

Faculté des bioingénieurs

Influences de la composition florale des biotopes en paysages agricoles sur les interactions plantes-pollinisateurs

Auteures : Camille Dubucq & Juliette Laloux

Promotrice : Anne-Laure Jacquemart

Lecteurs : Hans Van Dyck & Thierry Hance

Année académique 2019-2020

Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Bioingénieur : Master en sciences agronomiques

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier notre promotrice, Anne-Laure Jacquemart, de nous avoir permis de réaliser ce mémoire de fin d'études sous sa guidance. Nous la remercions pour ses nombreuses relectures et ses conseils qui nous ont été d'une grande aide.

Nous remercions aussi Hans Van Dyck et Thierry Hance d'avoir accepté d'être les lecteurs de notre mémoire.

Merci également à Alban Langlois qui, tout au long de la réalisation de cette étude, a pris le temps de partager son expérience et son travail, mais également de participer à nos réflexions et questionnements.

Nos remerciements vont ensuite à Christel Buyens qui nous a donné de son temps pour nous familiariser avec le laboratoire et les manipulations à effectuer, mais qui a également été présente pour répondre à nos questions.

Nous souhaitons également remercier Pierre Ouvrard qui, durant ses quelques jours de passage à Louvain-la-Neuve, a échangé avec nous au sujet de nos manipulations mais a également par la suite répondu à nos questions, quant à ses travaux notamment.

Un merci tout particulier à David Genoud qui a accepté d'identifier une partie des insectes que nous avons capturés.

Nos remerciements s'adressent également à Ahmed Adriouèche à qui nous devons la correction de nos présentations en anglais.

Enfin, nous aimerions terminer ces quelques lignes en remerciant nos amis, nos familles et nos copains respectifs pour leurs encouragements, leur soutien tout au long de nos études et plus particulièrement de ce mémoire, ainsi que pour leurs nombreuses relectures, indispensables.

Table des matières

Introduction.....	1
1. Cadre de l'étude	1
2. Pollinisation	2
2.1 Interactions plantes-insectes visiteurs	3
2.2 Ressources apportées aux pollinisateurs.....	5
3. Insectes pollinisateurs	7
3.1 Hyménoptères.....	7
3.2 Diptères.....	10
3.3 Lépidoptères	10
3.4 Dépendance des pollinisateurs aux paysages.....	11
4. Déclin de la biodiversité	11
4.1 Déclin généralisé de la biodiversité	11
4.2 Déclin des insectes pollinisateurs	12
5. Objectifs	15
Matériel et méthodes	16
1. Régions d'étude.....	16
1.1 Régions biogéographiques.....	16
1.2 Sites étudiés	18
2. Caractérisation des paysages	20
2.1 Description des biotopes étudiés	20
2.3 Description des paysages.....	24
3. Organisation de la récolte de données	25
4. Ressources florales.....	25
4.1 Phénologie	25
4.2 Densités florales.....	25
4.3 Ressources en pollen et nectar	26
5. Interactions plantes-insectes visiteurs.....	30
5.1 Observations	30
5.2 Identification des insectes visiteurs.....	31
6. Récoltes de pelotes de pollen	32
7. Analyses statistiques	33

Résultats	34
1. Ressources.....	34
1.1 Espèces végétales observées	34
1.2 Ressources produites au niveau du paysage	36
1.3 Ressources produites au niveau des biotopes.....	39
2. Diversité des insectes visiteurs	46
3. Interactions plantes-insectes visiteurs.....	48
3.1 Prairies	51
3.2 Champs.....	52
3.3 Bords de prairies	54
3.4 Bords de champs.....	55
3.5 Bords de routes.....	57
3.6 Linéaires ligneux.....	58
4. Composition des pelotes de pollen.....	60
Discussion	63
1. Intérêts des biotopes pour les insectes pollinisateurs en juillet.....	63
1.1 Parcelles agricoles.....	63
1.2 Bords de parcelles agricoles.....	66
1.3 Bords de routes.....	67
1.4 Linéaires ligneux.....	68
1.5 Comparaison des biotopes	69
2. Influence de l'extensivité du paysage	70
2.1 Critiques méthodologiques.....	70
2.2 Proposition d'amélioration du protocole	71
3. Limites de l'étude	72
3.1 Le temps.....	72
3.2 Les conditions météorologiques	73
3.3 Le travail avec du vivant.....	74
4. Perspectives.....	74
Conclusion	76
Bibliographie	78
Annexes	91

Liste des figures

Figure 1 – Principales régions biogéographiques de Wallonie	16
Figure 2 – Sites étudiés et régions biogéographiques concernées.....	19
Figure 3 – Exemples d'éléments de paysage faisant partie des prairies	21
Figure 4 – Exemples d'éléments de paysage faisant partie des champs.	21
Figure 5 – Exemples de bords de prairies.	22
Figure 6 – Exemples de bords de champs.	22
Figure 7 – Exemple de bords de routes.....	23
Figure 8 – Exemple de linéaire ligneux.....	23
Figure 9 – Fleur, anthères et grains de pollen de <i>Trigonella officinalis</i>	28
Figure 10 – Demi-bouton et anthères de <i>Hypericum perforatum</i>	28
Figure 11 – Grains de pollen de <i>Matricaria chamomilla</i>	28
Figure 12 – Insectes étalés en vue de leur identification.....	31
Figure 13 – Exemple de piston à insectes	32
Figure 14 – Résultat de l'ACP pour les composantes 1 et 2.....	39
Figure 15 – Résultat de l'ACP pour les composantes 1 et 3.....	40
Figure 16 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « prairies »	51
Figure 17 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « champs »	53
Figure 18 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « bords de prairies ».....	54
Figure 19 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « bords de champ »	56
Figure 20 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « bords de routes ».	57
Figure 21 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « linéaires ligneux ».	59

Liste des tableaux

Tableau 1 – Localisation précise des six sites et utilisation du sol pour les communes concernées.	19
Tableau 2 – Définition des biotopes rencontrés et déterminés sur le terrain en juillet 2019. 20	
Tableau 3 – Surfaces occupées par les biotopes étudiés.....	24
Tableau 4 – Espèces pour lesquelles la production de pollen est connue	34
Tableau 5 – Répartition des 252 éléments de paysage	36
Tableau 6 – Liste des espèces présentes en juillet 2019	37
Tableau 7 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar dans les prairies	41
Tableau 8 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar dans les champs	42
Tableau 9 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar en bords de prairies	43
Tableau 10 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar en bords de champs	44
Tableau 11 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar en bords de routes	45
Tableau 12 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar dans les linéaires ligneux	46
Tableau 13 – Insectes visiteurs identifiés.....	46
Tableau 14 – Interactions plantes-insectes visiteurs observées au mois de juillet 2019	49
Tableau 15 – Constance	60
Tableau 16 – Identification des grains de pollen autres que ceux provenant de l’espèce cible	62

Acronymes

ACP : analyse en composante principale

GTO : groupe taxonomique opérationnel

MAEC : méthodes agro-environnementales et climatiques

SAU : surface agricole utile

UF : unité florale

UG : unité de gestion

Introduction

1. Cadre de l'étude

Le déclin des pollinisateurs est aujourd'hui un phénomène avéré. Parmi les facteurs mis en cause, l'intensification de l'agriculture et la simplification des paysages. Tous deux résultent du besoin d'augmenter la production agricole à la suite de la croissance de la population ayant suivi la Seconde Guerre mondiale. Successivement à la modification des paysages agricoles, ont été observées une fragmentation et une réduction des habitats, causant une perte dans les quantités et la diversité des ressources florales. Il s'agit pourtant de ressources indispensables à la survie des insectes pollinisateurs.

Les insectes pollinisateurs interviennent dans la reproduction de plus de la moitié des angiospermes sauvages et cultivés dans le monde. Ce service considérable rendu, en plus de contribuer au rendement et à la qualité de certaines productions végétales, assure la survie de nombreuses plantes et permet ainsi de maintenir la biodiversité, d'assurer l'équilibre des écosystèmes.

Dans le cadre de programmes, mesures développés pour maintenir et favoriser les pollinisateurs en milieux agricoles, ce mémoire s'intéresse aux ressources florales disponibles durant le mois de juillet ainsi qu'à leurs interactions avec ces insectes. Il fait ainsi suite à de précédentes études et particulièrement à celle réalisée par Alban Langlois (2019), dont l'objectif était d'évaluer la disponibilité en ressources florales pour les insectes pollinisateurs en milieux agricoles ainsi que les influences de paysages contrastés sur cette disponibilité durant le printemps.

D'une part, l'étude présente permet d'avoir connaissance de la phénologie des ressources florales en paysages agricoles wallons au mois de juillet, contribuant à l'identification de possibles déficits dans les ressources disponibles pour les pollinisateurs au cours d'une saison de végétation. D'autre part, l'observation des interactions plantes-insectes pollinisateurs à l'échelle du biotope permet de mettre en évidence l'intérêt des insectes envers certaines espèces végétales en particulier, mais également envers un ou plusieurs biotopes spécifiques au mois de juillet.

2. Pollinisation

La pollinisation est une étape importante dans la reproduction sexuée des angiospermes et des gymnospermes. Elle correspond au transfert des grains de pollen (gamètes mâles) provenant des anthères vers la structure réceptive femelle, le stigmate (Abrol, 2011). Il s'agit d'une étape précédant la fécondation dans le cycle de vie des plantes, primordiale pour la formation des fruits et des graines.

Il existe deux modes de pollinisation chez les plantes à fleurs : l'autopollinisation et l'allopollinisation ou pollinisation croisée. Pour le premier, le pollen d'un individu est transféré sur ses propres organes femelles. Ce mode de pollinisation permet l'autofécondation (Dutuit & Gorenflot, 2016). Pour le second mode, le transfert de pollen a lieu entre les fleurs de deux plantes différentes et de même espèce. Dans ce cas, la pollinisation nécessite l'intervention d'un vecteur, pouvant être abiotique ou biotique. Les vecteurs abiotiques sont le vent (anémophilie), l'eau (hydrophilie) et la gravité, tandis que les vecteurs biotiques comprennent certains animaux. Il peut s'agir d'insectes (entomophilie), d'oiseaux (ornithophilie), de chauves-souris (chiropterophilie), de petits mammifères non volants (thérophilie) ou encore de mollusques gastéropodes. La pollinisation animale est dite zoïdophile (Abrol, 2011; Dibos, 2010; Jones & Jones, 2001). Dans le monde, au moins 130 000 espèces animales, et probablement jusqu'à 300 000, visitent des fleurs de façon régulière et représentent ainsi des pollinisateurs potentiels (Willmer, 2011). La zoïdophilie est le mode de pollinisation le plus commun, dont dépendent 78% des angiospermes dans les écosystèmes tempérés et 94% des angiospermes dans les écosystèmes tropicaux (Ollerton et al., 2011). Parmi les espèces sauvages, 60 à 80% nécessitent une pollinisation animale et une fraction plus élevée en tire des bénéfices (Kremen et al., 2007).

Dans les écosystèmes agricoles, 75% des 115 principales espèces cultivées dans le monde pour l'alimentation humaine dépendent directement (quantité et/ou qualité de fruit) ou indirectement (production de semences, multiplication sexuée, programmes de sélection) de la pollinisation animale (Gaillai, Salles, et Vaissière 2009; Klein et al. 2006). Il s'agit principalement des cultures fruitières et légumières, ainsi que celles d'oléagineux et de protéagineux (Klein et al., 2006; Terzo & Rasmont, 2007a). Toutefois, seulement 35% de la production alimentaire mondiale provient de ces cultures, tandis que 65% de la production provient de cultures ne dépendant pas de la pollinisation animale. Celles-ci sont principalement des cultures de Poaceae, telles que le riz, le blé et le maïs, qui sont anémophiles ou autofécondées. Pour bon nombre des cultures dépendantes de la pollinisation animale, une diminution de la qualité de cette dernière entraîne une baisse du rendement agricole ou une diminution de la qualité de la production, faisant de la pollinisation un facteur incontournable dans le calcul du rendement de nombreuses cultures (Terzo & Rasmont, 2007a).

En particulier, le service de pollinisation apporté par les insectes à la production agricole européenne directement utilisée dans l'alimentation humaine a été évalué à plus de 14 milliards d'euros en 2005, ce qui représente 10% de la valeur de la production agricole totale. En Europe, 84% des espèces cultivées sont pollinisées par les insectes, essentiellement celles cultivées pour leurs fruits (Abrol 2011; Gaillai, Salles, et Vaissière 2009).

En Wallonie, les principales cultures entomophiles sont les suivantes : le colza, certaines cultures maraichères comme le pois et le haricot, qui sont autofertiles mais bénéficient d'une augmentation de rendement grâce à la pollinisation croisée, les cultures fruitières (pommiers, poiriers, cerisiers, pruniers, fraisiers, groseilliers, framboisiers, etc.) et les cultures horticoles sous serres (tomates, courgettes, aubergines, poivrons, etc.) (Gaillai et al., s. d.; Hance & Van Dyck, 2019; Terzo & Rasmont, 2007a).

2.1 Interactions plantes-insectes visiteurs

La pollinisation entomophile est réalisée grâce aux interactions entre plantes visitées et insectes visiteurs. Parmi les insectes visiteurs (insectes floricoles), on distingue ceux qui participent à la pollinisation de manière plus ou moins efficace grâce à des traits comportementaux et morphologiques particuliers (comme la présence de poils sur le corps), qualifiés de pollinisateurs, et ceux qui n'y participent pas ou très peu (Abrol, 2011).

Les premiers font généralement partie des hyménoptères, des diptères et des lépidoptères, tandis que les seconds appartiennent aux coléoptères, aux hémiptères, aux neuroptères ou encore aux thysanoptères (certains appartiennent également aux hyménoptères, dont les fourmis et les guêpes) (Kevan & Baker, 1983; Ouvrard et al., 2018; Terzo & Rasmont, 2007a). Ces derniers voyagent peu de fleur en fleur et ne présentent pas ou peu de caractères morphologiques favorisant le transfert de pollen. Certains peuvent influencer négativement la pollinisation des fleurs qu'ils visitent en détruisant les tissus floraux (Kevan & Baker, 1983; Terzo & Rasmont, 2007a). Il faut toutefois noter que l'efficacité des pollinisateurs dépend également des espèces végétales.

La pollinisation entomophile implique une relation mutualiste entre plantes visitées et insectes visiteurs, réciproquement bénéfique pour les deux espèces. Le transport de pollen n'est pas un comportement volontaire des insectes pollinisateurs, mais plutôt un service rendu par ceux-ci lorsqu'ils se nourrissent grâce aux fleurs, en y cherchant un abri ou un site de ponte ou en pensant trouver un partenaire (Abrol, 2011; Denis Michez & Vastrade, 2017; Willmer, 2011). Ainsi, les plantes à fleurs fournissent du nectar et du pollen ainsi que de l'huile aux insectes, leur permettant de satisfaire leurs besoins nutritionnels. Les fleurs peuvent également leur servir de refuge contre la pluie, le vent ou le froid, les prédateurs et les parasitoïdes (Jarvis et al., 2012; Kevan & Baker, 1983; Willmer, 2011). En contrepartie, les insectes pollinisateurs provoquent par leur passage la libération des grains de pollen contenus

dans les anthères, qu'ils transportent d'une fleur à l'autre via leurs poils (Abrol, 2011; Dibos, 2010; Palumbo, 2018). Certaines espèces sont capables de déclencher la libération du pollen chez les espèces végétales où les anthères ne s'ouvrent pas spontanément (déhiscence poricide), en produisant des vibrations via leurs muscles de vol (Buchmann, 1985). Des structures morphologiques peuvent ensuite favoriser le transport du pollen, comme les scopae (masses de poils plus ou moins longs, denses et plumeux formant des brosses), présentes sur la face ventrale de l'abdomen et/ou sur les pattes postérieures, ou les corbicules (modifications des tibias en plaques plates entourées de longs poils formant des corbeilles) situées au niveau des tibias postérieurs (Thorp, 2000).

Pour attirer les visiteurs et optimiser leur pollinisation, les plantes à pollinisation entomophile ont développé des caractères spécifiques. Elles présentent ainsi des pièces florales voyantes par leur forme, leur taille et leur couleur, sécrètent des molécules odorantes qui attirent les insectes et produisent du nectar, source de nourriture pour les insectes (Abrol, 2011; Faegri & Pijl, 2013; Gumbert, 2000). Les parfums émis par les fleurs peuvent être simplement agréables pour certains insectes (désagréables pour d'autres) ou imiter des phéromones attirant des insectes mâles (Dötterl et al., 2006; Zandonella et al., 1981). La qualité du pollen (teneur en acides aminés et en phytostérol) ainsi que la concentration en sucre du nectar et son volume influencent également le choix floral des pollinisateurs (Fowler et al., 2016; Somme et al., 2015). La densité florale, la répartition spatiale (Nielsen et al., 2012) et la période de floraison jouent également un rôle dans ce choix (Willmer, 2011).

Certaines plantes à pollinisation entomophile sont impliquées dans des relations qui mènent à une exploitation excessive de leur pollen, pouvant réduire leur succès reproducteur (Vanderplanck et al., 2020). Le phénomène s'observe dans les interactions impliquant des Apoidea, dont les adaptations morphologiques permettent de collecter parfois jusqu'à plus de 95% du pollen disponible en une seule visite (jusqu'à 95,5% chez *Campanula*) (Declèves, 2014; Schlindwein et al., 2005). Certaines des espèces impliquées dans ce type de relation ont développé des morphologies florales et stratégies particulières, comme la symétrie bilatérale (chez les Fabaceae et Lamiaceae) ou la déhiscence poricide des anthères (chez les Ericaceae et Solanaceae) (Declèves, 2014; Schlindwein et al., 2005). D'autres produisent du pollen toxique, chimiquement protégé contre certains visiteurs (chez les espèces de genre *Ranunculus*, présence de toxine protoanémonine), contenant de faibles teneurs en protéines (chez les Asteraceae, 11,7 à 34,4% de protéines seulement en moyenne) ou montrant une exine et une intine difficilement digérables (requérant des enzymes spécifiques) (Denis Michez & Vastrade, 2017; Praz et al., 2008). Seuls les insectes ayant développé des stratégies spécifiques permettant le métabolisme ou la détoxification de ces types de pollen peuvent exploiter ces ressources (Praz et al., 2008).

Au cours du temps, les plantes à pollinisation entomophile ont ainsi évolué afin de bénéficier du meilleur compromis entre l'attraction des insectes favorisant la dissémination du pollen et la perte de pollen destiné à leur alimentation. Quant aux insectes, ils ont évolué dans le sens d'une spécialisation permettant l'exploitation d'un nombre restreint d'espèces végétales ou au contraire vers une généralisation leur permettant de se nourrir à partir d'une large gamme de plantes (Müller & Kuhlmann, 2008). Une plante à fleurs qui n'est fréquentée que par une seule espèce ou quelques espèces de pollinisateurs est dite spécialiste. Elle est au contraire généraliste quand elle est visitée par de nombreuses espèces. On peut néanmoins noter qu'une plante peut être successivement ou simultanément visitée par des pollinisateurs de types différents, mais de manière générale, un vecteur sera plus efficace que les autres. Du côté des insectes, ils sont spécialistes lorsqu'ils ne visitent qu'une seule espèce végétale ou un très petit nombre d'espèces voisines tandis qu'ils sont généralistes s'ils fréquentent un grand nombre de genres ou d'espèces de fleurs. Des espèces se situent entre les deux cas (Declèves, 2014; Gosselin et al., 2018; Pesson & Louveaux, 1984).

2.2 Ressources apportées aux pollinisateurs

Les deux ressources florales principales dont dépendent les pollinisateurs sont le nectar et le pollen (Gosselin et al., 2018; Parachnowitsch et al., 2018). Ces derniers leur apportent les éléments nécessaires à leur survie et à leur développement (Regali, 1996). Il faut noter que les pollinisateurs spécialistes sont dépendants des ressources qu'ils sont capables d'exploiter (Denis Michez & Vastrade, 2017).

2.2.1 Nectar

Le nectar est une solution composée principalement d'hydrates de carbone (saccharose, fructose et glucose), de 5 à 80% selon l'espèce végétale et d'eau (Regali, 1996). Il contient également d'autres composés en plus faibles proportions : acides aminés, protéines, lipides, antioxydants ainsi que des éléments minéraux et des composés secondaires. C'est la source d'énergie des pollinisateurs, leur permettant de voler et de se réchauffer (Declèves, 2014; Regali, 1996). Une plus grande consommation en nectar peut également compenser un régime à base de pollen de moindre qualité chez les *Bombus* (Vanderplanck et al., 2014).

Le nectar peut être consommé directement par l'insecte lors de sa collecte, ce qui lui permet d'adapter son choix floral sur place (Denis Michez & Vastrade, 2017).

2.2.2 Pollen

La composition chimique du pollen varie selon l'espèce végétale dont il provient. Bien que celui des espèces apparentées présentent un profil chimique similaire, il peut sensiblement différer (Declèves, 2014; Denis Michez & Vastrade, 2017).

Le pollen est composé de protéines (7 à 40%), de lipides (1 à 20%), de minéraux (2 à 10%), de sucres et d'amidon (0,8 à 11%) (Regali, 1996), apportant ces éléments aux insectes qui le collectent et à leur descendance.

Le pollen n'est pas consommé par l'insecte lors de la collecte mais est transporté jusqu'au nid par celui-ci. Il peut être véhiculé via des canaux alimentaires internes ou via des structures externes, telles que les scopae et les corbicules. Ces dernières permettent le transport des pelotes de pollen, fabriquées à l'aide de structures en peigne situées sur les pattes et de nectar régurgité (Thorp, 2000).

2.2.3 Nidification

Outre l'apport de nutriments et d'énergie, les pollinisateurs ont besoin d'habitats diversifiés et de sites de nidification (Ouellet, 2013). Dans l'idéal, ceux-ci doivent se trouver à proximité des ressources nutritives. Chez les Apoidea, la plupart des espèces parcourent au maximum deux kilomètres entre leur nid et les ressources, généralement moins d'un kilomètre, tandis que les abeilles solitaires ne voyagent que sur quelques centaines de mètres (Rands & Whitney, 2011; Zurbuchen et al., 2010).

Pour construire leur nid et le protéger, les insectes pollinisateurs utilisent des ressources non florales comme la boue, les feuilles, la résine d'arbre ou encore les sécrétions de trichomes (Ouellet, 2013; Requier et al., 2019). Les habitats fournissent des ressources non florales pouvant également être des sources alimentaires alternatives pour les abeilles, comme le miellat qui est une sécrétion sucrée produite par des insectes suceurs-piqueurs tels que les pucerons et les cochenilles. Dans le monde, 30% des espèces d'abeilles dépendent de ressources non-florales (Requier et al., 2019).

3. Insectes pollinisateurs

3.1 Hyménoptères

En Belgique, il existe 3500 espèces d'hyménoptères, dont 370 sont des abeilles (Terzo & Rasmont, 2007a), appellation regroupant l'abeille domestique (*Apis mellifera*) et les bourdons, espèces sociales, ainsi que les abeilles solitaires. Les abeilles sont des pollinisateurs efficaces : une grande partie de leur temps de vie est consacrée à la collecte de pollen (Michigan State University, s. d.). Elles possèdent des poils qui recouvrent leur corps et attirent le pollen par forces électrostatiques (Michigan State University, s. d.), rendant le transfert de grandes quantités de pollen d'une fleur à l'autre possible. Particulièrement, les abeilles spécialistes augmentent la probabilité de transfert de pollen d'une fleur à une autre de la même espèce végétale.

Contrairement aux autres hyménoptères, les abeilles nourrissent leurs larves avec du pollen uniquement et non pas avec des proies telles que d'autres petits insectes (Gosselin et al., 2018).

Les abeilles appartiennent à la superfamille des Apoidea comprise dans le groupe des Aculéates. Cette super-famille comprend deux lignées : les Sphéciformes (guêpes sphécoïdes) et les Apiformes (abeilles). Ces dernières se répartissent actuellement en 7 familles, comportant près de 1200 genres et 20000 espèces (Declèves, 2014). Les abeilles sont caractérisées par la longueur de leur langue. On trouve ainsi des abeilles à langue longue (Megachilidae et certaines espèces parmi les Apidae), et des abeilles à langue courte (Andrenidae, Colletidae, Halictidae, Melittidae, Stenotritidae et certaines espèces parmi les Apidae) (Gosselin et al., 2018). Cette caractéristique est primordiale pour leurs relations avec les espèces végétales qu'elles pollinisent. En effet, leur langue leur permet de collecter le nectar et sa longueur doit ainsi être compatible avec la profondeur de la corolle de la fleur. Les abeilles spécialistes ont une langue qui correspond parfaitement à la corolle des fleurs sur lesquelles elles se nourrissent tandis que les abeilles généralistes sont capables de se nourrir sur une large diversité d'espèces végétales (Mize, 2014).

Pour les abeilles, la qualité du pollen consommé est capitale car elle influence leur croissance et leur reproduction (Denis Michez & Vastrade, 2017; Vanderplanck et al., 2014). La qualité est déterminée par le contenu en protéines et en lipides, le ratio protéines/lipides étant un indicateur de son attractivité. Certaines espèces d'insectes pollinisateurs généralistes (bourdons) semblent ainsi capables d'ajuster leurs choix floraux en fonction de ce ratio, peut-être via la perception de composés volatils (Génissel et al., 2002; Vanderplanck et al., 2014), alors que les abeilles domestiques par exemple, généralistes elles aussi, paraissent incapables de le faire (Denis Michez & Vastrade, 2017). Le profil en acides aminés du pollen est également

déterminant pour le développement des abeilles, qui ont besoin de 10 acides aminés essentiels dans leur alimentation (Michez & Vastrade, 2017).

3.1.1 Abeilles sociales

L'abeille domestique (*Apis mellifera*) ainsi que les bourdons (30 espèces recensées en Belgique) sont des abeilles sociales, c'est-à-dire qu'elles s'organisent en colonies (Terzo & Rasmont, 2007a). Selon cette organisation, seule une femelle, la reine, pond des œufs. Les autres (ouvrières) sont stériles et subviennent aux besoins de la colonie (Gosselin et al., 2018). Ce sont donc elles qui participent à la pollinisation. Plusieurs générations sont produites par an (Michigan State University, s. d.).

De façon générale, les espèces d'abeilles sociales présentent un comportement généraliste (Declèves, 2014) : leurs besoins en pollen n'étant pas restreint à une seule espèce florale, les abeilles sociales peuvent collecter leurs ressources alimentaires sur une large diversité d'espèces végétales et peuvent ainsi avoir une activité de butinage sur une plus longue période. L'activité et la taille des colonies évoluant au cours de la saison, certains moments nécessitent davantage de ressources que d'autres (Carvell et al., 2017; Williams et al., 2012).

a. Abeille domestique

L'abeille domestique, *Apis mellifera*, se distingue des autres abeilles par sa domestication, survenue il y a 6000 ans, et par sa production de miel (Terzo & Rasmont, 2007a).

Cette espèce à langue courte (bien qu'il y ait une variation selon la race) est généraliste avec une période d'activité s'étendant du printemps à la fin de l'automne (Breed, 2010).

Le cycle de vie d'*Apis mellifera* commence par l'établissement d'un nid ou d'une colonie par une reine. Celle-ci domine la ruche et s'occupe de la ponte des œufs durant toute la durée de sa vie. Elle engendre ainsi des abeilles « ouvrières » à partir d'œufs fécondés (Nowakowski & Pywell, 2016). Les ouvrières naissent à différents moments de la saison et vivent environ six semaines : celles nées au printemps ou en été iront butiner tandis que les ouvrières nées à l'automne resteront à la colonie, les ressources florales étant trop faibles (Gosselin et al., 2018). La reine pond également des œufs non-fécondés qui éclosent en mâles durant le printemps. Le rôle de ceux-ci est uniquement de féconder de nouvelles reines, après quoi ils meurent (Nowakowski & Pywell, 2016).

Les abeilles domestiques établissent généralement leurs colonies dans des ruches artificielles, mais peuvent également utiliser des cavités creusées dans les arbres ou des bâtiments (Breed, 2010; Nowakowski & Pywell, 2016).

b. Bourdons

Les bourdons regroupent des espèces qui peuvent être classées en groupes taxonomiques opérationnels (GTO) selon leur robe (Terzo & Rasmont, 2007b). La longueur de leur langue varie selon l'espèce (de 12,5 mm en moyenne pour *B. hortorum* à 7,6 mm en moyenne pour *B. terrestris*) (Goulson et al., 2005).

Chaque nouvelle colonie est fondée par une reine émergeant de l'hibernation au printemps (Nowakowski & Pywell, 2016). Elle donne alors naissance à de nombreuses ouvrières qui butinent jusqu'à la fin de l'été, chacune ayant une durée de vie d'environ six semaines. A la fin de l'été, les mâles sont produits et s'accouplent avec de nouvelles reines qui passent ensuite en hibernation. Les vieilles reines, toutes les ouvrières et les mâles meurent à l'automne. La colonie s'éteint, tandis que les nouvelles reines fécondées survivent à l'hiver pour fonder de nouvelles colonies au printemps suivant (Nowakowski & Pywell, 2016; Terzo & Rasmont, 2007a). Contrairement aux autres abeilles, les reines bourdons stockent uniquement assez de réserves alimentaires en nectar et pollen pour quelques jours. Il est par conséquent essentiel pour les bourdons de disposer d'un approvisionnement alimentaire ininterrompu de mars à septembre (Nowakowski & Pywell, 2016).

Selon leur choix d'habitat, les bourdons peuvent être divisés en deux groupes. D'une part, ceux qui fabriquent un nid d'herbe, de mousse ou de poils d'animaux à la surface du sol dans des prairies à herbes courtes. Il s'agit surtout de *B. pascuorum*, *B. ruderarius*, *B. muscorum*, *B. sylvarum* et *B. humilis*. D'autre part, ceux qui nichent dans le sol, dans les trous de petits mammifères, situés dans de hautes herbes, dans des endroits chauds et ensoleillés. Il s'agit principalement de *B. terrestris* (Nowakowski & Pywell, 2016). Quant aux reines qui hibernent, elles sont observées par exemple dans des tas de feuilles mortes.

3.1.2 Abeilles solitaires

La majorité des espèces d'abeilles en Belgique (339 espèces) sont solitaires (Terzo & Rasmont, 2007a), c'est-à-dire qu'elles ne font pas partie d'une colonie. Leur comportement alimentaire dépend de l'espèce, qui peut être généraliste (exemple : *Megachile centuncularis*) ou spécialiste (exemple : *Colletes daviesanus* spécialiste sur Asteraceae) (D. Michez & Vereecken, 2010). La majorité des espèces d'abeilles en Belgique (339 espèces) est solitaire (Terzo & Rasmont, 2007a), c'est-à-dire qu'elles ne font pas partie d'une colonie. Leur comportement alimentaire dépend de l'espèce, qui peut être généraliste (exemple : *Megachile centuncularis*) ou spécialiste (exemple : *Colletes daviesanus* spécialiste sur Asteraceae).

Au printemps ou en été, selon l'espèce, les mâles émergent suivis des femelles qu'ils fécondent (Gosselin et al., 2018). Chaque femelle construit ensuite son propre nid qu'elle remplit de pollen et de nectar, y pond ses œufs puis meurt (espérance de vie de 2 à 10 semaines selon l'espèce). Les œufs se développent durant l'automne et l'hiver. Au printemps

ou été suivant, le cycle recommence. Une seule génération est donc produite chaque année (Michigan State University, s. d.).

L'émergence de la nouvelle génération ayant lieu au printemps ou en été, selon l'espèce (Gosselin et al., 2018), elles ne disposent pas toutes des mêmes ressources florales. Les abeilles printanières profiteront de l'émergence des ressources florales tandis que les abeilles estivales éprouveront plus de difficultés à trouver assez de ressources.

Les espèces solitaires disposant d'une période d'activité courte, elles se nourrissent grâce aux quelques espèces florales qui fleurissent en même temps que leur émergence du nid (Declèves, 2014). Elles sont ainsi généralement spécialistes (exemple : *Colletes daviesanus* spécialiste sur Asteraceae), bien que leur comportement alimentaire dépende de l'espèce, qui peut être généraliste (exemple : *Megachile centuncularis*) (D. Michez & Vereecken, 2010).

Concernant leur habitat, on distingue les abeilles solitaires nidifiant dans le sol (espèces terricoles) recouvert d'un peu de végétation ou dans les pelouses, de celles nidifiant ailleurs (Jacob-Remacle, 1992). Il peut s'agir de nids entièrement construits par la femelle, ou d'habitats préexistants comme des tunnels creusés par d'autres insectes, du bois mort, des tiges creusent, etc (espèces xylocoles) (Jacob-Remacle, 1992; Michigan State University, s. d.).

3.2 Diptères

Parmi les diptères, toutes les familles ne possèdent pas les mêmes capacités de pollinisation. Les Syrphidae (320 espèces en Belgique) (Terzo & Rasmont, 2007a) possèdent un labium plus long que les espèces des autres familles (5-10 mm), leur permettant de se nourrir sur davantage d'espèces de familles différentes (*Apiacea*, *Rosaceae*, *Asteraceae*, etc.). Les Syrphidae sont également essentiellement floricoles et consomment du nectar mais aussi du pollen, contrairement à la plupart des autres diptères, polyphages (Gosselin et al., 2018; Pouvreau, 2018). Le pollen sert à nourrir les adultes uniquement (Civam, 2013).

3.3 Lépidoptères

Les lépidoptères dépendent du nectar comme source de sucres et d'acides aminés (Inouye & Ogilvie, 2017). Bien qu'il existe des exemples de relations de pollinisation spécialisées entre les lépidoptères et les plantes, la plupart des lépidoptères adultes visitent des fleurs de plusieurs espèces végétales (Gosselin et al. 2018 ; Inouye et Ogilvie 2017). En Belgique, on recense 120 espèces de papillons de jour (Terzo & Rasmont, 2007a).

3.4 Dépendance des pollinisateurs aux paysages

Il est donc évident que les insectes pollinisateurs dépendent largement de l'environnement et de sa diversité, à la fois temporellement et spatialement, car les besoins ne sont pas les mêmes selon les espèces et la période de l'année. Ainsi, pour qu'ils persistent en paysages agricoles, il est essentiel qu'ils disposent de ressources florales suffisantes durant l'entièreté de leur période d'activité (Russo et al., 2013; Timberlake et al., 2019). Un déficit dans la disponibilité en ressources de 15 jours peut sérieusement affecter l'activité et le développement de ces insectes, principalement pour les espèces qui ne disposent pas de réserve de miel (Henry et al., 2017; Requier et al., 2017; Timberlake et al., 2019). Dans un but de préservation des pollinisateurs en milieux agricoles, il est donc primordial de connaître la phénologie des ressources florales ainsi que les besoins des pollinisateurs tout au long de la saison.

4. Déclin de la biodiversité

Partout dans le monde, on observe un déclin de la biodiversité à un taux sans précédent (IPBES, s. d.). De nombreuses espèces ont déjà disparu dans tous les groupes biologiques et dans tous les écosystèmes. Aujourd'hui, 21% des espèces de mammifères, 12% des oiseaux, 29% des amphibiens, 40% des insectes et 70% des plantes sont en danger de disparition (« Le déclin de la biodiversité » 2016), soit un million d'espèces animales et végétales (IPBES, s. d.; Miget, 2019).

4.1 Déclin généralisé de la biodiversité

Cinq changements principaux sont directement liés à la perte de biodiversité généralisée et s'influencent mutuellement : la modification de l'utilisation des terres, l'utilisation directe des organismes, la pollution, les changements climatiques et l'introduction d'espèces non indigènes (European Parliament, 2020; Miget, 2019). Ces cinq changements sont influencés ou causés par des facteurs dont bon nombre sont imputables aux humains.

La population humaine ayant plus que doublé ces 50 dernières années, la consommation de ressources et d'énergie a elle aussi inévitablement augmenté, modifiant l'utilisation des terres : les cultures vivrières ont triplé, la forêt a été réduite à 68% de ce qu'elle était à l'ère préindustrielle et la superficie urbaine a doublé depuis 1992 (Hubert-Moy, 2012; Miget, 2019).

La pollution, et particulièrement par rejet d'azote et de phosphore, est un facteur majeur du déclin de la biodiversité amenant un dysfonctionnement des écosystèmes. Le rejet de ces éléments en grande quantité dans l'atmosphère et les eaux provient de nombreux secteurs, les plus impactant étant ceux de l'industrie, des transports et de l'agriculture (BISE, s. d.). S'ajoute à cela une pollution des eaux par 300 à 400 millions de tonnes de métaux lourds, de

solvants et de boues toxiques chaque année. 80% de ces eaux usées se retrouvent dans l'environnement sans aucun traitement (Miget, 2019), impactant ainsi la biodiversité.

La modification de l'utilisation des terres et la pollution participent aux changements globaux, dont le réchauffement climatique (Hubert-Moy, 2012). Et inversement, le réchauffement climatique aggrave l'impact des autres causes. On assiste à une augmentation des événements climatiques extrêmes comme les incendies, les inondations et les sécheresses. Ce sont des perturbateurs qui agissent sur la répartition des espèces, la disponibilité des ressources par la désynchronisation des cycles ou encore la disparition d'écosystèmes entiers (exemple : les coraux) (Miget, 2019).

Les espèces non indigènes introduites par l'homme en dehors de leur aire de distribution naturelle, de manière accidentelle ou volontaire, peuvent être des plantes, des animaux ou des micro-organismes (Vivasciences, s. d.). Ce phénomène a toujours eu lieu, mais il s'est fortement intensifié avec la mondialisation et le tourisme (Miget, 2019; Vivasciences, s. d.). Bien qu'aujourd'hui la réglementation soit plus stricte, beaucoup d'espèces ont été introduites volontairement dans un but de lutte contre certains pathogènes ou de contrôle sur des espèces posant problème (Hance et al., 2019). Malheureusement, ces introductions ont parfois mené à d'autres problèmes et notamment à la compétition avec des espèces indigènes non visées. On notera par exemple l'introduction des coccinelles asiatiques qui a conduit à une compétition avec les coccinelles indigènes ainsi qu'à une destruction de certaines cultures (Hance et al., 2019).

4.2 Déclin des insectes pollinisateurs

Les insectes n'échappent pas à ce déclin : 40% des populations d'insectes sont menacées d'extinction dans le monde, parmi ces insectes on retrouve les pollinisateurs (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). En Belgique, sur les 370 espèces d'abeilles connues (347 en Wallonie), plus de la moitié sont rares, en très forte régression ou totalement disparues du pays (Terzo & Rasmont, 2007a). Le cas des bourdons est le plus inquiétant : sur les 30 espèces présentes en Belgique dans les années 80, cinq ont disparu, 19 sont en régression et six seulement sont en expansion (Gosselin et al., 2018; Goulson et al., 2005). L'abeille domestique fait elle aussi partie des espèces touchées avec un dépérissement de 30% des ruches depuis 1999 (Terzo & Rasmont, 2007a). Ainsi, 47 espèces d'abeilles sont protégées en Belgique (Portail Wallonie, s. d.). Concernant les papillons, 40 espèces sont également protégées (Terzo & Rasmont, 2007a).

