

## Evaluation de la variation spatio-temporelle des ressources florales dans les paysages agricoles et de leur utilisation par les insectes pollinisateurs

**Auteur :** Langlois, Alban

**Promoteur(s) :** Serusiaux, Emmanuel; Magain, Nicolas

**Faculté :** Faculté des Sciences

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

**Année académique :** 2018-2019

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/7358>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

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

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

---

EVALUATION DE LA VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DES  
RESSOURCES FLORALES DANS LES PAYSAGES AGRICOLES ET DE LEUR  
UTILISATION PAR LES INSECTES POLLINISATEURS



Photo: Maxime GONZE

Mémoire défendu par Alban Langlois dans le but d'obtenir le grade de Master  
en Biologie des Organismes et Ecologie à finalité spécialisée en Biologie de la  
Conservation: Biodiversité et Gestion

Promoteur: Julien Piqueray ; Co-promoteur: Nicolas Magain

Année académique 2018-2019



# Remerciements

En premier lieu, j'adresse ma gratitude envers mon promoteur, Julien Piqueray, pour sa disponibilité, ses enseignements, ses précieux commentaires et corrections ainsi que son soutien tout au long de la progression de ce mémoire.

Je remercie également mon co-promoteur, Nicolas Magain pour ses conseils, son attention et sa relecture

Merci à Anne-Laure Jacquemart pour sa relecture et ses conseils.

Je souhaite remercier Florence Heck pour son aide, et ses explications.

Merci à Maxime Gonze, Vladimir Joassin et Nathan Guillaume de leur aide indispensable sur le terrain, de leur patience et de leurs initiatives.

Merci aux agents de la DNF de nous avoir laissé l'accès à la réserve d'Ychippe.

Merci à Clément Authelet pour son soutien moral pendant la réalisation de ce travail

Ainsi que Flavien Collart, Claude Dopagne et Serge Rouxhe pour leurs conseils et réponses apportées à mes questions.

Merci à ma mère pour son soutien psychologique et ses relectures, merci à ma famille et à mes amis pour leur patience et leur attention.

Merci à Emmanuel Sérusiaux et Anne-Laure Geboes pour leurs conseils.

Merci aux agriculteurs qui ont pris le temps de répondre à mes questions et ceux rencontrés sur le bord des champs ainsi que tous ceux qui nous ont laissé parcourir leurs terres.

Evaluation de la variation spatio-temporelle des ressources florales dans les paysages agricoles et de leur utilisation par les insectes pollinisateurs  
Promoteur : Julien Piqueray ; Co-promotrice : Nicolas Magain  
Natagriwal

## RESUME

La disparition des insectes pollinisateurs est une des nombreuses conséquences de l'intensification de l'agriculture moderne, la simplification des paysages et la disparition des habitats semi-naturels est l'une des principales causes de leur déclin. Les pollinisateurs dépendent en grande partie des ressources produites par les plantes à fleurs pour leur alimentation. Dans des paysages agricoles en mosaïque, la disponibilité en ressource varie dans l'espace mais aussi au cours du temps. Les pollinisateurs utilisent différents habitats à leur disposition dans les paysages pour subvenir à leurs besoins énergétiques au cours de leur vie.

La phénologie des ressources florales pour les pollinisateurs dans les paysages agricoles commence depuis quelques années à être assez bien documentée. Cependant le lien entre l'évolution de la disponibilité en ressources florales au cours des saisons et la structure des communautés de pollinisateurs n'est pas encore bien connue.

Dans le but d'appréhender l'influence des ressources florales dans les paysages agricoles sur leur utilisation par les pollinisateurs, cette étude explore les variations saisonnières de ressources en nectar dans différents paysages en mosaïque, contrastés dans l'intensité des pratiques agricoles. Et analyse l'évolution des communautés de pollinisateurs et leur utilisation des ressources au cours du temps à travers l'étude des réseaux d'interactions.

La relation entre disponibilité en nectar et les choix des pollinisateurs ne s'est pas révélée significative.

Néanmoins l'utilisation des habitats par les pollinisateurs se révèle structurée et évolue au cours du temps. La disponibilité en ressources florales a significativement varié entre les saisons et les différents éléments du paysage. Révélant une baisse de production en mai en l'absence de cultures mellifères et montre l'importance cruciale dans l'approvisionnement en ressource des habitats semi-naturels en avril. Cette étude a permis d'identifier les chaumes de maïs comme une source non négligeable de ressource florale pour les pollinisateurs en début de saison.

Cette étude tente d'apporter des connaissances dans les dynamiques saisonnières et spatiales des communautés de pollinisateurs en vue d'établir d'éventuelles mesures de conservation pour les pollinisateurs.



# Sommaire

.....	1
Evaluation de la variation spatio-temporelle des ressources florales dans les paysages agricoles et de leur utilisation par les insectes pollinisateurs .....	1
Résumé.....	4
Introduction .....	8
1. Déclin de la biodiversité et des pollinisateurs .....	8
2. Les causes du déclin .....	8
3. Crise de la biodiversité en Occident, le contexte agricole .....	9
4. Les principaux pollinisateurs .....	11
5. Dépendance des communautés de pollinisateurs aux structures du paysage: .....	12
6. De la nécessité d'une approche spatiale et temporelle .....	13
Matériel et méthodes .....	15
1. Région d'étude .....	15
2. Sélection des sites .....	16
3. Caractérisation des paysages .....	18
3.1. Description des compartiments étudiés .....	18
3.2. Description du paysage: .....	19
4. Méthodes d'échantillonnage .....	22
4.1. Monitoring des ressources florales .....	22
4.1.1. Cartographie des ressources florales .....	23
4.1.2. Relevés des densités florales .....	23
4.2. Extrapolation des ressources .....	25
4.3. Suivis des pollinisateurs .....	26
4.4. Suivi de colonies de bourdons témoins .....	27
5. Analyses statistiques .....	28
5.1. Ressources florales .....	28
5.2. Caractérisation des réseaux .....	28
5.3. Calcul de la connectance .....	29
5.4. Analyse de la robustness .....	30
6. Analyse de la modularité et complémentarité des ressources florales .....	30
7. Enquête auprès des agriculteurs .....	32
Résultats .....	33
1. Ressources florales .....	33
1.1. Production de nectar .....	33
1. Comparaison des productions de sucres entre compartiments .....	36

2. Abondance et diversité des insectes visiteurs .....	38
3. Visualisation des réseaux d'interaction .....	40
4. Modularité .....	42
5. robustness.....	43
Rapport d'entretiens avec les agriculteurs .....	44
Discussion.....	46
1. Limites de l'étude et contraintes rencontrées .....	46
2. Effet de la variation saisonnière et du paysage sur les ressources florales .....	48
Phénologie des ressources.....	48
3. Influence du contexte agricole.....	50
4. Influence des élément du paysage sur les ressources et les pollinisateurs .....	51
Conclusion.....	52
Bibliographie .....	54

