=50333929&highlighttext=Pararge+aegeria+&IDC=681>
- Foristera, M. L., McCallb, A. C., Sandersc, N. J., Fordycec, J. A., Thorned, J. H., O'Briend, J., . . . Shapiroe, A. M. (2010, Février). Compounded effects of climate change and habitat alteration shift patterns of butterfly diversity. . *Proceedings of the National Academy of Sciences*, pp. 2088-2092.
- Goffart, P. (1998). Gestion des milieux, entomofaune et réflexions sur la conservation de la nature. *Parcs & Réserves*, pp. 12-17.
- Haaland, C., & Bersier, L.-F. (2011, Avril). What can sown wildflower strips contribute to butterfly conservation?: An example from a Swiss lowland agricultural landscape. *Journal of Insect Conservation*, pp. 301-309.
- Habel, J. C., Segerer, A., Ulrich, W., Torchyk, O., Weisser, W. W., & Schmitt, T. (2016, Août). Butterfly community shifts over two centuries. *Conservation Biology*, pp. 754–762.
- Halsch, C. A., Code, A., Hoyle, S. M., Fordyce, J. A., Baert, N., & Forister, M. L. (2020, Juin). Pesticide Contamination of Milkweeds Across the Agricultural, Urban, and Open Spaces of Low-Elevation Northern California. *Frontiers in ecology and evolution*.
- Harris, C., & Ratnieks, F. L. (2024, Mai). Improving pollen and nectar supply by identifying the red clover (*Trifolium pratense*) cultivars that attract most pollinators. *Agricultural and forest entomology*, pp. 273-283.
- Hayamizu, M., Nakahama, N., Ohwaki, A., Kinoshita, G., Uchida, Y., Koyama, N., & Kida, K. (2024, Mars 27). Effect of mowing on population maintenance of the endangered silver-studded blue butterfly, *Plebejus subsolanus* (Lepidoptera: Lycaenidae), throughout its life cycle in Japan. *Journal of insect conservation*.
- Houard, X., & Jaulin, S. (2018). *Plan national d'actions 2018-2028 en faveur des papillons de jour - Agir pour la préservation de nos lépidoptères diurnes patrimoniaux*. Direction régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement Auvergne-Rhône-Alpes avec l'appui du Ministère de la Transition écologique et solidaire.
- J. A. Thomas, D. J. (2011). Evidence based conservation of butterflies. *Journal of Insect Conservation*, 241-258.
- Jones-Walters, L., Gillings, S., Groen, T., Hennekens, S., Noble, D., Santini, L., . . . Sluis, T. v. (2016). *The "Umbrella Effect" of the Natura 2000 network: an assessment of species inside and outside the European Natura 2000 protected area network : executive summary*. Alterra-rapport.
- Kőrösi, Á., Szentirmai, I., Batáry, P., Kövér, S., Örvössi, N., & Peregovits, L. (2014, Octobre). Effects of timing and frequency of mowing on the threatened scarce large blue butterfly – A fine-scale experiment. *Agriculture, ecosystems & environment*, pp. 24-33.
- Keil, P., Biesmeijer, J. C., Barendregt, A., Reemer, M., & Kunin, W. E. (2011, Juin). Biodiversity change is scale-dependent: an example from Dutch and UK hoverflies (Diptera, Syrphidae). *Ecography* , pp. 392-401.
- Kolkman, A., Dopagne, C., & Piqueray, J. (2022). *Sown wildflower strips offer promising long term results for butterfly conservation*. *Journal of Insect Conservation*.
- La biodiversité en Wallonie. (2011, février 01). *Les projets LIFE en Wallonie*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/projets-life.html?IDC=3260#:~:text=Les%20projets%20LIFE%20sont%20des,espèces%20visés%20par%20Natura%202000>.