Les causes de ce déclin sont similaires au déclin généralisé de la biodiversité. La perte et la fragmentation des habitats tout d'abord, entraînant une diminution des ressources florales disponibles et une raréfaction des sites de nidification (Potts et al., 2010). Cela est lié à l'urbanisation et à l'intensification de l'agriculture (Chagnon, 2008). La pollution ensuite,

principalement dans ce cas-ci par les fertilisants et pesticides synthétiques, est également liée à l'intensification de l'agriculture. Certains facteurs biologiques dont des pathogènes et des espèces introduites également (exemple : l'acarien *Varroa destructor*, première menace biologique pour les colonies d'abeilles domestiques dans le monde) et finalement, les changements climatiques (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019).

Des interactions entre ces différents facteurs sont également probables (Potts et al., 2010). Par exemple, le stress nutritionnel, dû à un manque de ressources florales ou à leur mauvaise qualité, peut réduire la tolérance des abeilles aux pesticides et aux maladies (Susan W. Nicolson, 2011; Roger et al., 2017).

4.2.1 Intensification de l'agriculture et son impact

Après la Seconde Guerre mondiale, soit dans la seconde moitié des années 40 ainsi que par la suite dans les années 50 et 60, le taux de natalité a fortement augmenté et avec lui, le besoin en nourriture. Dans un premier temps, la vie quotidienne est encore marquée par la pénurie alimentaire. Des actions sont alors menées en faveur de l'augmentation de la production végétale et animale, les exploitations agricoles doivent être plus rentables. C'est le progrès technique qui permettra cette intensification : mécanisation des fermes, retournement des prairies permanentes, développement des produits phytosanitaires synthétiques, etc (FAO, s. d.; Flamant, 2010). Le progrès technique s'accompagne d'une spécialisation et d'une standardisation des exploitations. L'élevage et les cultures sont dissociées, les rotations sont simplifiées, les exploitations s'agrandissent et les plus grandes rachètent les plus petites qui n'arrivent plus à suivre le mouvement de modernisation (Bouquiaux, 2019; Papy, s. d.). Par cette intensification agricole, depuis 1970, la valeur de la production agricole a augmenté d'environ 300% (IPBES, s. d.).

L'emploi de pesticides et particulièrement de néonicotinoïdes touche toutes les abeilles, la domestique et les sauvages (Ihara & Matsuda, 2018; van der Sluijs et al., 2013). Le cas le plus important est celui du colza (Chanon, 2017). Les semences sont enrobées de pesticides se répandant dans l'entièreté de la plante lors de son développement, y compris dans le nectar et le pollen (Chanon, 2017; van der Sluijs et al., 2013). Les néonicotinoïdes interagissent avec le système nerveux des abeilles (van der Sluijs et al. 2013). A faible concentration, ils causent des troubles de l'orientation et de l'alimentation, tandis qu'ils sont mortels à forte concentration. Actuellement, trois néonicotinoïdes sont interdits dans l'Union Européenne (Ihara & Matsuda, 2018). Outre leurs effets directs, certains néonicotinoïdes altèreraient le système immunitaire des abeilles domestiques, les rendant plus sensibles aux infections par le *Varroa* (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019).

Les engrais azotés ont remplacé depuis 1950 les grandes cultures de légumineuses (trèfles, féveroles, etc) qui apportaient de l'azote au sol mais également des ressources alimentaires aux insectes pollinisateurs, principalement aux bourdons (Goulson et al., 2005).

L'enrichissement par des engrais des sols cultivés et pâturés a entraîné la raréfaction des plantes sauvages à fleurs, adaptées aux sols pauvres, et a favorisé les graminées. Cet enrichissement s'étend également aux milieux naturels voisins (bords de routes, prairies naturelles, etc), provoquant le développement de graminées, orties et rumex ainsi que la régression des plantes à fleurs, étouffées. L'entretien excessif de certains milieux tels que les talus et les bords de routes augmente le phénomène, enrichissant davantage le sol par les résidus de broyage et coupant les plantes à fleurs, les empêchant ainsi de se développer et de se reproduire. Cette raréfaction généralisée des plantes à fleurs touche particulièrement les fleurs d'été (Terzo & Rasmont, 2007a).

La diversité des ressources florales est également touchée par la simplification de certains milieux et la disparition d'autres (Benton et al., 2003). L'augmentation de la taille des parcelles et les nouvelles techniques culturales amènent à une diminution de milieux naturels synonymes d'une grande diversité. Comme énoncé précédemment, la gestion intensive des bords de routes fait disparaître ce milieu ainsi que la faune et la flore diversifiées qui l'accompagnent. Il en est de même pour la gestion mécanique ou chimique des parcelles agricoles, associées autrefois à une flore caractéristique. De nombreuses parcelles agricoles ayant également été fusionnées pour en former de plus grandes, de nombreuses haies séparant auparavant les parcelles ont été arrachées (Bouquiaux, 2019). De plus, les larges zones présentant une grande quantité de ressources florales non diversifiées comme les champs de cultures entomophiles (ex : colza) représentent un possible piège pour les pollinisateurs (Terzo & Rasmont, 2007a). En effet, les abeilles par exemple s'installent près de la ressource et, étant des « central-place foragers », c'est-à-dire qu'elles collectent leur nourriture dans une zone autour du nid (Requier et al., 2019), elles finissent par manquer de ressources une fois la floraison du champ terminée.

La modification du paysage conduit, en plus de la perte de quantité et de diversité de ressources florales nutritives, à une fragmentation et une diminution des habitats pour les pollinisateurs (Terzo & Rasmont, 2007a). Des petites populations d'abeilles disparaissent et la connexion entre les milieux ayant été rendue difficile par la fragmentation, il y a peu de chance de recolonisation par des populations voisines.

Les conséquences de l'intensification de l'agriculture sur le déclin des pollinisateurs ne sont plus à prouver. Dans ce contexte, de nombreuses études se sont intéressées aux effets des paysages ainsi que des pratiques agricoles sur la diversité des pollinisateurs et leur abondance. Certaines se sont intéressées à l'influence de pratiques agricoles directement sur les pollinisateurs (Evans et al. 2018; Mogren et al. 2016; Sjödin, Bengtsson, et Ekblom 2008) ou sur la disponibilité en ressources et habitats (Dicks et al., 2015; Henry et al., 2017; Hicks et al., 2016). Les conséquences de l'intensification de l'agriculture sur le déclin des pollinisateurs ne sont plus à prouver et dans ce contexte, de nombreuses études se sont intéressées aux effets des paysages, des pratiques agricoles sur la diversité des pollinisateurs et leur abondance.

Certaines se sont intéressées à l'influence de pratiques agricoles directement sur les pollinisateurs (Evans et al. 2018; Mogren et al. 2016; Sjödin, Bengtsson, et Ekblom 2008) ou sur la disponibilité en ressources et habitats (Dicks et al., 2015; Henry et al., 2016; Hicks et al., 2016). D'autres ont analysé l'influence de l'intensité des pratiques sur la pollinisation (Aguilar et al., 2006; Anderson & Trueman, 2000; Clough et al., 2014; Kremen et al., 2007).

Les effets apportés par la présence d'habitats semi-naturels ou naturels sur la disponibilité de ressources pour les pollinisateurs ont déjà été démontrés dans de nombreuses études, certaines comparant, à large échelle, l'abondance en milieux semi-naturels à la suite de l'évolution agricole à l'état des populations de pollinisateurs (Garibaldi et al., 2011; Winfree et al., 2009), d'autres s'intéressant plutôt à la variation d'un seul type de milieu semi-naturel ou à une seule espèce (Requier et al., 2019; Williams & Kremen, 2007).

L'intérêt de certaines études pour la complémentarité entre différents milieux semi-naturels et naturels composant les paysages agricoles au cours du temps, ainsi qu'à l'apport particulier de chacun d'eux sur les différentes populations d'insectes pollinisateurs est plus récent (Bartual et al., 2019; Cole et al., 2017; Krimmer et al., 2019; Timberlake et al., 2019). S'inscrivant dans la même démarche, ce mémoire a pour but de contribuer à l'apport de connaissances, en s'intéressant particulièrement aux milieux apportant des ressources florales en paysages agricoles durant le mois de juillet.

5. Objectifs

Dans un contexte de paysages agricoles en région wallonne, ce mémoire a pour but de déterminer, durant une partie de la saison de végétation (juillet), quels sont les biotopes utilisés et par quels insectes pollinisateurs. Dans ce but, différentes questions sont posées. (1) Quelles sont les ressources florales disponibles selon les biotopes, leurs productions de pollen et de nectar ? (2) Quels sont les insectes pollinisateurs présents ? (3) Comment interagissent les insectes pollinisateurs présents avec les ressources florales disponibles ?

L'analyse de ces différents points permettra d'établir quelles sont les ressources florales et quels sont les biotopes les plus utilisés par les insectes pollinisateurs en juillet.

Matériel et méthodes

1. Régions d'étude

L'étude a été menée en Wallonie, sur six sites répartis dans les communes de Dinant, Rochefort et Ciney. Ceux-ci ont été choisis par Alban Langlois durant le printemps 2019. Ils ont été sélectionnés dans trois régions biogéographiques différentes : le Condroz, la Famenne et la Calestienne. Ces régions se distinguent par leurs contextes agricoles et présentent ainsi des proportions différentes en surfaces agricoles utilisées pour les prairies et les cultures. Principalement, les caractéristiques de chaque région en termes d'occupation de l'espace sont inhérentes aux propriétés de leur sol ainsi qu'à leur relief.

1.1 Régions biogéographiques

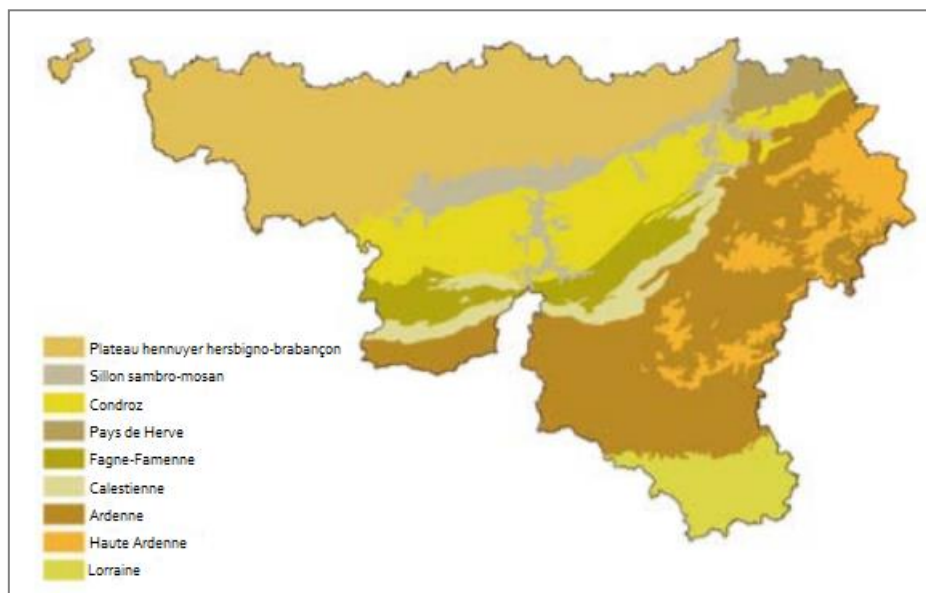


Figure 1 – Principales régions biogéographiques de Wallonie (Jacob et al. 2007)

1.1.1 Condroz

Le Condroz s'étire du sud-ouest au nord-est de la Wallonie et se trouve entre les vallées de la Sambre et de la Meuse (au nord), la vallée de l'Eau d'Heure (à l'ouest), la dépression de la Fagne-Famenne (au sud) et l'Ardenne du nord-est (à l'est) (Droeven, Feltz, et Kummert 2004) (Fig. 1). Cette région se divise en deux sous-régions : l'Ardenne condrusienne au nord et la région condrusienne proprement dite au sud (Castiau, 2011).

La région se présente sous la forme d'un plateau légèrement incliné vers le nord au relief ondulé, dont l'altitude varie entre 200 et 300 mètres. Celui-ci est caractérisé par une succession de crêtes gréseuses (tiges) et de dépressions creusées dans les roches calcaires

(chavées) qui s'étendent en bandes parallèles orientées d'ouest en est à l'ouest de la Meuse et du sud-ouest au nord-est à l'est de celle-ci (Castiau 2011; Droeven, Feltz, et Kummert 2004; Droeven et al. 2002). Dans les chavées, les sols résultent de la décalcification des calcaires et sont de type argileux, tout en étant allégés par des apports de sable venant des crêtes. Ces sols sont principalement utilisés pour les cultures au niveau des pentes faibles et sont occupés par des prairies dans les fonds de vallées humides. Les sommets présentant des sols générés par la désagrégation des grès sont quant à eux occupés par des forêts (Castiau 2011; Droeven, Feltz, et Kummert 2004).

La région du Condroz est caractérisée par des terres agricoles pour plus de la moitié de sa superficie (54%). Celles-ci sont consacrées aux prairies, occupant 34% de la surface agricole utile (SAU), aux cultures de céréales (escourgeon et froment) (29% de la SAU), de maïs fourrager (8% de la SAU), de betteraves sucrières (4% de la SAU) et de plantes oléagineuses, essentiellement *Brassica napus*, destinées à la production d'huile alimentaire et d'agrocarburant (Castiau, 2011; Defrise, 1995; Environnement Wallonie, 2018; Forget & Kinget, 1961). Quant aux forêts, elles représentent 22% du territoire condruzien (Alderweireld et al., 2015).

1.1.2 Famenne

La Famenne se situe au sud-est de la région du Condroz. La région est ainsi bordée par le Condroz (au nord-ouest), la Calestienne (au sud) et par la Meuse qui la sépare de la Fagne (à l'ouest) (Fig. 1). Elle se divise en deux sous-régions : la Famenne septentrionale et la Famenne centrale. Notons que certains auteurs considèrent la Calestienne comme la partie méridionale de la Famenne (Ameryckx et al., 1962; Gaspar, 1971).

La région forme une dépression au relief globalement régulier creusé dans des schistes, dont l'altitude varie entre 120 et 340 mètres (Ameryckx et al., 1962). Elle présente quelques intercalations de calcaire qui forment les tiennes (Droeven et al., 2002). La région présente principalement des sols argileux compacts et lourds (smectites), généralement superficiels mais pouvant être profonds, provenant de l'altération des schistes. Ils se dessèchent en été tandis qu'ils se gorgent d'eau en hiver, ce qui les rend peu propices aux cultures. Sur les sommets étroits des tiennes calcaires se trouvent des sols squelettiques (constitués d'éléments grossiers et dépourvus d'éléments colloïdaux (Carpenter, 1997) et secs (Droeven et al., 2002).

La majorité du territoire agricole est consacré aux prairies, destinées à l'élevage de bovins. Elles occupent 68% de la SAU. Tandis que les cultures sont moins représentées et sont principalement celles de céréales (Defrise, 1995; Environnement Wallonie, 2018; Forget & Kinget, 1961). La région est recouverte par des forêts pour 40,3% de sa superficie (Alderweireld et al., 2015).

1.1.3 Calestienne

La Calestienne est une bande calcaire étroite au sud de la dépression de la Fagne-Famenne, longeant le flanc nord de l'Ardenne, dont l'altitude varie entre 175 et 300 mètres (Fig. 1) (Ameryckx et al., 1962). Au nord, elle forme un plateau calcaire plus ou moins étroit d'altitude supérieure à 250 mètres, surplombant la dépression. Ce plateau est suivi au sud par une faible dépression creusée dans le schiste. A l'est, la région est incisée de façon régulière et profonde par des vallées étroites creusées par l'érosion entre les tiennes calcaires, se succédant vers le massif ardennais (SPW 2010; Droeven, Feltz, et Kummert 2004; Droeven et al. 2002).

La région présente un sol à charge calcaire élevée et caillouteux, peu profond et défavorable aux cultures. Beaucoup de forêts ont été par le passé converties en pâturages itinérants ayant permis la création de pelouses calcicoles, généralement exposées au sud. Celles-ci permettent le développement d'une végétation particulière, riche en espèces calcicoles et thermophiles, et apportent une biodiversité unique à la région. Cette végétation profite ainsi d'un microclimat chaud créé par une exposition particulière au soleil et une perméabilité élevée de la roche calcaire (Ory, 2018).

Un tiers des surfaces agricoles est occupé par des prairies (33% de la SAU), qui dominent les replats. Les cultures représentent 17% de la SAU (Castiau 2010; REW 2018). Quant aux forêts, elles occupent une part importante du paysage.

1.2 Sites étudiés

Au sein de chacune de ces trois régions, deux sites d'un kilomètre de rayon ont été déterminés. Cette surface permet de couvrir la distance moyenne de butinage des *Bombus* (Lefèbvre et al., 2002) et des abeilles solitaires qui ont un rayon d'action de 100 à 300 mètres en moyenne (Lemoine, 2014). Le choix des deux sites a été effectué sur base du parcellaire agricole 2018 fourni par l'ASBL Natagriwal. Ils ont été choisis de sorte qu'ils soient représentatifs du contexte agricole en présence et qu'ils se distinguent par leur degré d'extensivité en matière de pratiques agricoles (Fig. 2). Le caractère intensif ou extensif est déterminé par la présence ou l'absence de mesures agro environnementales et climatiques (MAEC) MC4 (prairies à haute valeur biologique) et MB2 (prairies naturelles) ainsi que d'unités de gestion (UG) zones Natura 2000 UG2 (milieux ouverts prioritaires), UG3 (prairies d'habitat d'espèces), UG5 (prairies de liaison), UG11 (terres de culture et éléments anthropiques) et UGTemp1 (zones sous statut de protection). De cette façon, un site plus « extensif » comprenant des milieux contrastés avec les MAEC et UG citées précédemment et un site plus « intensif » ne comprenant pas ces mesures sont étudiés dans chaque région. L'étude se focalisant sur les milieux agricoles, les milieux forestiers et urbanisés ne seront pas étudiés dans le cadre de ce travail (Langlois, 2019).

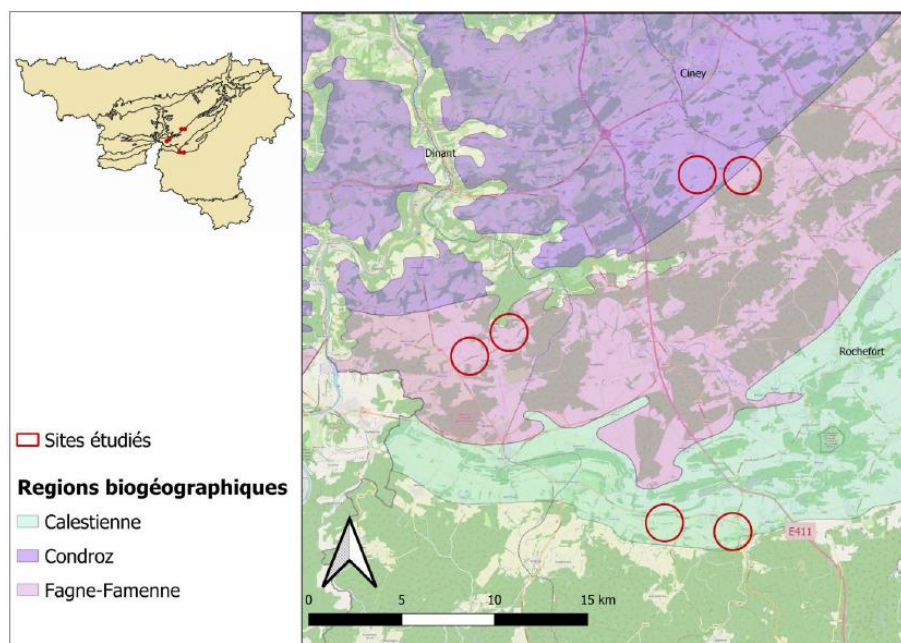


Figure 2 – Sites étudiés et régions biogéographiques concernées (Langlois 2019).

Dans le Condroz, les deux sites se situent au niveau de la limite sud de la région, dans la commune de Ciney et plus précisément dans le hameau de Ychippe. En Famenne, les deux sites se trouvent dans les communes de Beauraing et de Houyet, dans les villages de Finnevaux et Férage. En Calestienne, les deux sites choisis se localisent au niveau de sa limite sud, dans la commune de Wellin. Ils se trouvent au niveau des villages de Halma et Lomprez. Les six sites sont localisés de façon précise (coordonnées géographiques de leur centre) (Guillaume, 2019) et l'utilisation du sol pour les quatre communes est connue (Tab. 1) (Conférence permanente du développement territorial de Wallonie, 2010).

Tableau 1 – Localisation précise des six sites et utilisation du sol pour les communes concernées.

Régions	Condroz		Famenne		Calestienne	
« Extensivité »	Intensif	Extensif	Intensif	Extensif	Intensif	Extensif
Lieu-dit	Ychippe (1)	Ychippe (2)	Finnevaux	Férage	Halma	Lomprez
Commune	Ciney	Ciney	Beauraing	Houyet	Wellin	Wellin
Latitude, longitude	50.246300, 5.104453	50.251440, 5.140447	50.159930, 4.931950	50.169507, 4.966903	50.073664, 5.127428	50.078251, 5.074934
Utilisation du sol [%] ¹						
Terrains artificialisés ²		7,3	4,3	3,9		3,3
Terres cultivées		29,4	19,7	21,3		15,5
Prés et pâtures		27,1	26,6	25,5		17,9
Forêts		29,1	44,3	41,6		55,9
Milieux naturels non exploités		0,1	0	0,4		2,6

¹ Par commune.

² Comprend : les terrains résidentiels, les terrains occupés par des commerces, bureaux et services, par des services publics et équipement communautaires, les terrains à usage des loisirs et espaces verts urbains, les terrains à usage industriel et artisanal ainsi que les carrières, décharges et espaces abandonnés.

2. Caractérisation des paysages

2.1 Description des biotopes étudiés

Durant le mois de juillet, les relevés de terrain ont été classés par biotope suivant ceux établis par A. Langlois précédemment (Langlois, 2019) (Tab. 2). Un biotope est ici défini comme un ensemble d'éléments de paysage présentant une fonction et des conditions de traitement similaires ainsi qu'une flore relativement caractéristique.

Tableau 2 – Définition des biotopes rencontrés et déterminés sur le terrain en juillet 2019.

Biotopes	Définitions
Bord de route	Fossés et talus présents le long des routes et des chemins, d'une largeur de 1,2m en moyenne.
Bord de champ	Zone séparant l'espace cultivé du bord de la parcelle d'une largeur de 1m en moyenne. Elle délimite le parcellaire.
Bord de prairie	Zone en bordure de prairie, d'une largeur de 1m en moyenne.
Bande MAEC	Bande installée en bordure de culture sous labour,ensemencée d'un mélange de céréales et de fleurs des champs (ou plantes messicoles) à forte valeur paysagère ou patrimoniale telles que le grand coquelicot ou le bleuet (bande aménagée à fleurs des champs). Il s'agit d'une MAEC de type MC 8d (Natagriwal, 2015b).
Prairie pâturée	Parcelle accueillant du bétail en première exploitation, officiellement désignée en tant que prairie permanente.
Prairie de fauche	Prairie temporaire dont le but est la production de fourrage ou prairie déclarée en prairie permanente et n'accueillant pas de bétail en première exploitation.
Prairie MAEC	Prairies naturelles : permanente, gérée de manière peu intensive. Cette mesure fait suite aux anciennes méthodes « fauche tardive » et « pâturage tardif ». Il s'agit d'une MAEC de type MB2. Ainsi que prairies à haute valeur biologique, dont le cahier de charges est renforcé pour la conservation des espèces et habitats prairiaux de grand intérêt écologique. Il s'agit d'une MAEC de type MC4 (Natagriwal, 2015a).
Champ	Parcelle accueillant une culture, pouvant présenter une ou plusieurs espèces végétales en fleurs, spontanées ou cultivées.
Haie	Alignement d'arbres et d'arbustes ainsi que la flore herbacée qui profite des conditions que cet alignement procure (3,5 m de large).
Lisière	Végétation et rideau d'arbres en bordure d'une forêt ou d'un bois (3 m de large).

Afin de correspondre d'avantage aux conditions rencontrées en juillet, certains biotopes ont été rassemblés pour la suite de l'étude, réduisant le nombre à six.

- **Prairies** : en juillet, il est difficile de faire la différence entre les types de prairies, qui présentent dans tous les cas le même genre de composition floristique. Elles ont ainsi été rassemblées en un seul biotope (Fig. 3), comprenant toutes les prairies rencontrées en juillet confondues, à savoir les prairies permanentes, temporaires, mixtes et naturelles. Exception faite des éléments de paysage utilisés pour la culture de luzerne (prairies temporaires), ayant été classés avec les champs dans le cadre de cette étude.



Figure 3 – Exemples d'éléments de paysage faisant partie des prairies : (A) prairie de fauche en juillet 2019, (B) prairie pâturée en juillet 2019 (photos prises sur le terrain en juillet 2019)

- **Champs** : en juillet, la plupart des espèces végétales cultivées n'apportent pas de ressources florales pour les insectes pollinisateurs, excepté la luzerne (*Medicago sativa*). Les ressources florales présentes dans les champs sont donc spontanées (excepté la luzerne) et sont sensiblement similaires (*Cyanus segetum*, *Papaver rhoeas* et *Tripleurospermum inodorum* essentiellement). Les champs rencontrés en juillet 2019 sont les champs de maïs et leurs chaumes, les champs de céréales, de colza (*Brassica napus*), de luzerne, de pois (*Pisum sativum*) et de féverole (*Vicia faba*) (Fig. 4).

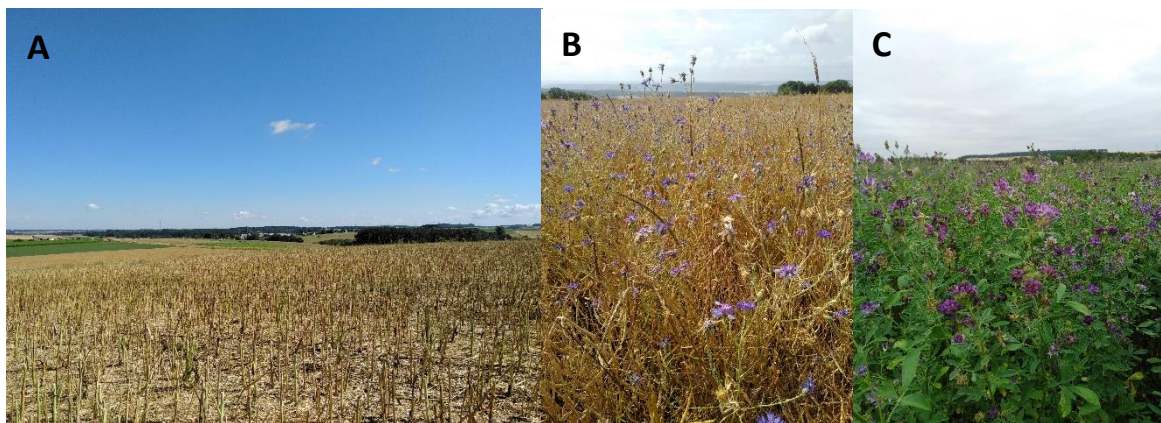


Figure 4 – Exemples d'éléments de paysage faisant partie des champs : (A) chaumes de maïs, (B) champ de colza, (C) champ de luzerne (photos prises sur le terrain en juillet 2019).

- **Bords de prairies** : les éléments de paysage le long des prairies présentent sensiblement le même type de composition floristique (*Cirsium arvense*, *Trifolium* spp., etc.). Ils forment donc un biotope (Fig. 5).



Figure 5 – Exemples de bords de prairies : (A) bord de prairie pâturée en juillet 2019, (B) bord de prairie de fauche en juillet 2019 (photos prises sur le terrain en juillet 2019).

- **Bords de champs** : les éléments de paysage le long des champs présentent sensiblement le même type de composition floristique (*Cyanus segetum*, *Papaver rhoeas*, *Tripleurospermum inodorum*, etc.). Ils forment donc un biotope (Fig. 6). Il est à noter que les bandes MAE se trouvant en bord de champs sont comprises dans ce biotope.



Figure 6 – Exemples de bords de champs : (A) bord de champ de maïs, (B) bord de champ de céréales, (C) bande fleurie MAE (photos prises sur le terrain en juillet 2019).

- **Bords de routes** : les éléments de paysage le long des routes et chemins présentent sensiblement les mêmes espèces végétales principales (*Centaurea nigra*, *Aethusa cynapium*, *Achillea millefolium*, *Convolvulus arvensis*, etc.), bien qu'une diversité relative existe entre ces éléments de paysage. Ils forment donc un biotope (Fig. 7).



Figure 7 – Exemple de bords de routes : (A) bord de route, (B) bord de chemin (photos prises sur le terrain en juillet 2019).

- **Linéaires ligneux** : les haies et les lisières présentant sensiblement les mêmes espèces végétales en fleurs en juillet (*Rubus fruticosus* et *Clematis vitalba* surtout), ces deux biotopes ont été rassemblés. Des espèces herbacées profitant des conditions procurées par les ligneux sont également parfois présentes (*Cirsium vulgare*, *Jacobaea vulgaris*, etc.) (Fig. 8).



Figure 8 – Exemple de linéaire ligneux (haie) (photo prise sur le terrain en juillet 2019).

2.3 Description des paysages

Les surfaces occupées par les biotopes dans chaque site sont calculées sur base du travail d'A. Langlois (Annexe 1) (Langlois, 2019). Elles sont mesurées en fonction des itinéraires parcourus par ce dernier durant le printemps. Les itinéraires suivis durant la période estivale ont été déterminés pour leur ressembler autant que possible, ce qui permet d'utiliser ces informations.

Afin de correspondre aux biotopes définis pour l'été, les cultures non-bio et les cultures bio ont été rassemblées dans les champs. Les prairies, les pâturages ainsi que les parcelles en MAEC et en Natura 2000 ont été intégrées au biotope prairies.

Pour les champs et prairies, les pourcentages ont été appliqués aux surfaces prospectées afin d'obtenir des valeurs de surface exprimées en hectares.

Pour les bords de routes, les haies et les lisières, les valeurs initialement exprimées en m/ha ont été multipliées par la largeur moyenne des biotopes (1,2 mètre pour les bords de routes, 3,5 mètres pour les haies et 3 mètres pour les lisières) et par les surfaces prospectées pour obtenir des valeurs de surfaces totales, en hectares.

Pour les bords de champs et les bords de prairies, les surfaces occupées au niveau de chaque site ont été calculées par A. Langlois après publication de son mémoire.

Les valeurs ainsi obtenues pour chaque biotope figurent dans le tableau 3.

Tableau 3 – Surfaces occupées par les biotopes étudiés.

Sites	Ychippe (1)	Ychippe (2)	Finnevaux	Férage	Halma	Lomprez	Surfaces totales
Surface réelle prospectée [ha]	266	275	283	266	255	16	1514
Surface occupée par les éléments plans [ha]							
Champs	95	112,6	78,7	76	27	48,8	438,4
Prairies	98,5	134,2	82,3	95,1	159,9	64,6	634,6
Taille moyenne des parcelles [ha]	3, ± 7,23	3,1 ± 3,3	2,1 ± 13,7	3,1 ± 8,1	2,3 ± 2,3	1,5 ± 2	
Surface occupée par les éléments linéaires [ha]							
Bords de routes	1,9	1,9	1,2	1	1,9	0,7	8,7
Bords de champs	2,1	1,9	1,8	1,5	0,7	1,3	9,4
Bords de prairies	2,2	2,3	2	1,9	3,8	2,1	14,3
Haies	0,7	1,2	3	1,2	4,6	0,8	11,5
Lisières	2,2	1,3	2,1	1,6	1,6	1,6	10,4

3. Organisation de la récolte de données

La récolte de données a eu lieu entre le 1^{ier} et le 30 juillet 2019. Celle-ci s'est déroulée en trois étapes, identiques pour chacun des sites : la détermination des espèces florales en présence, l'estimation des densités de ces espèces pour chaque biotope et le monitoring des interactions entre les espèces végétales et les insectes pollinisateurs. La prise d'échantillons (boutons floraux) a été réalisée durant ces étapes et la capture des insectes a été essentiellement effectuée durant le monitoring des interactions plantes-insectes visiteurs. Ces différentes étapes ont été accomplies durant deux à quatre jours pour chaque site. Elles ont été regroupées dans le temps pour chacun des sites afin d'éviter l'observation de changements dans l'occupation du paysage, la récolte des données concernant les ressources ayant été réalisée autant que possible sur deux jours consécutifs.

Le premier jour passé sur un site a été consacré aux ressources florales dans la Famenne et le Condroz, le second jour ayant été consacré au monitoring des interactions plantes-insectes visiteurs grâce à des transects d'observations. Ce schéma a été inversé en Calestienne en raison des conditions météorologiques. Deux jours supplémentaires ont été nécessaires pour la capture des insectes dans la région du Condroz, ainsi que pour la prise des densités des ressources florales.

4. Ressources florales

4.1 Phénologie

Suivant un itinéraire préalablement établi (Langlois, 2019), les différents biotopes présents sur le site considéré ont été visités. L'itinéraire choisi permettait de croiser un maximum d'éléments de paysage compris au sein du site afin de collecter des données représentatives de l'ensemble de chaque biotope. Pour ce faire, une impression de l'orthophotographie 2019 du site d'étude a été utilisée pour se repérer sur le terrain. Celle-ci reprend les limites parcellaires. Toutes les espèces végétales en cours de floraison dans chaque élément de paysage rencontré ont été relevées et identifiées afin de constituer un inventaire exhaustif des espèces présentes en juillet 2019. L'identification a été réalisée sur place essentiellement à l'aide de guides et de flores (Jacquemart & Descamps, 2019; Streeter et al., 2017).

4.2 Densités florales

Lors de l'exploration des sites, la densité de chaque espèce florale a été mesurée la première fois qu'elle a été rencontrée dans un biotope. Etant donné que les éléments de paysage appartenant à chaque biotope ont été visités dans un ordre aléatoire sans connaissance préalable des espèces florales présentes, le relevé des densités des ressources florales s'est

effectué aléatoirement pour chaque biotope. Pour les sites situés dans le Condroz, les densités florales ont uniquement été relevées sur les transects d'observations.

La mesure de la densité consiste à compter le nombre d'unités florales ouvertes pour l'espèce considérée sur une surface délimitée. L'unité florale (UF) correspond à un capitule pour les Asteraceae et à une fleur pour les autres familles. Le nombre de fleurs (fleurons) par capitule chez les Asteraceae est en effet trop élevé pour être déterminé avec précision sur le terrain. Pour chaque espèce végétale, sa répartition dans l'espace a été relevée, celle-ci pouvant être répartie de façon régulière sur l'élément de paysage (ex : un individu tous les deux mètres) ou de façon agrégée, les individus étant alors concentrés au niveau d'une zone de l'élément de paysage.

Pour les éléments de paysage linéaires, tels que les bords de routes ou les haies, la mesure de la densité a été effectuée sur une longueur de 100 mètres et sur une largeur d'un mètre. Dans le cas d'une répartition homogène, la mesure a été prise sur deux quadrats de 1m² puis la moyenne extrapolée à la longueur totale. Dans le cas d'une répartition agrégée, le nombre d'unités florales a été évalué sur un groupe considéré puis la densité sur 100 mètres a été extrapolée en tenant compte de la distance moyenne entre chaque groupe d'unités florales.

Pour les éléments de paysage planaires, la mesure a été effectuée sur une surface de 100m². Dans le cas d'une haute densité avec répartition homogène, la mesure a été prise sur deux quadrats de 1m² puis la moyenne extrapolée à la surface totale. Dans le cas d'une densité plus faible (<10 unités florales/m²) ou d'une répartition agrégée, le comptage d'unités florales a été réalisé sur une surface de 25m² puis extrapolé à la surface totale en tenant compte de la distance entre les différents groupes d'unités florales. Finalement, dans le cas d'une densité très faible (<1 unité florale/m²) ou d'une répartition en groupes éloignés d'une distance supérieure à 25 mètres, le comptage a été effectué sur une surface de 100m².

4.3 Ressources en pollen et nectar

4.3.1 Production de pollen et nectar par unité florale

Concernant le pollen, des échantillons ont été récoltés durant les différentes étapes décrites ci-dessus. En effet, des boutons floraux prêts à s'ouvrir ont été cueillis pour 34 espèces végétales sur l'ensemble des sites. Autant que possible, au moins quatre boutons provenant d'individus différents ont été récoltés et conservés dans du FAA (alcool formol acide acétique) dans des Eppendorfs numérotés.

Ces boutons ont ensuite permis de connaître la quantité de pollen produite par UF pour les espèces prélevées. Le but étant de pouvoir estimer les quantités de ressources disponibles dans les différents biotopes au cours de la saison.

L'extraction et le comptage des grains de pollen des boutons récoltés ont été effectués pour les espèces dont la quantité de pollen produite par UF n'était pas encore connue ou disponible dans la littérature (Hicks et al., 2016; Ouvrard, 2018).

Différents moyens sont utilisés pour extraire le pollen des anthères. Dans la majorité des cas, le bouton est d'abord coupé en deux dans le sens de la longueur sous un binoculaire Motic SMZ-161, généralement au grossissement 45x (Fig. 9). Une ou plusieurs anthères sont isolées et placées dans un Eppendorf, le nombre de grains de pollen étant alors fonction du nombre d'anthères utilisées. Les anthères sont ensuite ouvertes et écrasées à l'aide d'une aiguille lancéolée afin de permettre la libération du pollen dans l'Eppendorf.

Pour *Trigonella officinalis*, le bouton est placé dans un Eppendorf sans être coupé au préalable. En effet, la fragilité des anthères cause la sortie du pollen hors de celles-ci dès qu'elles sont effleurées par un scalpel (Fig. 10). Dans l'Eppendorf, le bouton est coupé au scalpel et écrasé avec une aiguille lancéolée.

Pour les espèces appartenant à la famille des Asteraceae, une fleur tubulée est isolée et placée dans un Eppendorf. Elle est coupée à l'aide d'un scalpel puis écrasée grâce à une aiguille lancéolée. L'étape dure plus longtemps que pour les espèces appartenant à d'autres familles (environ cinq minutes) car les grains de pollen produits par certaines Asteraceae présentent une exine échinée (structurée par des épines) qui les maintient accrochés aux tissus (Fig. 11).