# INTRODUCTION

## 1. DECLIN DE LA BIODIVERSITE ET DES POLLINISATEURS

Nous vivons actuellement une crise écologique sans précédent, la sixième extinction, qualifiée dorénavant « extinction de l'holocène » fait consensus, au moins dans le monde scientifique, "le taux actuel d'extinction des espèces dans le monde est supérieur à la moyenne des 10 derniers millions d'années, et ce taux s'accélère" (IPBES). En Europe 22.7% des espèces sont en danger d'extinction selon l'UICN. Les insectes, représentant pourtant près de 55% de la biodiversité mondiale, risquent de perdre 40% de leur diversité dans les prochaines décennies (Sánchez-Bayo and Wyckhuys, 2019). Ce taxon est d'autant plus touché qu'il contient de nombreuses espèces spécialistes ou dépendantes d'un hôte (Dunn, 2005). En Allemagne les espaces protégés ont vu leur biomasse d'insectes volants diminuer de 75% en 27 ans (Hallmann et al., 2017). Ces disparitions ne sont pas sans conséquence sur les écosystèmes, par exemple sur les oiseaux, dont plus de 60% des espèces ont un régime insectivore (Morse, 1971) mais aussi les plantes à fleurs dont 78% dépendent des pollinisateurs pour leur reproduction en zone tempérée (Ollerton et al., 2011). Sans les insectes les sociétés humaines ne seront pas épargnées pour autant, 35% de la production agricole dépend des pollinisateurs (Klein et al., 2007), la base de notre alimentation repose sur les plantes cultivées (Eilers et al., 2011). Les insectes pollinisateurs et les plantes dont ils dépendent et réciproquement sont vitaux pour l'équilibre des écosystèmes terrestres (Potts et al., 2010). L'étude de l'état de leurs populations, de leurs diversités et de leurs densités peuvent être des indicateurs de l'état général de la biodiversité (Duelli et al., 1999; McGEACH, 1998).

## 2. LES CAUSES DU DECLIN

Plusieurs phénomènes sont responsables de cet effondrement, pouvant interagir ensemble (Potts et al., 2010). Le réchauffement climatique, en provoquant un phénomène de désynchronisation entre la floraison et l'activité des pollinisateurs d'abeilles solitaires du genre *Osmia*, peut entraîner une baisse du succès reproducteur de ces dernières (Schenk et al., 2018). Le réchauffement climatique affecte principalement les espèces spécialistes mais pourra également réduire les disponibilités florales des généralistes (Warren et al. 2001; Memmott et al. 2007). Les espèces invasives et pathogènes seraient la cause de la disparition de l'abeille domestique, tel que l'acarien *Varroa destructor* importé d'Asie, s'attaquant aux couvains de l'abeille domestique et étant lui même vecteur de pathogènes (Le Conte

et al., 2010; Sammataro et al., 2000) ou des champignons du genre *Nosema* chez les bourdons (Cameron et al., 2011), ces pathogènes pouvant se propager dans des populations d'autres espèces d'abeilles sauvages (Vanbergen and Initiative, 2013).

L'usage de pesticides, pourtant retrouvés à des doses sub-létales, influence les capacités de survie des abeilles domestiques (Cresswell, 2011; Henry et al., 2012). Chez les bourdons, la combinaison de plusieurs pesticides ont un impact sur le succès reproducteur, sur le bon développement des larves et l'émergences de nouvelles reines (Gill et al., 2012; Whitehorn et al., 2012) mais aussi sur les densités d'abeilles solitaires (Rundlöf et al., 2015).

La destruction des habitats est une des causes majeures de la disparition des espèces (Pimm and Raven, 2000), L'intensification des pratiques agricoles et la fragmentation des habitats mettent directement en danger des espèces les plus spécialisées (Goulson et al., 2005; Steffan-Dewenter et al., 2002), combiné aux autres facteurs, les espèces les plus persistantes pourraient elles aussi être amenées à disparaître (Cameron et al., 2011; Vanbergen and Initiative, 2013). La destruction des habitats causée par le changement d'utilisation des terres provoque notamment une diminution de la disponibilité et diversité des ressources florales de plantes hôtes et sites de reproduction (Baude et al., 2016; Hendrickx et al., 2007; Kennedy et al., 2013; Kremen et al., 2002; Le Féon et al., 2010; Steffan-Dewenter and Schiele, 2008)

### 3. CRISE DE LA BIODIVERSITE EN OCCIDENT, LE CONTEXTE AGRICOLE

Dans l'espace de l'union européenne près de la moitié des terres est dédiée à la production agricole dont les deux tiers sont des terres arables , (Europa, 2018); Depuis l'antiquité ces paysages ont été transformés par l'activité humaine de manière extensive (Pinhasi et al., 2005), créant et entretenant ainsi une diversité d'habitats, haies, prairies, etc.. qui abritent encore aujourd'hui une importante biodiversité animale et végétale (Holland et al., 2016). Jusqu'à la période préindustrielle, l'agriculture était en majeure partie de subsistance, fortement dépendante du contexte climatique, pédologique mais aussi historique. Une diversité d'espèces interagit et même co-évolue avec l'homme et ses activités (Turcotte et al., 2017), que ce soit en profitant directement des conditions ou des ressources créées par les cultures (messicoles, pollinisateurs) ou de leurs productions (rongeurs, oiseaux, ). Mais également en maintenant l'ouverture des milieux grâce aux pratiques agro-pastorales, l'élevage a su profiter à de nombreuses espèces, (Benton et al., 2003), plus grande diversité d'espèces en Europe. Cette diversité de pratiques s'accompagne inévitablement d'une diversité d'écosystèmes et d'espèces lorsqu'elle est extensive (Bignal and McCracken, 1996).

Mais après la seconde guerre mondiale, les avancées dans le domaine de la chimie et de l'industrie ont révolutionné les pratiques agricoles. En Europe et en Amérique du Nord, de nouvelles politiques

agricoles ont encouragé l'augmentation de la productivité et la production des denrées alimentaires (D. Tilman, 1999). Grâce, entre autres, à l'usage d'engrais minéraux, de pesticides, du développement de variétés cultivées à haut rendement et de la mécanisation, les rendements à l'hectare ont considérablement augmenté. En 40 ans, à partir des années soixante, la production globale de céréales a doublé (Tilman et al., 2002) Dès lors, il a fallu adapter les paysages à ces nouvelles pratiques.

L'intensification de l'agriculture s'est accompagnée d'un remodelage complet des cultures afin de les adapter à ces nouvelles techniques. L'arrachage des haies, le remembrement des parcelles ont conduit à la disparition de nombreux habitats semi-naturels et à l'homogénéisation et la simplification des paysages agricoles (Foley et al., 2005). Le développement de semences plus productives, le labour profond et l'utilisation massive de pesticides, développés contre les adventices et les ravageurs, ont conduit à une baisse de la biodiversité. Que ce soit au niveau des espèces domestiquées ou de la biodiversité associée (espèces colonisant les agroécosystèmes telles que la faune du sol, les adventices). (Robinson and Sutherland, 2002; David Tilman, 1999).

Cette perte de biodiversité peut mettre à terme en danger le fonctionnement des agroécosystèmes. Plusieurs fonctions écologiques au sein des paysages agricoles dépendent de la biodiversité, telles que la production de biomasse, les flux de matière et de nutriments, la prédation et la pollinisation (Hooper et al., 2005).

Depuis quelques années, les problématiques liées aux systèmes agricoles sont devenues des sujets de préoccupation de plus en plus importants. Face à la dégradation des sols, à l'eutrophisation des milieux, les politiques européennes développent des mesures pour tenter de limiter l'impact de l'agriculture industrielle (Brouwer and Ittersum, 2010; Ghazoul, 2005). Face à l'érosion de la biodiversité, des mesures de protection d'espèces sont mises en place au niveau national et européen. Les risques ne sont pas seulement liés à la disparition d'espèces ou de populations, mais surtout à une diminution des effectifs globaux de certains taxons, notamment des pollinisateurs. Cette baisse de biomasse et de diversités d'espèces menace l'équilibre des écosystèmes et risque de compromettre leur résilience sur le plus long terme.