- La biodiversité en Wallonie. (s.d.). *Natura 2000*. Récupéré sur La biodiversité en Wallonie: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/natura-2000.includehtml?IDC=2915>
- Lebeau, J., Wesselingh, R. A., & Dyck, H. V. (2016, Mai). Nectar resource limitation affects butterfly flight performance and metabolism differently in intensive and extensive agricultural landscapes. *Biological sciences*.
- Lebeau, J., Wesselingh, R. A., & Van Dyck, H. (2015, Août 18). Butterfly density and behaviour in uncut hay meadow strips : behavioural ecological consequences of an agri-environmental scheme. *PLoS One*, pp. 1-17.
- LIFE Papillons. (2015). *Projet Life Papillons - Rapport final*. Récupéré sur <https://www.life-papillons.eu/>
- Lozano-Parra, J., Pulido, M., Lozano-Fondón, C., & Schnabel, S. (2018, Décembre). How do Soil Moisture and Vegetation Covers Influence Soil Temperature in Drylands of Mediterranean Regions? *Water (Basel)*, p. 1747.
- Lozier, J. D., Strange, J. P., Stewart, I. J., & Cameron, S. A. (2011, Décembre). Patterns of range-wide genetic variation in six North American bumble bee (Apidae: *Bombus*) species. *Molecular ecology*, pp. 4870-4888.
- Luppi, M., Dondina, O., Orioli, V., & Bani, L. (2018, Février). Local and landscape drivers of butterfly richness and abundance in a human-dominated area. *Agriculture, ecosystems & environment*, pp. p.138-148.
- Mühlethaler, R., Köthe, S., Hörren, T., Sorg, M., Eichler, L., & Lehmann, G. U. (2024, Mars 11). No recovery in the biomass of flying insects over the last decade in German nature protected areas. *Ecology and Evolution*.
- Méthodes agro-environnementales et climatiques. (2018).
- Natagriwal. (2024, Février). *Le programme agroenvironnemental en Wallonie : liste des méthodes*. Récupéré sur Natagriwal: <https://www.natagriwal.be/wp-content/uploads/2023/06/A4-Tableau-MAEC-FR-022024-HD.pdf>
- Natagriwal. (s.d.). *Historique des MAEC*. Récupéré sur Natagriwal: <https://www.natagriwal.be/maec/la-genese-des-maec/>
- Natagriwal. (s.d.). *Prairie de haute valeur biologique (PHVB) – MC4*. Récupéré sur Natagriwal: <https://www.natagriwal.be/projet/prairie-de-haute-valeur-biologique-phvb/>
- Navarro-Cano, J. A., Karlsson, B., Posledovich, D., Toftegaard, T., Wiklund, C., Ehrlén, J., & Gotthard, K. A. (2015, Janvier). Climate change, phenology, and butterfly host plant utilization . *Ambio*, pp. S78-S88.
- Noret, N., Josens, G., Escarre Blanch, J., Lefebvre, C., Panichelli, S., & Meerts, P. J. (2007, Mars). Development of *Issoria lathonia* (Lepidoptera: Nymphalidae) on zinc-accumulating and nonaccumulating *Viola* species (Violaceae). *Environmental toxicology and chemistry*, pp. 565-571.
- Oksanen, J., G, S., F, B., R, K., P, L., P, M., . . . M, F. (2024). *vegan: Community Ecology Package*. Récupéré sur <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Popović, M., & Nowicki, P. (2023, Février 21). Movements of a Specialist Butterfly in Relation to Mowing Management of Its Habitat Patches. *Biology (Basel, Switzerland)*.
- Potts, S. G., Roberts, S. P., Dean, R., Marris, G., Brown, M. A., Jones, R., . . . Settele, J. (2010). Declines of managed honey bees and beekeepers in Europe. *Journal of apicultural research*, pp. 15-22.
- Potts, S., Biesmeijer, K., Bommarco, R., Breeze, T., Carvalheiro, L., Franzén, M., . . . R. (2015). *Status and trends of European pollinators. Key findings of the STEP project*. Pensoft Publishers.
- Rada, S., Schweiger, O., Harpke, A., Kühn, E., Kuras, T., Settele, J., . . . Andersen, A. (2019, Février). Protected areas do not mitigate biodiversity declines: A case study on butterflies. *Diversity & distributions*, pp. 217-224.

- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P., Howlett, B. G., Winfree, R., . . .  
Carvalho, L. G. (2016, Janvier 5). Non-bee insects are important contributors to global  
crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of  
America*, pp. 146-151.
- Ravetto Enri, S., Probo, M., Farruggia, A., Lanore, L., Blanchetete, A., & Dumont, B. (2017,  
Avril). A biodiversity-friendly rotational grazing system enhancing flower-visiting insect  
assemblages while maintaining animal and grassland productivity. *Agriculture, ecosystems  
& environment*, pp. 1-10.
- Robin J Curtis, T. M. (2015, Décembre ). Butterfly abundance is determined by food availability  
and is mediated by species traits. *The Journal of applied ecology*, pp. p.1676-1684.
- Rouxhet, S., Halford, M., Goret, T., Walot, T., Roi, A. L., Thirion, M., & Mulders, C. (2008). *Vade-  
mecum relatif à l'avis technique dans le cadre du programme agro-environnemental :  
METHODE 8 - Prairie de haute valeur biologique*.
- SPW wallonie. (2024, Février 5). *MAEC Prairie à haute valeur biologique - MC4 (Nouveauté  
2024)*. Récupéré sur Portail de l'agriculture wallonne:  
[https://agriculture.wallonie.be/home/aides/pac-2023-2027-description-des-  
interventions/mesures-agro-environnementales-et-climatiques-nouveaute-2024/maec-  
prairie-a-haute-valeur-biologique---mc4--nouveaute-2024.html](https://agriculture.wallonie.be/home/aides/pac-2023-2027-description-des-interventions/mesures-agro-environnementales-et-climatiques-nouveaute-2024/maec-prairie-a-haute-valeur-biologique---mc4--nouveaute-2024.html)
- Stassart, C. (2021, Juillet 13). L'effet papillon du changement climatique. *Daily Science*.
- Thomas, J. A. (2016). Butterfly Communities under Threat. *Science*, 216–218.
- van Swaay, C. A., Van Strien, A., Aghababayan, K., Åström, S., Botham, M., Brereton, T., . . .  
Fontaine. (2016). The European Butterfly Indicator for Grassland species: 1990-2015.  
*BECC: Biodiversity and Ecosystem services in a Changing Climate*.
- van Swaay, C., Bos-Groenendijk, G., Van Grunsven, R., Van Deijk, J., Stip, A., De Vries, H., . . .  
Poot, M. (2020). *Vlinders, libellen en hommels geteld - jaarverslag 2019*. De  
Vlinderstichting.
- van Swaay, C., Cuttelod, A., Collins, S., Maes, D., Munguira, M. L., Šašić, M., . . . Wynhoff, I.  
(2010, Janvier). *European Red List of Butterflies*. Luxembourg: Publications Office of the  
European Union.
- van Swaay, C., Dennis, E., Schmucki, R., Sevilleja, C., Arnberg, H., Åström, S., . . . Escobés, R.  
(2022). *European Grassland Butterfly Indicator 1990-2020 Technical report*. Butterfly  
Conservation Europe.
- Vanbergen, A. J., & Initiative, t. I. (2013). Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators.  
*Front Ecol Environ*, 251-259.
- vanEngelsdorp, D., Hayes, J., Underwood, R. M., Caron, D., & Pettis, J. (2011, Janvier). A survey  
of managed honey bee colony losses in the USA, fall 2009 to winter 2010. *Journal of  
Apicultural Research*, pp. 1-10.
- Warren, M. S., Hill, J. K., Thomas, J. A., Asher, J., Fox, R., Huntley, B., . . . Thomas, C. D. (2001,  
Novembre). Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat  
change. *Nature*, pp. 65-69.
- Warren, M. S., Maes, D., van Swaay, C. A., Goffart, P., Van Dyck, H., Bourn, N. A., . . . Ellis, S.  
(2021, Janvier). The decline of butterflies in Europe: Problems, significance, and possible  
solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS*.
- Wibail, L., Smits, Q., Couvreur, J.-M., Delmarche, C., Manet, B., Goffart, P., . . . Derochette, L.  
(2014). *Évaluation de l'état de conservation des habitats et espèces Natura 2000 en  
Wallonie. Résultats du Rapportage Article 17 au titre de la Directive 92/43/CEE pour la  
période 2007-2012*.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.  
Récupéré sur ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis.