Un volume de 100 µL de Rouge d'Alexander (Annexe 2) est ensuite ajouté dans l'Eppendorf, afin de colorer les grains de pollen. La solution est alors homogénéisée au vortex Velp scientifica ZX3, durant 30 secondes à une vitesse de 15000 tours/min, pour que le pollen se retrouve uniformément réparti dans la solution. Après cela, l'Eppendorf est placé dans un Sonicateur VWR USC 200T à la fréquence de 45 kHz durant cinq minutes pour permettre aux grains de pollen de se décrocher davantage des tissus qui les retiennent. Un volume de 10 µL de solution est finalement prélevé et placé sur une lame afin de procéder au comptage des grains de pollen à l'aide d'un microscope NIKON Eclipse E400 Y-FL. Pour chaque espèce végétale, l'expérience est réalisée pour quatre boutons provenant d'individus différents et est répétée deux fois pour chaque bouton.

Concernant le nectar, toutes les données employées proviennent de la littérature (Baude et al., 2016; Hicks et al., 2016; Ouvrard, 2018; Timberlake et al., 2019). Concernant le nectar, toutes les données employées proviennent de la littérature (Baude et al., 2016; Hicks et al., 2016; Ouvrard, 2018; Timberlake et al., 2019).



Figure 9 – Demi- bouton et anthères de *Hypericum perforatum*.



Figure 10 – Fleur, anthères et grains de pollen de *Trigonella officinalis*.

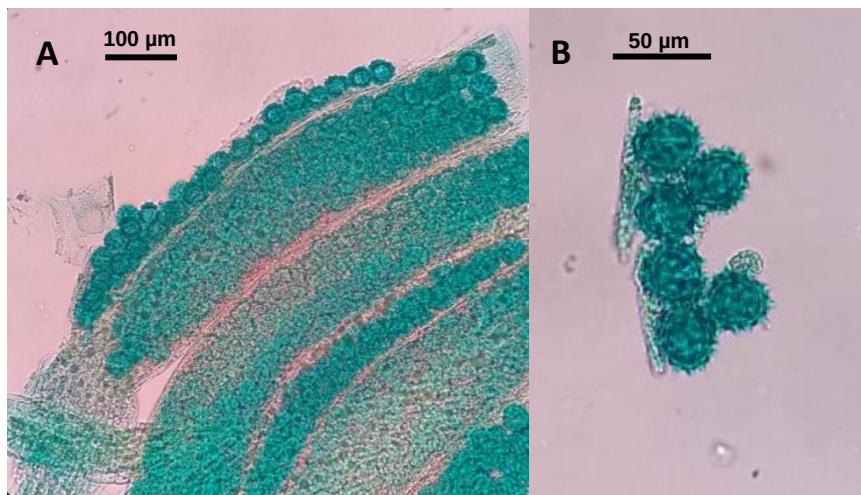


Figure 11 – Grains de pollen de *Matricaria chamomilla* : (A) accrochés aux tissus végétaux (tapis nourricier), (B) détachés.

4.3.2 Production de pollen et nectar dans les paysages

A partir des densités florales évaluées, les volumes de pollen produits par espèce et par biotope ont été estimés. Concernant les sites situés dans le Condroz, il a parfois été nécessaire de considérer les densités mesurées sur d'autres sites, en raison d'absence de données de densité pour certaines espèces florales. Généralement, la densité manquante dans un biotope est remplacée par une densité estimée dans ce même biotope au niveau d'un site de même intensivité agricole.

Par biotope, une moyenne des densités florales est calculée pour chaque espèce, en tenant compte de tous les éléments de paysage examinés par site. Les densités florales sont ensuite multipliées par la surface occupée par le biotope au sein de chacun des sites. On obtient ainsi, pour chacune des espèces observées sur le terrain, un nombre total d'unités florales présentes sur chaque site. Pour chaque espèce, les six valeurs sont additionnées et ensuite divisées par la surface totale occupée par le biotope au niveau des six sites. On obtient alors pour chaque biotope une densité moyenne d'unités florales pour chacune des espèces y fleurissant en juillet.

La densité florale de chaque espèce à l'échelle du paysage est calculée en additionnant les valeurs de quantités d'unités florales des six biotopes étudiés. La valeur obtenue pour chaque espèce est ensuite divisée par la surface totale prospectée pour les six sites.

Afin de connaître les quantités de pollen et de nectar produites (au m² et à l'hectare) par chaque espèce en fleurs en juillet 2019, les densités florales moyennes sont multipliées par les données de pollen/nectar produit par unité florale. De cette façon, on obtient pour le pollen un volume (en µl ³) produit et pour le nectar un poids (en µg/jour ⁴) produit par m² ou par hectare.

³ Le microlitre est l'unité employée pour quantifier le pollen produit par UF dans les études de Damien Hicks et Pierre Ouvrard. Utilisant leurs données dans la suite de ce travail, nous avons choisi d'employer cette unité également.

⁴ Le microgramme est l'unité employée pour quantifier le nectar produit par jour par UF dans les études de D. Hicks, P. Ouvrard et Thomas Timberlake. Utilisant principalement leurs données dans le cadre de l'évaluation de la production de nectar, nous avons choisi d'utiliser cette unité également.

5. Interactions plantes-insectes visiteurs

5.1 Observations

Afin d'évaluer les interactions plantes-insectes visiteurs au sein des biotopes, des transects d'observations de 100 mètres ont été placés dans ceux-ci.

Sur base des plans annotés avec les espèces végétales présentes, une dizaine de transects pour chaque site ont été déterminés afin d'avoir l'observation d'au moins un transect pour chaque biotope, deux lorsque le paysage le permettait. Autant que possible, la réalisation des transects a été réalisée proche dans le temps afin d'éviter au maximum les différences de conditions météorologiques. Celles-ci ont été relevées pour chaque transect. Il est à noter qu'une canicule exceptionnelle a eu lieu au mois de juillet 2019.

Pour chaque transect, une évaluation des densités florales a été effectuée. Le principe était ensuite de parcourir 100 mètres pendant 20 minutes au sein de l'élément de paysage. Durant cette période, un relevé des interactions entre insectes visiteurs et fleurs ouvertes ayant lieu à proximité directe de l'observateur (1 m de rayon) a été effectué. Les informations recueillies sont les suivantes : espèce florale visitée, insecte visiteur, activité de l'insecte lorsqu'elle est observable (collecte de nectar ou de pollen). Généralement, le rôle de l'observateur était tenu par la même personne.

Pour les diptères, seule la famille des Syrphidae a fait l'objet de l'attention de l'observateur. Les individus ont été identifiés jusqu'au genre lors des observations de terrain, excepté les individus du genre *Sphaerophoria* qui ont été identifiés jusqu'à l'espèce.

Pour les hyménoptères, seuls les Apidae ont fait l'objet de l'attention de l'observateur. En raison de similitudes morphologiques, les bourdons ont été rassemblés GTO (Annexe 3) (Terzo & Rasmont, 2007b), *Apis mellifera* a été identifié à l'espèce et les autres abeilles ont été regroupées sous la dénomination « Abeille solitaire ». Les lépidoptères ont tous été regroupés.

Afin de pouvoir visualiser et analyser les interactions par biotope, des réseaux d'interactions plantes-insectes visiteurs ont été réalisés pour chacun d'eux, sur base des transects d'observations. Il est à noter que les densités représentées dans ces réseaux d'interactions sont les moyennes des densités relevées pour chaque espèce végétale au sein des transects d'un biotope. Elles ne sont donc pas toujours représentatives de l'entière d'un biotope à l'échelle du paysage, particulièrement pour les champs.

5.2 Identification des insectes visiteurs

Dans le but d'évaluer la diversité des espèces d'insectes visiteurs présents, plusieurs d'entre eux ont été capturés à l'aide d'un filet durant les étapes précédentes : de façon générale et quand cela était possible, deux individus au minimum ont été capturés par site pour chaque nouveau morphotype observé. Principalement, ils ont été capturés durant les transects d'observations. Les insectes ont été placés individuellement dans des piluliers contenant un coton imbibé d'acétate d'éthyle. Ces piluliers ont ensuite été placés au congélateur jusqu'à l'identification des insectes.

Au total, 89 insectes ont été capturés et identifiés à l'espèce (Fig. 12). Plusieurs ouvrages, clés de détermination et sites web ont été consultés lors de l'identification (Pauly, 2009; Pauly & Rasmont, 2010; Rasmont & Terzo, 2017; SAPOLL, 2018).

Pour la plupart des abeilles solitaires ainsi que pour quelques bourdons, il n'a pas été possible d'identifier les individus à l'espèce par nos soins. Ceux-ci ont été envoyés à Montpellier afin d'être identifiés par David Genoud.



Figure 12 – Insectes étalés en vue de leur identification. Les étiquettes indiquent un numéro d'identification indiquant le site et le transect de capture.

6. Récoltes de pelotes de pollen

Des pelotes de pollen ont également été prélevées sur des Apoidae. Ils ont pour cela été placés au sein d'un piston à insectes permettant le prélèvement des pelotes (à l'aide d'un cure-dent) (Fig. 13). Les pelotes prélevées sur un insecte ont été placées dans un tube Eppendorf conservé au frais durant la journée, puis placé dans un congélateur à -20°C. Un numéro d'identification a été indiqué sur chaque Eppendorf, se référant au site de capture ainsi qu'au transect si capturé lors de l'observation d'un transect. Pour chaque Eppendorf a également été noté, en regard de son numéro d'identification, le GTO de l'insecte s'il s'agit d'un bourdon, « *Apis mellifera* » dans le cas d'individus de cette espèce ou « abeille solitaire » dans les autres cas. L'espèce végétale visitée au moment de la capture a également été relevée.



Figure 13 – Exemple de piston à insectes
(Apiculture.net s.d.)

Sur l'ensemble des sites, 34 pelotes ont été récoltées. Celles-ci ont été acétolysées selon le protocole d'Erdtman (1960) modifié (Descamps, 2014) afin d'en extraire les grains de pollen. Les grains de pollen ont été identifiés à l'aide d'un microscope Leitz Wetzlar, d'ouvrages (Reille, 1992) et de lames de référence. Un catalogue des grains de pollen des espèces rencontrées en juillet 2019 a également été réalisé par nos soins afin de faciliter l'identification (Buyens, s. d.; Martin & Harvey, s. d.; Reille, 1992). Sur l'ensemble des sites, 34 pelotes ont été récoltées. Celles-ci ont été acétolysées selon le protocole d'Erdtman (1960) modifié (Descamps, 2014) afin d'en extraire les grains de pollen. Ceux-ci ont été identifiés à l'aide d'un microscope Leitz Wetzlar, d'ouvrages (Reille, 1992) et de lames de référence. Un catalogue des grains de pollen des espèces rencontrées en juillet 2019 a également été réalisé par nos soins afin de faciliter l'identification.

Une première observation permet de déterminer le nombre d'origines différentes de grains de pollen. Les grains sont décrits par leur forme, leur taille (longueur et largeur ou diamètre selon la forme), leur apparence générale, la présence de pores ou de sillons à leur surface ainsi que l'ornementation de l'exine. Ces informations sont comparées à celles du pollen de l'espèce végétale visitée par l'insecte au moment de la capture et l'hypothèse d'origine

identique est confirmée ou non par les lames de référence. Les autres origines détectées font également l'objet d'hypothèses grâce au catalogue des grains de pollen des espèces rencontrées en juillet 2019, confirmées ou non par les lames de référence.

Une seconde observation permet d'établir les proportions des différentes espèces de pollen présentes. Pour cela, un comptage d'environ 400 grains est réalisé.

7. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant les programme R (version 3.6.3) et SAS Studio (University Edition).

Les réseaux d'interactions plantes-insectes visiteurs ont été visualisés avec le R-package 'bipartite'. Les insectes ont été considérés comme le niveau trophique supérieur tandis que les plantes ont été considérées comme le niveau trophique inférieur.

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur SAS Studio. L'ACP est une méthode statistique qui permet d'analyser et de visualiser un ensemble de données dit multivarié. Cette méthode permet de réduire considérablement la dimensionnalité de cet ensemble de données et d'augmenter l'interprétabilité tout en minimisant la perte d'informations (Jolliffe & Cadima, 2016). Chaque espèce florale présente ayant été associée à une densité florale mesurée, les compositions florales des éléments de paysage observés dans tous les sites confondus (variables d'analyse) ont été comparées entre elles. Les sorties considérées ensuite sont les graphes de caractéristiques des composantes.

Afin de comparer les biotopes (variable de groupes) sur base de leurs productions en ressources florales et des interactions qui y ont été observées (variable d'analyse), des test t à deux échantillons ont été réalisés après vérification de l'égalité des variances et de la normalité. Pour les variables dont la normalité n'était pas vérifiée, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé.

Résultats

1. Ressources

1.1 Espèces végétales observées

Sur l'ensemble des six sites étudiés, un total de 112 espèces végétales en cours de floraison a été observé durant le mois de juillet 2019. Pour 67 d'entre elles, la quantité de pollen produite par UF est connue, dont neuf établies dans le cadre de cette étude. Il s'agit des quantités de pollen produites par *Aethusa cynapium*, *Carduus nutans*, *Cirsium palustre*, *Geranium pyrenaicum*, *Hypericum perforatum*, *Matricaria chamomilla*, *Rubus fruticosus*, *Trigonella officinalis* et *Verbascum nigrum*. Pour les 58 autres, les valeurs proviennent des travaux de Damien Hicks, Mathilde Baude (non publié) et Pierre Ouvrard (Hicks et al., 2016; Ouvrard, 2018) (Tab. 4). La quantité de nectar produite par jour et par UF est quant à elle connue pour 66 espèces (Annexe 4). Les données proviennent de la littérature (Baude et al., 2016; Hicks et al., 2016; Ouvrard, 2018; Timberlake et al., 2019). Dans les deux cas, les valeurs provenant des travaux de D. Hicks et P. Ouvrard ont été privilégiées en raison du protocole choisi pour l'évaluation des ressources (production par unité florale).

Les espèces pour lesquelles ces indications sont inconnues ne seront pas considérées pour la quantification des ressources. Notons que les données disponibles couvrent les principales espèces entomophiles attractives en floraison durant juillet 2019.

Tableau 4 – Espèces pour lesquelles la production de pollen est connue, volumes de pollen produits par UF pour ces espèces et références des travaux dont proviennent les données.

Espèce végétale	Famille végétale	Volume de pollen par UF (fleur ou capitule) [μl]	Source
<i>Achillea millefolium</i> *	<i>Asteraceae</i>	1,13 ± 0,22	Hicks et al. 2016
<i>Aethusa cynapium</i>	<i>Apiaceae</i>	0,07 ± 0,01	Ce travail
<i>Agrimonia eupatoria</i>	<i>Rosaceae</i>	0,01	Baude, 2019
<i>Bellis perennis</i> *	<i>Asteraceae</i>	0,65 ± 0,11	Hicks et al. 2016
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	<i>Brassicaceae</i>	0,001	Ouvrard 2018
<i>Carduus nutans</i> *	<i>Asteraceae</i>	55,06 ± 10,75	Ce travail
<i>Centaurea nigra</i> *	<i>Asteraceae</i>	6,40 ± 2,03	Hicks et al. 2016
<i>Cerastium fontanum</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	0,04 ± 0,01	Hicks et al. 2016
<i>Cirsium arvense</i> *	<i>Asteraceae</i>	0,60 ± 0,21	Hicks et al. 2016
<i>Cirsium palustre</i> *	<i>Asteraceae</i>	18,95 ± 2,25	Ce travail
<i>Cirsium vulgare</i> *	<i>Asteraceae</i>	4,78 ⁵	Baude 2019
<i>Clematis vitalba</i>	<i>Ranunculaceae</i>	0,71	Baude 2019
<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Convolvulaceae</i>	0,35	Baude 2019
<i>Crepis capillaris</i> *	<i>Asteraceae</i>	0,74 ± 0,18	Hicks et al. 2016
<i>Cyanus segetum</i> *	<i>Asteraceae</i>	3,53 ± 0,50	Hicks et al. 2016
<i>Daucus carota</i>	<i>Apiaceae</i>	0,02 ± 0,003	Hicks et al. 2016
<i>Digitalis purpurea</i>	<i>Scrophulariaceae</i>	0,41	Baude 2019

⁵Valeurs de pollen par fleur empruntées aux travaux de M. Baude et multipliées pour obtenir une valeur de pollen par capitule.

*Espèces pour lesquelles une UF correspond à un capitule.

<i>Epilobium angustifolium</i>	<i>Onagraceae</i>	2,89 ± 0,38	Hicks et al. 2016
<i>Epilobium ciliatum</i>	<i>Onagraceae</i>	0,01 ± 0,003	Hicks et al. 2016
<i>Epilobium hirsutum</i>	<i>Onagraceae</i>	1,47	Baude 2019
<i>Epilobium tetragonum</i>	<i>Onagraceae</i>	0,06	Baude 2019
<i>Filipendula ulmaria</i>	<i>Rosaceae</i>	0,15	Baude 2019
<i>Fumaria officinalis</i>	<i>Fumariaceae</i>	0,01 ± 0,001	Hicks et al. 2016
<i>Galium aparine</i>	<i>Rubiaceae</i>	0,001	Baude 2019
<i>Galium mollugo</i>	<i>Rubiaceae</i>	0,01 ± 0,002	Hicks et al. 2016
<i>Galium verum</i>	<i>Rubiaceae</i>	0,01 ± 0,001	Hicks et al. 2016
<i>Geranium pyrenaicum</i>	<i>Geraniaceae</i>	0,39 ± 0,04	Ce travail
<i>Geum urbanum</i>	<i>Rosaceae</i>	0,21	Baude 2019
<i>Heracleum sphondylium</i>	<i>Apiaceae</i>	0,08	Baude 2019
<i>Hypericum perforatum</i>	<i>Clusiaceae</i>	1,54 ± 0,09	Ce travail
<i>Jacobaea vulgaris*</i>	<i>Asteraceae</i>	0,94 ± 0,13	Hicks et al. 2016
<i>Knautia arvensis*</i>	<i>Dipsacaceae</i>	0,05 ⁵	Baude 2019
<i>Lamium album</i>	<i>Lamiaceae</i>	0,15	Baude 2019
<i>Lapsana communis*</i>	<i>Asteraceae</i>	0,33 ± 0,03	Hicks et al. 2016
<i>Lathyrus pratensis</i>	<i>Fabaceae</i>	0,12	Baude 2019
<i>Leontodon hispidus*</i>	<i>Asteraceae</i>	1,05 ± 0,21	Hicks et al. 2016
<i>Leucanthemum vulgare*</i>	<i>Asteraceae</i>	15,92 ± 2,02	Hicks et al. 2016
<i>Linaria vulgaris</i>	<i>Scrophulariaceae</i>	0,20	Baude 2019
<i>Lonicera periclymenum</i>	<i>Caprifoliaceae</i>	2,08	Baude 2019
<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Fabaceae</i>	0,15 ± 0,01	Hicks et al. 2016
<i>Lotus pedunculatus</i>	<i>Fabaceae</i>	0,90	Baude 2019
<i>Malva moschata</i>	<i>Malvaceae</i>	5,08 ± 1,16	Hicks et al. 2016
<i>Matricaria chamomilla*</i>	<i>Asteraceae</i>	8,88 ± 0,79	Ce travail
<i>Medicago sativa</i>	<i>Fabaceae</i>	0,06	Baude 2019
<i>Myosotis arvensis</i>	<i>Boraginaceae</i>	0,001	Baude 2019
<i>Origanum vulgare</i>	<i>Lamiaceae</i>	0,01 ± 0,001	Hicks et al. 2016
<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Papaveraceae</i>	13,34 ± 2,81	Hicks et al. 2016
<i>Prunella vulgaris</i>	<i>Lamiaceae</i>	0,031 ± 0,01	Hicks et al. 2016
<i>Ranunculus spp.</i>	<i>Ranunculaceae</i>	0,91 ± 0,06	Hicks et al. 2016
<i>Rosa arvensis</i>	<i>Rosaceae</i>	5,24	Baude 2019
<i>Rubus fruticosus</i>	<i>Rosaceae</i>	1,92 ± 0,09	Ce travail
<i>Silene dioica</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	0,36 ± 0,04	Hicks et al. 2016
<i>Silene latifolia</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	0,36 ± 0,04	Hicks et al. 2016
<i>Solanum dulcamara</i>	<i>Solanaceae</i>	0,24	Baude 2019
<i>Sonchus arvensis*</i>	<i>Asteraceae</i>	0,67 ⁵	Baude 2019
<i>Sonchus oleraceus*</i>	<i>Asteraceae</i>	1,33 ± 0,26	Hicks et al. 2016
<i>Stachys sylvatica</i>	<i>Lamiaceae</i>	0,08	Baude 2019
<i>Stellaria graminea</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	0,02 ± 0,0	Hicks et al. 2016
<i>Taraxacum agg*</i>	<i>Asteraceae</i>	2,82 ± 0,66	Hicks et al. 2016
<i>Trifolium dubium</i>	<i>Fabaceae</i>	0,001	Baude 2019
<i>Trifolium incarnatum</i>	<i>Fabaceae</i>	0,08	Ouvrard 2018
<i>Trifolium pratense</i>	<i>Fabaceae</i>	0,02 ± 0,002	Hicks et al. 2016
<i>Trifolium repens</i>	<i>Fabaceae</i>	0,03 ± 0,002	Hicks et al. 2016
<i>Trigonella officinalis</i>	<i>Fabaceae</i>	0,09 ± 0,01	Ce travail
<i>Tripleurospermum inodorum*</i>	<i>Asteraceae</i>	2,96 ± 0,2	Hicks et al. 2016
<i>Verbascum nigrum</i>	<i>Scrophulariaceae</i>	0,70 ± 0,06	Ce travail
<i>Veronica persica</i>	<i>Plantaginaceae</i>	0,03 ± 0,01	Hicks et al. 2016
<i>Vicia cracca</i>	<i>Fabaceae</i>	0,04 ± 0,01	Hicks et al. 2016
<i>Vicia hirsuta</i>	<i>Fabaceae</i>	0,01 ± 0,004	Hicks et al. 2016

Les dix espèces qui produisent individuellement les plus grands volumes de pollen durant leurs périodes de floraison sont : *Carduus nutans*, *Centaurea nigra*, *Cirsium palustre*, *Cirsium vulgare*, *Cyanus segetum*, *Leucanthemum vulgare*, *Malva moschata*, *Matricaria chamomilla*, *Papaver rhoeas* et *Rosa arvensis*. Pour sept d'entre elles, il s'agit d'espèces appartenant à la famille des Asteraceae.

Les dix espèces produisant individuellement les quantités de nectar journalières les plus élevées sont : *Centaurea nigra*, *Cirsium arvense*, *Cirsium palustre*, *Cirsium vulgare*, *Jacobaea*

vulgaris, *Knautia arvensis*, *Lathyrus pratensis*, *Lonicera periclymenum*, *Rubus fruticosus* et *Taraxacum agg.* Six de ces espèces appartiennent à la famille des Asteraceae.

1.2 Ressources produites au niveau du paysage

Les 112 espèces ont été observées sur un ensemble de 252 éléments de paysage considérés durant le mois de juillet 2019. Ceux-ci étaient répartis de la façon suivante : 53 pour le site Ychippe (1), 28 pour le site Ychippe (2), 51 pour le site Finnevaux, 38 pour le site Férage, 36 pour le site Halma et 46 pour le site Lomprez (Tab. 5).

Tableau 5 – Répartition des 252 éléments de paysage considérés entre les six biotopes et les six sites.

Site	Bords de routes	Bords de champs	Bords de prairies	Champs	Prairies	Ligneux	Total
Ychippe (1)	12	7	5	16	10	3	53
Ychippe (2)	5	5	0	6	6	4	28
Finnevaux	14	5	0	14	13	5	51
Férage	6	7	1	18	4	2	38
Halma	6	0	8	3	14	5	36
Lomprez	4	6	3	10	17	6	46
Total	47	30	17	67	64	25	252

Par site, en moyenne 50 espèces différentes étaient en cours de floraison durant juillet 2019, le nombre minimum d'espèces présentes étant de 35 (Férage) et le nombre maximum de 63 (Halma) (Annexe 5).

Certaines espèces en fleurs étaient présentes sur tous les sites (15 espèces), tandis que d'autres étaient inféodées à des types de sols particuliers et se trouvaient sur un ou deux sites uniquement. Les espèces présentes sur tous les sites sont : *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*, *Geranium robertianum*, *Hypericum perforatum*, *Knautia arvensis*, *Malva moschata*, *Matricaria chamomilla*, *Medicago sativa*, *Papaver rhoeas*, *Ranunculus* spp.⁶, *Rubus fruticosus*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Tripleurospermum inodorum* et *Vicia cracca*.

Pour chaque espèce, la fréquence d'observation (pourcentage d'éléments de paysage sur lesquels l'espèce était présente et en cours de floraison) et la densité florale moyenne sur un élément de paysage ont été calculées, ainsi que les quantités de pollen (en μ l) et de nectar (en μ g) produites par hectare en considérant l'ensemble des six sites (Tab. 6).

⁶ Les espèces du genre *Ranunculus* n'ont pas pu être identifiées à l'espèce.

Tableau 6 – Liste des espèces présentes en juillet 2019 dont les productions de pollen et/ou de nectar sont connues, leurs fréquences d’observation ainsi que leurs densités florales moyennes au niveau du paysage et les quantités de ressources produites.

Espèce végétale	Fréquence d’observation [%]	Densité florale moyenne [UF/ha] ⁷	Production moyenne de pollen [µl/ha] ⁸	Production moyenne de nectar [µg/ha/jour] ⁸
<i>Achillea millefolium</i> *	8,73	27857	31430	866355
<i>Aethusa cynapium</i>	4,76	3823	250	26533
<i>Agrimonia eupatoria</i>	3,57	33	<1	45
<i>Bellis perennis</i> *	3,57	28	18	1437
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	0,79	652	1	5905
<i>Carduus nutans</i> *	0,79	1	41	NA
<i>Centaurea nigra</i> *	7,14	4912	31453	7239091
<i>Cerastium fontanum</i>	0,40	151	5	1749
<i>Cirsium arvense</i> *	15,48	1643	983	4285453
<i>Cirsium palustre</i> *	0,79	222	4204	1641625
<i>Cirsium vulgare</i> *	7,54	260	1243	604168
<i>Clematis vitalba</i>	3,17	394	280	59063
<i>Convolvulus arvensis</i>	19,05	1131	400	397872
<i>Crepis capillaris</i> *	6,35	89	65	20036
<i>Cyanus segetum</i> *	9,92	9552	33757	8556678
<i>Daucus carota</i>	6,35	2988	56	81205
<i>Digitalis purpurea</i>	0,40	10	4	12284
<i>Dipsacus fullonum</i>	1,19	28	NA	256
<i>Epilobium angustifolium</i>	2,78	351	1016	330435
<i>Epilobium ciliatum</i>	0,79	18	<1	8828
<i>Epilobium hirsutum</i>	1,59	3	5	1106
<i>Epilobium tetragonum</i>	3,57	117	7	2420
<i>Filipendula ulmaria</i>	1,59	9308	1424	NA
<i>Fumaria officinalis</i>	1,19	168	2	3681
<i>Galium aparine</i>	0,00	71	<1	675
<i>Galium mollugo</i>	7,54	168046	898	1186402
<i>Galium verum</i>	1,98	1875	18	5944
<i>Geranium pyrenaicum</i>	5,16	2756	1082	NA
<i>Geranium robertianum</i>	4,37	114	NA	11180
<i>Geum urbanum</i>	0,40	1	<1	15
<i>Heracleum sphondylium</i>	10,32	16421	1310	1612067
<i>Hypericum perforatum</i>	11,51	5453	8374	NA
<i>Jacobaea vulgaris</i> *	3,57	43	41	126024
<i>Knautia arvensis</i> *	4,37	33	2	72609
<i>Lactuca virosa/serriola</i> *	1,19	2	<1	NA
<i>Lamium album</i>	0,79	<1	<1	384
<i>Lapsana communis</i> *	7,94	125	42	12447
<i>Lathyrus pratensis</i>	0,79	14	2	26902
<i>Leontodon hispidus</i> *	1,59	52	54	NA
<i>Leucanthemum vulgare</i> *	4,37	625	9943	321813
<i>Linaria vulgaris</i>	2,38	113	22	61349
<i>Lonicera periclymenum</i>	0,40	1	1	1040
<i>Lotus corniculatus</i>	2,38	50	7	3089
<i>Lotus pedunculatus</i>	3,57	6907	6193	244236

⁷ La densité florale moyenne pour chaque espèce est calculée en divisant le nombre total d’unités florales (pour tous les biotopes et sur tous les sites) par la surface totale prospectée (1514 ha).

⁸ Les productions de pollen et de nectar de chaque espèce sont calculées en multipliant la densité florale moyenne par sa production de pollen/nectar par unité florale.

* Espèces pour lesquelles une UF correspond à un capitule.

<i>Malva moschata</i>	8,33	55	278	29656
<i>Matricaria chamomilla*</i>	13,49	2833	25152	849919
<i>Medicago sativa</i>	6,35	116916	7132	17086110
<i>Myosotis arvensis</i>	0,79	72	<1	1569
<i>Origanum vulgare</i>	1,98	2106	20	303465
<i>Papaver rhoeas</i>	17,86	342	4567	1831
<i>Potentilla reptans</i>	7,14	46	NA	1426
<i>Prunella vulgaris</i>	0,79	25	1	6282
<i>Ranunculus spp.</i>	6,35	1223	1115	233296
<i>Rosa arvensis</i>	0,40	13	70	NA
<i>Rubus fruticosus</i>	9,52	1204	2310	2279477
<i>Silene dioica</i>	0,40	3	1	389
<i>Silene latifolia</i>	5,56	300	36	43518
<i>Solanum dulcamara</i>	0,40	3	1	5
<i>Sonchus arvensis*</i>	2,38	5	4	2790
<i>Sonchus oleraceus*</i>	0,79	1	1	551
<i>Stachys sylvatica</i>	3,17	2822	212	877911
<i>Stellaria graminea</i>	2,38	13	<1	423
<i>Taraxacum agg*</i>	0,40	<1	1	894
<i>Trifolium dubium</i>	2,38	4056	4	NA
<i>Trifolium incarnatum</i>	0,40	<1	<1	14
<i>Trifolium pratense</i>	13,10	17750	351	2074262
<i>Trifolium repens</i>	17,86	97495	2775	4774339
<i>Trigonella officinalis</i>	1,59	285	26	5752
<i>Tripleurospermum inodorum*</i>	11,51	10833	32009	15337092
<i>Verbascum nigrum</i>	4,37	188	132	NA
<i>Veronica persica</i>	1,59	30	1	956
<i>Vicia cracca</i>	8,73	473	18	228931
<i>Vicia hirsuta</i>	0,40	2538	16	298505
<i>Vicia sativa</i>	0,79	69	NA	20723
<i>Vicia sepium</i>	0,40	<1	NA	9

Parmi toutes les espèces, dix ont été constatées sur environ 10%, ou plus, des éléments de paysage pour l'ensemble des sites. Il est question des espèces suivantes : *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*, *Cyanus segetum*, *Heracleum sphondylium*, *Hypericum perforatum*, *Matricaria chamomilla*, *Papaver rhoeas*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Tripleurospermum inodorum*. Ces 10 espèces sont ainsi celles qui sont observées les plus fréquemment durant juillet 2019, tous biotopes confondus.

Considérant les densités florales moyennes au niveau du paysage, les dix espèces les plus représentées à l'hectare sont les suivantes : *Achillea millefolium*, *Cyanus segetum*, *Filipendula ulmaria*, *Galium mollugo*, *Heracleum sphondylium*, *Lotus pendunculatus*, *Medicago sativa*, *Trifolium hybridum*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens* et *Tripleurospermum inodorum*.

Les dix espèces les plus productrices de pollen à l'hectare sont : *Achillea millefolium* (15% de la production totale), *Centaurea nigra* (15%), *Cyanus segetum* (16%), *Hypericum perforatum* (4%), *Leucanthemum vulgare* (5%), *Lotus pedunculatus* (3%), *Matricaria chamomilla* (12%), *Medicago sativa* (3%), *Papaver rhoeas* (2%) et *Tripleurospermum inodorum* (15%).

Les dix espèces les plus productrices de nectar à l'hectare sont : *Centaurea nigra* (10% de la production), *Cirsium arvense* (6%), *Cirsium palustre* (2%), *Cyanus segetum* (12%), *Heracleum sphondylium* (2%), *Medicago sativa* (24%), *Rubus fruticosus* (3%), *Trifolium pratense* (3%), *Trifolium repens* (7%) et *Tripleurospermum inodorum* (21%).

1.3 Ressources produites au niveau des biotopes

L'ACP effectuée montre une ressemblance dans les compositions florales des éléments de paysage appartenant d'une part aux haies et aux lisières et d'autre part aux bords de champs. Les haies et lisières sont rassemblées par la composante 2 qui explique environ 10% de la variance de composition florale (Fig. 14). Les bords de champs sont rassemblés par la composante 3 qui explique environ 9% de la variance de composition florale (Fig. 15).

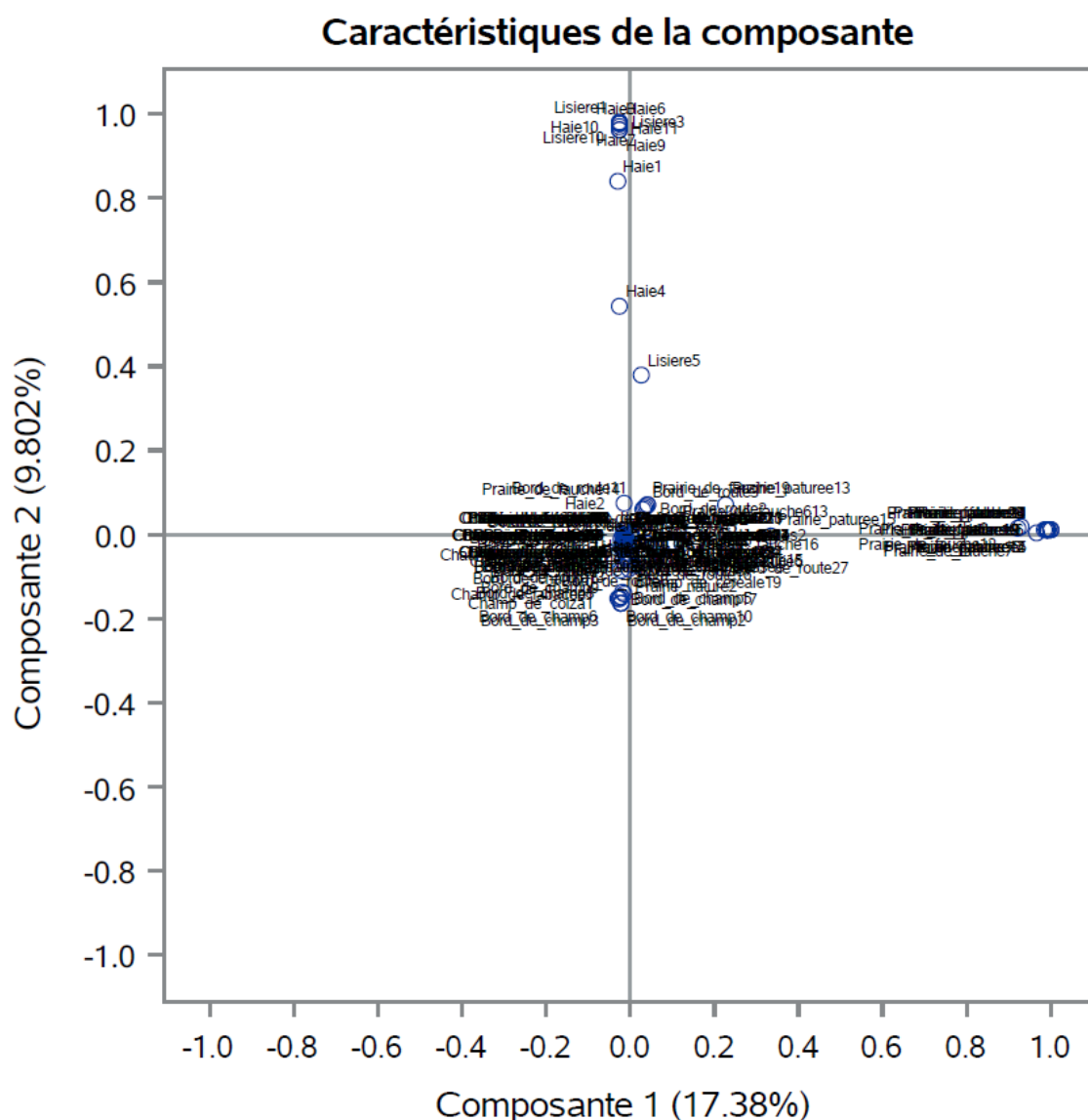


Figure 14 – Résultat de l'ACP pour les composantes 1 et 2

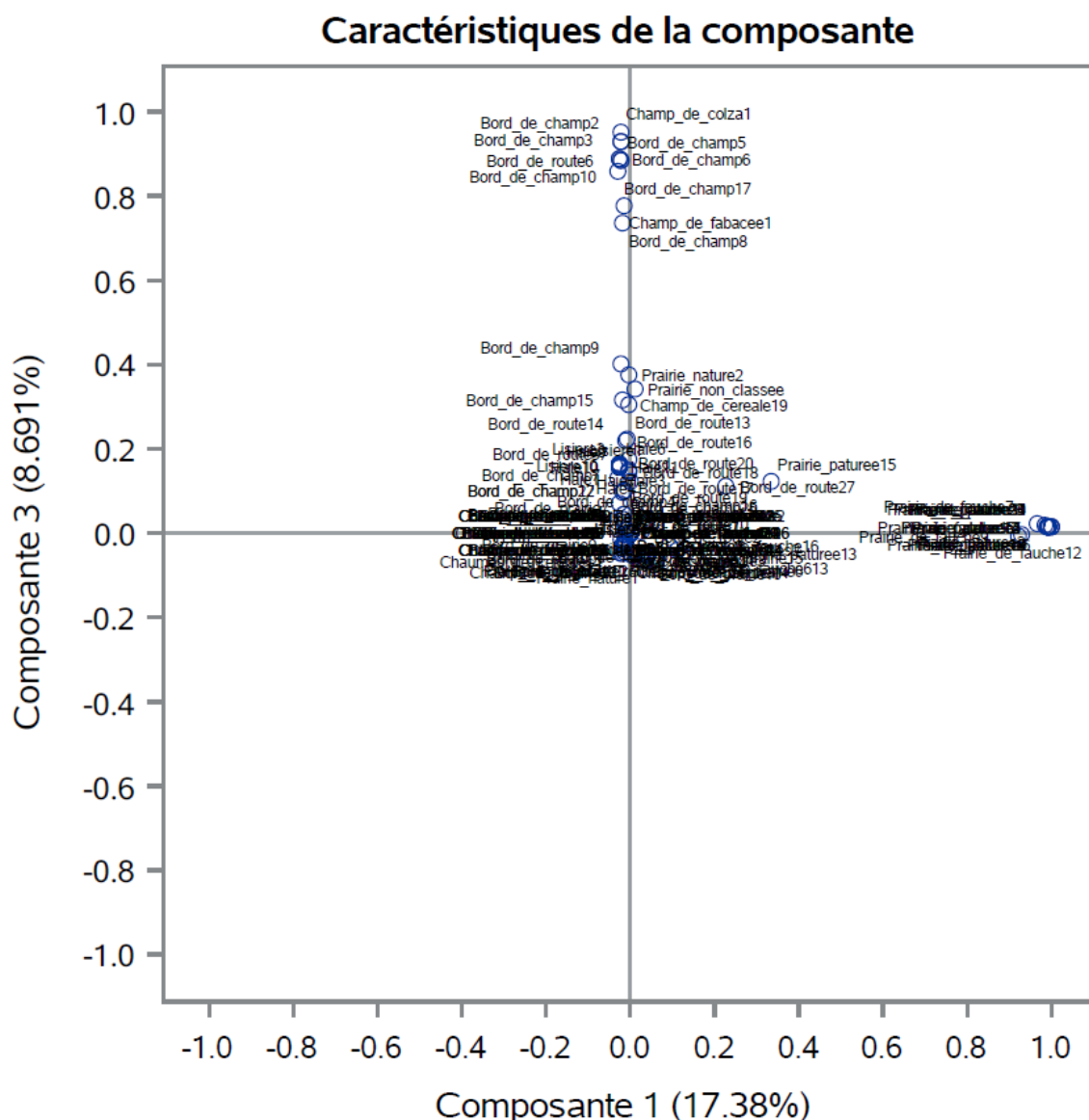


Figure 15 – Résultat de l’ACP pour les composantes 1 et 3

Cette analyse met en valeur l’influence du type de biotope sur les compositions florales des éléments de paysage, les sites ainsi que leur degré d’extensivité agricole influençant ces éléments d’une moindre façon. Dans la suite de cette étude, les biotopes seront ainsi étudiés indépendamment tandis que les sites seront considérés comme répétitions d’échantillonnage.