Bien que globalement le nombre de ruches d'abeilles domestiques soit en augmentation, les effectifs de ces pollinisateurs ne sont plus suffisants pour subvenir aux besoins de pollinisations des cultures (Aizen et al., 2008). En Europe les populations diminuent en nombre, ainsi que ceux des pollinisateurs les plus communs (Boudons, Osmie, Syrphes)(Potts et al., 2010). Le recul de leurs effectifs met en danger, non seulement l'équilibre des écosystèmes mais aussi notre agriculture (Vanbergen et al., 2013). Pour préserver la stabilité des écosystèmes et donc des services éco

systémiques, la stratégie serait de favoriser un haut niveau de diversités en espèces pour permettre une complémentarité fonctionnelle à différentes périodes de l'année et à différents endroits, mais aussi de permettre une redondance fonctionnelle en prévision des changements environnementaux globaux (Isbell et al., 2011). La stabilité des services de pollinisation peut être favorisée en maintenant une diversité d'habitats pour les pollinisateurs (Wratten et al., 2012). La diversité des pollinisateurs peut, quant à elle, être favorisée en conservant une diversité d'espèces végétales afin de permettre une complémentarité temporelle et spatiale d'approvisionnement en ressource florale (Blüthgen and Klein, 2011; Sutter et al., 2017).

#### 4. LES PRINCIPAUX POLLINISATEURS

Les principaux pollinisateurs sont les abeilles du clade Anthophila, comptabilisant plus de 2000 espèces en Europe dont 400 en Belgique sur les 20000 répertoriées à travers le monde. Ce clade regroupe les abeilles dites solitaires (groupe polyphylétique) comprenant les *Mettilidae*, les *Andrenidae*, *Halictidae*, *Colletidae*, *Stenotridae* (Exclusivement Australien) et *Megachillidae* mais aussi les sous-familles des *Xylocopinae* et *Nomadinae* appartenant à la famille des *Apidae*. Ainsi que les abeilles eusociales du genre *Apis* spp. et *Bombus* spp *Apidae* dont font partie les bourdons. 30 espèces de bourdons sont recensées en Belgique (Rasmont P. & Pauly A., 2010).

L'alimentation de ces taxons est tirée des végétaux, afin de subvenir à leurs besoins énergétiques et pour le développement des larves, les individus matures vont collecter du pollen, nectar et miellat (ce terme désigne à la fois le produit excrété par certains hémiptères et celui excrété par l'exsudation de certains végétaux). A l'exception des espèces clepto-parasites, les abeilles transforment une partie de leur récolte en produits dérivés: miel, cire ou gelée royale, destinés au développement du couvain (Michener 2007). Le pollen permet aux abeilles de se procurer la majorité de leurs besoins en protéines et lipides alors que le nectar est plutôt une source de glucides (Vaudo et al., 2015). Pour permettre le développement d'une colonie de quelques dizaines voir centaines d'individus pour les colonies du genre *Bombus* à plusieurs dizaines de milliers d'individus chez *Apis mellifera*, les besoins en ressources florales des *Apidae* sociaux peuvent être considérables,. La distance moyenne de recherche de nourriture dépend des espèces et de leurs tailles (Greenleaf et al., 2007) et de trop longues distances de recherche de nourriture peuvent avoir un impact sur la descendance (Zurbuchen et al., 2010). Cependant tous les pollinisateurs ne butinent pas toutes les fleurs disponibles, chaque espèce a un comportement alimentaire différent qui varie au cours du temps en fonction des besoins de la colonie (Vaudo et al., 2018) mais aussi de la quantité et la diversité de ressources disponibles (Mandelik et al., 2012; Somme et al., 2015).

Dans le cas de taxons dépendant de relations mutualistes comme les insectes pollinisateurs, il est nécessaire d'étudier les plantes à fleurs qu'ils butinent (Menz et al., 2011).

## 5. DEPENDANCE DES COMMUNAUTES DE POLLINISATEURS AUX STRUCTURES DU PAYSAGE:

Selon le contexte agricole et l'intensité de production qui y est pratiqué, les paysages agricoles sont constitués d'une diversité d'habitats très différents composés d'assemblage d'espèces végétales différentes selon les conditions abiotiques, biotiques et anthropique qui peuvent se côtoyer dans des espaces relativement réduits. Les milieux semi-naturels, définis comme les milieux créés par l'activité humaine dans lequel, seule la structure de la végétation est déterminée délibérément par l'homme. Par exemple, la forêt est remplacée par un pré de fauche ou par une lande. Mais les espèces de plantes qui y poussent et les animaux sauvages qui l'occupent ne sont pas introduits délibérément par l'homme, ils s'y installent spontanément. Bocages, haies, forêts, bosquets, mares, fossés, prairies humides ou sèches, cette diversité de milieu est directement ou indirectement liée aux pratiques agricoles actuelles et passées, ce qui les caractérisent. Tous ces milieux n'offrent pas les mêmes ressources aux insectes pollinisateurs, du fait de leur composition et abondance en ressources florales diverses (Cole et al., 2017; Öckinger and Smith). Les cultures peuvent également profiter aux pollinisateurs en offrant des ressources florales parfois abondantes dans le cas des cultures entomophiles (Holzschuh et al., 2013; Westphal et al., 2003). L'importance relative des différents éléments d'un paysage agricole varie au cours des saisons et en fonction des pratiques agricoles que ces milieux vont recevoir (fauche, récolte, labour, etc.). Un paysage agricole ne se limite pas à une matrice d'habitats hostiles et favorables, la plupart des éléments du paysage pouvant supporter une certaine biodiversité, au moins de manière temporaire, comme une culture entomophile par exemple. Les pollinisateurs, par nature, très mobiles sont capables de rechercher les ressources dont ils ont besoins dans les différents éléments des paysages. L'inhérente mobilité des insectes pollinisateurs est un avantage considérable dans des milieux hétérogènes et leur confère la possibilité de surmonter la plupart des obstacles physiques. Cet avantage leur permet de compenser les fluctuations d'abondance de la source de leur alimentation : les fleurs. Les pollinisateurs peuvent utiliser différentes ressources présentes dans différents éléments du paysage au cours du temps, à l'échelle d'un paysage ces éléments vont donc se compléter spatialement et temporellement par les floraisons successives des différentes espèces qui les composent.

La qualité des milieux, influence aussi la quantité et diversité de ressources florales qu'il va pouvoir procurer. Ainsi, les cultures gérées intensivement offriront moins de ressources sous forme

d'adventices (Stoate et al., 2001). De même pour les prairies ou pâturages, l'augmentation de la charge de bétail, d'apport en engrais ou de la fréquence des fauches vont influencer les communautés végétales et donc la nature des ressources florales. (Le Féon et al., 2010; Sjödin et al., 2007).

Généralement, les parcelles gérées de manière moins intensives auront tendance à être plus favorables aux populations d'insectes pollinisateurs (Batáry et al., 2011; Holzschuh et al., 2007; Roschewitz et al., 2005a).