Wickham, H., & Bryan, J. (2023). *readxl: Read Excel Files*. Récupéré sur <https://CRAN.R-project.org/package=readxl>

Young, H. S., McCauley, D. J., Galetti, M., & Dirzo, R. (2016, Novembre). Patterns, Causes, and Consequences of Anthropocene Defaunation. *Ecology, evolution, and systematics*.

## 7. Annexes

Annexe n°1 : plan des relevés effectués en 2022 et 2023.

Station /date	Plombières _15218_1	Plombières _15218_2	Malmedy _17565	La Spinette 17802	Malchamps _14582	Creppe _15424	Hierlot _16470	Hierlot _15895	Ferrieres _14901	Ferrieres _14897
05/07/22	x	x								
08/07/22									x	x
09/07/22					x	X				
11/07/22							x	x		
16/07/22			x	x						
27/07/22	x	x								
29/07/22						X			x	x
30/07/22					x		x	x		
02/08/22			x	x						
09/08/22	x	x								
11/08/22									x	x
12/08/22							x	x		
13/08/22					x	x				
16/08/22			x	x						
01/09/22						x			x	x
02/09/22	x	x								
05/09/22					x		x	x		
06/09/22			x	x						
Relevés en 2022	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Station /date	Plombières _15218_1	Plombières _15218_2	Malmedy _17565	La Spinette 17802	Malchamps _14582	Creppe _15424	Hierlot _16470	Hierlot _15895	Ferrieres _14901	Ferrieres _14897
04/05/23									x	x
13/05/23							x	x		
14/05/23	x	x								
20/05/23					x	x				
21/05/23			x	x						
27/05/23	x	x								
28/05/23							x		x	x
01/06/23			x	x				x		
05/06/23					x	x				
27/06/23							x	x	x	x
28/06/23			x		x	x				
30/06/23	x	x		x						
17/07/23							x	x		
18/07/23	x	x								
Relevés en 2023	4	4	3	3	3	3	4	4	3	3

Annexe n°2 : abondance des espèces dans les zones refuges et fauchées.

	Fauchée	Refuge
<i>Maniola jurtina</i>	1126	3702
<i>Aphantopus hyperantus</i>	117	944
<i>Pieris napi</i>	120	815
<i>Thymelicus lineola</i>	133	495
<i>Araschnia levana</i>	13	362
<i>Polyommatus icarus</i>	87	350
<i>Ochlodes sylvanus</i>	35	264
<i>Anthocharis cardamines</i>	41	238
<i>Thymelicus sylvestris</i>	35	205
<i>Melanargia galathea</i>	59	154
<i>Pieris rapae</i>	28	139
<i>Colias croceus</i>	52	97
<i>Vanessa atalanta</i>	14	86
<i>Pieris brassicae</i>	14	78
<i>Inachis io</i>	25	66
<i>Cyaniris semiargus</i>	7	54
<i>Brenthis daphne</i>	0	54
<i>Brenthis ino</i>	33	50
<i>Pararge aegeria</i>	3	42
<i>Colias hyale</i>	14	41
<i>Lycaena phlaeas</i>	38	40
<i>Coenonympha pamphilus</i>	9	34
<i>Pyronia tithonus</i>	1	32
<i>Gonepteryx rhamni</i>	6	25
<i>Lycaena tityrus</i>	9	23
<i>Aricia agestis</i>	3	23
<i>Aporia crataegi</i>	5	9
<i>Argynnis paphia</i>	0	9
<i>Vanessa cardui</i>	5	8
<i>Celastrina argiolus</i>	3	8
<i>Leptidea sinapis</i>	1	3
<i>Aglais urticae</i>	6	2
<i>Papilio machaon</i>	2	2
<i>Issoria lathonia</i>	3	0
<i>Cupido argiades</i>	2	0
<i>Apatura iris</i>	1	0

Annexe n°3 : base de données des différents relevés comportant la richesse spécifique, l'abondance, la température et l'humidité.