1.3.1 Ressources en prairies

Dans les prairies, 47 espèces végétales en fleurs ont été observées en juillet 2019 dans les 64 éléments de paysage considérés (Annexe 6). Deux espèces étaient présentes sur au moins 25% d’entre eux : *Trifolium pratense* et *Trifolium repens* (*T. repens* étant présente sur 50%). D’autres espèces (six) se trouvaient dans 10% des prairies : *Bellis perennis*, *Crepis capillaris*, *Heracleum sphondylium*, *Leucanthemum vulgare*, *Medicago sativa* et *Ranunculus* spp.

En termes de densités florales, *Galium mollugo* montre le nombre moyen d'unités florales par m² le plus élevé (38,82 UF/m²), malgré une fréquence d'observation de 3,1%. Les autres espèces présentant des densités florales élevées sont : *Trifolium repens* (22,69 UF/m²), *Achillea millefolium* (5,88 UF/m²), *Trifolium hybridum* (4,19 UF/m²), *Heracleum sphondylium* (3,78 UF/m²) et *Trifolium pratense* (3,73 UF/m²).

Par leurs densités, *Gallium mollugo*, *Heracleum sphondylium*, *Trifolium pratense* et *Trifolium pratense* font partie des dix espèces produisant le plus de nectar en prairies. Les six autres sont : *Centaurea nigra*, *Cirsium arvense*, *Cirsium palustre*, *Medicago sativa*, *Stachys sylvatica* et *Tripleurospermum inodorum*. Ces espèces fournissent ensemble 6050 µg de nectar par m² et par jour, soit 90% du total produit (6713 µg/m²/jour) (Tab. 7).

Achillea millefolium est la seule espèce qui fait partie des cinq plus productrices en pollen en raison de sa densité élevée. Les quatre autres font partie des plus productrices grâce à une production de pollen par UF élevée. Il s'agit de : *Centaurea nigra*, *Leucanthemum vulgare*, *Lotus pedunculatus* et *Tripleurospermum inodorum*. Ces cinq espèces fournissent ensemble 19 µl de pollen par m², soit 83% du total (23 µl/m²) (Tab. 7).

Centaurea nigra est l'espèce la plus productrice en prairies pour les deux types de ressources.

Tableau 7 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar dans les prairies, ainsi que leurs fréquences d'observation et leurs densités florales moyennes.

Espèce végétale	Fréquence d'observation [%]	Densité florale [UF/m ²] ⁹	Production de pollen [µl/m ²]	Production de nectar [µg/m ² /jour]
<i>Achillea millefolium</i>	6,25	5,88	6,64	182,96
<i>Centaurea nigra</i>	6,25	1,16	7,43	1710,84
<i>Cirsium arvense</i>	9,38	0,26	0,16	677,56
<i>Cirsium palustre</i>	1,56	0,053	1,01	390,62
<i>Galium mollugo</i>	3,13	38,82	0,21	274,04
<i>Heracleum sphondylium</i>	10,94	3,78	0,30	370,90
<i>Leucanthemum vulgare</i>	10,94	0,15	2,36	76,41
<i>Lotus pedunculatus</i>	4,69	1,65	1,47	58,19
<i>Medicago sativa</i>	12,50	1,43	0,09	209,03
<i>Stachys sylvatica</i>	1,56	0,67	0,05	207,71
<i>Trifolium pratense</i>	26,56	3,73	0,07	435,59
<i>Trifolium repens</i>	50,00	22,69	0,65	1111,07
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	7,81	0,47	1,38	662,50

⁹ Pour chaque biotope, les densités florales moyennes sont calculées en additionnant le nombre d'unités florales estimé pour ce biotope sur chaque site (sur base de la densité florale mesurée sur ce dernier et de la surface que le biotope y occupe) et en divisant le nombre obtenu par la surface occupée par le biotope considéré sur l'ensemble des sites.

1.3.2 Ressources en champs

Dans les champs, 11 espèces végétales en fleurs ont été observées en juillet 2019 sur les 67 éléments de paysage considérés (Annexe 7). Ces espèces ont en moyenne été observées sur 3,5% des champs. L'espèce la plus fréquemment présente est *Cyanus segetum*, avec une fréquence d'observation de 7,5%.

En termes de densités florales, l'espèce présentant le nombre moyen d'unités florales/m² le plus élevé est *Medicago sativa* (espèce cultivée), avec une densité moyenne de 36,42 UF/m². Les suivantes sont *Cyanus segetum* (2,97 UF/m²) et *Tripleurospermum inodorum* (2,89 UF/m²) (Tab. 8).

Par leurs densités florales élevées, ces trois espèces sont les plus productrices en nectar et en pollen dans les champs. Elles produisent ensemble 21 µl de pollen par m², soit 95% du total (22 µl/m²) et 12079 µg de nectar par m² et par jour, soit 99% du total produit (12256 µg/m²/jour).

Tableau 8 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar dans les champs, ainsi que leurs fréquences d'observation et leurs densités florales moyennes.

Espèce végétale	Fréquence d'observation [%]	Densité florale [UF/m ²]	Production de pollen [µl/m ²]	Production de nectar [µg/m ² /jour]
<i>Cyanus segetum</i>	7,46	2,97	10,51	2663,60
<i>Medicago sativa</i>	2,99	36,42	2,22	5322,95
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	5,97	2,89	8,54	4092,46

1.3.3 Ressources en bords de prairies

En bords de prairies, 46 espèces végétales en fleurs ont été observées en juillet 2019 sur les 17 éléments de paysage étudiés (Annexe 8). Cinq espèces étaient présentes sur au moins 25% d'entre eux : *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*, *Hypericum perforatum*, *Trifolium pratense* et *Trifolium repens*.

En termes de densités florales, les dix espèces présentant les densités florales moyennes les plus élevées sont : *Filipendula ulmaria* (98,65 UF/m²), *Medicago sativa* (50,63 UF/m²), *Trifolium repens* (28,57 UF/m²), *Trifolium pratense* (15,59 UF/m²), *Matricaria chamomilla* (4,73 UF/m²), *Cirsium arvense* (4,23 UF/m²), *Epilobium angustifolium* (4,23 UF/m²), *Geranium pyrenaicum* (3,69 UF/m²), *Hypericum perforatum* (3,15 UF/m²), et *Vicia cracca* (2,21 UF/m²).

Par leurs densités florales élevées, les cinq espèces les plus productrices en nectar au m² sont : *Cirsium arvense*, *Matricaria chamomilla*, *Medicago sativa*, *Trifolium pratense* et *Trifolium repens*. Ces espèces fournissent 23081 µg de nectar par m² et par jour, soit 75% du total produit (30750 µg/m²/jour) (Tab. 9).

Les cinq espèces les plus productrices en pollen au m² sont : *Epilobium angustifolium*, *Filipendula ulmaria*, *Hypericum perforatum*, *Matricaria chamomilla* et *Papaver rhoeas*. A l'exception de *P. rhoeas*, leurs productions sont élevées grâce à des densités florales élevées. Ces espèces fournissent ensemble 85 µl de pollen par m², c'est-à-dire 86% du total (99 µl/m²) (Tab. 9).

Tableau 9 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar en bords de prairies, ainsi que leurs fréquences d'observation et leurs densités florales moyennes.

Espèce végétale	Fréquence d'observation [%]	Densité florale [UF/m ²]	Production de pollen [µl/m ²]	Production de nectar [µg/m ² /jour]
<i>Cirsium arvense</i>	35,29	4,23	2,53	11043,30
<i>Epilobium angustifolium</i>	5,88	4,27	12,35	4019,41
<i>Filipendula ulmaria</i>	11,76	1,33	15,09	NA
<i>Hypericum perforatum</i>	29,41	3,15	4,84	NA
<i>Matricaria chamomilla</i>	17,65	4,73	41,98	1418,53
<i>Medicago sativa</i>	17,65	50,63	3,09	7398,48
<i>Papaver rhoeas</i>	23,53	0,81	10,82	4,34
<i>Trifolium pratense</i>	35,29	15,59	0,31	1831,98
<i>Trifolium repens</i>	23,53	28,57	0,81	1398,93

1.3.4 Ressources en bords de champs

En bords de champs, 33 espèces végétales en fleurs ont été observées en juillet 2019 sur les 30 éléments de paysage étudiés (Annexe 9). Cinq espèces ont été observées sur au moins 25% d'entre eux : *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*, *Cyanus segetum*, *Matricaria chamomilla* et *Papaver rhoeas* (*C. cyanus* et *P. rhoeas* étant présentes sur 50%).

En termes de densités florales, les dix espèces présentant une densité florale moyenne supérieure à l'unité sont les suivantes : *Matricaria chamomilla* (28,93 UF/m²), *Galium mollugo* (23,98 UF/m²), *Medicago sativa* (23,13 UF/m²), *Daucus carota* (22,73 UF/m²), *Cyanus segetum* (16,37 UF/m²), *Trifolium pratense* (12,52 UF/m²), *Tripleurospermum inodorum* (6,87 UF/m²), *Convolvulus arvensis* (2,32 UF/m²), *Fumaria officinalis* (1,39 UF/m²) et *Papaver rhoeas* (1,22 UF/m²).

Par leurs densités florales élevées, *Cyanus segetum*, *Matricaria chamomilla*, *Medicago sativa* et *Tripleurospermum inodorum* font partie des cinq espèces les plus productrices en nectar et en pollen. Concernant la production de nectar, la cinquième espèce est *Trifolium pratense*. Ces cinq espèces produisent ensemble 37916 µg/m²/jour de nectar, c'est-à-dire 93% du total produit (40859 µg/m²). *Papaver rhoeas* fait partie des cinq espèces les plus productrices de pollen, qui fournissent ensemble 337 µl/m² de pollen, à savoir 95% du total (356 µl/m²) (Tab. 10).

Tableau 10 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar en bords de champs, ainsi que leurs fréquences d’observation et leurs densités florales moyennes.

Espèce végétale	Fréquence d’observation [%]	Densité florale [UF/m ²]	Production de pollen [μl/m ²]	Production de nectar [μg/m ² /jour]
<i>Cyanus segetum</i>	50,00	16,37	57,86	14667,25
<i>Matricaria chamomilla</i>	46,67	28,93	256,88	8680,19
<i>Medicago sativa</i>	10,00	23,13	1,41	3379,77
<i>Papaver rhoeas</i>	63,33	1,22	16,22	6,50
<i>Trifolium pratense</i>	6,67	12,52	0,25	1463,41
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	20,00	6,87	20,30	9727,30

1.3.5 Ressources en bords de routes

En bords de routes, 81 espèces végétales en fleurs ont été observées en juillet 2019 sur les 47 éléments de paysage étudiés (Annexe 10). Onze espèces ont été observées sur au moins 25% d’entre eux : *Achillea millefolium*, *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis* (se trouvant sur 50%), *Galium mollugo*, *Heracleum sphondylium*, *Hypericum perforatum*, *Matricaria chamomilla*, *Papaver rhoeas*, *Potentilla reptans*, *Tripleurospermum inodorum* et *Vicia cracca*.

En termes de densités florales, les dix espèces présentant le nombre d’unités florales/m² moyen le plus élevé en bords de routes sont : *Hypericum perforatum* (85,79 UF/m²), *Galium mollugo* (62,47 UF/m²), *Achillea millefolium* (48,68 UF/m²), *Trifolium dubium* (38,89 UF/m²), *Origanum vulgare* (36,87 UF/m²), *Galium verum* (32,58 UF/m²), *Filipendula ulmaria* (22,40 UF/m²), *Daucus carota* (18,90 UF/m²), *Matricaria chamomilla* (13,60 UF/m²) et *Aethusa cynapium* (12,86 UF/m²).

Achillea millefolium, *Convolvulus arvensis*, *Daucus carota*, *Matricaria chamomilla* et *Tripleurospermum inodorum* font à la fois partie des espèces les plus productrices en nectar et en pollen.

Les cinq autres espèces parmi les dix plus productrices en nectar sont : *Galium mollugo*, *Heracleum sphondylium*, *Origanum vulgare*, *Rubus fruticosus* et *Vicia cracca*. Les dix espèces fournissent ensemble 18244 μg de nectar au m² par jour, c’est-à-dire 87% du total produit (21003 μg/m²) (Tab. 11).

Les cinq autres espèces qui font partie des dix plus productrices en pollen sont : *Aethusa cynapium*, *Centaurea nigra*, *Filipendula ulmaria*, *Hypericum perforatum* et *Papaver rhoeas*. Les dix espèces produisent ensemble 329 μl de pollen au m², c’est-à-dire 98% de la production totale (335 μl/m²) (*H. perforatum* et *M. chamomilla* contribuant à 75% de la production) (Tab. 11).

Tableau 11 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar en bords de routes, ainsi que leurs fréquences d'observation et leurs densités florales moyennes.

Espèce végétale	Fréquence d'observation [%]	Densité florale moyenne [UF/m ²]	Production moyenne de pollen [μl/m ²]	Production moyenne de nectar [μg/m ² /jour]
<i>Achillea millefolium</i>	29,79	48,68	54,92	1513,98
<i>Aethusa cynapium</i>	14,89	12,86	0,84	89,22
<i>Centaurea nigra</i>	21,28	0,22	1,43	330,13
<i>Convolvulus arvensis</i>	63,83	8,86	3,13	3115,54
<i>Daucus carota</i>	19,15	18,90	0,35	513,77
<i>Filipendula ulmaria</i>	4,26	22,40	3,42	NA
<i>Galium mollugo</i>	25,53	62,47	0,33	441,03
<i>Heracleum sphondylium</i>	27,66	2,45	0,19	240,83
<i>Hypericum perforatum</i>	25,53	85,79	131,74	NA
<i>Matricaria chamomilla</i>	27,66	13,60	120,72	4079,34
<i>Origanum vulgare</i>	10,64	36,87	0,35	5311,51
<i>Papaver rhoeas</i>	38,30	0,72	9,65	3,87
<i>Rubus fruticosus</i>	10,64	0,49	0,94	931,55
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	25,53	0,93	2,73	1310,01
<i>Vicia cracca</i>	25,53	1,63	0,06	788,49

1.3.6 Ressources dans les linéaires ligneux

Au sein des éléments de paysage linéaires ligneux, 49 espèces végétales en fleurs ont été observées en juillet 2019 sur les 25 éléments de paysage étudiés (Annexe 11). Cinq espèces ont été observées sur environ 25% d'entre eux : *Cirsium vulgare*, *Clematis vitalba*, *Geranium robertianum*, *Hypericum perforatum* et *Rubus fruticosus* (étant présente sur plus de 75%).

En termes de densités florales, les neuf espèces présentant une densité florale moyenne supérieure à l'unité sont : *Aethusa cynapium* (14,83 UF/m²), *Trifolium dubium* (13,14 UF/m²), *Rubus fruticosus* (8,42 UF/m²), *Heracleum sphondylium* (2,96 UF/m²), *Achillea millefolium* (2,91 UF/m²), *Galium mollugo* (1,73 UF/m²), *Clematis vitalba* (2,81 UF/m²), *Betonica officinalis* (0,80 UF/m²) et *Geranium robertianum* (0,80 UF/m²).

Par sa densité florale élevée, *Rubus fruticosus* est l'espèce la plus productrice en nectar et en pollen. Elle fournit 87% de la production totale de nectar et 62% de la production de pollen (Tab.12).

Clematis vitalba et *Jacobaea vulgaris* sont aussi parmi les espèces les plus productrices en nectar. Avec *R. fruticosus*, elles fournissent ensemble 17041 μg de nectar au m² par jour, c'est-à-dire 93% du total produit (18385 μg/m²/jour). *Clematis vitalba* fait également partie des espèces les plus productrices en pollen, avec *Achillea millefolium*. Les trois espèces produisent ensemble 21 μl/m² de pollen, soit 81% du total (26 μl/m²) (Tab.12).

Tableau 12 – Espèces les plus productrices en pollen et en nectar dans les linéaires ligneux, ainsi que leurs fréquences d'observation et leurs densités florales moyennes.

Espèce végétale	Fréquence d'observation [%]	Densité florale [UF/m ²]	Production de pollen [μl/m ²]	Production de nectar [μg/m ² /jour]
<i>Achillea millefolium</i>	12	2,91	3,29	90,60
<i>Clematis vitalba</i>	28	2,81	1,99	421,42
<i>Heracleum sphondylium</i>	20	2,96	0,24	290,27
<i>Jacobaea vulgaris</i>	4	0,23	0,22	675,77
<i>Rubus fruticosus</i>	76	8,42	16,16	15943,94

2. Diversité des insectes visiteurs

Parmi les insectes observés, 89 ont été capturés afin d'être identifiés jusqu'à l'espèce (Tab. 13). Ainsi, 33 espèces ont pu être identifiées : 15 de l'ordre de hyménoptères, 12 de l'ordre des diptères et six de l'ordre des lépidoptères.

Tableau 13 – Insectes visiteurs identifiés et classés par espèce végétale visitée au moment de la capture. Le nombre d'individus capturés sur l'espèce végétale est indiqué entre parenthèses.

Espèce végétale	Famille d'insecte	Espèce d'insecte
<i>Aethusa cynapium</i>	Syrphidae	<i>Episyrphus balteatus</i> (1)
		<i>Sphaerophoria scripta</i> (1)
<i>Carduus crispus</i>	Syrphidae	<i>Sphaerophoria scripta</i> (1)
<i>Centaurea nigra</i>	Apidae	<i>Bombus lapidarius lapidarius</i> (1)
	Halictidae	<i>Lassioglossum leucozonium</i> (1)
	Nymphalidae	<i>Maniola jurtina</i> (1)
	Syrphidae	<i>Eristalis tenax</i> (1)
	Apidae	<i>Bombus lapidarius lapidarius</i> (2)
<i>Centaurea scabiosa</i>	Apidae	<i>Bombus terrestris</i> (1)
		<i>groupe terrestris</i> (1)
		<i>Polyommatus icarus</i> (1)
		<i>Bombus lapidarius lapidarius</i> (1)
	Nymphalidae	<i>Maniola jurtina</i> (1)
	Syrphidae	<i>Episyrphus balteatus</i> (1)
		<i>Eristalis nemorum</i> (2)
		<i>Eristalis tenax</i> (3)
		<i>Metasyrphus nitens</i> (1)
		<i>Sphaerophoria scripta</i> (2)
		<i>Syricta pipiens</i> (2)
		<i>Bombus lapidarius lapidarius</i> (1)
		<i>Bombus pascuorum</i> (1)
<i>Cirsium vulgare</i>	Apidae	<i>Euclidia glyphica</i> (1)
		<i>Sphaerophoria scripta</i> (1)
<i>Cyanus segetum</i>	Syrphidae	<i>Syrphus ribesii</i> (1)
<i>Epilobium angustifolium</i>	Apidae	<i>Bombus soroeensis</i> (1)
	Syrphidae	<i>Scaeva pyrastris</i> (1)
<i>Geranium pyrenaicum</i>	Andrenidae	<i>Andrena bicolor</i> (1)
		<i>Andrena ovatula</i> (1)

<i>Knautia arvensis</i>	Apidae	<i>Apis mellifera</i> (1) <i>Bombus wurflenii mastrucatus</i> (1)
	Lycaenidae	<i>Polyommatus icarus</i> (1)
	Syrphidae	<i>Sphaerophoria scripta</i> (1)
	Hesperiidae	<i>Thymelicus sylvestris</i> (1)
	Syrphidae	<i>Eristalis tenax</i> (1) <i>Merodon equestris</i> (1)
<i>Lactuca</i> sp.	Syrphidae	<i>Metasyrphus luniger</i> (1) <i>Sphaerophoria scripta</i> (1)
<i>Linaria vulgaris</i>	Apidae	<i>Bombus lucorum</i> (1) <i>Bombus pascuorum</i> (1)
<i>Malva moschata</i>	Apidae	<i>Apis mellifera</i> (1)
<i>Matricaria chamomilla</i>	Andrenidae	<i>Andrena flavipes</i> (1)
<i>Medicago sativa</i>	Apidae	<i>Bombus terrestris</i> (1)
	Syrphidae	<i>Metasyrphus nielsenii</i> (1) <i>Sphaerophoria scripta</i> (4)
	Andrenidae	<i>Andrena flavipes</i> (1)
	Apidae	<i>Apis mellifera</i> (1) <i>Bombus lapidarius lapidarius</i> (1) <i>Bombus lucorum</i> (1) <i>Bombus pascuorum</i> (1) <i>Bombus veteranus veteranus</i> (1) <i>groupe terrestris</i> (1)
	Hesperiidae	<i>Thymelicus sylvestris</i> (2)
<i>Origanum vulgare</i>	Pieridae	<i>Pieris rapae</i> (1)
	Syrphidae	<i>Eristalis tenax</i> (1) <i>Scaeva pyrastris</i> (1) <i>Sphaerophoria scripta</i> (2)
	Syrphidae	<i>Sphaerophoria scripta</i> (1) <i>Syrretta pipiens</i> (1)
	Halictidae	<i>Lasioglossum nigripes</i> (1)
	Andrenidae	<i>Andrena flavipes</i> (1)
<i>Papaver rhoeas</i>	Apidae	<i>Bombus pascuorum</i> (1)
<i>Trifolium pratense</i>	Nymphalidae	<i>Maniola jurtina</i> (1)
<i>Trifolium repens</i>	Andrenidae	<i>Andrena ovatula</i> (1)
	Apidae	<i>Bombus lapidarius lapidarius</i> (1) <i>Bombus pascuorum</i> (1) <i>groupe terrestris</i> (1)
	Melittidae	<i>Melitta leporina</i> (2)
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	Andrenidae	<i>Andrena barbilabris</i> (1)
En vol	Syrphidae	<i>Sphaerophoria scripta</i> (1) <i>Syrretta pipiens</i> (3)
	Apidae	<i>Bombus lapidarius lapidarius</i> (1) <i>Bombus terrestris</i> (1)
	Hesperiidae	<i>Thymelicus sylvestris</i> (1)
	Pieridae	<i>Pieris brassicae</i> (1)
	Syrphidae	<i>Helophilus trivittatus</i> (1)

À la suite de ces identifications dans le but de connaître les espèces en présence, les insectes visiteurs sont regroupés en catégories pour la suite des résultats, tous les insectes observés lors des transects d'observations n'ayant pas pu être identifiés à l'espèce. Afin de comparer des groupes équivalents, les Syrphidae seront divisés en deux catégories : les Syrphidae de grande taille (>10mm) et les Syrphidae de petite taille (≤10mm). Les *Bombus* seront regroupés en GTO, les individus de l'espèce *A. mellifera* formeront une catégorie et les abeilles solitaires une autre. Tous les individus de l'ordre des lépidoptères formeront une catégorie.

3. Interactions plantes-insectes visiteurs

Au total, durant le mois de juillet, 1918 interactions plantes-insectes visiteurs ont été observées, tous biotopes confondus (Tab. 14) : 848 (44%) impliquant des diptères, 785 (41%) impliquant des hyménoptères et 285 (15%) impliquant des lépidoptères. *Apis mellifera* et les GTO de bourdons étaient les visiteurs majoritaires de l'ordre des hyménoptères avec 24% et 13% respectivement du total des interactions observées. Le GTO de bourdons le plus observé a été le GTO *lapidarius*, représentant 44% de tous les bourdons visiteurs observés.

Les interactions ont impliqué 37 espèces végétales sur les 112 observées durant le mois de juillet, dont neuf représentent à elles seules 73% des interactions tous biotopes confondus : *Centaurea nigra*, *Cirsium arvense*, *Cyanus segetum*, *Matricaria chamomilla*, *Medicago sativa*, *Origanum vulgare*, *Rubus fruticosus*, *Trifolium repens* et *Tripleurospermum inodorum*.

Tableau 14 – Interactions plantes-insectes visiteurs observées au mois de juillet 2019, tous biotopes confondus

[illegible]

<i>Trifolium pratense</i>	1		11	1	2	34	12	17	78
<i>Trifolium repens</i>		3	11	120	7	21		6	168
<i>Vicia cracca</i>					1			1	2
Geraniaceae									
<i>Geranium pyrenaicum</i>		6	2	11	1			8	28
Hypericaceae									
<i>Hypericum perforatum</i>	13	9		1	1		1	1	26
Lamiaceae									
<i>Origanum vulgare</i>	30	8	1	68		2	4	44	157
Malvaceae									
<i>Malva moschata</i>	2	4		4					10
Onagraceae									
<i>Epilobium angustifolium</i>	2	4	2	72	2	2			84
<i>Epilobium tetragonum</i>				1					1
Papaveraceae									
<i>Papaver rhoeas</i>	1	13	8		6		3		31
Ranunculaceae									
<i>Clematis vitalba</i>	4	4		6				13	27
<i>Ranunculus</i> spp.	10								10
Rosaceae									
<i>Rubus fruticosus</i>	50	17	10	48	1	1	1	3	131
Scrophulariaceae									
<i>Linaria vulgaris</i>						2	2		4
Apiaceae									
<i>Aethusa cynapium</i>		6							6
<i>Daucus carota</i>		9							9
<i>Heracleum sphondylium</i>	2	6	4						12
Total général	376	472	80	466	104	74	61	285	1918

3.1 Prairies

Durant le mois de juillet 2019, 14 transects d'observations ont été réalisés en prairies, au sein desquels 339 interactions plantes-insectes visiteurs ont été observées. Sur ces 14 prairies, deux étaient à haute valeur biologique et présentaient donc une diversité ainsi qu'une quantité de ressources florales plus élevée, pouvant influencer les interactions.

En prairies, des interactions ont eu lieu entre dix espèces végétales et huit groupes d'insectes pollinisateurs (Fig. 16).

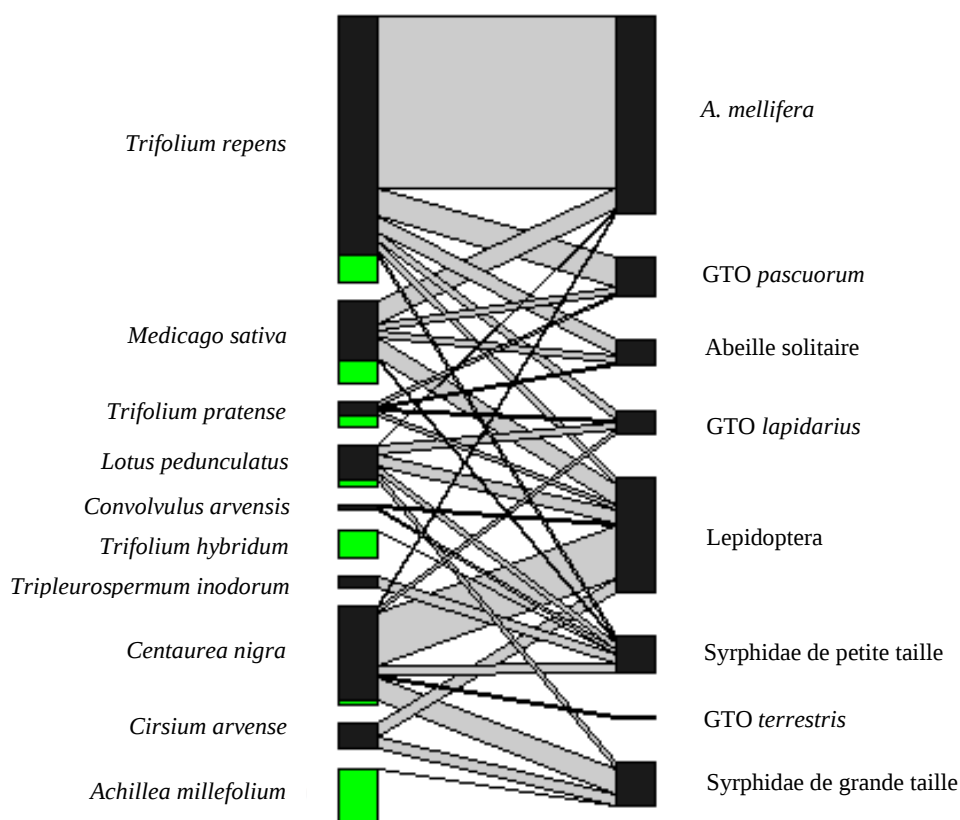


Figure 16 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « prairies ». La taille des boîtes noires est proportionnelle au nombre de visites d'insectes tandis que la taille des boîtes vertes est proportionnelle à la moyenne des densités florales de chaque espèce observée au sein des transects d'observations en prairies.

En prairies, 94% des interactions ont été observées sur cinq espèces végétales : *Trifolium repens* (49%), *Centaurea nigra* (20%), *Medicago sativa* (12%), *Lotus pedunculatus* (7%) et *Cirsium arvense* (6%). L'espèce *Trifolium repens* était présente dans dix des 14 prairies avec une densité moyenne de 20 unités florales au m². L'espèce *Medicago sativa* a été observée dans quatre des 14 prairies avec une densité moyenne de 17 unités florales au m². Les espèces *Centaurea nigra* et *Lotus pedunculatus* étaient présentes en haute densité mais uniquement en prairie à haute valeur biologique, ce qui explique une faible densité moyenne en prairie.

L'espèce *Cirsium arvense* n'a été observée que dans une prairie sur les 14. A l'inverse, les espèces végétales *Achillea millefolium* et *Trifolium hybridum* étaient présentes en hautes densités (dans les prairies à haute valeur biologique uniquement) mais n'ont pas été impliquées dans un grand nombre d'interactions.

Tous les groupes d'insectes pollinisateurs ont été observés, avec une majorité d'*Apis mellifera* (41%) et de lépidoptères (24%).

Les Syrphidae de grande taille ont interagi avec quatre espèces végétales et en majorité avec *Centaurea nigra* (55%) tandis que les Syrphidae de petite taille ont interagi avec sept espèces végétales et en majorité avec *Tripleurospermum inodorum* (27%) et *Centaurea nigra* (23%).

Parmi les Apidae, les individus *Apis mellifera* ont interagi en majorité avec *Trifolium repens* (86%) et *Medicago sativa* (12%), tous comme les individus de GTO *pascuorum* à 74% et 19% et les abeilles solitaires à 61% et 22%. Les individus de GTO *lapidarius* ont interagi avec quatre espèces végétales dont *Trifolium repens* à 44% et *Lotus pedunculatus* à 19%. Le GTO *terrestris* était très peu présent.

Les lépidoptères ont interagi en majorité avec *Centaurea nigra* (46%), *Medicago sativa* (17%) et *Cirsium arvense* (12%).

3.2 Champs

Durant le mois de juillet 2019, sept transects d'observations ont été réalisés en champs, au sein desquels 189 interactions plantes-insectes visiteurs ont été observées. Sur ces sept champs, deux étaient des champs de luzerne, un de blé, un de colza, un d'avoine, un de pois et un de féveroles.

Des interactions ont eu lieu entre quatre espèces végétales et sept groupes d'insectes pollinisateurs (Fig. 17).

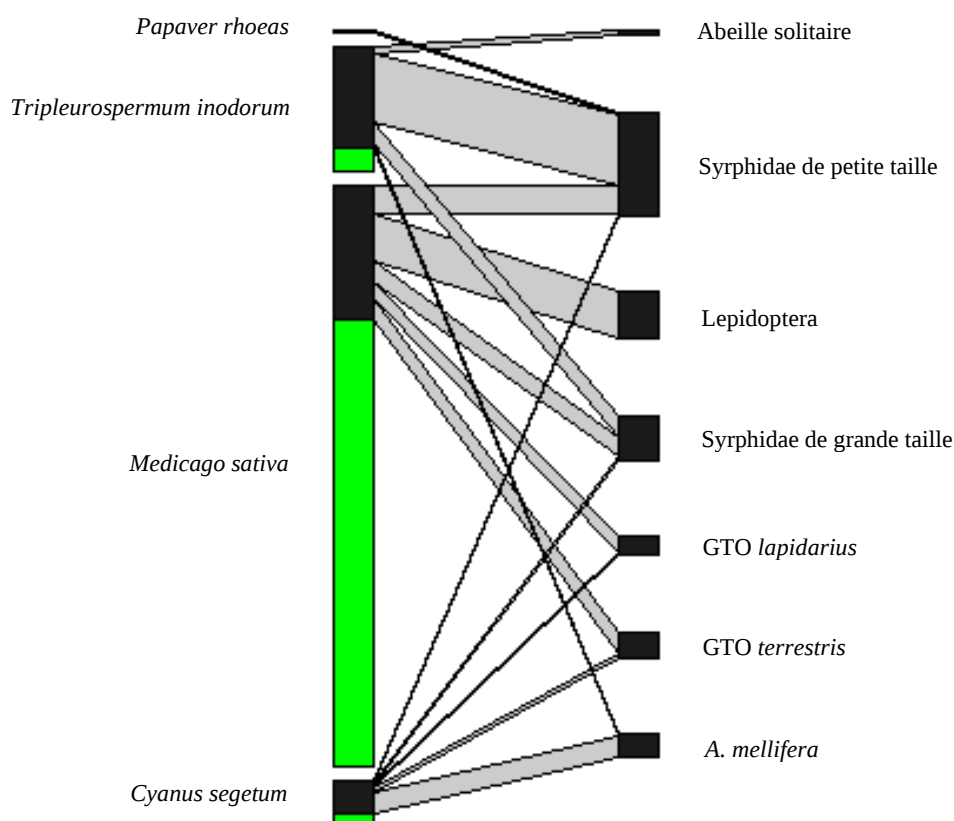


Figure 17 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « champs ». La taille des boîtes noires est proportionnelle au nombre de visites d'insectes tandis que la taille des boîtes vertes est proportionnelle à la moyenne des densités florales de chaque espèce observée au sein des transects d'observations en champs.

En champs, 99% des interactions ont été observées sur trois espèces végétales : *Medicago sativa* (50%), *Tripleurospermum inodorum* (37%) et *Cyanus segetum* (12%). L'espèce *Medicago sativa* est une espèce cultivée et était présente dans deux champs sur sept. Les deux autres espèces sont des espèces spontanées : *Tripleurospermum inodorum* était présente dans le champ de pois, dans l'avoine et dans les féveroles tandis que *Cyanus segetum* était présente dans les champs de pois et de féveroles.

Parmi les huit groupes de pollinisateurs étudiés, sept ont été observés en champs, le GTO *pascuorum* n'ayant pas été vu.

Les Syrphidae ont interagi en majorité avec *Tripleurospermum inodorum* et *Medicago sativa*, à 48% et 45% respectivement pour les Syrphidae de grande taille et à 67% et 27% pour celles de petite taille.

Parmi les Apoidae, les individus *Apis mellifera* ont interagi en majorité avec *Cyanus segetum* (88%) tandis que les individus de GTO *terrestris* et de GTO *pascuorum* ont été vus majoritairement en interaction avec *Medicago sativa* (à 83% et 86% respectivement) bien que

le reste de leurs interactions concernent également *Cyanus segetum*. Les abeilles solitaires n'ont interagi qu'avec *Tripleurospermum inodorum*.

Les lepidoptères ont interagi uniquement avec *Medicago sativa*.

3.3 Bords de prairies

Durant le mois de juillet 2019, cinq transects d'observations ont été réalisés en bords de prairies, au sein desquels 316 interactions plantes-insectes visiteurs ont été observées.

Des interactions ont eu lieu entre 15 espèces végétales et huit groupes d'insectes pollinisateurs (Fig. 18).