## 6. DE LA NECESSITE D'UNE APPROCHE SPATIALE ET TEMPORELLE

L'étude des pollinisateurs dans leurs milieux naturels est essentielle pour comprendre quels sont les facteurs de leur déclin et de nombreuses études ont analysé l'effet des pratiques agricoles sur la diversité des pollinisateurs et sur leur abondance. En comparant différentes parcelles en fonction de l'intensité des pratiques agricoles (Bengtsson et al., 2005; Clough et al., 2014; Holzschuh et al., 2010), ou bien l'influence des pratiques agricoles sur les disponibilités en ressources ou habitats favorables (Dicks et al., 2015; Hicks et al., 2016). D'autres approches consistent à comparer l'évolution des pratiques agricoles à large échelle et l'état des populations de pollinisateurs (pourcentage total en milieu semi-naturels) (Garibaldi et al., 2011; Winfree et al., 2009). D'autres études se placent dans des gradients paysagers faisant varier la proportion d'un seul type de milieu semi-naturels (Holzschuh et al., 2010; Hopfenmüller et al., 2014; Mandelik et al., 2012), ou bien se concentrent sur une espèce particulière (Requier, 2015; Williams et al., 2012). L'effet de complémentarité entre plusieurs types de milieux semi-naturels et naturels composant les paysages agricoles au cours du temps, mais aussi l'effet relatif de ces différents milieux sur les communautés et les réseaux qui les structurent n'ont été étudiés que plus récemment (Cole et al., 2017; Moreira et al., 2015; Romain Carrié et al., 2016; Timberlake et al., 2019). Ces approches apportent des informations fondamentales afin d'évaluer l'importance relative des éléments composant les paysages agricoles et des espèces qui les composent. Cependant l'effet de la disponibilité en ressources sur les communautés de pollinisateurs à l'échelle du paysage n'est pas encore bien connue. L'objectif de ce mémoire est de contribuer à l'apport de connaissances pour le développement d'éventuelles mesures de conservation à l'échelle du paysage.

Dans un contexte de polyculture et élevage en région Wallonne, l'objectif de ce mémoire est (1) d'identifier les ressources florales présentes, leurs contributions relatives et leurs disponibilités à l'échelle du paysage ainsi que leurs évolutions au cours du temps. (2) D'évaluer comment ces

ressources se répartissent dans les éléments du paysage. Puis d'évaluer quelles influences ces ressources ont sur les communautés de pollinisateurs et comment ces derniers utilisent les différents éléments des paysages.

# MATERIEL ET METHODES

## 1. REGION D'ETUDE

L'étude a été réalisée dans la Région de Dinant-Ciney-Rochefort dans la province de Namur.

Six sites d'étude d'un kilomètre de rayon ont été sélectionnés dans les 3 régions biogéographiques étudiées dans le cadre de ce mémoire: 2 dans le Condroz, 2 en Fagne-Famenne et 2 en Calestienne. Ces trois régions présentent un contexte agricole de polyculture et d'élevage en différentes proportions ainsi qu'un couvert forestier lui aussi variable.

Les six sites étudiés se répartissent sur 3 régions biogéographiques.

Deux des sites d'études ont été placés à la limite sud du Condroz. Cette région est caractérisée par une succession de crêtes appelées "tiges" et dépressions appelées "chavées". On retrouve les cultures sur les sommets limoneux et les pentes douces des versants. Les prairies et pâtures, occupent 24% du territoire et se situent généralement dans les fonds plus humides des chavées et les pentes trop abruptes (Castiau, et al. 2011).

Les cultures représentent près de 35% du territoire et sont dominées par les céréales: froment et escourgeon. Le maïs fourrager, la betterave sucrière et le colza sont également cultivés. D'autres cultures sont, en moindre mesure aussi pratiquées et se retrouvent sur les sites comme : la pomme de terre, le lin et le trèfle.

**La dépression Fagne-Famenne** creusée dans les schistes, occupée à moins de 10% par des cultures, est dominée par des forêts (64%), prairies et pâturages (27%). Au sud, la **bande calcaire de la Calestienne**, possède un sol limoneux-caillouteux à charge calcaire, son faciès présente des paysages de replats dominés par les prairies et pâturages (33%). Des boisements sont présents sur les tiennes (48%) tandis que des cultures (17%) s'étendent sur les zones les plus planes. (Castiau, et al. 2011)

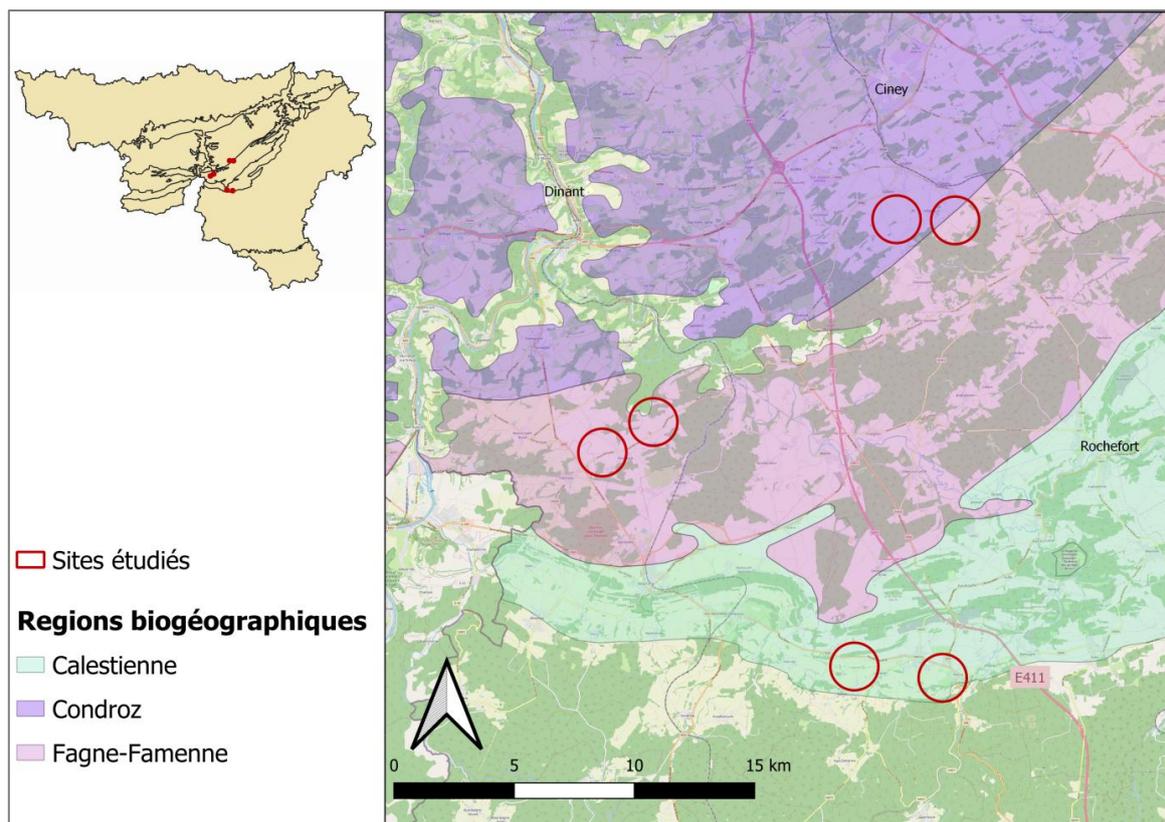


FIGURE 1: EMPRISE DES SITES ETUDIÉS ET REGIONS BIOGEOGRAPHIQUES WALLONNES

## 2. SELECTION DES SITES

Les sites d'études ont été choisis sur bases du parcellaire agricole 2018 fournis par l'asbl Natagriwal, ils ont été choisis de manière à rencontrer plusieurs conditions : ils devaient représenter le contexte agricole de la région en termes d'occupation du sol pour l'élevage et les cultures. Par région, les deux sites devaient se distinguer l'un de l'autre par l'application de pratiques agricoles plus ou moins extensives, le critère choisi permettant de représenter ce contraste était la présence ou l'absence des Mesures Agro Environnementales et Climatique MC4 (Prairies hautes valeur biologique) et MB2 (Prairies naturelles) et d'Unités de Gestions zones Natura 2000 UG2 (Milieux ouverts prioritaires), UG3 (Prairies d'habitat d'espèces), et UGTemp1 (Zones sous statut de protection).