Stations et date	Sp	Ind	Température	Humidité
Creppe_15424 2022-07-09	8	144	19,98	62,23
Creppe_15424 2022-07-29	3	9	21,83	52,02
Creppe_15424 2022-08-13	2	4	27,95	24,96
Creppe_15424 2022-09-01	3	6	21,03	46,34
Creppe_15424 2023-05-20	2	8	16,2	63,14
Creppe_15424 2023-06-05	1	3	21,17	35,12
Creppe_15424 2023-06-28	6	231	18,97	66,38
Ferrieres_14897 2022-07-08	13	134	20,24	54,36
Ferrieres_14897 2022-07-29	6	14	23,43	46,58
Ferrieres_14897 2022-08-11	7	16	29,72	23,24
Ferrieres_14897 2022-09-01	6	16	23,15	41,03
Ferrieres_14897 2023-05-04	3	20	21,66	37,81
Ferrieres_14897 2023-05-28	5	5	22,1	38,83
Ferrieres_14897 2023-06-27	6	148	20,4	48,5
Ferrieres_14901 2022-07-08	15	174	19,99	55,05
Ferrieres_14901 2022-07-29	6	24	23,2	47,07
Ferrieres_14901 2022-08-11	3	9	29,42	23,55
Ferrieres_14901 2022-09-01	4	17	22,84	41,83
Ferrieres_14901 2023-05-04	3	10	21,39	38,4
Ferrieres_14901 2023-05-28	3	4	21,88	38,89
Ferrieres_14901 2023-06-27	6	243	20,1	49,25
Hierlot_15895 2022-07-11	8	109	19,97	67,71
Hierlot_15895 2022-07-30	5	21	22,78	43,33
Hierlot_15895 2022-08-12	1	5	28,7	22,84
Hierlot_15895 2022-09-05	6	15	24,62	45,28
Hierlot_15895 2023-05-13	5	12	16,84	56,52
Hierlot_15895 2023-06-01	3	4	20,12	48,06
Hierlot_15895 2023-06-27	7	93	19,21	49,9
Hierlot_15895 2023-07-17	10	98	20,24	47,74
Hierlot_16470 2022-07-11	7	183	20,01	67,61
Hierlot_16470 2022-07-30	4	13	22,82	43,43
Hierlot_16470 2022-08-12	3	6	28,79	22,73
Hierlot_16470 2022-09-05	3	8	24,75	44,88
Hierlot_16470 2023-05-13	6	19	16,9	56,35
Hierlot_16470 2023-05-28	8	21	21,8	36,26
Hierlot_16470 2023-06-27	8	122	19,3	49,69
Hierlot_16470 2023-07-17	9	60	20,33	47,52
La spinette_17802 2022-07-16	12	158	19,15	53,58

La spinette_17802 2022-08-02	6	35	23,79	52,21
La spinette_17802 2022-08-16	3	55	23,76	51,98
La spinette_17802 2022-09-06	9	54	24,56	44,26
La spinette_17802 2023-05-21	5	28	19,04	67,37
La spinette_17802 2023-06-01	8	24	18,88	48,53
La spinette_17802 2023-06-30	9	280	17,41	53,43
Malchamps_14582 2022-07-09	7	139	19,02	65,18
Malchamps_14582 2022-07-30	3	7	21,02	47,03
Malchamps_14582 2022-08-13	1	2	26,93	26,31
Malchamps_14582 2023-05-20	1	2	15,52	64,57
Malchamps_14582 2023-06-05	2	6	20,4	35,56
Malchamps_14582 2023-06-28	8	186	18	69,17
Malmedy_17565 2022-07-16	15	76	20,32	50,37
Malmedy_17565 2022-08-02	2	3	25,06	49,08
Malmedy_17565 2022-08-16	1	1	24,7	51,25
Malmedy_17565 2022-09-06	3	5	25,53	43,35
Malmedy_17565 2023-05-21	4	26	19,95	64,71
Malmedy_17565 2023-06-01	5	17	19,8	47,48
Malmedy_17565 2023-06-28	7	171	19,37	64,03
Plombieres_15218 2022-07-05	13	494	20,62	51,52
Plombieres_15218 2022-07-27	8	89	18,73	46,98
Plombieres_15218 2022-08-09	10	80	25,68	39,63
Plombieres_15218 2022-09-02	10	335	24,57	31,94
Plombieres_15218 2023-05-14	7	42	16,26	66,81
Plombieres_15218 2023-05-27	6	50	20,66	42,83
Plombieres_15218 2023-06-30	10	523	19,77	50,22
Plombieres_15218 2023-07-18	12	119	23,31	42,02

Annexen°4 : base de données utilisée pour les tests Wilcoxon signés-rangés et les ACoP.