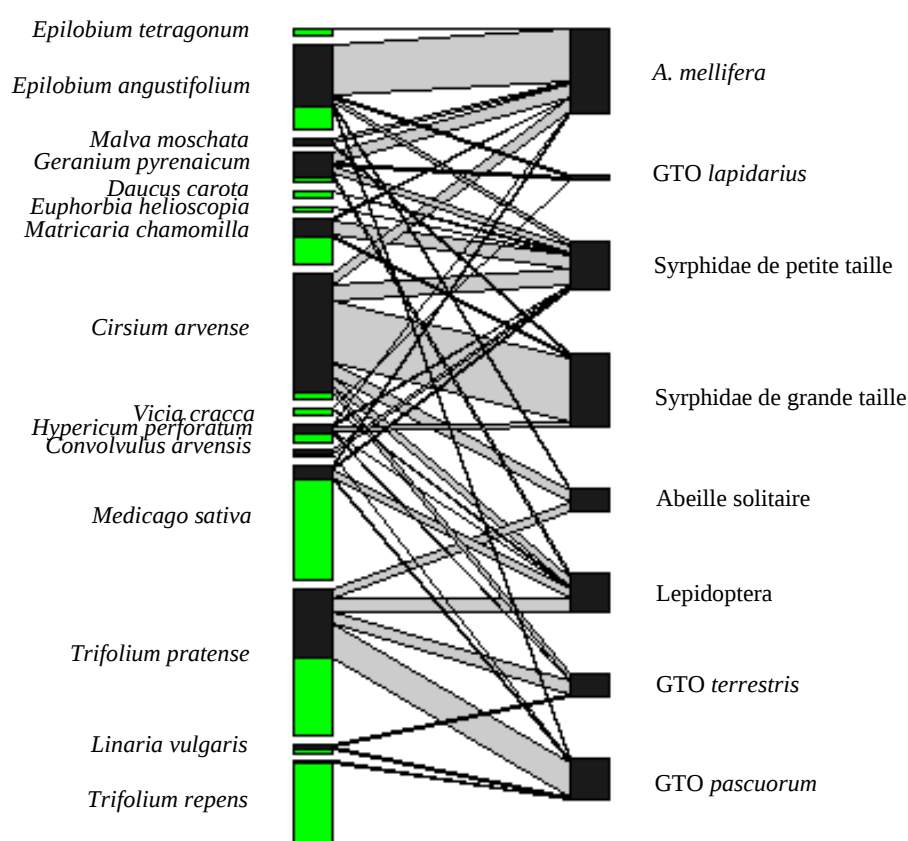


Figure 18 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « bords de prairies ». La taille des boîtes noires est proportionnelle au nombre de visites d'insectes tandis que la taille des boîtes vertes est proportionnelle à la moyenne des densités de chaque espèce observée au sein des transects d'observations en bords de prairies.

En bords de prairies, 91% des interactions ont été observées sur six espèces végétales : *Cirsium arvense* (36%), *Trifolium pratense* (21%), *Epilobium angustifolium* (18%), *Geranium pyrenaicum* (7%), *Matricaria chamomilla* (5%) et *Medicago sativa* (4%). L'espèce *Cirsium arvense* était présente dans deux bords sur sept, *Trifolium pratense* dans trois et *Medicago sativa* dans deux tandis que les trois autres espèces végétales citées n'ont été observées

chacune que dans un bord. Il est à noter que l'espèce végétale *Trifolium repens* présente une haute densité moyenne en bords de prairies mais n'est pas impliquée dans un grand nombre d'interactions dans ce biotope.

Tous les groupes d'insectes pollinisateurs ont été observés, cependant avec une présence plus faible de GTO *lapidarius* par rapport aux autres groupes.

Les Syrphidae de grande taille ont interagi majoritairement avec *Cirsium arvense* (87%) tandis que les Syrphidae de petite taille ont interagi avec *Cirsium arvense* à 31% et avec *Matricaria chamomilla* à 29%.

Parmi les Apidae, les individus *Apis mellifera* ont interagi en majorité avec *Epilobium angustifolium* (60%), *Cirsium arvense* (15%) et *Geranium pyrenaicum* (14%). Les individus de GTO *pascuorum* ont été vus majoritairement en interaction avec *Trifolium pratense* (80%) tout comme les individus de GTO *terrestris* (57%) qui ont également interagi à 29% avec *Cirsium arvense*. Les abeilles solitaires présentent un comportement de visite similaire puisqu'elles ont visité *Cirsium arvense* à 53% et *Trifolium pratense* à 38%.

Les lépidoptères ont interagi majoritairement avec *Trifolium pratense* (36%), *Cirsium arvense* (28%) et *Medicago sativa* (19%).

3.4 Bords de champs

Durant le mois de juillet 2019, huit transects d'observations ont été réalisés en bords de champs, au sein desquels 344 interactions plantes-insectes visiteurs ont été observées.

Des interactions ont eu lieu entre neuf espèces végétales et huit groupes d'insectes pollinisateurs (Fig. 19).

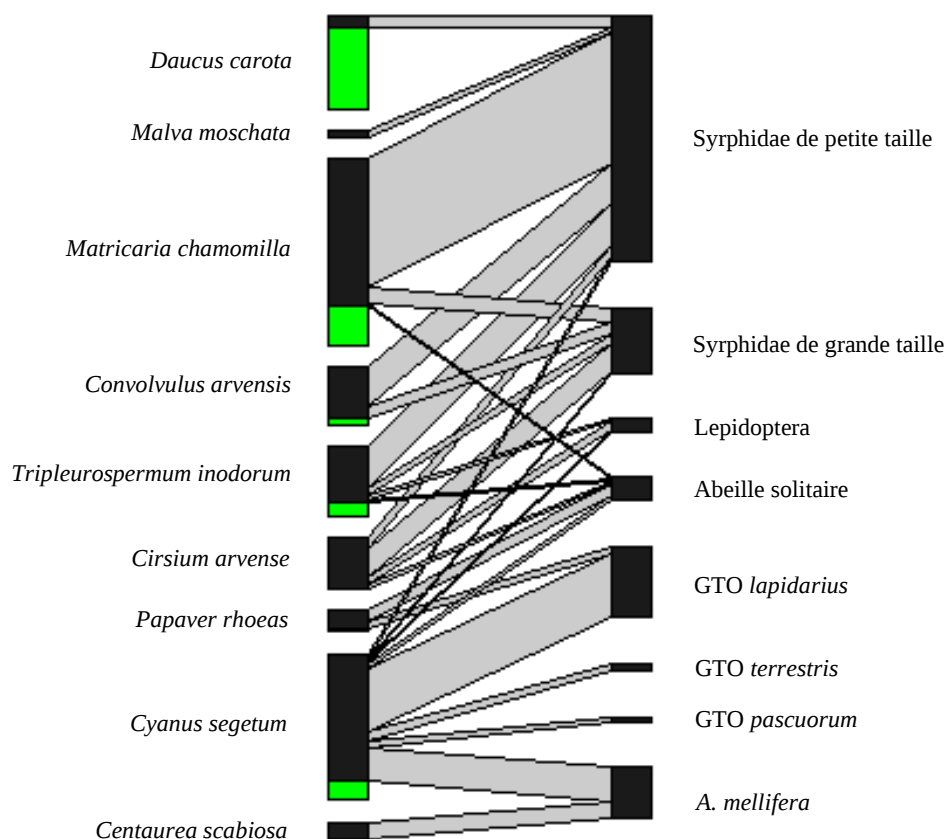


Figure 19 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « bords de champ ». La taille des boîtes noires est proportionnelle au nombre de visite d'insectes tandis que la taille des boîtes vertes est proportionnelle à la moyenne des densités florales de chaque espèce observée au sein des transects d'observations en bords de champs.

En bords de champs, 90% des interactions ont été observées sur cinq espèces végétales : *Matricaria chamomilla* (30%), *Cyanus segetum* (26%), *Tripleurospermum inodorum* (12%), *Cirsium arvense* (11%) et *Convolvulus arvensis* (11%). Ces espèces végétales ont toutes été observées dans quatre des huit bords de champs excepté *Cyanus segetum* qui a été observée dans six des huit bords de champs. Il est à noter que la densité moyenne de *Cirsium arvense* est très faible en bords de champ ($<1/m^2$). A l'inverse, la densité moyenne de *Daucus carota* est élevée en bords de champ ($58/m^2$) mais l'espèce est peu impliquée (2%) dans des interactions.

Tous les groupes d'insectes pollinisateurs ont été observés en bords de champs. Les Syrphidae sont impliqués dans une majorité des interactions (64%), tandis que les GTO *terrestris* et *pascuorum* sont moins présents (2% et 1% des interactions respectivement) tout comme les lépidoptères qui représentent en bords de champ 3% des interactions.

Les Syrphidae de grande taille ont interagi majoritairement avec *Cirsium arvense* (43%) et *Matricaria chamomilla* (23%) tandis que les Syrphidae de petite taille ont interagi en majorité

avec *Matricaria chamomilla* (53%), *Tripleurospermum inodorum* (17%), et *Convolvulus arvensis* (16%).

Parmi les *Apoidae*, les individus *Apis mellifera* ont interagi en majorité avec *Cyanus segetum* (67%) mais aussi avec *Centaurea scabiosa* (33%). Les individus de *GTO lapidarius* ont interagi à 88% avec *Cyanus segetum* tandis que les abeilles solitaires ont été observées visitant l'espèce *Papaver rhoeas* à 47% et *Cyanus segetum* à 24%.

Les lépidoptères ont interagi majoritairement avec *Cirsium arvense* (67%).

3.5 Bords de routes

Durant le mois de juillet 2019, 14 transects d'observations ont été réalisés en bords de routes, au sein desquels 551 interactions plantes-insectes visiteurs ont été observées.

Des interactions ont eu lieu entre 25 espèces végétales et huit groupes d'insectes pollinisateurs (Fig. 20).

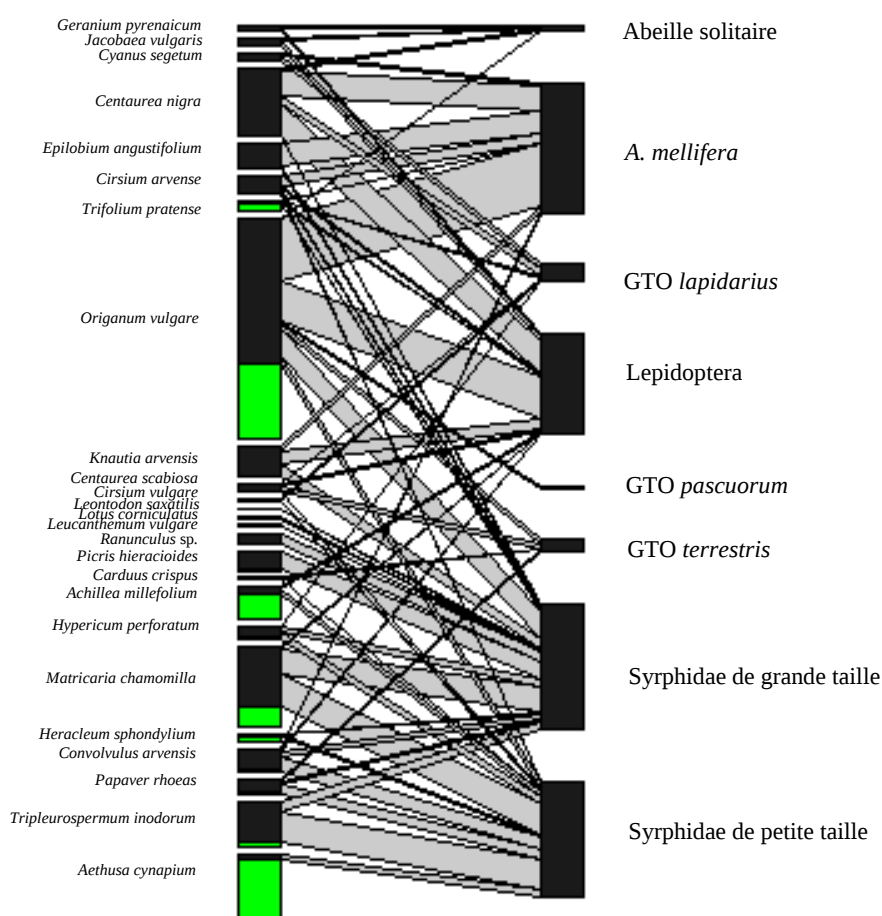


Figure 20 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « bords de routes ». La taille des boîtes noires est proportionnelle au nombre de visite d'insectes tandis que la taille des boîtes vertes est proportionnelle à la moyenne des densités florales de chaque espèce observée au sein des transects d'observations en bords de routes.

Les bords de routes forment le biotope qui présente le plus de diversité en espèces végétales. Cependant, 80% des interactions ont été observées sur 8 espèces : *Origanum vulgare* (29%), *Centaurea nigra* (13%), *Matricaria chamomilla* (11%), *Tripleurospermum inodorum* (8%), *Knautia arvensis* (6%), *Epilobium angustifolium* (5%), *Convolvulus arvensis* (4%) et *Picris hieracioides* (4%).

En outre, les espèces végétales présentant les plus hautes densités moyennes en bord de route sont *Origanum vulgare* (83/m²), *Achillea millefolium* (26/m²), *Matricaria chamomilla* (22/m²) et *Aethusa cynapium* (69/m²).

Tous les groupes d'insectes pollinisateurs ont été observés en bord de champ. Les Syrphidae, les lépidoptères et *Apis mellifera* étant largement majoritaires (47%, 26% et 20% des interactions respectivement).

Les Syrphidae de grande taille ont interagi majoritairement avec *Origanum vulgare* (22%), *Matricaria chamomilla* (22%), *Picris hieracioides* (15%) et *Knautia arvensis* (9%) tandis que les Syrphidae de petite taille ont interagi en majorité avec *Matricaria chamomilla* (26%), *Tripleurospermum inodorum* (26%), et *Convolvulus arvensis* (12%).

Parmi les Apidae, les individus *Apis mellifera* ont interagi en majorité avec *Origanum vulgare* (48%) mais aussi avec *Centaurea nigra* (19%) et *Epilobium angustifolium* (17%). Les individus de GTO *lapidarius* ont interagi à 44% avec *Centaurea nigra* et à 28% avec *Cyanus segetum* tandis que les individus de GTO *terrestris* ont été observés visitant l'espèce *Centaurea scabiosa* à 43% et *Origanum vulgare* à 29%.

Les lépidoptères ont interagi majoritairement avec *Origanum vulgare* (40%), *Centaurea nigra* (32%) et *Knautia arvensis* (12%).

3.6 Linéaires ligneux

Durant le mois de juillet 2019, 11 transects d'observations ont été réalisés dans des éléments de paysage linéaires ligneux, au sein desquels 179 interactions plantes-insectes visiteurs ont été observées.

Au sein des linéaires ligneux, des interactions ont eu lieu entre sept espèces végétales et huit groupes d'insectes pollinisateurs (Fig. 21).

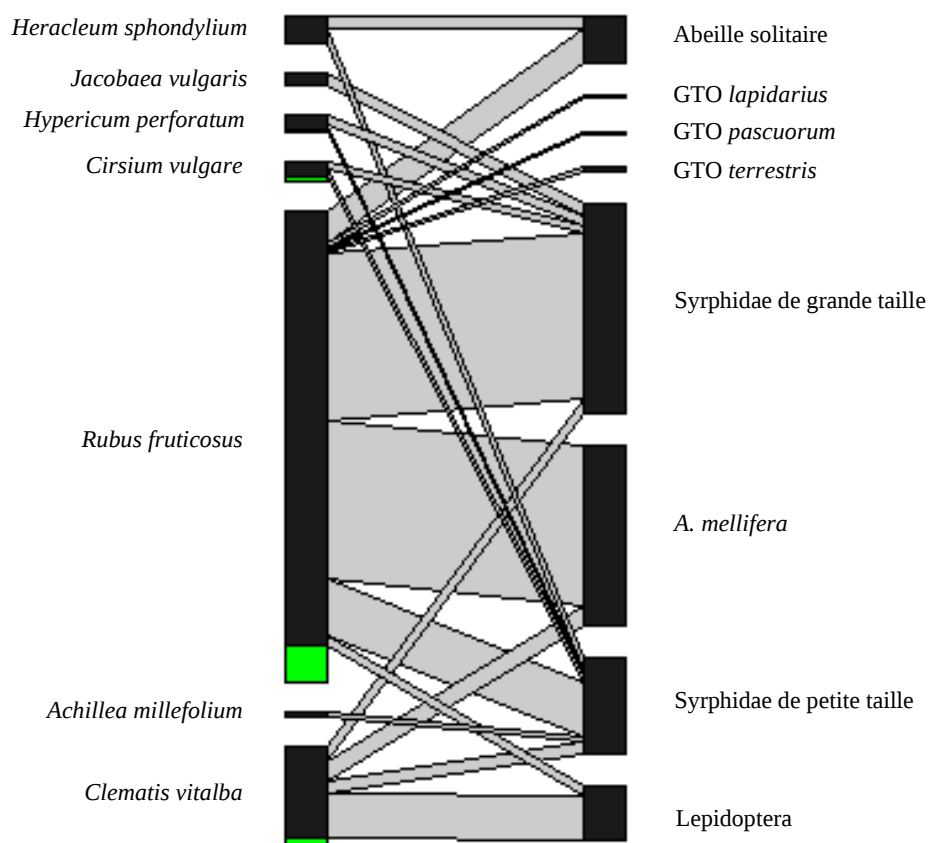


Figure 21 – Réseau d'interactions plantes-insectes visiteurs général du biotope « linéaires ligneux ». La taille des boîtes noires est proportionnelle au nombre de visites d'insectes tandis que la taille des boîtes vertes est proportionnelle à la moyenne des densités florales de chaque espèce observée au sein des transects d'observation réalisés au sein d'un élément de paysage linéaire ligneux.

Au sein des linéaires ligneux, 88% des interactions ont été observées sur deux espèces végétales : *Rubus fruticosus* (73%) et *Clematis vitalba* (15%). Ces espèces végétales ont été observées dans dix et dans cinq des 11 linéaires ligneux respectivement.

Tous les groupes d'insectes pollinisateurs ont été observés au sein des linéaires ligneux bien que les bourdons soient relativement peu présents.

Les Syrphidae ont interagi majoritairement avec *Rubus fruticosus*, soit à 79% pour les Syrphidae de grande taille et à 59% pour les Syrphidae de petite taille.

Parmi les Apoidae, les individus *Apis mellifera* ont interagi en majorité avec *Rubus fruticosus* également (89%) tout comme les abeilles solitaires (71%).

Les lépidoptères ont interagi majoritairement avec *Clematis vitalba* (81%).

4. Composition des pelotes de pollen

Au total, les pelotes de 34 insectes ont été récupérées et analysées. Parmi ces 34 insectes, les pelotes de 27 ont été collectées au cours du mois de juillet (entre le 1^{ier} et le 29) tandis que les pelotes des 7 autres ont été collectées en août (entre le 20 et le 22). Selon l'insecte pollinisateur et l'espèce végétale sur laquelle il se trouvait au moment de la collecte, soit l'espèce cible, le pourcentage moyen des grains de pollen de cette espèce végétale retrouvés dans les pelotes est indiqué dans le tableau 15. La constance des groupes d'insectes étudiés est ainsi évaluée.

Les autres espèces végétales ayant été identifiées dans les pelotes sont renseignées dans le tableau 16. L'annexe 12 reprend la composition totale de chacune des pelotes analysées.

Il faut noter que la collecte de pelotes n'a pas permis d'observer la constance et la diversité des prélèvements de pollen de chacun des morphotypes d'insectes pollinisateurs par rapport à toutes les espèces végétales citées dans cette section. Dans certains cas également, une seule pelote a été collectée, ne permettant pas de prouver la reproductibilité des résultats.

Tableau 15 – Constance (pourcentage des grains de pollen de l'espèce cible) des différents morphotypes de visiteurs. Le nombre de pelotes analysées est indiqué entre parenthèses. (TR : *Trifolium repens*, TP : *Trifolium pratense*, P : *Papaver rhoeas*, M : *Medicago sativa*, CA : *Cirsium arvense*, CC : *Cyanus segetum*, CN : *Centaurea nigra*, CS : *Centaurea scabiosa*, L : *Lotus corniculatus/pedunculatus*, NA : en vol)

	TR	TP	P	M	CA	CC	CN	CS	L	NA	Moyenne générale
GTO <i>lapidarius</i>	98 ± 3% (2)	100% (2)	100% (2)			41± 25% (3)	20% (1)	11% (1)	100% (1)		71 ± 9% (12)
GTO <i>terrestris</i>			0% (1)	98 ± 3% (2)		4% (1)				NA (4)	50 ± 21% (8)
GTO <i>pascuorum</i>	98% (1)	69 ± 10% (4)								NA (2)	75 ± 25% (7)
<i>Melitta leporina</i>	100% (1)										100% (1)
<i>Apis mellifera</i>	100% (2)		100% (1)		90% (1)	100 % (1)			100% (1)		98 ± 1% (6)
Moyenne générale	99 ± 3% (6)	80± 8% (6)	75±19 % (4)	98± 3% (2)	90% (1)	45± 17% (5)	20% (1)	11% (1)	100% (2)	(6)	

Les espèces pour lesquelles les insectes pollinisateurs présentent en moyenne le plus de constance sont : *Trifolium repens* (99%), *Trifolium pratense* (80%), *Papaver rhoeas* (75%), *Medicago sativa* (98%), *Cirsium arvense* (90%) et *Lotus* sp. (100%). Pour chacun des individus ayant visité ces espèces végétales, la constance se trouve au-dessus de 50%.

La constance des insectes pollinisateurs visitant les espèces *Cyanus segetum* (45%), *Centaurea nigra* (20%) et *Centaurea scabiosa* (11%) est plus faible et se situe en moyenne en dessous de 50%. La constance des insectes pour *Cyanus segetum* dépend du morphotype d'insecte étudié : pour le GTO *lapidarius* elle varie très largement ($41\% \pm 25\%$), tandis que pour le GTO *terrestris* on trouve une constance de 4% contre 100% pour l'espèce *Apis mellifera*, ces deux derniers résultats étant basés sur les données concernant un seul individu.

Plusieurs insectes ont été capturés avec des pelotes mais ne visitaient aucune espèce végétale au moment de la capture. Il s'agit d'une part d'individus de GTO *terrestris* capturés à proximité de leur ruche et d'autre part d'individus de GTO *pascuorum* capturés en vol ou posés ailleurs que sur une fleur.

En analysant les résultats du point de vue des insectes pollinisateurs au lieu des espèces végétales visitées, les espèces *Melitta leporina* (100%) et *Apis mellifera* (98%) sont celles qui présentent la plus haute constance florale parmi les morphotypes étudiés. Les individus des GTO *lapidarius* et *pascuorum* présentent une constance florale plus basse avec des moyennes de 71% et 75% respectivement. Le GTO *terrestris* présente la constance moyenne la plus basse des morphotypes étudiés avec un pourcentage de 50% en moyenne. Il est à noter que la donnée de 0% semble incohérente et peut être due à une erreur lors de la prise des données.

Outre la constance pour l'espèce cible, il est intéressant de connaître la propension des différents morphotypes à collecter du pollen d'une ou plusieurs autres espèces végétales (Tab. 16).

Tableau 16 – Identification des grains de pollen autres que ceux provenant de l'espèce cible à l'exception de la colonne NA présentant toutes les espèces identifiées dans les pelotes concernées (TR : *Trifolium repens*, TP : *Trifolium pratense*, P : *Papaver rhoeas*, M : *Medicago sativa*, CA : *Cirsium arvense*, CC : *Cyanus segetum*, CN : *Centaurea nigra*, CS : *Centaurea scabiosa*, L : *Lotus corniculatus/pedunculatus*, NA : en vol)

	TR	TP	P	M	CA	CC	CN	CS	L	NA
GTO <i>lapidarius</i>	<i>T. pratense</i>					<i>L. corniculatus/pedunculatus</i> <i>P. rhoeas</i>	<i>C. cyanus</i> <i>C. eriophorum</i>	<i>O. repens/spinosa</i> <i>C. crispus</i>		
GTO <i>terrestris</i>			<i>H. perforatum</i>	<i>B. perennis</i>		<i>P. rhoeas</i>				<i>R. fruticosus</i>
GTO <i>pascuorum</i>	<i>T. pratense</i>	<i>S. dulcamara</i> <i>T. hybridum</i> <i>Rosaceae</i>								<i>T. pratense</i> <i>T. hybridum</i> <i>S. dulcamara</i> <i>C. scabiosa</i> <i>C. palustre</i> <i>L. corniculatus/pedunculatus</i> <i>O. repens/spinosa</i> <i>C. crispus</i>
Melitta <i>leporina</i>										
Apis <i>mellifera</i>					<i>T. hybridum</i>					

Il apparait que pour les deux espèces les plus constantes étudiées, soit *Melitta leporina* et *Apis mellifera*, aucun autre pollen n'a été trouvé dans les pelotes pour la première, et seul du pollen de *Trifolium hybridum* a été identifié pour la deuxième. En ce qui concerne le GTO *terrestris*, du pollen de quatre autres espèces a été identifié dans les pelotes des individus capturés, dont une parmi les espèces cibles étudiées (*Papaver rhoeas*). Pour les individus capturés près de leur ruche et non sur une fleur, une seule espèce a été identifiée (*Rubus fruticosus*). Les pelotes des individus de GTO *terrestris* ne contiennent jamais de pollen de plus de deux espèces végétales différentes (Annexe 12). Les pelotes prélevées sur les individus de GTO *lapidarius* présentent sept pollens autres que celui provenant de l'espèce cible. Les pelotes des individus de GTO *lapidarius* capturés ne contiennent jamais de pollen de plus de trois espèces végétales différentes (Annexe 12). Ce sont les individus de GTO *pascuorum* qui présentent le plus de diversité dans la composition de leurs pelotes. En effet, les pelotes prélevées sur les individus du groupe *pascuorum* présentent neuf pollens autres que celui provenant de l'espèce cible. C'est également au sein de ce groupe qu'on retrouve le maximum de pollen d'espèces différentes au sein d'une même pelote, soit cinq (Annexe 12).

Discussion

1. Intérêts des biotopes pour les insectes pollinisateurs en juillet

1.1 Parcelles agricoles

1.1.1 Prairies

En prairies, en juillet 2019, les espèces végétales *Trifolium repens* et *Trifolium pratense* étaient fréquentes (50% et 27% d'occurrence respectivement). Elles ont été impliquées dans de nombreuses interactions dans ce biotope, particulièrement *Trifolium repens* (49% des interactions), sans doute en partie en raison de sa densité plus élevée (23 UF/m²). Cette ressource semble donc être attractive, probablement en raison de sa production élevée en nectar en prairies (1111 µg/m²/jour). Cependant, les abeilles visitant des fleurs de genre *Trifolium* collectent également du pollen (Goulson et al., 2005). L'étude de la constance florale par l'analyse des pelotes collectées, indice de la préférence d'un insecte à visiter des fleurs d'une seule espèce lors d'un parcours de butinage (Grueter et al., 2011), confirme cette hypothèse. En effet, les pelotes collectées sur des individus d'*Apis mellifera* (2), de GTO *pascuorum* (1) et *lapidarius* (2) ainsi que de *Melitta leporina* (1) butinant *Trifolium repens* ont révélé une constance de 99% en moyenne. La constance moyenne est élevée également pour les pelotes des abeilles ayant été capturées sur *Trifolium pratense* (6) et *Lotus* sp. (2) (80% et 100% respectivement).

Ainsi, les espèces végétales de genre *Trifolium* ont été appréciées par *Apis mellifera*, abeille à langue courte, mais également par des bourdons à langue longue (GTO *lapidarius*, GTO *pascuorum*), par des abeilles solitaires de genre *Andrena* et *Melitta*, dont la longueur de langue varie en fonction de l'espèce, et par des lépidoptères. Cette étude semble ainsi confirmer que les espèces végétales de genre *Trifolium* supportent la plus grande diversité en population d'abeilles solitaires et bourdons (Terzo & Rasmont, 2007a). Faisant partie des Fabaceae, elles sont également indispensables à des espèces de bourdons à langues longues spécialisées dans la collecte de pollen de Fabaceae, telles que *Bombus subterraneus*, *B. humilis* ou *B. ruderatus* (Goulson et al., 2005).

Les espèces de genre *Trifolium* sont également d'autant plus intéressantes du fait qu'elles produisent des ressources durant une grande partie de la saison, puisqu'elles étaient également présentes en prairies en avril, mai et juin 2019 (Langlois, 2019; Terzo & Vereecken, 2014). Elles permettent donc un apport de ressources pour les abeilles qui émergent tôt dans la saison, mais également pour celles qui émergent tardivement (Goulson et al., 2005).

En prairies en juillet 2019, deux autres espèces végétales ont comptabilisé plus d'interactions avec les insectes pollinisateurs que les autres. Il s'agit de *Centaurea nigra* (20% des interactions en prairies) et *Cirsium arvense* (6%), deux Asteraceae.

Centaurea nigra représente une ressource en nectar et en pollen parmi les plus importantes en juillet 2019, tant au niveau d'une UF (6 μl /UF de pollen et 1474 μg /jour/UF de nectar) qu'à l'hectare (31453 μl /ha de pollen et 7 239 091 μg /jour/ha de nectar). En prairies, elle fait partie des plus grandes productrices de nectar et de pollen (7 $\mu\text{l}/\text{m}^2$ de pollen et 1711 $\mu\text{g}/\text{jour}/\text{m}^2$ de nectar), malgré une faible densité moyenne (1 UF/ m^2). Bien que tous les groupes de pollinisateurs aient été observés en interaction avec cette espèce végétale comptabilisant 7% de l'entièreté des interactions observées en juillet 2019, ce sont en majorité les Lépidoptères et les Syrphidae qui ont interagi avec elle. *Cirsium arvense* représente également une ressource en nectar parmi les plus importantes en juillet, tant au niveau d'une UF (2609 μg /jour/UF) qu'à l'hectare (4 285 453 μg /jour/ha). En prairies, elle a été visitée par de nombreux lépidoptères et Syrphidae de grande taille.

Au vu des observations de terrain, ces deux Asteraceae sont visitées pour leur nectar plutôt que pour leur pollen malgré la disponibilité de celui-ci (Goulson et al., 2005). L'analyse des pelotes d'un individu de GTO *lapidarius* capturé sur *Centaurea nigra* permet d'aller dans le même sens puisque la constance florale trouvée est de 20%. L'analyse des pelotes d'un individu d'*Apis mellifera* capturé sur *Cirsium arvense* montrant une constance de 90% est contradictoire, mais l'analyse ayant été effectuée pour un individu seulement, aucune conclusion ne peut être tirée.

1.1.2 Champs

En champs, en juillet 2019, l'espèce végétale *Medicago sativa* (Fabaceae) présentait la plus haute densité (36 UF/ m^2), malgré une faible fréquence de 3%. En floraison de mai à août, il s'agit de la seule espèce cultivée relevée apportant des ressources dans les champs, biotope dans lequel elle a été impliquée dans des interactions avec des lépidoptères et des Syrphidae en majorité, mais également avec des individus de GTO *lapidarius* et *terrestris*. Pouvant aussi être spontanée, *Medicago sativa* a également été relevée en prairies en moindre densité, où elle a été impliquée dans des interactions avec des lépidoptères et des Syrphidae toujours, mais également avec des individus d'*Apis mellifera*, de GTO *pascuorum* ainsi qu'avec des abeilles solitaires. Bien qu'il ait été montré que les bourdons et les individus d'*Apis mellifera* visitaient peu *Medicago sativa* et quand c'était le cas plutôt pour collecter son nectar que son pollen (Tasei & Ecalles, 1971), les pelotes (2) d'individus de GTO *terrestris* capturés sur *Medicago sativa* analysées lors de cette étude ont montré une constance florale de 98% en moyenne. En corrélation avec ces résultats, une étude a montré que *Medicago sativa* apportait des ressources florales en abondance pouvant attirer à la fois les abeilles sauvages et *Apis mellifera* (Rollin et al., 2013), bien que ses fleurs à corolle profonde soient plus

accessibles pour les bourdons à langue longue et des genres spécifiques d'abeilles solitaires (par exemple *Andrena*, *Halictus*, *Lasioglossum*, *Megachile*, *Melitta*, *Xylocopa*).

S'ajoutant à *Medicago sativa*, espèce cultivée, les espèces *Tripleurospermum inodorum* et *Cyanus segetum*, espèces spontanées, contribuent aux ressources florales en champs (3 UF/m² chacune), surtout grâce aux champs de féveroles et de pois, dans lesquels elles sont largement développées en juillet (17 UF/m² de *T. inodorum* en champ de féveroles, 100 UF/m² de *T. inodorum* et 61 UF/m² de *C. cyanus* en champ de pois).

L'espèce *Tripleurospermum inodorum* est particulièrement visitée par les Syrphidae, mais des abeilles solitaires ont également été observées en interaction avec elle dans les champs, sans doute collectant son pollen (Wood et al., 2017).

L'espèce *Cyanus segetum* a plus largement été visitée par *Apis mellifera* mais également par des bourdons de GTO *lapidarius* et *terrestris*. Ses fleurs riches en nectar (896 µg/fleur/jour) sont effectivement attractives pour les individus d'*Apis mellifera* (Jeavons et al., 2020) et pour les bourdons, mais ses fleurs profondes (2,6 mm) sont aussi prisées par des abeilles solitaires à langues longues parmi les Megachilidae par exemple (Terzo & Vereecken, 2014). *Cyanus segetum* apporte aux champs une grande quantité de nectar (2664 µg/m²/jour) mais également de pollen (11 µL/m²), fleurissant en juin et juillet. Cependant, il est à noter qu'en juillet 2019, la canicule a diminué cette ressource. Les pelotes (5) collectées sur des insectes ayant été capturés sur cette espèce végétale ont montré une fidélité de 45% en moyenne, les pelotes contenant également du pollen de Fabaceae (*Lotus* sp.) ainsi que de *Papaver rhoeas*, espèce également observée en champs mais en plus faible densité (< 1UF/m²) et fort appréciée par les bourdons et certaines abeilles solitaires en juillet pour son pollen (Hicks et al., 2016).

Les espèces végétales en fleurs d'intérêt entomophile dans les parcelles agricoles en juillet 2019, que ce soit en prairies ou en champs, sont donc pour la plupart des Fabaceae (*Trifolium* spp., *Lotus pedunculatus*, *Medicago sativa*) ou des Asteraceae (*Centaurea nigra*, *Cirsium arvense*, *Tripleurospermum inodorum*, *Cyanus segetum*).

Sur base de l'analyse des pelotes de pollen et des observations de terrain, dans les deux biotopes, tandis que les Fabaceae sont visitées pour leur pollen et leur nectar, les Asteraceae le sont plutôt pour leur nectar. La constance florale pour les Fabaceae (pelotes de 16 individus analysées) étant de 92% en moyenne contre 37% en moyenne pour les Asteraceae (pelotes de 7 individus analysées). Ces observations peuvent être expliquées par le « paradoxe des Asteraceae ». Celui-ci stipule que le pollen des Asteraceae n'est qu'occasionnellement exploité par les pollinisateurs généralistes mais largement recherché par les spécialistes (c'est-à-dire ne collectant que du pollen d'Asteraceae) (Müller & Kuhlmann, 2008; Susan Wendy Nicolson & Human, 2013; Vanderplanck et al., 2020). Plusieurs raisons à cela sont avancées : son déficit en acides aminés essentiels (tryptophane, phénylalanine et arginine), sa protection

mécanique entraînant une faible digestibilité ainsi que sa protection chimique via la présence de toxines. Dans le cas des espèces végétales de genre *Cirsium* particulièrement, une étude a montré que leurs pollens étaient de basse efficacité (masse de progéniture produite par masse de pollen collecté) et entravaient ainsi le développement des colonies de *Bombus terrestris* (Vanderplanck et al., 2018). Ces caractéristiques peuvent être détectées avant l'ingestion par les pollinisateurs, capables de percevoir certains signaux chimiques émis au niveau du pollen. Il a également été démontré que les *Bombus* ont la capacité d'évaluer les teneurs globales en acides aminés et lipides des pollens et de choisir ainsi les aliments les plus appropriés pour la colonie (Vanderplanck et al., 2020). Ces comportements réduisent donc la collecte du pollen chez les Asteraceae. Une certaine quantité de pollen d'Asteraceae peut tout de même être rencontrée dans les pelotes des abeilles. Tandis qu'une proportion de 5-10% peut être constatée (Somme et al., 2015), une étude émet l'hypothèse qu'un pourcentage supérieur peut être l'indice d'un écosystème pauvre en diversité (Roger et al., 2017). Cette hypothèse peut être appliquée aux régions étudiées ici, étant donné le pourcentage de pollen d'Asteraceae de 37% en moyenne dans les pelotes en contenant.

Cette faible diversité peut être imputée en Europe à la disparition des prairies de foin riches en Fabaceae, remplacées par de l'ensilage pour le fourrage d'hiver (Goulson et al., 2005; Vereecken, 2016). En Belgique, les cultures de Fabaceae, incluant *Medicago sativa*, *Trifolium* spp. et *Vicia faba* représentaient plus de 25 000 hectares en 1960 contre moins de 5000 hectares en 2010 (Vereecken, 2016). Comptabilisant quand même en juillet 2019 22% des interactions avec les insectes pollinisateurs tous biotopes confondus, les Asteraceae représentant 45% des interactions, les Fabaceae sont un atout conséquent pour la conservation des pollinisateurs, attirant une grande diversité de bourdons, parmi lesquels certains sont en déclin (ex : *Bombus subterraneus*, *B. humilis* ou *B. ruderatus*)(Goulson et al., 2005; Wood et al., 2017). Leur impact positif sur la taille des populations de bourdons communs quand elles étaient en suffisance a déjà été démontré (Wood et al., 2015), et cette étude-ci suggère qu'il pourrait en être de même pour une plus large diversité d'abeilles.

1.2 Bords de parcelles agricoles

Les interactions en bords de prairies sont majoritaires pour les mêmes espèces d'intérêt qu'en prairies, *Trifolium pratense* et *Cirsium arvense* représentant ensemble 57% des interactions. Cependant, les fréquences et les densités sont plus élevées qu'en parcelles. En effet, *Trifolium pratense* est une espèce présente dans 27% des prairies visitées en juillet 2019 avec une densité moyenne de 3 UF/m² dans ce biotope tandis qu'elle est présente dans 35% des bords de prairies avec une densité moyenne de 16 UF/m² dans ce biotope. De même pour l'espèce végétale *Cirsium arvense*, elle a été relevée dans 9% des prairies avec une densité moyenne de moins d'une UF/m² dans ce biotope et dans 35% des bords de prairies avec une densité moyenne de 4 UF/m² dans ce biotope.

En plus de ces espèces déjà rencontrées en parcelles, une autre espèce végétale a comptabilisé un grand nombre d'interactions en bords de prairies (18%) ; il s'agit d'*Epilobium angustifolium*, attractive pour les individus d'*Apis mellifera* surtout.

En bords de champs, le constat est le même : la composition florale de ces éléments de paysage présente des espèces d'intérêt entomophile déjà rencontrées en champs, soit *Cyanus segetum* (26% des interactions en bords de champs) et *Tripleurospermum inodorum* (12%), mais plus fréquemment et en plus grande densité. En effet, *Cyanus segetum* est une espèce présente dans 8% des champs visités en juillet 2019 avec une densité moyenne de 3 UF/m² dans ce biotope tandis qu'elle se trouve dans 50% des bords de champs avec une densité moyenne de 16 UF/m² dans ce biotope. De même pour l'espèce végétale *Tripleurospermum inodorum*, elle a été relevée dans 6% des champs avec une densité moyenne de 3 UF/m² dans ce biotope et dans 20% des bords de prairies avec une densité moyenne de 7 UF/m² dans ce biotope.