Par souci de compréhension, ces sites seront nommés par la région dans laquelle ils se situent suivi de "I" pour les sites contrastés avec MAEC et "II" pour les sites simples sans MAEC.

Dans le cadre de cette étude, les milieux forestiers et urbanisés ont été volontairement exclus, les proportions de ces milieux sont donc sous-représentés dans les sites d'étude afin de se focaliser sur les agricoles.

Bien que situés à la limite sud du plateau condrusien, les deux sites **Condroz I** et **Condroz II** ont une composition du sol qui reste en relation avec le socle géologique de schiste calcaire et grès du reste de la région.

### 3. CARACTÉRISATION DES PAYSAGES

#### 3.1. DESCRIPTION DES COMPARTIMENTS ETUDIÉS

Les éléments des paysages étudiés ont été regroupés en 10 compartiments regroupant des conditions de traitement similaires et une flore caractéristique:

- Haie. Ont été considérés comme tels tout alignement de ligneux ainsi que la flore herbacée profitant des conditions que ces dernières procurent.
- Lisière. Ont été regroupés dans ce compartiment les ligneux qui le constituent ainsi que les espèces herbacées présentes dans l'ourlet.
- Prairie. Dans ce compartiment ont été regroupées les parcelles déclarées sur le parcellaire 2018 en prairie temporaire et les prairies de fauches déclarées en prairies permanentes et n'accueillant pas de bétail en première exploitation .
- Prairies extensives. Dans ce compartiment ont été regroupées les parcelles déclarées en prairie permanente et bénéficiant de mesures agro-environnementales MB2 et MC4 (Natagriwal), ces mesures consistent en un enrichissement du sol restreint et un fauche tardive après le 1er Juillet.
- Pâtures. Ce compartiment regroupe toute parcelle accueillant du bétail en 1ère exploitation, elles sont officiellement désignées en tant que prairie permanente.
- Pâtures extensives, Ce compartiment regroupe les parcelles déclarées en prairie permanente et bénéficiant de mesures agro-environnementales (MB2), ces mesures consistent en une faible charge de bétail limitée entre le 16 Juin et 15 aout et une fertilisation limitée aux effluents d'élevages.
- Culture. Dans ce compartiment ont été regroupées toutes les cultures possédant une ressource florale, spontanée (adventices) ou cultivée (colza, lin).

- Chaume. Ce compartiment regroupe les chaumes de maïs laissés pendant l'hiver, et dans lesquels une flore spontanée s'est développée.
- Bord de route. Dans ce compartiment ont été regroupés les fossés et talus bordant les chemins et routes ainsi que toute bande herbeuse présente aux abords d'un chemin ou d'une route. Si une haie borde une route, la flore sera toutefois considérée comme appartenant au compartiment « Haie ».
- Bords de champ. Ce compartiment regroupe la flore présente sur les zones non-travaillées et non traitées parfois présentes à la frontière de deux parcelles, ce compartiment n'a pas fait l'objet d'observations d'insectes.
- Autre. Dans ce compartiment ont été regroupés les éléments ne rentrant dans aucune autre catégorie; les friches, arbres isolés, bords de mares et ruisseaux ainsi que les jardins et pépinières.

### 3.2. DESCRIPTION DU PAYSAGE:

A partir des données du parcellaire agricole 2018, des MAEC 2018 et Natura2000, une couche shapefile polygone reproduisant l'emprise au sol de chaque parcelle agricoles pour chacun des sites a été réalisée sur QGIS Development Team, 2018. QGIS 3.1 Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation.

Cette couche reprend le type de couvert du sol : Terre arable, Prairie permanente et Prairie temporaire. Les cultures déclarées pour l'année 2018, le type de mesures agro-environnementales dont elles bénéficient ainsi que le type d'agriculture pratiqué, conventionnel ou biologique.

Une seconde couche shapefile ligne a été dessinée à l'aide de l'orthophoto2018 ("Orthophotos 2018 | Géoportail de la Wallonie," n.d.) et du parcellaire 2018, cette couche reproduit les éléments linéaires du paysage que sont les haies, bords de route et lisières.

Pour simplifier, dans ce document, un "élément" du paysage désignera une haie, une parcelle agricole, une lisière, etc... délimité spatialement et identifié dans l'un des compartiments cités au point 3.1. sur base du parcellaire 2018 et de l'orthophoto 2018.

Ce travail de cartographie numérique des sites a été suivi d'une validation sur le terrain et de l'identification des cultures plantées pour l'année 2019. Ce premier travail a été réalisé le 22 mars, avant le début de la première session d'échantillonnage le 1er Avril. De ce fait, il était impossible de

répertorier la nature de certaines cultures à venir, et ces informations ont été complétées au cours des sessions d'échantillonnages dès que l'identification du type de culture fut possible.

A partir de ces données cartographiques, différentes variables paysagères ont été décrites pour chaque site : Taille moyenne des parcelles, densité des linéaires, proportions des différents compartiments.

Les différents compartiments précités sont préalablement identifiés sur base du parcellaire 2018, l'orthophoto 2018 (Wallonmap) et d'un repérage *in situ*.

Le Tableau 1 reprend les différentes proportions des compartiments au sein de chaque site, les éléments linéaires (haie, lisières et bord de route) ont été calculés en densité de linéaire par hectare.

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
Foret	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

#### 4. METHODES D'ECHANTILLONNAGE

Le monitoring des ressources florales et des interactions plantes-pollinisateurs s'est déroulé du 1er avril 2019 au 3 juillet 2019. Au total, sur l'ensemble des six sites d'études et des trois saisons d'échantillonnages, 4539 ha ont été surveillés. La première session s'étendait du 1/04/2019 au 18/04/2019, la deuxième session du 23/04/2019 au 14/05/2019 et la troisième du 12/06/2019 au 3/07/2019. Les collectes de données ont été effectuées par trois observateurs pour les deux premières sessions: Nathan Guillaume stagiaire du 1/04/19 au 20/05/19 à l'UCL, étudiant en M1 BEE à l'Université de Lille, Vladimir Joassin, stagiaire du 08/04/19 au 31/05/19, étudiant M2 gestion des forêts et milieux naturels à la faculté de Gembloux Agro Biotech et Alban Langlois. Et deux observateurs pour la troisième: Maxime Gonze technicien chez Natagriwal et présent sur le terrain du 12/06/19 au 3/07/19 et Alban Langlois.