Station Zone	La Spinette		Hierlot_16470		Hierlot_16470		Hierlot_15895		Plombières_1		Plombières_2		Malchamps		Creppe		Ferrières_14887		Ferrières_14887		Ferrières_14901	
	Refuge	Fauche	Refuge	Fauche	Refuge	Fauche	Refuge	Fauche	Refuge	Fauche	Refuge	Fauche	Refuge	Fauche	Refuge	Fauche	Refuge	Fauche	Refuge	Fauche	Refuge	Fauche
Localite	7	7	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6
Passages	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Agalis urticae</i>	45	8	87	11	61	11	0	11	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anthocharis cardamines</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Apatura iris</i>	232	14	275	22	224	56	0	56	0	1	56	0	21	18	100	3	11	25	0	0	0	0
<i>Aphantopus hyperantus</i>	9	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Araschnia levana</i>	45	2	130	8	183	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Argynnis paphia</i>	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aricia agestis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	23	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brenthis daphne</i>	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brenthis ino</i>	0	0	29	22	21	9	0	9	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Celastrina argiolus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coenonympha pamphilus</i>	0	5	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1
<i>Colias croceus</i>	54	17	0	0	21	7	12	10	8	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	5
<i>Colias hyale</i>	18	10	0	0	21	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cyaniris semiargus</i>	0	0	0	3	21	2	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
<i>Everes argiades</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gonepteryx rhamni</i>	9	3	14	3	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Inachis io</i>	26	2	14	10	0	2	6	4	1	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	3
<i>Issoria lathonia</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leptidea sinapis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lycæna phlaeas</i>	0	1	0	19	21	0	4	5	12	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lycæna tityrus</i>	18	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Maniaria jurtina</i>	689	248	738	182	794	136	294	80	317	75	75	279	103	68	49	27	76	487	207	0	0	0
<i>Melanargia galathea</i>	0	0	14	14	122	14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	37	31	0	0	
<i>Ochlodes sylvanus</i>	134	3	29	8	0	9	4	0	15	0	0	43	7	20	3	5	0	25	5	0	0	
<i>Papilio machaon</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pararge aegeria</i>	35	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pieris brassicae</i>	0	1	29	0	21	5	12	2	4	1	0	0	0	0	0	5	3	0	0	0	0	4
<i>Pieris napi</i>	410	58	43	21	203	14	29	5	10	2	0	0	5	16	3	11	5	100	7	0	0	
<i>Pieris rapae</i>	71	9	43	5	0	9	2	1	6	1	0	0	1	0	0	0	1	12	0	0	0	
<i>Polymmatius icarus</i>	45	6	0	0	0	0	106	25	81	27	0	0	0	8	1	11	3	63	15	0	0	
<i>Pyronia tithonus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	5	0	25	0	0	0	
<i>Thymelicus lineola</i>	54	8	0	21	163	39	10	2	17	3	118	21	132	8	11	49	4	49	37	0	0	
<i>Thymelicus sylvestris</i>	35	3	29	10	41	5	0	0	10	0	86	12	28	5	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Vanessa atalanta</i>	0	2	0	3	81	5	0	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Vanessa cardui</i>	0	0	0	0	0	2	4	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	

Annexe n°5 : base de données reprenant l'abondance et la richesse spécifique avant et après la fauche

	Avant	Après
Ferrieres_14901 Fauche 2022	163	22
Ferrieres_14897 Fauche 2022	8	5
Creppe_15424 Fauche 2022	43	3
Hierlot 15895 Fauche 2022	52	37
Malchamps_14582 Fauche 2022	49	1
Plombières_15218 Fauche 2023	244	85

Tableau : abondance des papillons de jour à l'hectare avant et après la fauche

	Avant	Après
Ferrieres_14901 Fauche 2022	14	6
Ferrieres_14897 Fauche 2022	5	2
Creppe_15424 Fauche 2022	2	1
Hierlot 15895 Fauche 2022	14	9
Malchamps_14582 Fauche 2022	6	1
Plombières_15218 Fauche 2023	9	9

Tableau : richesse spécifique des papillons de jour à l'hectare avant et après la fauche