D'autres espèces végétales en fleurs viennent s'ajouter et permettent de nombreuses interactions avec les pollinisateurs : *Matricaria chamomilla* (30% des interactions en bords de champs) et *Convolvulus arvensis* (11%), espèces attractives pour les Syrphidae surtout (Prokop & Neupauerova, 2014), mais aussi *Cirsium arvense* (11%).

1.3 Bords de routes

Les bords de routes forment le biotope le plus diversifié en juillet (81 espèces végétales relevées). Beaucoup d'espèces attractives pour les pollinisateurs en juillet déjà citées s'y trouvaient fréquemment, mais d'autres également, comme *Achillea millefolium*, espèce parmi les plus productrices de nectar dans ce biotope (1514 µg/m²/jour). Notons que son pollen la place également dans les plus grandes productrices à l'hectare pour les paysages agricoles dans leur ensemble (31430 µl/ha, soit 15% de la production) mais aussi en bords de routes, en prairies et dans les éléments de paysage linéaires ligneux. En floraison de juin à aout, *Achillea millefolium* produirait un pollen apprécié de certaines abeilles solitaires (Colletidae, Halictidae, etc.) (Terzo & Vereecken, 2014). Cependant, en juillet 2019, *Achillea millefolium* a comptabilisé très peu d'interactions, et aucune n'incluant d'abeille solitaire. Ceci peut être expliqué par le fait que les interactions entre *Achillea millefolium* et les insectes pollinisateurs dépendent également des possibles compétitions avec d'autres espèces (de Manincor et al., 2020). Nous faisons donc ici l'hypothèse qu'en juillet 2019, peu d'interactions ont été observées avec *Achillea millefolium* en raison de l'attractivité d'autres espèces végétales pour les pollinisateurs.

L'espèce végétale *Origanum vulgare* (Lamiaceae) en floraison de juillet à septembre a également été observée en bords de routes avec une densité moyenne dans ce biotope de 38 UF/m² malgré une faible fréquence de 10%. *Origanum vulgare* est l'espèce qui a attiré la plus

grande quantité et la plus grande diversité d'insectes pollinisateurs en bords de routes, avec une majorité pour *Apis mellifera* et les lépidoptères, qui collectent son nectar. Sur cette espèce, les visites des individus d'*A. mellifera* semblent être corrélées positivement aux visites des lépidoptères alors qu'elles le sont négativement pour les visites avec des espèces de *Bombus* (Nielsen et al., 2012). Bien que les Lamiaceae soient typiquement butinées par les abeilles à langue longue, elles attirent une grande diversité d'espèces (Terzo & Rasmont, 2007a), dont des abeilles à langue courte spécialisées, comme par exemple *Rophites quinquespinosus*, espèce d'abeille solitaire estivale protégée en Wallonie (Pauly, s. d.) ou *Apis mellifera*.

En bords de routes se trouvent également des Apiaceae, dont *Heracleum sphondylium*, présente dans 25% des bords de routes. Malgré le fait que les Apiaceae aient été impliquées dans peu d'interactions en juillet 2019 (1% des interactions), leurs tiges creuses fournissent pour de nombreuses abeilles solitaires (cavicoles) un lieu de nidification (Fortel, 2014; Terzo & Rasmont, 2007a), ce qui participe à la diversité d'habitats en bords de routes et ainsi en paysages agricoles.

1.4 Linéaires ligneux

Les éléments de paysage linéaires ligneux présentaient en juillet 2019 une composition florale caractéristique principalement composée des espèces végétales *Rubus fruticosus* (Rosaceae) et *Clematis vitalba* (Ranunculaceae).

Grâce à sa haute fréquence (76%) et densité (8 UF/m²) dans ce biotope, *Rubus fruticosus* a été observée sur tous les sites d'étude en juillet et fait partie des espèces les plus productrices de nectar à l'hectare (2279477 µg/ha/jour) sur l'ensemble des paysages agricoles. Dans les haies et les lisières, *Rubus fruticosus* représente une grande quantité de ressources pour une large diversité de pollinisateurs, aussi bien en nectar qu'en pollen (15944 µg/m²/jour de nectar et 16 µl/m² de pollen), mais elle offre aussi un habitat pour de nombreuses abeilles solitaires qui nichent dans ses tiges tandis que les reines de bourdons peuvent y passer l'hiver (Terzo & Rasmont, 2007a). La floraison de *Rubus fruticosus* s'étend de mai à août. Cependant, en juillet 2019, à la suite de la canicule, une grande partie de la ressource a disparu la dernière semaine du mois. L'analyse de pelotes collectées sur des individus de GTO *terrestris* (4) composées à 100% de pollen de *Rubus fruticosus* a confirmé la grande attractivité des bourdons pour cette espèce végétale.

Clematis vitalba participe à la production de pollen et de nectar dans les haies et les lisières (421 µg/m²/jour de nectar et 2 µl/m² de pollen). Cette espèce végétale semble particulièrement attirer les Syrphidae, *Apis mellifera* et les lépidoptères. De ce fait et sur base d'une autre étude ayant montré l'attraction de bourdons généralistes pour cette espèce

végétale (Redmond & Stout, 2018), *Clematis vitalba* semble principalement attirer les pollinisateurs généralistes.

1.5 Comparaison des biotopes

Si l'on compare les biotopes entre eux par leurs compositions florales, quantitativement et qualitativement, les bords de prairies représentent le biotope le plus attractif pour les pollinisateurs en juillet. En effet, en moyenne sur un transect d'observations en bord de prairie, 63 interactions ont été observées, et ce impliquant tous les groupes de pollinisateurs. En comparaison, les parcelles agricoles sont moins attractives ($P=0,01$ et $P=0,05$ pour les prairies et les champs respectivement), avec 27 et 24 interactions observées dans un transect en moyenne pour les champs et prairies respectivement. Cela n'est pas étonnant, la densité florale des espèces d'intérêt entomophile observées étant plus faible en parcelles et apportant ainsi une plus faible quantité de ressources florales nutritives au m^2 .

Concernant les productions de ressources florales, seuls les bords de routes et les bords de champs se sont avérés significativement plus productifs en pollen ($335 \mu l/m^2$ et $356 \mu l/m^2$ respectivement) que les prairies ($23 \mu l/m^2$) ($P=0,03$ et $P=0,01$ pour les bords de routes et bords de champs respectivement) bien que la tendance générale montre que les bords produisent davantage de ressources, tant en termes de pollen que de nectar, que les parcelles agricoles.

Les haies et les lisières sont quant à elles les biotopes qui montrent le moins d'interactions (16 par transect en moyenne) mais sont une source de nectar, de pollen et de zone de nidification non négligeable.

Cependant, l'importance de chaque biotope pour les pollinisateurs dépend de sa composition florale mais également de sa représentation à l'échelle du paysage. Bien que les bords aient de façon générale attiré une plus grande quantité et une plus grande diversité de pollinisateurs au m^2 , les parcelles agricoles restent primordiales en termes de ressources florales apportées en raison des larges surfaces qu'elles occupent. D'autant plus qu'elles représentent le plus grand réservoir de Fabaceae, démontrées comme étant indispensables pour les bourdons. La représentation des biotopes à l'échelle du paysage dépend également de la région biogéographique dans laquelle on se trouve puisque leurs surfaces diffèrent au sein de chacune.

2. Influence de l'extensivité du paysage

Les sites comprenant des MAEC et des UG ne se sont pas révélés plus productifs que les sites où ces mesures n'étaient pas présentes. Les compositions florales des éléments de paysage visités n'ont en effet pas mis en évidence de différence significative entre les biotopes selon l'extensivité des sites où ils se trouvaient. On peut néanmoins noter que le nombre total d'espèces végétales différentes présentes était systématiquement plus élevé dans les sites plus extensifs (entre 5 et 15 espèces supplémentaires). Malgré une production comparable en pollen et en nectar, les milieux plus extensifs semblent ainsi plus diversifiés en espèces végétales en fleurs en juillet. Néanmoins, en raison du nombre insuffisant de répétitions effectuées, il n'est pas possible de déterminer dans le cadre de ce travail si cette diversité plus élevée est due à l'extensivité des paysages et si cela présente un intérêt pour les insectes visiteurs.

Cette étude ne permet toutefois pas de conclure qu'il n'existe pas de différence de production entre les milieux selon leur degré d'extensivité agricole. La détermination des sites et leur degré d'extensivité agricole suivant le protocole d'Alban Langlois (2019) peuvent de ce fait être remis en question pour le mois de juillet 2019.

2.1 Critiques méthodologiques

Premièrement, les prairies naturelles (MB2) ont été fauchées le 1^{er} juillet et n'ont ainsi pas contribué à différencier les sites plus extensifs des sites plus intensifs. Parmi les prairies, seules les prairies à haute valeur biologique (MC4) n'étaient pas fauchées au moment de la prise de données et comportaient une flore caractéristique, c'est-à-dire diversifiée et en densité élevée. Ce type de prairie n'a cependant pas été observé au sein de tous les sites « extensifs ». Concernant les mesures UG2, UG3 et UGTemps1 considérées au départ pour la sélection des sites, elles n'ont pas été observées ou n'apportaient pas suffisamment de nuances aux sites durant juillet, principalement en raison des travaux agricoles effectués (fauchage des prairies avant le début de la prise des données) et des faibles surfaces qu'elles occupaient par rapport au paysage étudié. Leurs compositions florales se distinguaient donc peu ou pas des autres éléments de paysage du même biotope. En ce qui concerne la mesure UG5, elle présentait peu d'intérêt et n'apportait rien aux éléments de paysage concernés, sa fonction étant uniquement de faire le lien entre des zones concernées par d'autres mesures. Quant à la mesure UG11, qui tient compte de la présence des cultures et des éléments anthropiques, elle n'a pas non plus permis de différencier les sites. Cette mesure considère en effet la présence de ces éléments et non leur gestion et leur exploitation.

Deuxièmement, les mesures exploitées concernaient uniquement les prairies et autres milieux ouverts du type prairie, ne tenant aucunement compte des autres biotopes étudiés.

2.2 Proposition d'amélioration du protocole

Une amélioration du protocole de détermination des sites pourrait alors tenir compte de pratiques influençant davantage l'extensivité des paysages en juillet, afin de déterminer si celle-ci influence les productions de ressources florales et les interactions plantes-pollinisateurs. Principalement, elle tiendrait compte des éléments de bords linéaires qui n'ont pas été considérés dans le protocole établi pour cette étude.

Tout d'abord, la gestion des bords de parcelles semble jouer un rôle dans l'extensivité des paysages en milieu agricole. En général, les bords de parcelles paraissent peu considérés par les agriculteurs, leur taille étant souvent réduite au minimum. Pourtant, sur certaines parcelles, les bords accueillent des espèces végétales spontanées d'intérêt entomophile. Différentes études ont déjà mis en avant l'influence de pratiques agricoles intensives sur la diversité des espèces végétales en bordures de parcelles (Dietz, 2002; Regali, 1996; Stoeckli et al., 2017). Ces pratiques peuvent se diviser en deux catégories : les pratiques de perturbation et les pratiques de traitements phytosanitaires. Dans les champs, les pratiques de perturbations (labour) réduisent la diversité de la végétation, tandis qu'elles l'augmentent en prairie si elles ne sont pas réalisées de façon excessive (fauche, pâturage). Quant à l'application de traitements phytosanitaires, elle réduirait la diversité et la quantité des espèces végétales (Dietz, 2002; Stoeckli et al., 2017). La considération des bords de parcelles comme des zones à part entière, traitées différemment des parcelles, pourrait ainsi intervenir dans la définition de l'extensivité des paysages agricoles.

La gestion des bords de routes semble également avoir un impact sur l'extensivité des paysages. Selon les sites et les communes, la fréquence de fauchage paraissait différer. Leur diversité en termes de composition florale semblait également différer selon les sites et selon le type de bord, à savoir un bord de route ou bord de chemin agricole. Or, il a été montré que la fréquence de fauchage influence la diversité des bords de routes ainsi que le type de végétation présente. Deux fauchages des bords de routes par an permettent d'augmenter leur diversité végétale, tandis qu'aucun fauchage ne la réduit et plus de deux fauchages ne l'augmentent pas. Un nombre élevé de fauchages réduit toutefois la capacité des plantes à se reproduire, ce qui a tendance à réduire la diversité des espèces (Jakobsson et al., 2018). Aussi, faucher les bords de routes deux fois par an impacte négativement le développement des graminées et positivement celui des plantes à fleurs (Jakobsson et al., 2018). D'autres études ont montré l'effet de la période de fauchage sur la richesse des bords de routes. Un décalage du premier fauchage du printemps au début de l'été permet ainsi d'augmenter la diversité des bords de routes, tandis qu'un décalage de la première tonte d'été à la fin de celui-ci la diminue (Chaudron 2016; Di Pietro et Perronne 2016). La gestion raisonnée des bords de routes pourrait ainsi être considérée dans l'extensivité des paysages.

La présence de haies (mesure MB1a) peut aussi avoir une influence sur l'extensivité des paysages agricoles. D'une part, les haies représentaient une source de fleurs durant tout le mois de juillet ainsi que durant le printemps. D'autre part, elles représentent une diversité d'habitat pour les pollinisateurs. Différentes études ont mis en évidence ces caractéristiques et leur rôle positif sur les communautés végétales et les communautés d'insectes, ainsi que leur importance dans les paysages gérés de façon intensive (Garratt et al., 2017; Le Viol et al., 2008). La présence de haies dans les paysages et plus particulièrement à proximité des parcelles pourrait ainsi être prise en compte dans la définition de l'extensivité des paysages.

3. Limites de l'étude

Plusieurs contraintes et limitations pouvant avoir biaisé les résultats de l'étude sont ici soulignées. Elles concernent principalement la collecte des données.

3.1 Le temps

Pour des raisons de logistique et de temps, il n'a pas été possible d'étudier l'entièreté de la surface de chacun des sites : tous les éléments de paysage n'ont pas pu être examinés. Les itinéraires ont été choisis afin d'être parcourus sur la durée d'une journée. D'un point de vue quantitatif, un biais peut être présent au niveau de la composition florale de certains compartiments dont les ressources ont pu être sous- ou sur-estimées. Particulièrement, un nombre insuffisant de bords de champs et de bords de prairies a été considéré par rapport à leurs nombres. Ayant de façon générale, en vue de la réalisation des transects d'observations des interactions, préféré l'étude des bords de prairies et de champs montrant des ressources florales, les densités florales ont, par extrapolation, pu être surestimées.

La contrainte s'est également présentée lors de la réalisation des transects d'observations. Afin d'être parcourus durant une journée, entre huit et onze transects d'observations ont été réalisés pour chaque site. Il n'a de la sorte pas été possible d'en placer dans tous les types d'éléments de paysage, bien que tous les biotopes aient été représentés. Par exemple, des transects n'ont pas été placés dans chaque type de culture au niveau d'un site, mais dans une ou deux cultures seulement, dont le choix s'est porté sur les plus abondantes en ressources florales. De cette façon, il faut différencier l'établissement des ressources florales à l'échelle du paysage de l'établissement des ressources florales des réseaux d'interactions présentés, les transects d'observations pouvant ne pas être représentatifs de l'entièreté des paysages étudiés. Particulièrement, l'élément de paysage « champ de luzerne » représente 2/7 des transects réalisés en champs, fraction surestimée par rapport à la réalité du paysage.

Indépendamment des méthodes de collecte des données, la contrainte de temps est également à considérer vis-à-vis de l'évolution des ressources florales au cours du mois de

juillet 2019. La disponibilité en ressources florales a évolué entre le début de la prise de données et la fin de celle-ci. D'une part, certaines espèces ont rapidement terminé leur floraison. C'est le cas de *Cyanus segetum*, qui a été largement constatée en champs de colza durant les dix premiers jours de terrain mais dont la floraison s'est ensuite très rapidement terminée. D'autre part, certains travaux agricoles et communaux ont été effectués à différents moments du mois de juillet 2019 et ce dans plusieurs biotopes. Les espèces en cours de floraison y étant présentes ont ainsi été retirées. Cela concerne essentiellement les bords de routes et les champs de luzerne. Les bords de routes ont été fauchés à divers moments selon les communes, tandis que les champs de luzerne ont été récoltés durant les quinze premiers jours de juillet. Ces différentes contraintes font néanmoins partie des caractéristiques et de la dynamique des paysages agricoles.

Le temps a finalement joué un rôle dans l'établissement des protocoles suivis. Cela concerne particulièrement la méthode choisie pour le relevé des densités florales. Afin d'éviter des changements dans la composition florale des biotopes entre le relevé des espèces et la mesure de leurs densités, il a été décidé d'évaluer les densités florales le même jour que le relevé des espèces végétales en fleurs. De façon à pouvoir réaliser ces deux étapes sur une journée pour chacun des sites, les densités ont été mesurées une seule fois, de façon aléatoire.

3.2 Les conditions météorologiques

Le mois de juillet 2019 a connu des conditions météorologiques particulièrement chaudes et sèches. En plus des températures excédentaires et des précipitations déficitaires, juillet 2019 a été marqué par une vague de chaleur courte (cinq jours) mais exceptionnellement intense, durant laquelle la barre des 40°C a été franchie à deux reprises (IRM, 2019). Ces conditions de sécheresse ont surtout eu un impact sur la phénologie de la végétation spontanée durant la deuxième moitié du mois de juillet. Cela a principalement été constaté au niveau des bords de routes et des prairies, où les sols étaient particulièrement secs et où la végétation dépérissait. Dans les haies et lisières, les fleurs de l'espèce végétale *Rubus fruticosus* se sont fanées suite à cet épisode de chaleur, la floraison de l'espèce s'étalant habituellement jusqu'au mois d'août.

Au cours d'une journée, tous les transects d'observations n'ont pas profité de conditions météorologiques parfaitement similaires. Les visites de fleurs s'accomplissent majoritairement entre 8h et 19h, avec une activité de butinage intense de 9h30 à 11h30. Par temps chaud, un ralentissement de l'activité peut s'observer entre 12h et 15h (Pesson & Louveaux, 1984). Ainsi, les transects réalisés en matinée (de 9h à 12h) ou en fin d'après-midi ont bénéficié de conditions de butinage avantageuses par rapport à ceux effectués durant l'après-midi.

3.3 Le travail avec du vivant

La capture des insectes visiteurs ainsi que leur identification sur le terrain n'ont pas suffisamment fait l'objet d'un protocole strict. Certains insectes étant plus petits et plus rapides que d'autres, tous n'ont pas été capturés avec la même facilité, et le nombre de chaque groupe collecté en dépend partiellement. Concernant l'identification sur le terrain, des erreurs ont pu être commises du fait du manque de visibilité de certaines de leurs caractéristiques. Particulièrement, aucun individu de *GTO pratorum* normalement observable en Belgique en juillet n'a été observé lors de cette étude. Il a pu être confondu avec les individus de *GTO lapidarius* lors des observations de terrain. Toutes les espèces présentes n'ont ainsi peut-être pas été capturées pour être identifiées. Par conséquent, il peut demeurer un certain manque de représentativité concernant les espèces d'insectes visiteurs présents en juillet 2019.

Aussi, tous les insectes transportant des pelotes de pollen n'ont pas pu être capturés. Les bourdons étant plus gros que les abeilles solitaires, la collecte des pelotes de ces dernières a été moindre. Les pelotes récoltées peuvent ainsi ne pas être représentatives de toutes les interactions qui existaient entre plantes visitées et insectes visiteurs concernant le pollen en juillet 2019.

Concernant l'identification des espèces végétales, elle a été compliquée pour les espèces du genre *Ranunculus* particulièrement. Celles-ci ont donc été rassemblées, malgré une production en nectar et en pollen probablement différente. De façon générale, l'identification des espèces a été réalisée grâce à des flores et à nos connaissances en botanique, qui ne sont pas celles d'experts dans le domaine. Il est donc difficile de certifier l'identification de toutes les espèces observées.

4. Perspectives

D'une part, aucune conclusion ne peut être tirée quant aux rôles de pratiques agricoles plus ou moins extensives sur la production des ressources florales en juillet et sur les interactions plantes-pollinisateurs. Réitérer cette étude en tenant compte des améliorations de protocole suggérées permettrait d'évaluer leur impact réel, s'il existe dans les régions étudiées. Ainsi, la mise en place de mesures agro environnementales pourrait être ciblée dans les régions pour lesquelles une possible trop faible extensivité influencerait négativement la disponibilité en ressources florales pour les pollinisateurs.

Cependant, ce mémoire s'étant intéressé à un mois en particulier dans toute une saison de végétation, seul, il ne permet pas de mettre en valeur l'existence de potentiels déficits en ressources florales pour les pollinisateurs. Il est ainsi essentiel de considérer ce travail comme une partie d'une plus vaste analyse visant à étudier la phénologie florale et les interactions plantes-pollinisateurs tout au long d'une saison de végétation. Cette analyse plus vaste devra

être mise en parallèle avec les besoins des pollinisateurs, variant selon l'espèce et les différents moments de leur cycle de vie, tant quantitativement que qualitativement, afin de pouvoir déterminer l'existence ou non de déficits en ressources florales et ainsi mettre en place des mesures adéquates.

Par ailleurs, bien que cette étude présente les compositions florales des biotopes, la représentation de ceux-ci à l'échelle du paysage est nécessaire pour connaître la contribution de chacun d'eux en termes de ressources florales. Plusieurs études répondant à ces besoins d'analyses supplémentaires sont actuellement menées.

Conclusion

Ce mémoire a permis de mettre en évidence la contribution de chacun des biotopes en termes de production de pollen et de nectar en paysages agricoles en juillet 2019, ainsi que l'attrait des insectes pollinisateurs envers les espèces florales qui les composent.

Le relevé des compositions florales, tenant compte des espèces végétales présentes et de leurs densités, de tous les éléments de paysage étudiés a permis de définir six biotopes : les prairies, les champs, les bords de prairies, les bords de champs, les bords de routes et les éléments linéaires ligneux, regroupant les haies et les lisières. Parmi ceux-ci, les bords de routes étaient les plus diversifiés, avec 81 espèces végétales en cours de floraison. En tout, 112 espèces végétales ont été recensées. Pour chacun des biotopes, la production de nectar et de pollen au m² a été quantifiée. Les bords de champs et les bords de routes se sont ainsi révélés significativement plus productifs en pollen. De façon générale, la tendance montre que les bords produisent davantage de pollen et de nectar au m² que les parcelles agricoles.

Au sein du paysage étudié, 33 espèces d'insectes étaient présentes et ont interagi avec 37 espèces végétales, dont 15 appartenant à l'ordre des hyménoptères, 12 à l'ordre des diptères et six à l'ordre des lépidoptères. Elles ont été rassemblées en huit groupes : Syrphidae de petite taille, Syrphidae de grande taille, *Bombus* des GTO *lapidarius*, *terrestris* et *pascuorum*, *Apis mellifera*, abeilles solitaires et lépidoptères.

Les bords de prairies se sont avérés être le biotope le plus visité par les insectes rencontrés. D'une part, les espèces de Fabaceae *Trifolium spp.* et *Medicago sativa* ont été visitées par une large diversité d'abeilles en raison de leurs productions élevées en nectar et de leurs productions en pollen. D'autre part, l'espèce d'Asteraceae *Cirsium arvense* a été visitée par de nombreux insectes, principalement des Syrphidae. Dans les bords de routes, l'espèce *Origanum vulgare* s'est distinguée des autres par son implication dans un nombre élevé d'interactions, essentiellement avec des individus d'*A. mellifera* et des lépidoptères. En bords de champs, deux espèces ont particulièrement été attractives pour les pollinisateurs par leurs productions élevées à la fois en nectar et en pollen : *Matricaria chamomilla* et *Cyanus segetum*. La première a principalement attiré des Syrphidae et la seconde des individus de GTO *lapidarius* et d'*A. mellifera*. Les parcelles agricoles, soit les prairies et les champs, ont été impliquées dans un moindre nombre d'interactions au m². L'espèce *Medicago sativa* a attiré tous les groupes de pollinisateurs considérés, en prairies et surtout en champs. Il s'agissait de la seule espèce cultivée produisant des ressources florales en juillet 2019. Les espèces spontanées *Tripleurospermum inodorum* et *Cyanus segetum*, particulièrement développées dans les cultures de pois et de féverolle, ont également contribué à la production de ressources en champs. Dans les prairies, *Trifolium repens* a été impliquée dans de nombreuses interactions, principalement avec des individus d'*A. mellifera* mais également avec les autres groupes d'insectes, pour sa production de nectar et de pollen. Les pelotes ont révélé une

constance élevée des abeilles envers cette espèce. Au sein des haies et des lisières, l'espèce végétale *Rubus fruticosus* était largement développée et apporte du pollen et du nectar mais également un habitat aux abeilles durant une longue période (mai à aout).

Finalement, les bords de parcelles et les bords de routes semblent représenter trois biotopes d'intérêt en juillet dans les paysages agricoles. Principalement, les bords de prairies sont attractifs et contribuent à la présence de Fabaceae, famille d'espèces attractives pour les pollinisateurs dont la quantité en parcelles agricoles a fortement diminué depuis les années 60. Une attention particulière pourrait ainsi être portée à ces biotopes dans les paysages où des aménagements paraissent nécessaires dans le cadre de l'apport en ressources pour les insectes pollinisateurs.

Bibliographie

- Abrol, D. P. (2011). *Pollination Biology : Biodiversity Conservation and Agricultural Production*. Springer Science & Business Media.
- Aguilar, R., Ashworth, L., Galetto, L., & Aizen, M. A. (2006). Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation : Review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology Letters*, 9(8), 968-980. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00927.x>
- Alderweireld, M., Burnay, F., Pitchugin, M., & Lecomte, H. (2015). *Inventaire forestier wallon : Résultats 1994 – 2012*. 246.
- Ameryckx, J., De Leenheer, L., Donis, C., Fripiat, J., Laudelout, H., Manil, G., Noirfalise, A., Scheys, G., Stenuit, D., Tavernier, R., & Van den Hende, A. (1962). *Bulletin de la Société Belge de Pédologie*. Fondation Universitaire et Ministère de l'Education nationale et de la Culture. https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/000/010/491/RUG01-000010491-1962-XII-2_2010_0001_AC.pdf#page=60
- Anderson, D. L., & Trueman, J. W. H. (2000). *Varroa jacobsoni* (Acari : Varroidae) is more than one species. *Experimental & Applied Acarology*, 24(3), 165-189. <https://doi.org/10.1023/A:1006456720416>
- Bartual, A. M., Sutter, L., Bocci, G., Moonen, A.-C., Cresswell, J., Entling, M., Giffard, B., Jacot, K., Jeanneret, P., Holland, J., Pfister, S., Pintér, O., Veromann, E., Winkler, K., & Albrecht, M. (2019). The potential of different semi-natural habitats to sustain pollinators and natural enemies in European agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 279, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.009>
- Baude, M., Kunin, W. E., Boatman, N. D., Conyers, S., Davies, N., Gillespie, M. A. K., Morton, R. D., Smart, S. M., & Memmott, J. (2016). Historical nectar assessment reveals the fall and rise of floral resources in Britain. *Nature*, 530, 17. <https://doi.org/10.1038/nature16532>
- Benton, T. G., Vickery, J. A., & Wilson, J. D. (2003). Farmland biodiversity : Is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution*, 18(4), 182-188. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9)
- BISE. (s. d.). *Pollution*. Consulté 19 mai 2020, à l'adresse <https://biodiversity.europa.eu/topics/pollution>
- Bouquiaux, J.-M. (2019). *Farm management—LBIRA2104*. Document non publié, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.
- Breed, M. D. (2010). Honeybees. In Michael D. Breed & J. Moore (Éds.), *Encyclopedia of Animal Behavior* (p. 89-96). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045337-8.00044-9>
- Buchmann, S. L. (1985). Bees Use Vibration to Aid Pollen Collection from Non-Poricidal Flowers. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 58(3), 517-525. JSTOR.

- Buyens, C. (s. d.). *Pollen*. Document non publié, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.
- Carpenter, M. (1997). *Terminologie de la pédologie*. <http://mcarpenter.chez-alice.fr/SOL.htm>
- Carvell, C., Bourke, A. F. G., Dreier, S., Freeman, S. N., Hulmes, S., Jordan, W. C., Redhead, J. W., Sumner, S., Wang, J., & Heard, M. S. (2017). Bumblebee family lineage survival is enhanced in high-quality landscapes. *Nature*, 543(7646), 547-549. <https://doi.org/10.1038/nature21709>
- Castiau. (2011). *Le Plateau condrusien*. (Conférence Permanente du Développement Territorial). Institut du Patrimoine Wallon.
- Chagnon, M. (2008). *Causes et effets du déclin mondial des pollinisateurs et les moyens d’y remédier*. Bureau régional du Québec de la Fédération canadienne de la faune.
- Chanon, L. (2017). *Enquête—En France, les abeilles sont toujours largement exposées au néonicotinoïdes ou comment le système agricole français encourage l’utilisation des néonicotinoïdes de manière préventive*. Union Nationale de l’Apiculture Française.
- Chaudron, C. (2016). *La flore de l’interface route—Champ cultivé : Influence des pratiques de gestion et de la structure du paysage* [Sciences de l’Environnement]. Université François Rabelais de Tours.
- Civam. (2013). *Les fiches techniques de la Biodiversité : Aménagements agro-écologiques et pratiques économes dans les grandes cultures en Champagne Ardenne*. <http://www.agriculture-durable.org/wp-content/uploads/2014/03/syrphebiodivgc.pdf>
- Clough, Y., Ekroos, J., Báldi, A., Batáry, P., Bommarco, R., Gross, N., Holzschuh, A., Hopfenmüller, S., Knop, E., Kuussaari, M., Lindborg, R., Marini, L., Öckinger, E., Potts, S. G., Pöyry, J., Roberts, S. P., Steffan-Dewenter, I., & Smith, H. G. (2014). Density of insect-pollinated grassland plants decreases with increasing surrounding land-use intensity. *Ecology Letters*, 17(9), 1168-1177. <https://doi.org/10.1111/ele.12325>
- Cole, L. J., Brocklehurst, S., Robertson, D., Harrison, W., & McCracken, D. I. (2017). Exploring the interactions between resource availability and the utilisation of semi-natural habitats by insect pollinators in an intensive agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 246, 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.007>
- Conférence permanente du développement territorial de Wallonie. (2010). *Fiches d’utilisation du sol des communes de Ciney, Houyet et Wellin*.
- de Manincor, N., Hautekète, N., Mazoyer, C., Moreau, P., Piquot, Y., Schatz, B., Schmitt, E., Zélazny, M., & Massol, F. (2020). How biased is our perception of plant-pollinator networks? A comparison of visit- and pollen-based representations of the same networks. *Acta Oecologica*, 105, 103551. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103551>
- Declèves, S. (2014). *Qualité diététique du pollen : Le paradoxe des Asteraceae* [Mémoire]. Université de Mons.

- Defrise, D. (1995). *Etat de l'environnement : Agriculture*. SPW.
<http://environnement.wallonie.be/eew2000/agri/4agr1.htm>
- Descamps, C. (2014). *Etude exploratoire de la guilde de pollinisateurs de Calluna vulgaris présente en landes sèches au mont Lozère en lien avec des caractéristiques spatiales et environnementales*. [Mémoire de fin d'études]. Université Catholique de Louvain.
- Di Pietro, F., & Perronne, R. (2016). Les dépendances vertes dans les paysages agricoles : Prendre en compte les milieux adjacents à la route. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Hors-série 24, Article Hors-série 24.
<https://doi.org/10.4000/vertigo.17307>
- Dibos, C. (2010). *Interactions plante—Pollinisateur : Caractérisation de la qualité du pollen de deux cucurbitacées durant son ontogénèse, sa présentation et son transport sur le corps de l'abeille domestique* [Biologie végétale, Université d'Avignon].
https://pdfs.semanticscholar.org/b349/8041bff5d569595f47688133cfdd6797a71a.pdf?_ga=2.18187837.542214111.1591808387-1663510897.1591808387
- Dicks, L. V., Baude, M., Roberts, S. P. M., Phillips, J., Green, M., & Carvell, C. (2015). How much flower-rich habitat is enough for wild pollinators? Answering a key policy question with incomplete knowledge. *Ecological Entomology*, 40(S1), 22-35.
<https://doi.org/10.1111/een.12226>
- Dietz, H. (2002). Land-use intensity and border structures as determinants of vegetation diversity in an agricultural area. *Bulletin of the Geobotanical Institute ETH*, 68, 15.
- Dötterl, S., Jürgens, A., Seifert, K., Laube, T., Weißbecker, B., & Schütz, S. (2006). Nursery pollination by a moth in *Silene latifolia* : The role of odours in eliciting antennal and behavioural responses. *New Phytologist*, 169(4), 707-718.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01509.x>
- Droeven, E., Feltz, C., & Kummert, M. (2004). *Les territoires paysagers de Wallonie* (Conférence Permanente du Développement Territorial). Division de l'observatoire de l'habitat.
- Droeven, E., Kummert, M., Feltz, C., & Melin, E. (2002). Le patrimoine, outil de développement territorial. *Programme 2001-2002 - Rapport final*, 5.1 Partie paysages, 74.
- Dutuit, P., & Gorenflot, R. (2016). *Unité du monde vivant et développement durable : Glossaire*. Educagri Editions.
- Environnement Wallonie. (2018). *Composantes environnementales et liens environnement-santé environnement physique—Régions agricoles*.
- Erdtman. (1960). The acetolysis method. A revised description. *Svensk Botanisk Tidskrift*, 54(4), 561-564.
- European Parliament. (2020, janvier 16). *Biodiversity loss : What is causing it and why is it a concern?*
<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20200109STO69929/biodiversity-loss-what-is-causing-it-and-why-is-it-a-concern>

- Evans, A. N., Llanos, J. E. M., Kunin, W. E., & Evison, S. E. F. (2018). Indirect effects of agricultural pesticide use on parasite prevalence in wild pollinators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.02.002>
- Faegri, K., & Pijl, L. V. D. (2013). *Principles of Pollination Ecology*. Elsevier.
- FAO. (s. d.). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*. Consulté 19 mai 2020, à l'adresse <http://www.fao.org/3/x4400f/x4400f10.htm>
- Flamant, J.-C. (2010). *Une brève histoire des transformations de l'agriculture au 20^e siècle*. Mission Agrobiosciences.
- Forget, & Kinget. (1961). *Atlas de Belgique, Planches 30, 31 et 32 : Agriculture*. Académie royale de Belgique.
- Fortel, L. (2014). *Écologie et conservation des abeilles sauvages le long d'un gradient d'urbanisation* [Thèse]. Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse.
- Fowler, R. E., Rotheray, E. L., & Goulson, D. (2016). Floral abundance and resource quality influence pollinator choice. *Insect Conservation and Diversity*, 9(6), 481-494. <https://doi.org/10.1111/icad.12197>
- Gaillai, N., Salles, J.-M., & Vaissière, B. (s. d.). *Evaluation de la contribution économique du service de pollinisation à l'agriculture européenne*. Consulté 11 juin 2020, à l'adresse <http://www.beemyfriend.org/docs/2009-GallaiSallesVaissiere-evaluationPollinisationEurope.pdf>
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., Morales, J. M., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Carvalheiro, L. G., Chacoff, N. P., Dudenhöffer, J. H., Greenleaf, S. S., Holzschuh, A., Isaacs, R., Krewenka, K., Mandelik, Y., Mayfield, M. M., Morandin, L. A., Potts, S. G., Ricketts, T. H., Szentgyörgyi, H., ... Klein, A. M. (2011). Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology Letters*, 14(10), 1062-1072. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x>
- Garratt, M. P. D., Senapathi, D., Coston, D. J., Mortimer, S. R., & Potts, S. G. (2017). The benefits of hedgerows for pollinators and natural enemies depends on hedge quality and landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 363-370. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.048>
- Gaspar, Ch. (1971). *Les fourmis de la Famenne*. VIII(4), 553-607.
- Génissel, A., Aupinel, P., Bressac, C., Tasei, J.-N., & Chevrier, C. (2002). Influence of pollen origin on performance of *Bombus terrestris* micro-colonies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 104(2-3), 329-336. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2002.01019.x>
- Gosselin, M., Moerman, R., Terzo, M., Vereecken, N., & Rasmont, P. (2018). Abeilles sauvages, bourdons et autres insectes pollinisateurs. *Agrinature*.
- Goulson, D., Hanley, M. E., Darvill, B., Ellis, J. S., & Knight, M. E. (2005). Causes of rarity in bumblebees. *Biological Conservation*, 122(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.06.017>

- Grueter et al., C. (2011). Flower constancy in insect pollinators : Adaptive foraging behavior or cognitive limitation? *Communicative & Integrative Biology*, 4(6), 633-636.
<https://doi.org/10.4161/cib.16972>
- Guillaume, N. (2019). *Etude des ressources florales disponibles en début de printemps dans les paysages agricoles* [Master 1 Biodiversité, Ecologie, Evolution]. Université de Lille, Sciences et Technologies (Lille 1).
- Gumbert, A. (2000). Color choices by bumble bees (*Bombus terrestris*) : Innate preferences and generalization after learning. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 48(1), 36-43.
<https://doi.org/10.1007/s002650000213>
- Hance, T., Legrève, A., Bragard, C., & Dieryck, B. (2019). *Lutte biologique, protection intégrée et contrôle phytosanitaire—LBRPP2206*. Document non publié, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.
- Hance, T., & Van Dyck, H. (2019). *Entomologie générale appliquée—LBRPP2201*. Document non publié, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.
- Henry, M., Becher, M. A., Osborne, J. L., Kennedy, P. J., Aupinel, P., Bretagnolle, V., Brun, F., Grimm, V., Horn, J., & Requier, F. (2017). Predictive systems models can help elucidate bee declines driven by multiple combined stressors. *Apidologie*, 48(3), 328-339. <https://doi.org/10.1007/s13592-016-0476-0>
- Henry, M., Odoux, J. F., ALAUX, C., Aupinel, P., Bretagnolle, V., Di pasquale, G., Requier, F., ROLLIN, O., & DECOURTYE, A. (2016). Alimentation des abeilles domestiques et sauvages en système de grandes cultures. *Innovations Agronomiques*, 53, 39-47.
- Hicks, D. M., Ouvrard, P., Baldock, K. C. R., Baude, M., Goddard, M. A., Kunin, W. E., Mitschunas, N., Memmott, J., Morse, H., Nikolitsi, M., Osgathorpe, L. M., Potts, S. G., Robertson, K. M., Scott, A. V., Sinclair, F., Westbury, D. B., & Stone, G. N. (2016). Food for Pollinators : Quantifying the Nectar and Pollen Resources of Urban Flower Meadows. *PLOS ONE*, 11(6), e0158117.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158117>
- Hubert-Moy, L. (2012). *Les changements d'occupation des sols, une variable clé du changement global*. Université Virtuelle Environnement & Développement Durable.
https://ressources.uved.fr/Grains_Module1/Changements_occupation_sols/Changements_occupation_sols/site/html/Changement_occupation/Changement_occupation.html
- Ihara, M., & Matsuda, K. (2018). Neonicotinoids : Molecular mechanisms of action, insights into resistance and impact on pollinators. *Current Opinion in Insect Science*, 30, 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.09.009>
- Inouye, D. W., & Ogilvie, J. E. (2017). Pollinators, Role of. In *Reference Module in Life Sciences* (p. B9780128096338022000). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.02309-8>