L'échantillonnage des données se subdivise en trois parties: le monitoring des interactions fleurs/insectes visiteurs, la cartographie des ressources florales et l'estimation des densités florales. Pour effectuer la totalité de ces relevés sur un site, deux journées minimum sont nécessaires par site. Pour éviter des biais liés au décalage phénologique, les trois étapes d'échantillonnage ont été, autant que possible, regroupées par région, l'ensemble de l'échantillonnage a été réalisé pour les deux sites d'une région comme suit :

- 1er Jour: Cartographie des ressources florales sur le 1er site + transects d'observation plante/insecte
- 2ème Jour: Cartographie des ressources florales sur le 2ème site + transects d'observation plante/insecte
- 3ème Jour: estimation des densités florales sur le 1er site + transects d'observation plante/insecte
- 4ème jour: estimation des densités florales sur le 2ème site + transects d'observation plante/insecte

##### 4.1. MONITORING DES RESSOURCES FLORALES

Cette étape a été réalisée en premier lieu lors de chacune des trois sessions d'échantillonnage, elle a permis d'initier les deux étapes suivantes qui étaient : l'estimation des densités florales et l'observation des interactions insectes visiteurs/fleurs. Cette première étape permet également de réaliser une identification préalable des espèces en fleurs au moment du monitoring et de localiser les principales populations florales.

#### 4.1.1. CARTOGRAPHIE DES RESSOURCES FLORALES

Cette étape consistait à cartographier les ressources florales présentes à chaque session d'échantillonnage, l'objectif était de réaliser un inventaire exhaustif des espèces en fleurs au moment de l'échantillonnage et de rendre compte de leur répartition réelle au sein de chaque site étudié.

A l'aide d'une impression de l'orthophoto 2018 du site d'étude reprenant les limites parcellaires, l'observateur a répertorié, identifié et localisé chaque espèce en fleur. Il a reproduit sur le fond de carte l'espace qu'elles occupaient ainsi que le compartiment où elles se situaient, en prenant soin de différencier qu'une espèce se répartissait sur l'ensemble d'un élément du paysage ou sur une partie seulement.

Les identifications ont été réalisées à l'aide de guides botaniques et (Streeter et al. 2017; Jacquemart et Deschamps, 2018).

Lors de chaque session, l'observateur a suivi, dans la mesure du possible, le même itinéraire qu'à la session précédente, afin de prospecter toujours les mêmes éléments du paysage d'une saison à l'autre. La présence de "zones d'ombres" non prospectées était donc possible, mais constante d'une session à l'autre afin de garder un effort d'échantillonnage équivalent.

L'encodage de la cartographie des ressources florales a été réalisé sur Qgis à l'aide de 3 shapefiles :

Un shapefile polygone pour les espèces florales occupant les compartiments surfaciques (prairie, prairie extensive, pâture, pâture extensive et culture), un shapefile ligne pour les espèces occupant des compartiments linéaires (bord de route/champ, lisière, haie) et un shapefile point pour les espèces en fleurs ayant un port arboré, hormis pour certains individus de *Prunus spinosa* et *Salix spp.*, qui étaient trop denses pour être répertoriés individuellement et ont donc été encodés dans le shapefile ligne .

Dans ce document, un "patch" désignera la surface et la localisation d'une espèce floristique répertoriée dans un élément. De ce fait, un élément pourra contenir plusieurs patches pour autant d'espèces différentes répertoriées sur le terrain dans cet élément.

Les éléments du paysages des sites étudiés qui n'ont pu être prospectés lors des échantillonnages ne sont pas pris en compte lors des analyses et la surface réellement étudiée a été recalculée pour rétablir les proportions.

#### 4.1.2. RELEVES DES DENSITES FLORALES

A partir de la cartographie des ressources précédemment réalisée, le placement des quadrats a été réalisé à l'aide de Qgis en sélectionnant aléatoirement 2 patches par espèce en fleur trouvée par compartiment et par site.



## 4.2. EXTRAPOLATION DES RESSOURCES

A partir de la cartographie des ressources encodées sur Qgis décrite au point 4.1.1, les surfaces de recouvrement de chaque espèce dans chaque type de milieu ont été calculées directement à l'aide du logiciel pour les espèces occupant les éléments surfaciques.

Pour les espèces occupant les éléments linéaires, les surfaces de recouvrement ont été calculées en multipliant la longueur de chaque élément linéaire par une largeur moyenne relevée sur le terrain, correspondant au compartiment de l'élément. Ces largeurs sont: 1.20m pour les bords de route, 1m pour les bords de champ, 3.5m pour les haies et 3m pour les lisières.

Pour les ligneux, afin de représenter au mieux le volume occupé par les fleurs et de ne pas surestimer les densités florales. Le volume cubique de la houpe a été calculé à partir des formules décrites ci-dessous.

Le port de l'arbre étant différent en fonction du son milieu ainsi que la répartition de ses fleurs, une formule différente est appliquée pour chaque compartiment.

Haie: 3 faces  $(L \times l \times h) - (L \times (l-2) \times (h-1))$

Lisière: 2 faces  $(L \times l \times h) - (L \times (l-1) \times (h-1))$

Isolé: 5 faces  $(L \times l \times h) - ((L-2) \times (l-2) \times (h-1))$

L= Longueur, l= largeur, h=hauteur

Les valeurs de densité florales ont été calculées à partir des moyennes de densité relevées par espèce pour chaque compartiment et saison où elle a été relevée.

Pour estimer les productions journalières de ressources florales, des données de production de sucres par unité florale et par jour ont été reprises d'études réalisées par Thomas Timberlake (non publié), Mathilde Baude et Pierre Ouvrard (Baude et al., 2016; Ouvrard et al., 2018), ces données compilent une liste de 297 espèces végétales accompagnées d'une valeur de rendement journalier de sucres par unité florale (UF), exprimée en  $\mu\text{g}/\text{UF}/\text{jour}$ .

Ces données ont couvert la majorité des espèces inventoriées lors des échantillonnages, certaines n'étaient pas répertoriées dans ces données et n'ont donc pas été prises en compte Annexe 3

Pour chaque patch correspondant à une espèce a été attribuée une valeur de rendement floral de sucres qui a été calculée par le produit de la densité florale avec le rendement journalier par UF exprimé en  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{J}$ .

Une valeur de production a été attribuée à chaque patch en multipliant le rendement par la surface du patch exprimé en  $\mu\text{g}/\text{J}$ .

Ensuite, des valeurs de rendement (R) et de production (P) ont été attribuées à chaque élément en calculant la somme des rendements et des productions de chaque patch repertorié dans l'élément.

La production quotidienne en sucres d'un élément dépendra donc de la nature du compartiment, du nombre d'espèces qu'on y retrouve et de la surface qu'elles occupent.

Les valeurs de rendement florale ne prennent en compte que les surfaces fleuries, le rendement réel par unité de surface de l'élément est donc surestimé.

Une valeur de rendement globale (Rg) a été également calculée à l'échelle du site par compartiment en divisant la somme des productions florales d'un compartiment par la surface totale occupée par ce compartiment dans un site.

En comparant les différences de valeurs de rendement globales et les florales à l'aide de l'équation (1), il est possible d'estimer relativement si la répartition des ressources est localisée sur une plus petite surface ou bien répartie de manière plus homogène. La valeur I est calculée pour chaque site

$$I = 1 + \frac{Rg - Rf}{Rg + Rf}$$

Avec  $Rf$ : Rendement floral du site n,  $Rf = \sum(R_{\text{patch}} \times \text{surface}_{\text{patch}})$

$Rg$ : Rendement global du site n,  $Rg = \sum(P_{\text{compartiment}}/\text{surface}_{\text{compartiment}})$

La valeur I s'étend de 0 lorsque la surface d'occupation des espèces en fleurs est nulle et 1 lorsque les espèces en fleurs occupent toute la surface de chaque élément d'un site.

#### 4.3. SUIVIS DES POLLINISATEURS

Afin d'évaluer l'abondance et la diversité des insectes visiteurs et de connaître les ressources florales qu'ils prospectent, des transects d'observations de 100m ont été placés dans chaque compartiment définis au point 3.1, lorsque ceux-ci étaient présents dans le site d'étude. Aucun transect n'a été réalisé pour les compartiments "Autre" et "Bord de champ".