- IPBES. (s. d.). *Le dangereux déclin de la nature : Un taux d'extinction des espèces « sans précédent » et qui s'accélère*. Consulté 19 mai 2020, à l'adresse <https://ipbes.net/news/Media-Release-Global-Assessment-Fr>
- IRM. (2019). *Bilans climatologiques de 2019 : Juillet 2019 en chiffres, graphiques et cartes*. KMI. <https://www.meteo.be/fr/climat/bilans-climatologiques/2019/juillet>
- Jacob-Remacle, A. (1992). Les abeilles solitaires : Des insectes pollinisateurs peu connus. *Biologie des espèces*, 84.
- Jacquemart, A.-L., & Descamps, C. (2019). *Flore écologique de Belgique suivant la classification APG IV* (Editions Erasme).
- Jakobsson, S., Bernes, C., Bullock, J. M., Verheyen, K., & Lindborg, R. (2018). How does roadside vegetation management affect the diversity of vascular plants and invertebrates? A systematic review. *Environmental Evidence*, 7(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0129-z>
- Jarvis, A. I., Padoch, C., & Cooper, H. D. (2012). *Gestion de la biodiversité dans les écosystèmes agricoles* (Bioversity International).
- Jeavons, E., van Baaren, J., & Le Lann, C. (2020). Resource partitioning among a pollinator guild : A case study of monospecific flower crops under high honeybee pressure. *Acta Oecologica*, 104, 103527. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103527>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis : A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Jones, G. D., & Jones, S. D. (2001). The uses of pollen and its implication for Entomology. *Neotropical Entomology*, 30(3), 314-349. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2001000300001>
- Kevan, P. G., & Baker, H. G. (1983). Insects as Flower Visitors and Pollinators. *Annual Review of Entomology*, 28(1), 407-453. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.28.010183.002203>
- Klein, A.-M., Vaissières, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2006, octobre 27). *Importance of pollinators in changing landscapes for world crops | Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspb.2006.3721>
- Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S. G., Roulston, T., Steffan-Dewenter, I., Vázquez, D. P., Winfree, R., Adams, L., Crone, E. E., Greenleaf, S. S., Keitt, T. H., Klein, A.-M., Regetz, J., & Ricketts, T. H. (2007). Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms : A conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10(4), 299-314. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x>
- Krimmer, E., Martin, E. A., Krauss, J., Holzschuh, A., & Steffan-Dewenter, I. (2019). Size, age and surrounding semi-natural habitats modulate the effectiveness of flower-rich agri-environment schemes to promote pollinator visitation in crop fields. *Agriculture*,

- Ecosystems & Environment*, 284, 106590.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106590>
- Langlois, A. (2019). *Évaluation de la variation spatio-temporelle des ressources florales dans les paysages agricoles et de leur utilisation par les insectes pollinisateurs* [Mémoire, Université de Liège].
<https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/7358/4/M%C3%A9moireAlbanLanglois.pdf>
- Le Viol, I., Julliard, R., Kerbiriou, C., de Redon, L., Carnino, N., Machon, N., & Porcher, E. (2008). Plant and spider communities benefit differently from the presence of planted hedgerows in highway verges. *Biological Conservation*, 141(6), 1581-1590.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.003>
- Lefèbvre, D., Aupinel, P., Le Cun, S., & Pierre, J. (2002). *Élevage, comportement de butinage et utilisation du bourdon terrestre (Bombus terrestris) pour la pollinisation*. 29(1).
https://www.researchgate.net/profile/Diane_Lefebvre/publication/233721596_Elevage_comportement_de_butinage_et_utilisation_du_bourdon_terrestre_Bombus_terrestris_pour_la_pollinisation/links/0fcfd50ac9a5dd9e9b000000/Elevage-comportement-de-butinage-et-utilisation-du-bourdon-terrestre-Bombus-terrestris-pour-la-pollinisation.pdf
- Lemoine, G. (2014). Pourquoi les abeilles sauvages sont menacées, et pourquoi et comment les protéger. DREAL Hauts de France, 1011, 44.
- Martin, A. C., & Harvey, W. J. (s. d.). *Master Reference Collection—Global Pollen Project*. Consulté 12 décembre 2019, à l'adresse <https://globalpollenproject.org/Taxon>
- Michez, D., & Vereecken, N. (2010). Les abeilles sauvages, une biodiversité insoupçonnée. *Probio-Revue*, 33(2), 110-113.
- Michez, Denis, & Vastrade, M. (2017). *Comparaison entre plantes herbacées et ligneuses comme ressource de pollen pour les bourdons* [Mémoire en Biologie des Organismes et Écologie]. Université de Mons, Faculté des sciences, Laboratoire de Zoologie.
- Michigan State University. (s. d.). *Native Plants and Ecosystem Services—Pollination*. Department of Entomology. Consulté 10 juin 2020, à l'adresse <https://www.canr.msu.edu/nativeplants/pollination>
- Miget, V. (2019). Déclin de la biodiversité : Des causes bien identifiées. *Journal de l'environnement*. <http://www.journaldelenvironnement.net/article/declin-de-la-biodiversite-des-causes-bien-identifiees,97447>
- Mize, A. (2014). *For bees (and flowers), tongue size matters*. The Ecological Society of America. <https://www.esa.org/blog/2014/07/14/for-bees-and-flowers-tongue-size-matters/>
- Mogren, C. L., Rand, T. A., Fausti, S. W., & Lundgren, J. G. (2016). The Effects of Crop Intensification on the Diversity of Native Pollinator Communities. *Environmental Entomology*, 45(4), 865-872. <https://doi.org/10.1093/ee/nvw066>

- Müller, A., & Kuhlmann, M. (2008). Pollen hosts of western palaearctic bees of the genus *Colletes* (Hymenoptera : Colletidae): the Asteraceae paradox. *Biological Journal of the Linnean Society*, 95(4), 719-733. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2008.01113.x>
- Natagriwal. (2015a, mars 10). *Prairie naturelle* [Text].
<https://www.natagriwal.be/fr/mesures-agro-environnementales/prairie-naturelle>
- Natagriwal. (2015b, août 5). *Bande aménagée à fleurs des champs* [Text]. Natagriwal.
<https://www.natagriwal.be/fr/mesures-agro-environnementales/bande-amenagee-fleurs-des-champs>
- Nicolson, Susan W. (2011). Bee food : The chemistry and nutritional value of nectar, pollen and mixtures of the two. *African Zoology*, 46(2), 197-204.
<https://doi.org/10.1080/15627020.2011.11407495>
- Nicolson, Susan Wendy, & Human, H. (2013). Chemical composition of the 'low quality' pollen of sunflower (*Helianthus annuus*, Asteraceae). *Apidologie*, 44(2), 144-152.
<https://doi.org/10.1007/s13592-012-0166-5>
- Nielsen, A., Dauber, J., Kunin, W. E., Lamborn, E., Jauker, B., Moora, M., Potts, S. G., Reitan, T., Roberts, S., Söber, V., Settele, J., Steffan-Dewenter, I., Stout, J. C., Tscheulin, T., Vaitis, M., Vivarelli, D., Biesmeijer, J. C., & Petanidou, T. (2012). Pollinator community responses to the spatial population structure of wild plants : A pan-European approach. *Basic and Applied Ecology*, 13(6), 489-499.
<https://doi.org/10.1016/j.baae.2012.08.008>
- Nowakowski, M., & Pywell, R. F. (Richard). (2016). *Habitat creation and management for pollinators*. Centre for Ecology & Hydrology.
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321-326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Ory, G. (2018). Histoire de la Calestienne. *L'Echo du Blaireau*, 90, 16.
- Ouellet, B. (2013). *L'habitat des pollinisateurs en milieu agricole : Éléments à considérer pour en assurer la conservation et la restauration au Québec*. Centre Universitaire de formation en environnement.
- Ouvrard, P. (2018). *Estimation of pollinating insect populations in agro-ecosystems : Comparing oilseed-rape fields and AES flower-strips*. [Thèse, Université catholique de Louvain, Faculté des bioingénieurs].
<https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/fr/object/boreal%3A198371/datastreams>
- Ouvrard, P., Transon, J., & Jacquemart, A.-L. (2018). Flower-strip agri-environment schemes provide diverse and valuable summer flower resources for pollinating insects. *Biodiversity and Conservation*, 27, 24.
- Palumbo, S. (2019). Variation de la qualité des ressources florales des abeilles en milieu agricole. [Mémoire en Sciences Biologiques – Biologie des Organismes et Ecologie à finalité approfondie, Université de Mons, Faculté des sciences, Laboratoire de Zoologie].

- http://www.atlashymenoptera.net/biblio/Palumbo_2019_Composition_chimique_ressources_milieus_agricoles.pdf
- Papy, F. (s. d.). *AGRICULTURE - Agriculture et industrialisation*. Encyclopædia Universalis. Consulté 5 février 2020, à l'adresse <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/agriculture-agriculture-et-industrialisation/>
- Parachnowitsch, A. L., Manson, J. S., & Sletvold, N. (2018). *Evolutionary ecology of nectar* (Vol. 123). <https://academic.oup.com/aob/article/123/2/247/5055672>
- Pauly, A. (s. d.). *Rophites Belgique*. Atlas Hymenoptera. Consulté 13 mai 2020, à l'adresse <http://www.atlashymenoptera.net/page.asp?id=286>
- Pauly, A. (2009). *Clé provisoire pour l'identification de s espèces de Halictidae de Belgique : (Hymenoptera Apoidea)*.
- Pauly, A., & Rasmont, P. (2010). *Les bourdons de la Belgique*. Atlas hymenoptera.
- Pesson, P., & Louveaux, J. (1984). *Pollinisation et productions végétales*. Quae.
- Portail Wallonie. (s. d.). *Abeilles sauvages | Espèces*. La biodiversité en Wallonie. Consulté 25 novembre 2019, à l'adresse <http://biodiversite.wallonie.be/fr/abeilles-sauvages.html?IDC=5623>
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines : Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345-353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Pouvreau, O. (2018). *Insectes pollinisateurs (2) : La Sauvage et le diptère*. Sauvages du Poitou. <https://www.sauvagesdupoitou.com/105/664>
- Praz, C. J., Müller, A., & Dorn, S. (2008). SPECIALIZED BEES FAIL TO DEVELOP ON NON-HOST POLLEN : DO PLANTS CHEMICALLY PROTECT THEIR POLLEN. *Ecology*, 89(3), 795-804. <https://doi.org/10.1890/07-0751.1>
- Prokop, P., & Neupauerova, D. (2014). Flower closure in the field bindweed (*Convolvulus arvensis*) : A field test of the pollination hypothesis. *Turkish Journal of Botany*, 38. <https://doi.org/10.3906/bot-1310-57>
- Rands, S. A., & Whitney, H. M. (2011). Field Margins, Foraging Distances and Their Impacts on Nesting Pollinator Success. *PLOS ONE*, 6(10), e25971. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025971>
- Rasmont, P., & Terzo, M. (2017). *Catalogue et clé des sous-genres et espèces du genre Bombus de Belgique et du nord de la France (Hymenoptera, Apoidea)*.
- Redmond, C. M., & Stout, J. C. (2018). Breeding system and pollination ecology of a potentially invasive alien *Clematis vitalba* L. in Ireland. *Journal of Plant Ecology*, 11(1), 56-63. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw137>
- Regali, A. (1996). *Contribution à l'étude des besoins alimentaires en stéroïdes de Bombus terrestris (L.)* [Thèse - Sciences zoologiques, Université de Mons-Hainaut, Faculté des Sciences]. http://zoologie.umons.ac.be/hymenoptera/biblio/Regali_1996_PhD_thesis_version_25_07_2005_txt_figs.pdf

- Reille, M. (1992). *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord* (Laboratoire de botanique historique et palynologie).
- Requier, F., Jowanowitsch, K. K., Kallnik, K., & Steffan-Dewenter, I. (2019). Limitation of complementary resources affects colony growth, foraging behavior, and reproduction in bumble bees. *Ecology*, *n/a*(n/a), e02946. <https://doi.org/10.1002/ecy.2946>
- Requier, F., Odoux, J.-F., Henry, M., & Bretagnolle, V. (2017). The carry-over effects of pollen shortage decrease the survival of honeybee colonies in farmlands. *Journal of Applied Ecology*, *54*(4), 1161-1170. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12836>
- Roger, N., Michez, D., Wattiez, R., Sheridan, C., & Vanderplanck, M. (2017). Diet effects on bumblebee health. *Journal of Insect Physiology*, *96*, 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2016.11.002>
- Rollin, O., Bretagnolle, V., Decourtye, A., Aptel, J., Michel, N., Vaissière, B. E., & Henry, M. (2013). Differences of floral resource use between honey bees and wild bees in an intensive farming system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *179*, 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.07.007>
- Russo, L., DeBarros, N., Yang, S., Shea, K., & Mortensen, D. (2013). Supporting crop pollinators with floral resources : Network-based phenological matching. *Ecology and Evolution*, *3*(9), 3125-3140. <https://doi.org/10.1002/ece3.703>
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna : A review of its drivers. *Biological Conservation*, *232*, 8-27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- SAPOLL. (2018). *Clé simplifiée des genres d'apoïdes de la zone*.
- Schlindwein, C., Wittmann, D., Martins, C. F., Hamm, A., Siqueira, J. A., Schiffler, D., & Machado, I. C. (2005). Pollination of *Campanula rapunculus* L. (Campanulaceae) : How much pollen flows into pollination and into reproduction of oligolectic pollinators? *Plant Systematics and Evolution*, *250*(3), 147-156. <https://doi.org/10.1007/s00606-004-0246-8>
- Sjödin, N. E., Bengtsson, J., & Ekbom, B. (2008). The influence of grazing intensity and landscape composition on the diversity and abundance of flower-visiting insects. *Journal of Applied Ecology*, *45*(3), 763-772. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01443.x>
- Somme, L., Vanderplanck, M., Michez, D., Lombaerde, I., Moerman, R., Wathélet, B., Wattiez, R., Lognay, G., & Jacquemart, A.-L. (2015). Pollen and nectar quality drive the major and minor floral choices of bumble bees. *Apidologie*, *46*(1), 92-106. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0307-0>
- SPW. (2010). *Etat des lieux de la masse d'eau souterraine RWM023 « Calcaires et Grès de la Calestienne et de la Famenne »* [Mise en oeuvre de la Directive-cadre sur l'eau (2000/60/CE)]. Direction Générale « Agriculture, Ressources naturelles & Environnement ».

- Stoeckli, S., Birrer, S., Zellweger-Fischer, J., Balmer, O., Jenny, M., & Pfiffner, L. (2017). Quantifying the extent to which farmers can influence biodiversity on their farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 237, 224-233. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.029>
- Streeter, D., Hart-Davis, C., Hardcastle, A., Cole, F., & Harper, L. (2017). *Guide Delachaux des fleurs de France et d'Europe*. (Delachaux et Niestlé). La Martine groupe.
- Tasei, J. N., & Ecalte, Ch. (1971). Influence de la date de la précoupe de la luzerne (*Medicago sativa* L.) sur la pollinisation. *Apidologie*, 2(2), 173-195. <https://doi.org/10.1051/apido:19710204>
- Terzo, M., & Rasmont, P. (2007a). Abeilles sauvages, bourdons et autres insectes pollinisateurs. *Les livrets de l'agriculture*.
- Terzo, M., & Rasmont, P. (2007b). *MALVAS (Méthodes Agroenvironnementales Liées à la Valorisation des Abeilles Sauvages) Suivi, étude et vulgarisation sur l'interaction entre les MAE et les abeilles sauvages*. Université de Mons Laboratoire de Zoologie et Direction Générale de l'Agriculture, Région Wallonne. http://www.atlashymenoptera.net/biblio/Terzo_et_rasmont_2007_MALVAS_rapport%20final_full.pdf.
- Terzo, M., & Vereecken, N. (2014). Un jardin pour les abeilles sauvages. *Service Public Fédéral « Santé, Sécurité de la Chaîne Alimentaire & Environnement »*, 52.
- Thorp, R. W. (2000). The collection of pollen by bees. In A. Dafni, M. Hesse, & E. Pacini (Éds.), *Pollen and Pollination* (p. 211-223). Springer Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6306-1_11
- Timberlake, T. P., Vaughan, I. P., & Memmott, J. (2019). Phenology of farmland floral resources reveals seasonal gaps in nectar availability for bumblebees. *Journal of Applied Ecology*, 56(7), 1585-1596. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13403>
- van der Sluijs, J. P., Simon-Delso, N., Goulson, D., Maxim, L., Bonmatin, J.-M., & Belzunces, L. P. (2013). Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(3), 293-305. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.05.007>
- Vanderplanck, M., Decleves, S., Roger, N., Decroo, C., Caulier, G., Glauser, G., Gerbaux, P., Lognay, G., Richel, A., Escaravage, N., & Michez, D. (2018). Is non-host pollen suitable for generalist bumblebees? *Insect Science*, 25(2), 259-272. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12410>
- Vanderplanck, M., Gilles, H., Nonclercq, D., Duez, P., & Gerbaux, P. (2020). Asteraceae Paradox : Chemical and Mechanical Protection of Taraxacum Pollen. *Insects*, 11, 304. <https://doi.org/10.3390/insects11050304>
- Vanderplanck, M., Moerman, R., Rasmont, P., Lognay, G., Wathelet, B., Wattiez, R., & Michez, D. (2014). How Does Pollen Chemistry Impact Development and Feeding Behaviour of Polylectic Bees? *PLoS ONE*, 9(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086209>

- Vereecken, N. (2016). *Quelques chiffres & Enquête COST*. AG de l'APPO, Gembloux.
https://www.gembloux.ulg.ac.be/phytotechnie-temperree/appo/MAJ%20INDEX/reunion%20APPO%2025%20janvier%202016/APPO_meeting_25_Jan_2016%20VEREECKEN%20Nicolas.pdf
- Vivasciences. (s. d.). *Les espèces exotiques envahissantes*. Liège université - Gembloux Agro-Bio Tech. Consulté 19 mai 2020, à l'adresse
<https://www.gembloux.ulg.ac.be/vivasciences/especes-exotiques-envahissantes/>
- Williams, N. M., & Kremen, C. (2007). Resource distributions among habitats determine solitary bee offspring production in a mosaic landscape. *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, 17(3), 910-921.
<https://doi.org/10.1890/06-0269>
- Williams, N. M., Regetz, J., & Kremen, C. (2012). Landscape-scale resources promote colony growth but not reproductive performance of bumble bees. *Ecology*, 93(5), 1049-1058. <https://doi.org/10.1890/11-1006.1>
- Willmer, P. (2011). *Pollination and Floral Ecology*. Princeton University Press.
- Winfree, R., Aguilar, R., Vázquez, D. P., LeBuhn, G., & Aizen, M. A. (2009). A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90(8), 2068-2076.
<https://doi.org/10.1890/08-1245.1>
- Wood, T. J., Holland, J. M., & Goulson, D. (2017). Providing foraging resources for solitary bees on farmland : Current schemes for pollinators benefit a limited suite of species. *Journal of Applied Ecology*, 54(1), 323-333. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12718>
- Wood, T. J., Holland, J. M., Hughes, W. O. H., & Goulson, D. (2015). Targeted agri-environment schemes significantly improve the population size of common farmland bumblebee species. *Molecular Ecology*, 24(8), 1668-1680.
<https://doi.org/10.1111/mec.13144>
- Zandonella, P., Dumas, C., & Gaude, T. (1981). *Sécrétions et biologie florale. Nature, origine et rôle des sécrétions dans la pollinisation et la fécondation : Revue des données récentes*. 12(4), 383-396.
- Zurbuchen, A., Cheesman, S., Klaiber, J., Müller, A., Hein, S., & Dorn, S. (2010). Long foraging distances impose high costs on offspring production in solitary bees. *The Journal of Animal Ecology*, 79(3), 674-681. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01675.x>

Annexes

Annexe 1 – Tableau d’occupation du sol et proportions des biotopes dans les différents sites étudiés (Langlois 2019)

TABLEAU 1 OCCUPATION DU SOL ET PROPORTIONS DES COMPARTIMENTS DANS LES DIFFERENTS SITES ETUDIES

	Condroz I	Condroz II	Famenne I	Famenne II	Calestienne I	Calestienne II
Surf. réelle prospectée (ha)	265,94	274,87	283,23	265,69	255,37	168,96
Occupation du sol (%)						
Culture (ha)	33,81	40,97	20,79	28,21	9,93	28,32
Culture Bio	1,90	-	7,00	0,38	0,76	0,60
Forêt	23,33	3,11	31,97	22,45	13,91	27,62
Pâturage	15,78	35,68	18,02	22,51	28,50	19,47
Prairie	13,20	13,14	6,67	13,28	14,45	18,76
Par. en MAEC + Natura2000	8,07	-	5,43	-	19,67	-
Zones urbanisés	2,29	3,39	7,65	10,25	10,12	1,12
Autres	0,84	3,54	1,44	1,60	1,55	3,89
Taille moy. Parcelles (ha)	3,68 ± 7,29	3,08 ± 3,31	2,13 ± 13,73	3,08 ± 8,1	2,32 ± 2,32	1,45 ± 1,99
Densité des linéaires (m/ha)						
Haie	7,53	12,71	30,28	12,85	51,44	12,91
Lisière	27,49	15,77	24,53	20,29	21,23	30,82
Bord de route	58,96	57,98	34,63	36,25	60,49	33,68
Types de culture	<i>Maïs, colza, froment, escourgeon, betterave, pomme de terre, trèfle...</i>	<i>Maïs, colza, froment, escourgeon, lin.</i>	<i>Froment, colza, escourgeon, maïs</i>	<i>Froment, colza, escourgeon, maïs</i>	<i>Froment, escourgeon, maïs</i>	<i>Froment, escourgeon, maïs</i>

La taille moyenne est affichée: moyenne ± écart-type

Annexe 2 – Protocole de fabrication du Rouge d'Alexander (source : Christel Buyens 2020)

1) Préparer si nécessaire les solutions suivantes

Vert de malachite (n°76) à 1% dans l'alcool à 95% ➡ 0.1 g dans 10 ml d'alcool à 95%

Fuschine acide (n°67) à 1 % dans de l'eau ➡ 0.1 g dans 10 ml d'eau

Orange G (n°242) à 1 % dans de l'eau ➡ 0.1 g dans 10 ml d'eau

2) Préparation du colorant (pour 100ml)

Le bécher est mis sur une plaque avec une puce magnétique et les constituants ajoutés un à un

Toujours ajouter les constituants dans l'ordre présenté ci-dessous

n°	Produits	Quantité (ml)
	Alcool (éthanol) à 95%	10
	Vert de malachite à 1%	1
	Eau distillée	50
149	Glycérol	25
	Fuschine acide à 1%	5
	Orange G à 1%	0.5
144	Acide acétique glacial	4

Ajouter 4.5 ml d'eau distillée pour avoir un volume final de 100ml

Ensuite, la solution est transférée dans une bouteille enveloppée de papier alu (ou dans une bouteille opaque)

Annexe 3 – Groupes taxonomiques opérationnels

Groupes taxonomiques opérationnels du genre *Bombus* susceptibles d'être rencontrés en Belgique. Les espèces entre parenthèses sont les moins probables (Terzo and Rasmont 2007).

GTO	Robes	Espèces associées
Robe terrestris		<i>(Bombus cryptarum)</i> <i>Bombus lucorum</i> <i>(Bombus magnus)</i> <i>Bombus terrestris</i>
Robe pratorum		<i>Bombus pratorum</i>
Robe hortorum		<i>(Bombus barbutellus)</i> <i>Bombus hortorum</i> <i>(Bombus jonellus)</i> <i>(Bombus ruderatus)</i> <i>(Bombus subterraneus)</i>
Robe lapidarius		<i>(Bombus confusus)</i> <i>(Bombus cullumanus)</i> <i>Bombus lapidarius</i> <i>(Bombus pomorum)</i> <i>Bombus rupestris</i> <i>(Bombus soroeensis)</i> <i>(Bombus wurfleinii)</i>
Robe pascuorum		<i>Bombus humilis</i> <i>(Bombus muscorum)</i> <i>Bombus pascuorum</i>
Robe masquée		<i>(Bombus distinguendus)</i> <i>Bombus sylvarum</i> <i>Bombus veteranus</i>
Robe vestalis		<i>Bombus bohemicus</i> <i>Bombus sylvestris</i> <i>Bombus vestalis</i>
Robe campestris		<i>Bombus campestris</i>
Robe hypnorum		<i>Bombus hypnorum</i>

Annexe 4 – Espèces végétales observées en juillet 2019 et données de production de pollen et nectar associées

Noms des espèces	Familles végétales	Données de pollen		Données de nectar	
		Volume de pollen par UF (fleur ou capitule) [μl]	Source	Poids de nectar par UF (fleur ou capitule) par jour [μg/fleur/jour]	Source
<i>Achillea millefolium</i> *	Asteraceae	1,128 ± 0,215	Hicks et al. 2016	31,10 ± 2,72	Hicks et al. 2016
<i>Aethusa cynapium</i>	Apiaceae	0,065 ± 0,008	Ce travail	6,94 ± 9,66	Baude et al. 2016
<i>Agrimonia eupatoria</i>	Rosaceae	0,008	Baude 2019	1,37 ± 3,51	Baude et al. 2016
<i>Anthemis cotula</i> *	Asteraceae	NA		NA	
<i>Bellis perennis</i> *	Asteraceae	0,653 ± 0,111	Hicks et al. 2016	51,07 ± 6,29	Hicks et al. 2016
<i>Betonica officinalis</i>	Lamiaceae	NA		NA	
<i>Campanula persicifolia</i>	Campanulaceae	NA		NA	
<i>Campanula rapunculus</i>	Campanulaceae	NA		NA	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Brassicaceae	0,001	Ouvrard 2018	9,05 ± 1,59	Hicks et al. 2016
<i>Carduus crispus</i> *	Asteraceae	NA		NA	
<i>Carduus nutans</i> *	Asteraceae	55,064 ± 10,75	Ce travail	NA	
<i>Centaurea aspera</i> *	Asteraceae	NA		NA	
<i>Cyanus segetum</i> *	Asteraceae	3,534 ± 0,500	Hicks et al. 2016	895,83 ± 174,26	Hicks et al. 2016
<i>Centaurea nigra</i> *	Asteraceae	6,404 ± 2,030	Hicks et al. 2016	1473,81 ± 75,64	Hicks et al. 2016
<i>Centaurea scabiosa</i> *	Asteraceae	NA		NA	
<i>Cerastium fontanum</i>	Caryophyllaceae	0,035 ± 0,002	Hicks et al. 2016	11,59 ± 1,66	Hicks et al. 2016
<i>Chaerophyllum temulum</i>	Apiaceae	NA		NA	
<i>Cichorium intybus</i> *	Asteraceae	NA		NA	
<i>Cirsium arvense</i> *	Asteraceae	0,598 ± 0,210	Hicks et al. 2016	2608,94 ± 239,08	Hicks et al. 2016
<i>Cirsium eriophorum</i> *	Asteraceae	NA		NA	
<i>Cirsium palustre</i> *	Asteraceae	18,949 ± 2,252	Ce travail	7399,64	Baude et al. 2016 ¹
<i>Cirsium vulgare</i> *	Asteraceae	4,780	Baude 2019 ¹	2322,73 ± 417,64	Hicks et al. 2016
<i>Clematis vitalba</i>	Ranunculaceae	0,709	Baude 2019	149,73 ± 154,18	Baude et al. 2016
<i>Clinopodium vulgare</i>	Lamiaceae	NA		NA	
<i>Conium maculatum</i>	Apiaceae	NA		NA	
<i>Convolvulus arvensis</i>	Convolvulaceae	0,354	Baude 2019	351,82 ± 288,29	Baude et al. 2016
<i>Crepis capillaris</i> *	Asteraceae	0,735 ± 0,183	Hicks et al. 2016	225,50 ± 9,70	Baude et al. 2016 ¹
<i>Daucus carota</i>	Apiaceae	0,019 ± 0,003	Hicks et al. 2016	27,18 ± 7,08	Hicks et al. 2016
<i>Digitalis purpurea</i>	Scrophulariaceae	0,410	Baude 2019	1273,88 ± 1237,6	Baude et al. 2016
<i>Dipsacus fullonum</i>	Dipsacaceae	NA		9,00	Timberlake et al. 2019
<i>Epilobium angustifolium</i>	Onagraceae	2,894 ± 0,378	Hicks et al. 2016	941,59	Baude et al. 2016
<i>Epilobium ciliatum</i>	Onagraceae	0,010 ± 0,003	Hicks et al. 2016	144,71 ± 26,62	Hicks et al. 2016
<i>Epilobium hirsutum</i>	Onagraceae	1,467	Baude 2019	323,52 ± 194,35	Baude et al. 2016
<i>Epilobium tetragonum</i>	Onagraceae	0,058	Baude 2019	20,60 ± 17,07	Baude et al. 2016
<i>Ervum gracile</i>	Fabaceae	NA		NA	
<i>Euphorbia helioscopia</i>	Euphorbiaceae	NA		NA	
<i>Filipendula ulmaria</i>	Rosaceae	0,153	Baude 2019	NA	
<i>Fumaria officinalis</i>	Fumariaceae	0,010 ± 0,001	Hicks et al. 2016	21,90 ± 6,62	Hicks et al. 2016
<i>Fumaria vaillantii</i>	Fumariaceae	NA		NA	
<i>Galium aparine</i>	Rubiaceae	0,001	Baude 2019	9,48 ± 3,52	Baude et al. 2016
<i>Galium mollugo</i>	Rubiaceae	0,005 ± 0,002	Hicks et al. 2016	7,06 ± 1,17	Hicks et al. 2016
<i>Galium verum</i>	Rubiaceae	0,009 ± 0,001	Hicks et al. 2016	3,17 ± 0,64	Hicks et al. 2016
<i>Geranium pusillum</i>	Geraniaceae	NA		NA	
<i>Geranium pyrenaicum</i>	Geraniaceae	0,393 ± 0,043	Ce travail	NA	
<i>Geranium robertianum</i>	Geraniaceae	NA		97,79 ± 74,98	Baude et al. 2016
<i>Geum urbanum</i>	Rosaceae	0,212	Baude 2019	29,80 ± 33,88	Baude et al. 2016
<i>Heracleum mantegazzianum</i>	Apiaceae	NA		NA	
<i>Heracleum sphondylium</i>	Apiaceae	0,080	Baude 2019	98,17 ± 80,13	Baude et al. 2016
<i>Hypericum perforatum</i>	Clusiaceae	1,536 ± 0,091	Ce travail	NA	
<i>Jacobaea vulgaris</i> *	Asteraceae	0,940 ± 0,130	Hicks et al. 2016	2921,43 ± 447,65	Hicks et al. 2016
<i>Knautia arvensis</i> *	Dipsacaceae	0,047	Baude 2019 ¹	2194,65	Baude et al. 2016 ¹
<i>Lactuca virosa/serriola</i> *	Asteraceae	NA		NA	
<i>Lamium album</i>	Lamiaceae	0,149	Baude 2019	1043,99 ± 474,61	Baude et al. 2016
<i>Lapsana communis</i> *	Asteraceae	0,331 ± 0,033	Hicks et al. 2016	99,35 ± 7,87	Hicks et al. 2016
<i>Lathyrus pratensis</i>	Fabaceae	0,123	Baude 2019	1878,66	Ouvrard 2018
<i>Leontodon hispidus</i> *	Asteraceae	1,050 ± 0,207	Hicks et al. 2016	NA	
<i>Leontodon saxatilis</i> *	Asteraceae	NA		NA	
<i>Leucanthemum vulgare</i> *	Asteraceae	15,918 ± 2,019	Hicks et al. 2016	515,21 ± 222,17	Hicks et al. 2016
<i>Linaria vulgaris</i>	Scrophulariaceae	0,197	Baude 2019	543,89 ± 329,93	Baude et al. 2016
<i>Lonicera periclymenum</i>	Caprifoliaceae	2,076	Baude 2019	1726,84 ± 716,65	Baude et al. 2016
<i>Lotus corniculatus</i>	Fabaceae	0,146 ± 0,012	Hicks et al. 2016	59,172 ± 5,99	Hicks et al. 2016

<i>Lotus pedunculatus</i>	<i>Fabaceae</i>	0,897	Baude 2019	35,36 ± 30,44	Baude et al. 2016
<i>Lotus tenuis</i>	<i>Fabaceae</i>	NA		NA	
<i>Lysimachia vulgaris</i>	<i>Primulaceae</i>	NA		NA	
<i>Malva moschata</i>	<i>Malvaceae</i>	5,077 ± 1,155	Hicks et al. 2016	540,65 ± 167,79	Hicks et al. 2016
<i>Matricaria chamomilla</i> *	<i>Asteraceae</i>	8,878 ± 0,796	Ce travail	300,00	Baude et al. 2016 ¹
<i>Medicago sativa</i>	<i>Fabaceae</i>	0,061	Baude 2019	146,14 ± 70,90	Baude et al. 2016
<i>Melampyrum arvense</i>	<i>Orobanchaceae</i>	NA		NA	
<i>Myosotis arvensis</i>	<i>Boraginaceae</i>	0,001	Baude 2019	21,83 ± 4,24	Hicks et al. 2016
<i>Ononis spinosa</i>	<i>Fabaceae</i>	NA		NA	
<i>Origanum vulgare</i>	<i>Lamiaceae</i>	0,010 ± 0,001	Hicks et al. 2016	144,07 ± 17,64	Hicks et al. 2016
<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Papaveraceae</i>	13,343 ± 2,813	Hicks et al. 2016	5,35 ± 10,25	Baude et al. 2016
<i>Picris hieracioides</i> *	<i>Asteraceae</i>	NA		NA	
<i>Pimpinella major</i>	<i>Apiaceae</i>	NA		NA	
<i>Podospermum laciniatum</i> *	<i>Asteraceae</i>	NA		NA	
<i>Potentilla anglica</i>	<i>Rosaceae</i>	NA		NA	
<i>Potentilla reptans</i>	<i>Rosaceae</i>	NA		30,85 ± 28,82	Baude et al. 2016
<i>Prunella vulgaris</i>	<i>Lamiaceae</i>	0,031 ± 0,005	Hicks et al. 2016	246,93 ± 21,36	Hicks et al. 2016
<i>Ranunculus spp.</i>	<i>Ranunculaceae</i>	0,911 ± 0,061	Hicks et al. 2016	190,68 ± 37,78	Hicks et al. 2016
<i>Rosa arvensis</i>	<i>Rosaceae</i>	5,242	Baude 2019	NA	
<i>Rubus fruticosus</i>	<i>Rosaceae</i>	1,918 ± 0,091	Ce travail	1892,83 ± 2203,8	Baude et al. 2016
<i>Rubus idaeus</i>	<i>Rosaceae</i>	NA		NA	
<i>Sambucus racemosa</i>	<i>Adoxaceae</i>	NA		NA	
<i>Sedum forsterianum</i>	<i>Crassulaceae</i>	NA		NA	
<i>Selinum carvifolia</i>	<i>Apiaceae</i>	NA		NA	
<i>Senecio squalidus</i> *	<i>Asteraceae</i>	NA		NA	
<i>Silene dioica</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	0,360 ± 0,044	Hicks et al. 2016	144,99 ± 61,98	Hicks et al. 2016
<i>Silene latifolia</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	0,360 ± 0,044	Hicks et al. 2016	144,99 ± 61,98	Hicks et al. 2016
<i>Solanum dulcamara</i>	<i>Solanaceae</i>	0,244	Baude 2019	1,94 ± 1,95	Baude et al. 2016
<i>Sonchus arvensis</i> *	<i>Asteraceae</i>	0,675	Baude 2019 ¹	530,70	Baude et al. 2016 ¹
<i>Sonchus oleraceus</i> *	<i>Asteraceae</i>	1,326 ± 0,256	Hicks et al. 2016	568,84 ± 16,02	Hicks et al. 2016
<i>Stachys sylvatica</i>	<i>Lamiaceae</i>	0,075	Baude 2019	311,11 ± 121,95	Baude et al. 2016
<i>Stellaria graminea</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	0,021 ± 0,005	Hicks et al. 2016	32,16 ± 9,16	Hicks et al. 2016
<i>Taraxacum agg</i> *	<i>Asteraceae</i>	2,823 ± 0,661	Hicks et al. 2016	2137,20 ± 286,43	Hicks et al. 2016
<i>Thymus pulegioides</i>	<i>Lamiaceae</i>	NA		NA	
<i>Torilis arvensis</i>	<i>Apiaceae</i>	NA		NA	
<i>Trifolium dubium</i>	<i>Fabaceae</i>	0,001	Baude 20219	NA	
<i>Trifolium fragiferum</i>	<i>Fabaceae</i>	NA		NA	
<i>Trifolium hybridum</i>	<i>Fabaceae</i>	NA		NA	
<i>Trifolium incarnatum</i>	<i>Fabaceae</i>	0,082	Ouvrard 2018	31,15	Ouvrard 2018
<i>Trifolium pratense</i>	<i>Fabaceae</i>	0,020 ± 0,002	Hicks et al. 2016	48,37 ± 10,84	Hicks et al. 2016
<i>Trifolium repens</i>	<i>Fabaceae</i>	0,028 ± 0,002	Hicks et al. 2016	12,14 ± 8,12	Hicks et al. 2016
<i>Trigonella officinalis</i>	<i>Fabaceae</i>	0,091 ± 0,012	Ce travail	20,17 ± 13,14	Baude et al. 2016
<i>Tripleurospermum inodorum</i> *	<i>Asteraceae</i>	2,955 ± 0,226	Hicks et al. 2016	1415,79 ± 81,68	Hicks et al. 2016
<i>Valeriana officinalis</i>	<i>Valerianaceae</i>	NA		NA	
<i>Verbascum nigrum</i>	<i>Scrofulariaceae</i>	0,700 ± 0,056	Ce travail	NA	
<i>Veronica persica</i>	<i>Plantaginaceae</i>	0,031 ± 0,006	Hicks et al. 2016	31,59 ± 28,87	Baude et al. 2016
<i>Vicia cracca</i>	<i>Fabaceae</i>	0,038 ± 0,008	Hicks et al. 2016	484,40 ± 411,27	Baude et al. 2016
<i>Vicia hirsuta</i>	<i>Fabaceae</i>	0,006 ± 0,004	Hicks et al. 2016	117,61	Ouvrard 2018
<i>Vicia lathyroides</i>	<i>Fabaceae</i>	NA		NA	
<i>Vicia sativa</i>	<i>Fabaceae</i>	NA		300,34 ± 210,54	Baude et al. 2016
<i>Vicia sepium</i>	<i>Fabaceae</i>	NA		117,07 ± 95,63	Baude et al. 2016

* Espèces pour lesquelles une UF correspond à un capitule.

¹ Valeurs de pollen/nectar/fleur empruntées aux travaux de M. Baude et multipliées pour obtenir une valeur de pollen/nectar/capitule.

Annexe 5 – Espèces végétales observées en juillet 2019 dans chacun des sites

Ychippe(1)	Ychippe(2)	Finnevaux	Férage	Halma	Lomprez
<i>Achillea millefolium</i>	<i>Achillea millefolium</i>	<i>Achillea millefolium</i>	<i>Aethusa cynapium</i>	<i>Agrimonia eupatoria</i>	<i>Achillea millefolium</i>
<i>Agrimonia eupatoria</i>	<i>Bellis perennis</i>	<i>Aethusa cynapium</i>	<i>Centaurea nigra</i>	<i>Bellis perennis</i>	<i>Aethusa cynapium</i>
<i>Anthemis cotula</i>	<i>Betonica officinalis</i>	<i>Agrimonia eupatoria</i>	<i>Cirsium arvense</i>	<i>Campanula rapunculus</i>	<i>Agrimonia eupatoria</i>
<i>Campanula rapunculus</i>	<i>Carduus crispus</i>	<i>Bellis perennis</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	<i>Carduus crispus</i>	<i>Bellis perennis</i>
<i>Centaurea nigra</i>	<i>Centaurea aspera</i>	<i>Campanula persicifolia</i>	<i>Clematis vitalba</i>	<i>Centaurea nigra</i>	<i>Capsella bursa-pastoris</i>
<i>Cirsium arvense</i>	<i>Centaurea nigra</i>	<i>Campanula rapunculus</i>	<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Centaurea scabiosa</i>	<i>Centaurea nigra</i>
<i>Cirsium palustre</i>	<i>Chaerophyllum</i>	<i>Carduus nutans</i>	<i>Crepis capillaris</i>	<i>Cerastium fontanum</i>	<i>Centaurea scabiosa</i>
<i>Cirsium vulgare</i>	<i>temulum</i>	<i>Centaurea nigra</i>	<i>Cyanus segetum</i>	<i>Cirsium arvense</i>	<i>Clinopodium vulgare</i>
<i>Clematis vitalba</i>	<i>Cirsium arvense</i>	<i>Cirsium arvense</i>	<i>Geranium robertanum</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	<i>Cichorium intybus</i>
<i>Conium maculatum</i>	<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Cirsium eriophorum</i>	<i>Heracleum</i>	<i>Clematis vitalba</i>	<i>Cirsium arvense</i>
<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Epilobium angustifolium</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	<i>sphondylium</i>	<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Cirsium vulgare</i>
<i>Cyanus segetum</i>	<i>Epilobium tetragonum</i>	<i>Clematis vitalba</i>	<i>Hypericum perforatum</i>	<i>Daucus carota</i>	<i>Convolvulus arvensis</i>
<i>Daucus carota</i>	<i>Fumaria vaillantii</i>	<i>Clinopodium vulgare</i>	<i>Knautia arvensis</i>	<i>Dipsacus fullonum</i>	<i>Crepis capillaris</i>
<i>Digitalis purpurea</i>	<i>Galium aparine</i>	<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Lapsana communis</i>	<i>Epilobium</i>	<i>Cyanus segetum</i>
<i>Epilobium angustifolium</i>	<i>Galium mollugo</i>	<i>Crepis capillaris</i>	<i>Lotus tenuis</i>	<i>angustifolium</i>	<i>Daucus carota</i>
<i>Epilobium hirsutum</i>	<i>Galium verum</i>	<i>Cyanus segetum</i>	<i>Malva moschata</i>	<i>Epilobium ciliatum</i>	<i>Fumaria officinalis</i>
<i>Epilobium tetragonum</i>	<i>Geranium pyrenaicum</i>	<i>Daucus carota</i>	<i>Matricaria chamomilla</i>	<i>Epilobium hirsutum</i>	<i>Galium mollugo</i>
<i>Euphorbia helioscopia</i>	<i>Geranium robertanum</i>	<i>Epilobium angustifolium</i>	<i>Medicago sativa</i>	<i>Epilobium tetragonum</i>	<i>Geranium pusillum</i>
<i>Ervum gracile</i>	<i>Heracleum</i>	<i>Epilobium tetragonum</i>	<i>Origanum vulgare</i>	<i>Filipendula ulmaria</i>	<i>Geranium pyrenaicum</i>
<i>Filipendula ulmaria</i>	<i>mantegazzianum</i>	<i>Euphorbia helioscopia</i>	<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Fumaria officinalis</i>	<i>Geranium robertianum</i>
<i>Galium album</i>	<i>Hypericum perforatum</i>	<i>Galium mollugo</i>	<i>Potentilla reptans</i>	<i>Galium mollugo</i>	<i>Geum urbanum</i>
<i>Geranium pyrenaicum</i>	<i>Jacobaea vulgaris</i>	<i>Galium verum</i>	<i>Ranunculus spp.</i>	<i>Galium verum</i>	<i>Heracleum</i>
<i>Geranium robertanum</i>	<i>Knautia arvensis</i>	<i>Geranium robertianum</i>	<i>Rubus fruticosus</i>	<i>Geranium pusillum</i>	<i>sphondylium</i>
<i>Heracleum sphondylium</i>	<i>Lapsana communis</i>	<i>Heracleum sphondylium</i>	<i>Selinum carvifolia</i>	<i>Geranium pyrenaicum</i>	<i>Hypericum perforatum</i>
<i>Hypericum perforatum</i>	<i>Leontodon saxatilis</i>	<i>Hypericum perforatum</i>	<i>Senecio squalidus</i>	<i>Geranium robertianum</i>	<i>Jacobaea vulgaris</i>
<i>Knautia arvensis</i>	<i>Leucanthemum vulgare</i>	<i>Jacobaea vulgaris</i>	<i>Silene latifolia</i>	<i>Heracleum</i>	<i>Knautia arvensis</i>
<i>Lactuca virosa/serriola</i>	<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Knautia arvensis</i>	<i>Solanum dulcamara</i>	<i>sphondylium</i>	<i>Lamium album</i>
<i>Lapsana communis</i>	<i>Malva moschata</i>	<i>Leontodon taraxacoides</i>	<i>Sonchus arvensis</i>	<i>Hypericum perforatum</i>	<i>Lapsana communis</i>
<i>Lathyrus pratensis</i>	<i>Matricaria chamomilla</i>	<i>Leucanthemum vulgare</i>	<i>Sonchus eleraceus</i>	<i>Jacobaea vulgaris</i>	<i>Leontodon saxatilis</i>
<i>Leucanthemum vulgare</i>	<i>Medicago sativa</i>	<i>Lotus pedunculatus</i>	<i>Trifolium pratense</i>	<i>Knautia arvensis</i>	<i>Lonicera periclymenum</i>
<i>Lotus pedunculatus</i>	<i>Ononis spinosa</i>	<i>Malva moschata</i>	<i>Trifolium repens</i>	<i>Lapsana communis</i>	<i>Leucanthemum vulgare</i>
<i>Malva moschata</i>	<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Matricaria chamomilla</i>	<i>Trigonella officinalis</i>	<i>Leontodon hipsidus</i>	<i>Linaria vulgaris</i>
<i>Matricaria chamomilla</i>	<i>Picris hieracioides</i>	<i>Medicago sativa</i>	<i>Tripleurospermum</i>	<i>Leucanthemum vulgare</i>	<i>Lotus corniculatus</i>
<i>Medicago sativa</i>	<i>Pimpinella major</i>	<i>Melampyrum arvense</i>	<i>inodorum</i>	<i>Linaria vulgaris</i>	<i>malva moschata</i>
<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Podospermum</i>	<i>Ononis spinosa</i>	<i>Veronica persica</i>	<i>Lotus corniculatus</i>	<i>matricaria chamomilla</i>
<i>Pimpinella major</i>	<i>laciniatum</i>	<i>Origanum vulgare</i>	<i>Vicia cracca</i>	<i>Lotus pedunculatus</i>	<i>Medicago sativa</i>
<i>Ranunculus spp.</i>	<i>Potentilla reptans</i>	<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Vicia sepium</i>	<i>Lysimachia vulgaris</i>	<i>Myosotis arvensis</i>
<i>Rubus fruticosus</i>	<i>Prunella vulgaris</i>	<i>Potentilla anglica</i>		<i>Malva moschata</i>	<i>Origanum vulgare</i>
<i>Senecio squalidus</i>	<i>Ranunculus spp.</i>	<i>Potentilla reptans</i>		<i>Matricaria chamomilla</i>	<i>Papaver rhoeas</i>
<i>Sonchus arvensis</i>	<i>Rosa arvensis</i>	<i>Ranunculus spp.</i>		<i>Medicago sativa</i>	<i>Potentilla reptans</i>
<i>Stachys sylvatica</i>	<i>Rubus fruticosus</i>	<i>Rubus fruticosus</i>		<i>Ononis spinosa</i>	<i>Ranunculus spp.</i>
<i>Stellaria graminea</i>	<i>Sambucus racemosa</i>	<i>Rubus idaeus</i>		<i>Origanum vulgare</i>	<i>Rubus fruticosus</i>
<i>Trifolium dubium</i>	<i>Silene dioica</i>	<i>Selinum carvifolia</i>		<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Selinum carvifolia</i>
<i>Trifolium fragiferum</i>	<i>Sonchus eleraceus</i>	<i>Silene latifolia</i>		<i>Potentilla reptans</i>	<i>Silene latifolia</i>
<i>Trifolium hybridum</i>	<i>Stachys sylvatica</i>	<i>Taraxacum spp.</i>		<i>Prunella vulgaris</i>	<i>Sonchus arvensis</i>
<i>Trifolium pratense</i>	<i>Stellaria graminea</i>	<i>Trifolium incarnatum</i>		<i>Ranunculus spp.</i>	<i>Stellaria graminea</i>
<i>Trifolium repens</i>	<i>Trifolium pratense</i>	<i>Trifolium pratense</i>		<i>Rubus fruticosus</i>	<i>Taraxacum spp.</i>
<i>Tripleurospermum</i>	<i>Trifolium repens</i>	<i>Trifolium repens</i>		<i>Sedum forsterianum</i>	<i>Trifolium pratense</i>
<i>inodorum</i>	<i>Tripleurospermum</i>	<i>Tripleurospermum</i>		<i>Selinum carvifolia</i>	<i>Trifolium repens</i>
<i>Verbascum nigrum</i>	<i>inodorum</i>	<i>inodorum</i>		<i>Silene latifolia</i>	<i>Tripleurospermum</i>
<i>Veronica persica</i>	<i>Vicia cracca</i>	<i>Vicia cracca</i>		<i>Stachys sylvatica</i>	<i>inodorum</i>
<i>Vicia cracca</i>				<i>Stellaria graminea</i>	<i>Verbascum nigrum</i>
<i>Vicia hirsuta</i>				<i>Thymus pulegioides</i>	<i>Vicia cracca</i>
				<i>Torilis arvensis</i>	
				<i>Trifolium pratense</i>	
				<i>Trifolium repens</i>	
				<i>Trifolium dubium</i>	
				<i>Tripleurospermum</i>	
				<i>inodorum</i>	
				<i>Trigonalla officinalis</i>	
				<i>Valeriana officinalis</i>	
				<i>Verbascum nigrum</i>	
				<i>Veronica fruticans</i>	
				<i>Veronica persica</i>	
				<i>Vicia cracca</i>	
				<i>Vicia lathyroides</i>	
52 espèces au total	47 espèces au total	50 espèces au total	35 espèces au total	63 espèces au total	51 espèces au total

Annexe 6 – Espèces végétales observées en prairies en juillet 2019 et données de production de pollen et nectar associées

Noms des espèces	Fréquence d'observation [%]	Densité florale [UF/m²]	Production de pollen [µl/m²]	Production de nectar [µg/m²]
<i>Achillea millefolium</i> *	6,25	5,88	6,64	183,0
<i>Campanula rapunculus</i>	1,56	0,28	NA	NA
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	3,13	0,16	0,00	1,4
<i>Centaurea nigra</i> *	6,25	1,16	7,43	1710,8
<i>Cerastium fontanum</i>	1,56	0,04	0,00	0,4
<i>Cichorium intybus</i> *	1,56	0,00	NA	NA
<i>Cirsium arvense</i> *	9,38	0,26	0,16	677,6
<i>Cirsium palustre</i> *	1,56	0,05	1,00	390,6
<i>Cirsium vulgare</i> *	6,25	0,06	0,27	129,6
<i>Conium maculatum</i>	1,56	0,00	NA	NA
<i>Convolvulus arvensis</i>	4,69	0,10	0,03	33,5
<i>Crepis capillaris</i> *	10,94	0,01	0,01	3,2
<i>Daucus carota</i>	1,56	0,06	0,00	1,6
<i>Galium mollugo</i>	3,13	38,82	0,21	274,0
<i>Geranium pyrenaicum</i>	6,25	0,58	0,23	NA
<i>Heracleum sphondylium</i>	10,94	3,78	0,30	370,9
<i>Hypericum perforatum</i>	3,13	0,06	0,09	NA
<i>Jacobaea vulgaris</i> *	1,56	0,00	0,00	4,4
<i>Knautia arvensis</i> *	1,56	0,01	0,00	13,1
<i>Lapsana communis</i> *	1,56	0,02	0,01	1,5
<i>Lathyrus pratensis</i>	1,56	0,00	0,00	5,8
<i>Leontodon hispidus</i> *	4,69	0,01	0,01	NA
<i>Leontodon saxatilis</i> *	7,81	0,00	NA	NA
<i>Leucanthemum vulgare</i> *	10,94	0,15	2,36	76,4
<i>Lotus corniculatus</i>	1,56	0,00	0,00	0,0
<i>Lotus pedunculatus</i>	4,69	1,65	1,48	58,2
<i>Malva moschata</i>	9,38	0,01	0,05	5,6
<i>Matricaria chamomilla</i> *	3,13	0,00	0,01	0,2
<i>Medicago sativa</i>	12,50	1,43	0,09	209,0
<i>Papaver rhoeas</i>	1,56	0,00	0,00	0,0
<i>Potentilla reptans</i>	3,13	0,00	NA	0,1
<i>Prunella vulgaris</i>	1,56	0,00	0,00	0,8
<i>Ranunculus</i> spp.	17,19	0,29	0,26	54,7
<i>Selinum carvifolia</i>	1,56	0,47	NA	NA
<i>Silene latifolia</i>	4,69	0,01	0,00	1,1
<i>Stachys sylvatica</i>	1,56	0,67	0,05	207,7
<i>Stellaria graminea</i>	1,56	0,00	0,00	0,0
<i>Taraxacum agg</i> *	1,56	0,00	0,00	0,2
<i>Trifolium hybridum</i>	1,56	4,19	NA	NA
<i>Trifolium pratense</i>	26,56	3,73	0,07	435,6
<i>Trifolium repens</i>	50,00	22,69	0,65	1111,1
<i>Tripleurospermum inodorum</i> *	7,81	0,47	1,38	662,5
<i>Verbascum nigrum</i>	1,56	0,04	0,02	NA
<i>Vicia cracca</i>	4,69	0,02	0,00	11,6
<i>Vicia hirsuta</i>	1,56	0,61	0,00	71,2
<i>Vicia sativa</i>	1,56	0,02	NA	4,7

* Espèces pour lesquelles une UF correspond à un capitule.

Annexe 7 – Espèces végétales observées en champs en juillet 2019 et données de production de pollen et nectar associées

Noms des espèces	Fréquence d'observation [%]	Densité florale [UF/m ²]	Production de pollen [µl/m ²]	Production de nectar [µg/m ²]
<i>Aethusa cynapium</i>	1,49	0,35	0,023	2,4
<i>Cyanus segetum</i> *	7,46	2,97	10,508	2663,6
<i>Cirsium arvense</i> *	4,48	0,07	0,039	169,7
<i>Convolvulus arvensis</i>	1,49	0,00	0,002	1,5
<i>Daucus carota</i>	1,49	0,07	0,001	1,8
<i>Matricaria chamomilla</i> *	2,99	0,00	0,018	0,6
<i>Medicago sativa</i>	2,99	36,42	2,222	5322,9
<i>Papaver rhoeas</i>	5,97	0,06	0,760	0,3
<i>Sonchus arvensis</i> *	2,99	0,00	0,001	0,6
<i>Tripleurospermum inodorum</i> *	5,97	2,89	8,541	4092,5
<i>Vicia sativa</i>	1,49	0,00	NA	0,4

* Espèces pour lesquelles une UF correspond à un capitule.

Annexe 8 – Espèces végétales observées en bords de prairies en juillet 2019 et données de production de pollen et nectar associées

Noms des espèces	Fréquence d'observation [%]	Densité florale [UF/m ²]	Production de pollen [µl/m ²]	Production de nectar [µg/m ²]
<i>Achillea millefolium</i> *	5,88	0,11	0,13	3,54
<i>Agrimonia eupatoria</i>	11,76	0,00	0,00	0,00
<i>Anthemis cotula</i> *	5,88	0,00	NA	NA
<i>Carduus crispus</i> *	5,88	0,27	NA	NA
<i>Carduus nutans</i> *	5,88	0,01	0,40	NA
<i>Centaurea nigra</i> *	11,76	0,02	0,11	24,45
<i>Chaerophyllum temulum</i>	5,88	0,08	NA	NA
<i>Cirsium arvense</i> *	35,29	3,65	2,19	9535,23
<i>Cirsium palustre</i> *	5,88	0,01	0,12	45,73
<i>Cirsium vulgare</i> *	17,65	0,15	0,70	338,86
<i>Convolvulus arvensis</i>	29,41	0,83	0,29	292,19
<i>Crepis capillaris</i> *	11,76	0,16	0,12	36,98
<i>Daucus carota</i>	5,88	1,64	0,03	44,57
<i>Dipsacus fullonum</i>	11,76	0,30	NA	2,71
<i>Epilobium angustifolium</i>	5,88	3,69	10,67	3470,52
<i>Epilobium hirsutum</i>	5,88	0,00	0,00	0,76
<i>Epilobium tetragonum</i>	11,76	1,15	0,07	23,61
<i>Euphorbia helioscopia</i>	5,88	0,47	NA	NA
<i>Filipendula ulmaria</i>	11,76	85,18	13,03	NA
<i>Fumaria officinalis</i>	5,88	0,94	0,01	20,55
<i>Galium mollugo</i>	11,76	1,69	0,01	11,94
<i>Geranium pyrenaicum</i>	17,65	3,18	1,25	NA
<i>Heracleum sphondylium</i>	5,88	0,34	0,03	33,15
<i>Hypericum perforatum</i>	29,41	2,72	4,18	NA
<i>Jacobaea vulgaris</i> *	5,88	0,02	0,02	47,91
<i>Knautia arvensis</i> *	5,88	0,02	0,00	52,93
<i>Lapsana communis</i> *	23,53	0,23	0,08	22,74
<i>Leontodon hispidus</i> *	5,88	0,07	0,07	NA
<i>Leucanthemum vulgare</i> *	11,76	0,00	0,04	1,44
<i>Linaria vulgaris</i>	11,76	1,10	0,22	596,93
<i>Lotus corniculatus</i>	5,88	0,03	0,00	2,07
<i>Lotus pedunculatus</i>	11,76	0,07	0,07	2,62
<i>Lysimachia vulgaris</i>	5,88	0,01	NA	NA
<i>Malva moschata</i>	11,76	0,06	0,29	30,43
<i>Matricaria chamomilla</i> *	17,65	4,08	36,25	1224,81
<i>Medicago sativa</i>	17,65	43,71	2,67	6388,15
<i>Papaver rhoeas</i>	23,53	0,70	9,34	3,74
<i>Potentilla reptans</i>	11,76	0,03	NA	1,01
<i>Silene latifolia</i>	5,88	2,56	0,30	370,65
<i>Stachys sylvatica</i>	5,88	0,08	0,01	25,34
<i>Stellaria graminea</i>	11,76	0,06	0,00	2,07
<i>Trifolium pratense</i>	35,29	13,46	0,27	1573,18
<i>Trifolium repens</i>	23,53	24,67	0,70	1207,90
<i>Tripleurospermum inodorum</i> *	5,88	0,49	1,45	692,61
<i>Valeriana officinalis</i>	5,88	0,44	NA	NA
<i>Verbascum nigrum</i>	11,76	0,14	0,09	NA
<i>Veronica persica</i>	5,88	0,03	0,00	0,85
<i>Vicia cracca</i>	23,53	1,91	0,07	923,75
<i>Vicia lathyroides</i>	5,88	0,00	NA	NA
<i>Vicia sepium</i>	351,21	0,00	NA	0,00

* Espèces pour lesquelles une UF correspond à un capitule.

Annexe 9 – Espèces végétales observées en bords de champs en juillet 2019 et données de production de pollen et nectar associées

Noms des espèces	Fréquence d'observation [%]	Densité florale [UF/m ²]	Production de pollen [µl/m ²]	Production de nectar [µg/m ²]
<i>Aethusa cynapium</i>	3,33	0,23	0,02	1,60
<i>Centaurea nigra</i> *	3,33	0,10	0,62	143,57
<i>Centaurea scabiosa</i> *	3,33	0,03	NA	NA
<i>Cirsium arvense</i> *	26,67	0,16	0,10	417,45
<i>Cirsium eriophorum</i> *	3,33	0,00	NA	NA
<i>Cirsium vulgare</i> *	3,33	0,00	0,02	8,09
<i>Convolvulus arvensis</i>	26,67	2,16	0,76	759,88
<i>Crepis capillaris</i> *	3,33	0,01	0,01	2,60
<i>Cyanus segetum</i> *	50,00	15,23	53,83	13643,37
<i>Daucus carota</i>	13,33	21,15	0,39	574,86
<i>Epilobium hirsutum</i>	3,33	0,03	0,05	10,50
<i>Euphorbia helioscopia</i>	3,33	0,20	NA	NA
<i>Fumaria officinalis</i>	6,67	1,29	0,01	28,25
<i>Fumaria vaillantii</i>	3,33	0,42	NA	NA
<i>Galium mollugo</i>	6,67	22,31	0,12	157,52
<i>Geranium robertianum</i>	3,33	0,01	NA	0,68
<i>Hypericum perforatum</i>	6,67	0,04	0,05	NA
<i>Knautia arvensis</i> *	3,33	0,02	0,00	35,63
<i>Lapsana communis</i> *	10,00	0,10	0,03	9,63
<i>Leucanthemum vulgare</i> *	3,33	0,03	0,52	16,73
<i>Linaria vulgaris</i>	3,33	0,01	0,00	5,01
<i>Malva moschata</i>	10,00	0,06	0,30	31,77
<i>Matricaria chamomilla</i> *	46,67	26,91	238,94	8074,25
<i>Medicago sativa</i>	10,00	21,51	1,31	3143,84
<i>Myosotis arvensis</i>	3,33	1,13	0,00	24,64
<i>Papaver rhoeas</i>	63,33	1,13	15,09	6,05
<i>Silene latifolia</i>	6,67	0,00	0,00	0,67
<i>Sonchus arvensis</i> *	10,00	0,01	0,01	7,94
<i>Sonchus oleraceus</i> *	3,33	0,01	0,02	6,60
<i>Stachys sylvatica</i>	3,33	0,03	0,00	10,10
<i>Trifolium pratense</i>	6,67	11,65	0,23	1361,25
<i>Trifolium repens</i>	3,33	0,42	0,01	20,43
<i>Tripleurospermum inodorum</i> *	20,00	6,39	18,88	9048,26
<i>Verbascum nigrum</i>	3,33	0,04	0,03	NA
<i>Veronica persica</i>	3,33	0,23	0,01	7,33
<i>Vicia cracca</i>	6,67	0,93	0,04	448,18

* Espèces pour lesquelles une UF correspond à un capitule.

Annexe 10 – Espèces végétales observées en bords de routes en juillet 2019 et données de production de pollen et nectar associées

Noms des espèces	Fréquence d'observation [%]	Densité florale [UF/m²]	Production de pollen [µl/m²]	Production de nectar [µg/m²]
<i>Achillea millefolium</i> *	29,79	48,68	54,92	1513,98
<i>Aethusa cynapium</i>	14,89	12,86	0,84	89,22
<i>Agrimonia eupatoria</i>	10,64	0,39	0,00	0,53
<i>Campanula persicifolia</i>	2,13	0,04	NA	NA
<i>Campanula rapunculus</i>	6,38	0,05	NA	NA
<i>Carduus crispus</i> *	2,13	0,12	NA	NA
<i>Carduus nutans</i> *	2,13	0,00	0,05	NA
<i>Centaurea aspera</i> *	2,13	0,02	NA	NA
<i>Centaurea nigra</i> *	21,28	0,22	1,43	330,13
<i>Centaurea scabiosa</i> *	2,13	0,00	NA	NA
<i>Cirsium arvense</i> *	34,04	0,13	0,08	336,24
<i>Cirsium eriophorum</i> *	4,26	0,00	NA	NA
<i>Cirsium vulgare</i> *	12,77	0,18	0,86	419,50
<i>Clematis vitalba</i>	2,13	0,03	0,02	3,84
<i>Clinopodium vulgare</i>	2,13	0,01	NA	NA
<i>Conium maculatum</i>	2,13	0,02	NA	NA
<i>Convolvulus arvensis</i>	63,83	8,86	3,13	3115,54
<i>Crepis capillaris</i> *	8,51	0,18	0,13	40,42
<i>Cyanus segetum</i> *	10,64	0,02	0,08	19,06
<i>Daucus carota</i>	19,15	18,90	0,35	513,77
<i>Dipsacus fullonum</i>	2,13	0,00	NA	0,01
<i>Epilobium angustifolium</i>	10,64	0,05	0,14	44,06
<i>Epilobium ciliatum</i>	4,26	0,32	0,00	154,52
<i>Epilobium hirsutum</i>	4,26	0,02	0,03	6,75
<i>Epilobium tetragonum</i>	14,89	0,17	0,01	3,41
<i>Ervum gracile</i>	2,13	0,02	NA	NA
<i>Filipendula ulmaria</i>	4,26	22,40	3,43	NA
<i>Galium mollugo</i>	25,53	62,47	0,33	441,03
<i>Galium verum</i>	8,51	32,58	0,31	103,29
<i>Geranium pusillum</i>	6,38	0,02	NA	NA
<i>Geranium pyrenaicum</i>	12,77	0,62	0,24	NA
<i>Geranium robertianum</i>	8,51	0,03	NA	2,59
<i>Heracleum mantegazzianum</i>	2,13	1,10	NA	NA
<i>Heracleum sphondylium</i>	27,66	2,45	0,20	240,83
<i>Hypericum perforatum</i>	25,53	85,79	131,74	NA
<i>Jacobaea vulgaris</i> *	12,77	0,05	0,05	154,40
<i>Knautia arvensis</i> *	17,02	0,08	0,00	181,42
<i>Lactuca virosa/serriola</i> *	4,26	0,01	NA	NA
<i>Lapsana communis</i> *	21,28	0,46	0,15	45,40
<i>Lathyrus pratensis</i>	2,13	0,02	0,00	42,87
<i>Leontodon saxatilis</i> *	2,13	0,00	NA	NA
<i>Leucanthemum vulgare</i> *	2,13	0,01	0,19	6,14
<i>Linaria vulgaris</i>	2,13	0,13	0,03	71,62
<i>Lotus corniculatus</i>	8,51	0,79	0,12	49,02
<i>Lotus pedunculatus</i>	8,51	0,05	0,04	1,75
<i>Lotus tenuis</i>	6,38	0,06	NA	NA
<i>Malva moschata</i>	17,02	0,03	0,16	16,59
<i>Matricaria chamomilla</i> *	27,66	13,60	120,72	4079,35
<i>Melampyrum arvense</i>	2,13	0,01	NA	NA
<i>Ononis spinosa</i>	8,51	0,14	NA	NA
<i>Origanum vulgare</i>	10,64	36,87	0,35	5311,51
<i>Papaver rhoeas</i>	38,30	0,72	9,65	3,87
<i>Picris hieracioides</i> *	2,13	0,27	NA	NA
<i>Pimpinella major</i>	2,13	1,13	NA	NA
<i>Podospermum laciniatum</i> *	2,13	0,01	NA	NA
<i>Potentilla reptans</i>	27,66	0,39	NA	12,17
<i>Prunella vulgaris</i>	2,13	0,22	0,01	54,52
<i>Ranunculus</i> spp.	8,51	0,35	0,32	67,65
<i>Rubus fruticosus</i>	10,64	0,49	0,94	931,55
<i>Selinum carvifolia</i>	10,64	6,17	NA	NA
<i>Senecio squalidus</i> *	6,38	0,08	NA	NA
<i>Silene latifolia</i>	12,77	0,45	0,05	64,65
<i>Sonchus arvensis</i> *	2,13	0,01	0,01	7,47

<i>Sonchus oleraceus</i> *	2,13	0,00	0,01	2,51
<i>Stachys sylvatica</i>	6,38	0,01	0,00	2,52
<i>Stellaria graminea</i>	2,13	0,04	0,00	1,42
<i>Thymus pulegioides</i>	2,13	0,46	NA	NA
<i>Torilis arvensis</i>	4,26	4,04	NA	NA
<i>Trifolium dubium</i>	10,64	38,89	0,04	NA
<i>Trifolium fragiferum</i>	2,13	0,45	NA	NA
<i>Trifolium hybridum</i>	2,13	0,00	NA	NA
<i>Trifolium incarnatum</i>	2,13	0,01	0,00	0,24
<i>Trifolium pratense</i>	19,15	2,41	0,05	282,11
<i>Trifolium repens</i>	14,89	0,76	0,02	37,10
<i>Trigonella officinalis</i>	6,38	4,77	0,43	96,27
<i>Tripleurospermum inodorum</i> *	25,53	0,93	2,73	1310,01
<i>Verbascum nigrum</i>	6,38	0,13	0,09	NA
<i>Veronica persica</i>	4,26	0,05	0,00	1,45
<i>Vicia cracca</i>	25,53	1,63	0,06	788,49
<i>Vicia sepium</i>	2,13	0,00	NA	0,16

* Espèces pour lesquelles une UF correspond à un capitule.

Annexe 11 – Espèces végétales observées en milieux linéaires ligneux en juillet 2019 et données de production de pollen et nectar associées

Noms des espèces	Fréquence d'observation [%]	Densité florale [UF/m ²]	Production de pollen [µl/m ²]	Production de nectar [µg/m ²]
<i>Achillea millefolium</i> *	12	2,82	3,18	87,70
<i>Aethusa cynapium</i>	12	14,36	0,94	99,64
<i>Agrimonia eupatoria</i>	8	0,07	0,00	0,10
<i>Betonica officinalis</i>	4	0,78	NA	NA
<i>Carduus crispus</i> *	4	0,04	NA	NA
<i>Centaurea nigra</i> *	4	0,18	1,14	263,28
<i>Centaurea scabiosa</i> *	4	0,01	NA	NA
<i>Cirsium arvense</i> *	12	0,03	0,02	70,90
<i>Cirsium vulgare</i> *	24	0,01	0,06	31,40
<i>Clematis vitalba</i>	28	2,72	1,93	407,91
<i>Clinopodium vulgare</i>	4	0,16	NA	NA
<i>Convolvulus arvensis</i>	8	0,01	0,00	2,96
<i>Crepis capillaris</i> *	8	0,02	0,02	5,35
<i>Digitalis purpurea</i>	4	0,07	0,03	85,16
<i>Epilobium angustifolium</i>	4	0,01	0,02	5,60
<i>Galium aparine</i>	4	0,49	0,00	4,68
<i>Galium mollugo</i>	4	1,67	0,01	11,80
<i>Galium verum</i>	4	0,09	0,00	0,30
<i>Geranium robertianum</i>	24	0,78	NA	76,19
<i>Geum urbanum</i>	4	0,00	0,00	0,10
<i>Heracleum sphondylium</i>	20	2,86	0,23	280,97
<i>Hypericum perforatum</i>	32	0,34	0,52	NA
<i>Jacobaea vulgaris</i> *	4	0,22	0,21	654,11
<i>Lactuca virosa/serriola</i> *	4	0,01	NA	NA
<i>Lamium album</i>	8	0,00	0,00	2,66
<i>Lapsana communis</i> *	8	0,05	0,02	4,51
<i>Linaria vulgaris</i>	8	0,01	0,00	4,74
<i>Lonicera periclymenum</i>	4	0,00	0,01	7,21
<i>Malva moschata</i>	8	0,00	0,02	1,80
<i>Myosotis arvensis</i>	4	0,02	0,00	0,33
<i>Pimpinella major</i>	4	0,00	NA	NA
<i>Potentilla anglica</i>	4	0,02	NA	NA
<i>Potentilla reptans</i>	4	0,02	NA	0,53
<i>Ranunculus</i> spp.	4	0,01	0,01	1,14
<i>Rosa arvensis</i>	4	0,09	0,49	NA
<i>Rubus fruticosus</i>	76	8,15	15,64	15432,92
<i>Rubus idaeus</i>	4	0,53	NA	NA
<i>Sambucus racemosa</i>	4	0,09	NA	NA
<i>Silene dioica</i>	4	0,02	0,01	2,70
<i>Silene latifolia</i>	8	0,00	0,00	0,31
<i>Solanum dulcamara</i>	4	0,02	0,00	0,04
<i>Stachys sylvatica</i>	8	0,09	0,01	28,72
<i>Stellaria graminea</i>	8	0,01	0,00	0,46
<i>Trifolium dubium</i>	4	12,71	0,01	NA
<i>Trigonella officinalis</i>	4	0,09	0,01	1,75
<i>Tripleurospermum inodorum</i> *	4	0,05	0,16	74,39
<i>Valeriana officinalis</i>	4	0,49	NA	NA
<i>Verbascum nigrum</i>	16	0,12	0,08	NA
<i>Veronica persica</i>	4	0,07	0,00	2,36
<i>Vicia cracca</i>	4	0,29	0,01	141,28

* Espèces pour lesquelles une UF correspond à un capitule.

Annexe 12 – Tableau reprenant les identifications les pelotes de juillet 2019

	Constance (%)	TR (%)	TP (%)	SD (%)	TH (%)	P (%)	HP (%)	M (%)	CA (%)	CP (%)	CC (%)	CN (%)	CS (%)	R (%)	L (%)	O (%)	CCR (%)	B (%)	CE (%)	Rosace ae	Indétermin é (%)
<i>Trifolium repens</i>																					
GTO	95	95	5																		
<i>lapidarius</i>	100	100																			
GTO	98	98	2																		
<i>pascuorum</i>	100	100																			
<i>Melitta</i>	100	100																			
<i>leporina</i>	100	100																			
<i>Apis</i>	100	100																			
<i>mellifera</i>	100	100																			
<i>Trifolium pratense</i>																					
GTO	100		100																		
<i>lapidarius</i>	100		100																		
GTO	100		100																		
<i>pascuorum</i>	60		60	40																	
	40		40		50																10
	77		77																		23
<i>Papaver rhoeas</i>																					
GTO	100					100															
<i>lapidarius</i>	100					100															
GTO	0						100														
<i>terrestris</i>	100					100															
<i>Apis</i>																					
<i>mellifera</i>																					
<i>Medicago sativa</i>																					
GTO	100							100													
<i>terrestris</i>	95							95										5			

Apis mellifera	Cirsium arvense									
	90		10			90				
	Cyanus segetum									
GTO lapidarius	100					100				
	20					20		80		
	2			98		2				
GTO terrestris	4			96		4				
Apis mellifera	100					100				
	Centaurea nigra									
GTO lapidarius	20					75	20			5
GTO lapidarius	Centaurea scabiosa									
	11						11	81	8	
GTO lapidarius	Lotus pedunculatus									
	100							10		
Apis mellifera								0		
	100							10		
								0		
En vol										
GTO terrestris	NA							100		
	NA							100		
	NA							100		
	NA							100		
GTO pascuorum	NA	7					3	47	36	7
	NA	4	42	39		15				

Influences de la composition florale des biotopes en paysages agricoles sur les interactions plantes-pollinisateurs

Dubucq Camille & Laloux Juliette

De nombreuses espèces sont aujourd'hui en déclin, parmi lesquelles des insectes pollinisateurs, indispensables à de nombreuses espèces végétales sauvages et cultivées. Le consensus met en cause une intensification de l'agriculture débutée à l'après-guerre, à la suite de l'augmentation de la population.

L'intérêt de certaines études pour la complémentarité entre différents milieux semi-naturels et naturels composant les paysages agricoles quant aux ressources florales apportées aux populations d'insectes pollinisateurs étant récent, ce mémoire s'inscrit dans la même démarche.

Dès lors, durant le mois de juillet 2019, la composition florale des différents biotopes observés au sein de trois régions biogéographiques de Wallonie (Condroz, Famenne et Calestienne) a été évaluée afin de connaître leur productivité en ressources florales (pollen et nectar). Les influences de ces compositions florales sur les interactions plantes-pollinisateurs ont ensuite été étudiées grâce à des réseaux d'interactions dans le but de savoir quels sont les biotopes les plus utilisés et par quels insectes.

Les bords de prairies s'avèrent être les éléments de paysage les plus visités. Grâce aux Fabaceae d'une part (*Trifolium* spp. et *Medicago sativa*), sources de nectar et de pollen, visitées par une large diversité d'abeilles. Grâce aux Asteraceae d'autre part (*Cirsium arvense*), sources de nectar. Les bords de routes sont les éléments de paysage les plus diversifiés. Dans ce biotope, l'espèce *Origanum vulgare* se démarque par son nombre d'interactions, particulièrement avec des individus d'*Apis mellifera* et des lépidotères. Les parcelles agricoles, soit les prairies et les champs, sont impliquées dans un moindre nombre d'interactions au m². L'espèce *Medicago sativa* attire tous les groupes de pollinisateurs étudiés, en prairies mais surtout en champs où elle est cultivée. Les espèces spontanées *Tripleurospermum inodorum* et *Cyanus segetum* sont particulièrement développées dans les cultures de pois et de féveroles. L'espèce végétale *Rubus fruticosus* est également largement développée à l'échelle du paysage, par sa présence en haies et lisières. Elle apporte pollen, nectar et habitat aux abeilles en juillet, sa floraison s'étalant de mai à août.

En conclusion, en paysages agricoles, les bords de parcelles et de routes sont à favoriser, particulièrement concernant les bords de prairies pour leur attractivité et contribution en Fabaceae, dont la quantité a diminué en parcelles agricoles depuis les années 60.