L'emplacement des transects a été choisi de manière dirigée au début de la première session d'échantillonnage afin d'englober des ressources florales différentes et représentatives pour chacun des compartiments. L'emplacement de ces transects a été conservé pour les trois sessions d'échantillonnages sauf dans les cas d'une absence de ressource florale au moment de l'observation. Dans la mesure du possible, les transects d'observations ont été réalisés dans la même période que la cartographie des ressources et l'estimation des densités florales, tel que décrit au point 2.1. . L'activité des insectes dépend grandement du moment de la journée et des conditions climatiques. Afin d'éviter ce biais, l'ordre des transects a été choisi aléatoirement. Cependant, tous les transects

n'ont pas bénéficié des conditions climatiques équivalentes, ce biais a été pris en considération dans l'interprétation des résultats.

Le détail du calendrier des transects est visible dans l'**Annexe 1**. Certains transects n'ont pu être réalisés faute de ressources florales ou bien dans le cas des prairies, bord de route et chaumes, si les compartiments venaient d'être labourés ou fauchés.

Au moins dans les trois sites contrastés, les présences de ruches d'*Apis mellifera* ont été confirmées, la présence de ces ruches peut provoquer un biais dans l'observation mais aussi provoquer un phénomène de compétition avec les espèces sauvages (Goulson et al., 2008)

Les transects de 100m sont parcourus durant 20 minutes. Les pollinisateurs ont été comptabilisés lorsqu'ils collectaient une ressource sur une fleur dans un périmètre de 1 mètre autour de l'observateur. Chaque espèce florale visitée par un insecte est répertoriée, les insectes ont été identifiés à vue si possible ou capturés à l'aide d'un filet à papillon pour être identifiés plus tard. Les insectes visiteurs observés ont été regroupés en 10 groupes. Les papillons ont été simplement classés dans le groupe Lepidoptera. Pour les diptères seules les syrphes ont été identifiées à la famille. Pour les hyménoptères, seul *Apis mellifera* a été identifié à l'espèce, les *Bombus* sont regroupées en Groupe Taxonomique Opérationnel (Tableau 2), les autres hyménoptères ont été regroupées dans les groupes suivants: Andrenidae, autres abeilles solitaires et autres hyménoptères.

GTO	Robes	Espèces associées
Campestris		<i>Bombus campestris</i>
Hortorum		<i>Bombus barbutellus*</i> , <i>B. hortorum</i> , <i>B. jonellus*</i> , <i>B. ruderatus*</i> , <i>B. subterraneus</i>
Hypnorum		<i>Bombus hypnorum</i>
Lapidarius		<i>Bombus confusus*</i> , <i>B. cullumanus*</i> , <i>B. lapidarius</i> , <i>B. pomorum*</i> , <i>B. ruderarius*</i> , <i>B. rupestris</i> , <i>B. soroensis*</i> , <i>B. wurfleinii*</i>
Masquée		<i>Bombus distinguendus*</i> , <i>B. sylvarum</i> , <i>B. veteranus</i>
Pascuorum		<i>Bombus humilis</i> , <i>B. muscorum</i> , <i>B. pascuorum</i>
Pratorum		<i>Bombus pratorum</i>
Terrestris		<i>Bombus cryptarum*</i> , <i>B. lucorum</i> , <i>B. magnus*</i> , <i>B. terrestris</i>
Vestalis		<i>Bombus bohemicus</i> , <i>B. norvegicus</i> , <i>B. sylvestris</i> , <i>B. vestalis</i>

Tableau 2 Groupes taxonomiques opérationnels et espèces associées par GTO

#### 4.4. SUIVI DES COLONIES DE BOURDONS TEMOINS

Des ruches de *Bombus terrestris* Premium Hive développées par BIOBEST GROUP NV ont été placées au centre de chaque site afin d'observer l'influence du paysage sur la croissance des colonies de bourdons. Ces colonies ont été placées dans des abris en bois laissant une ouverture aux ouvrières.

Les 1eres ruches ont été déposées le 23/03/2019 au centre de chaque site d'étude dans un endroit abrité du soleil. Elles ont été pesées le jour de leur pose et sont pesées tous les mois. Au bout de 2 mois, le 25/05/2019, les ruches ont été remplacées par de nouvelles. Pour cette opération, l'emplacement des nouvelles colonies a été décalé de quelques dizaines de mètres afin d'éviter des conflits entre ouvrières de la nouvelle colonie et celles de l'ancienne, rentrant de leurs récolte de pollen.

## 5. ANALYSES STATISTIQUES

### 5.1. RESSOURCES FLORALES

Dans le but de visualiser les variations de ressources florales entre les 3 sessions d'échantillonnage et à différentes échelles, plusieurs séries de graphiques ont été produits sur Microsoft Office Excel 2007.

L'homogénéité des variances ainsi que la normalité n'étant pas respectées pour la plupart des variables, même après une transformation log, des tests non-paramétriques ont été favorisés.

Dans le but d'évaluer les différentes variations de production et de rendement calculées par élément du paysage (voir 2.1.3), un test de Kruskal-Wallis suivi d'un test t de Student apparié ont été réalisés pour comparer la production et le rendement en sucres entre saisons. Ensuite, pour savoir s'il existe une différence de production et de rendement entre les différents compartiments, une série de tests de Kruskal-Wallis a été réalisée entre compartiments pour chaque saison indépendamment. Ces tests ont été suivis d'un test t de Student.

Afin de comparer les paysages simples (Condroz II, Calestienne II, Famenne II) et structurés (Condroz I, Calestienne I, Famenne I), une série de test t de Student apparié a été répétée pour chaque saison sur plusieurs variables: production globale, rendements floraux, rendements globaux et valeur I définie au point 4.2

Pour évaluer si la production en sucres des espèces floristiques visitées influe sur les choix de ressource florale pour les insectes visiteurs, une régression linéaire a été réalisée pour évaluer la relation entre les quantités d'interaction et la productivité en sucres pour les espèces florales visitées lors des transects d'observation.

### 5.2. CARACTERISATION DES RESEAUX

Pour visualiser et analyser les interactions entre insectes visiteurs et fleurs, ainsi que la répartition de communautés d'insectes au sein des différents compartiments, des réseaux d'interaction ont été réalisés.

Ces réseaux sont constitués de nœuds et de liens entre ces nœuds. Ces liens peuvent être qualitatifs

s'ils indiquent seulement la relation entre deux nœuds ou quantitatifs s'ils indiquent le nombre d'interactions entre deux nœuds (Dormann et al., 2009). Dans le cas d'interactions entre plantes et pollinisateurs, il s'agit de réseaux dits bipartites, les nœuds sont regroupés en deux niveaux de classe regroupant les nœuds n'ayant aucun lien possible entre eux et ne pouvant interagir seulement qu'avec les nœuds de l'autre classe (Dormann et al., 2008), en relation avec leur niveau trophique, la classe comprenant les pollinisateurs est généralement appelée 'higher level' et la classe comprenant les plantes est appelée 'lower level'.

La totalité des analyses de réseaux pollinisateurs a été réalisée à l'aide du package R 'bipartite' (Dormann et al., 2008) utilisé dans le logiciel R version 3.2.2 (R Core Team 2015).

Pour être analysées, les données d'interactions ont été mises sous forme de matrices à double entrée croisant les deux classes de participants: taxons d'insectes visiteurs/taxons floristiques ou taxons d'insecte visiteurs/compartiments. Les valeurs dans la matrice correspondent au nombre d'interactions observées entre taxons fleurs/insectes ou le total des interactions observées chez une espèce au sein d'un compartiment.

Dans le but d'explorer les données d'interaction, une série de graphiques de réseaux d'interactions ont été construits avec la fonction 'plotweb' permettant de visualiser les participants des deux niveaux d'interaction et leur abondance relative ainsi que les liens qui les unissent et leur densité relative. Ces différents graphiques ont été réalisés entre plusieurs niveaux d'interactions : espèces floristiques/visiteurs, compartiments/visiteurs, familles floristiques/visiteurs, ainsi qu'à plusieurs échelles d'observations, en regroupant les données d'interaction par saisons, par sites ou par compartiments.

### 5.3. CALCUL DE LA CONNECTANCE

La connectance est une métrique fréquemment utilisée pour décrire les densités de liens dans un réseau d'interaction, elle est généralement interprétée comme un degré de redondance dans un réseau, ce qui peut avoir une influence sur la stabilité d'une communauté (Dunne et al., 2002; Estrada, 2007).

La connectance indique la proportion de liens possibles réalisés dans le réseau étudié (Dormann et al., 2009).

Elle est calculée comme suit pour les réseaux bipartites:  $C = L/IJ$

Avec  $L$  le nombre de liens réalisés,  $I$  et  $J$  le nombre d'espèces présentes dans chacune des classes du réseaux bipartite.

Cette valeur a été calculée pour chaque site à chaque saison, en regroupant les données

d'interactions insectes/plantes.

Les valeurs de connectance ont par la suite été comparées entre sites structurés et simples à l'aide d'un test t de Student apparié.

#### 5.4. ANALYSE DE LA ROBUSTNESS

Les analyses de robustness ont été réalisées en regroupant les réseaux d'interactions insectes/plantes par site et par saison.

L'analyse de la robustness consiste à retirer successivement les nœuds d'un réseau. Après chaque retrait, les nœuds restants sans liens sont retirés (extinction secondaire). Dans le cas des réseaux bipartites, on peut soit simuler la disparition d'espèces au niveau des deux classes en même temps, soit seulement de la 'higher class' ou seulement la 'lower class'. Cette disparition peut être effectuée de trois manières différentes : soit les nœuds sont retirés aléatoirement, soit les espèces ayant le plus de liens (généralistes) sont retirées en premier, soit en dernier. La robustness augmente avec la connectance (le nombre de liens réalisés divisé par le nombre total de liens possibles) et avec une 'degree distribution' (nombre de liens par espèces) homogène. (Estrada, 2007)

La valeur de robustness correspond à l'aire sous la courbe d'extinction générée par la commande 'second.extinct' du package 'bipartite'.

Afin d'étudier l'importance relative des ressources florales sur les communautés de visiteurs, les courbes de 'second.extinct' puis les analyses de robustness ont été réalisées sur des matrices d'interaction entre insectes visiteurs et espèces florales visitées pour chaque site d'échantillonnage en regroupant les données d'interactions des trois saisons d'échantillonnages.

Ces valeurs de robustness ont été ensuite comparées entre sites simples et structurés à l'aide d'un test t de Student apparié.

## 6. ANALYSE DE LA MODULARITE ET COMPLEMENTARITE DES RESSOURCES FLORALES

Pour chacune des quatre espèces d'insectes visiteurs les plus fréquemment (*B. pascuorum*, *B. lapidarius*, *B. terrestris* et *A. mellifera*) observées en nombre suffisant au cours des trois saisons d'échantillonnage, deux tests de  $\chi^2$  ont été réalisés afin de détecter des utilisations de ressources différentes entre saisons. Le premier test concernait les différences de nombres de visites sur les fleurs de différentes familles. Le second concernait les quantités d'interactions par compartiment du paysage.

Afin de comprendre comment s'assemblent les communautés d'insectes visiteurs entre les différents compartiments et d'identifier une éventuelle structuration dans l'utilisation des ressources florales

au sein de ces différents compartiments, un indice de modularité a été calculé à chaque saison à partir des données d'interactions entre insectes et compartiments.

Dans un réseau, un module peut être interprété comme un regroupement d'espèces ayant plus de liens entre elles qu'avec le reste du réseau (Dormann et al., 2014). Dans notre cas, un module serait dû à un assemblage d'insectes visiteurs plus fréquemment observés au sein d'un compartiment ou d'un groupe de compartiments qu'ailleurs.

Pour détecter la structure modulaire d'un réseau, plusieurs algorithmes existent (Fortuna et al., 2010; Newman and Girvan, n.d.). Ici, nous avons utilisé l'algorithme appelé par la fonction 'computeModule' dans le package 'bipartite' et développé par Carsten F. Dormann et Rouven Strauss (Dormann and Strauss, 2014). Cet algorithme, pour définir les groupes de nœuds les plus connectés entre eux, utilise une démarche heuristique pour réaliser un partitionnement des nœuds du réseau en groupes afin de maximiser le nombre de liens intra-groupes.

Cependant, les modules ainsi réalisés peuvent varier entre les 'runs'.

Ensuite, la fonction calcule une valeur de modularité  $Q$  pour le réseau étudié.

Cette valeur de modularité est décrite comme la proportion de liens entre les nœuds d'un groupe moins la proportion de liens entre les nœuds de ce même groupe si les liens étaient distribués au hasard entre les nœuds du réseau.

Cette valeur est comprise entre -1 et 1, elle est positive lorsque le nombre de liens intra-groupe dépasse le nombre de liens intra-groupe s'ils étaient réalisés au hasard.

Pour vérifier si les réseaux étudiés lors des trois saisons d'échantillonnage sont significativement modulaires, la valeur de modularité a été comparée à celles de 1000 réseaux null conservant le même nombre de nœuds et de liens créés grâce à la fonction 'nullmodel'. Si 5% des réseaux null ont une valeur de modularité supérieure au réseau étudié, on considère la modularité du réseau non-significative.

Pour ces analyses, les taxons trop peu observés: *B. Campestris* ( 2 fois), *B. pratorum* (2 fois) et *B. vestalis* (5 fois) ont été retirés.

## 7. ENQUETE AUPRES DES AGRICULTEURS

Les agriculteurs ont été interviewés soit au hasard des rencontres sur le bord des champs lors des sessions d'échantillonnage, soit lors d'une entrevue. Lorsque cela était possible, l'interview a été enregistrée avec son accord. Au total, quatre agriculteurs ont été interviewés.

Le fil conducteur de ce questionnaire cherche à amener l'agriculteur à donner son avis sur sa perception de la naturalité/artificialité de l'environnement. La question finale est de savoir s'il considère ses terres agricoles et les éléments qui les entourent comme "support de la biodiversité". L'objectif de ces questions est de déterminer s'ils sont conscients qu'une partie de la biodiversité dépend des terres qu'ils travaillent. Il me paraît compliqué d'aborder la question directement, étant donné que la question reste générale et conceptuelle. Le choix de réaliser une interview dirigée m'a semblé le plus adapté à la question et au contexte afin de pouvoir m'adapter au mieux aux différentes personnalités rencontrées. Lors des interviews, une trame de questionnaire sert de guide pour poser des questions aux agriculteurs qui ne la voient pas. Les questions peuvent être reformulées ou adaptées à la situation et à l'évolution du fil de la discussion.

Ci-dessous, la trame de questionnaire utilisée lors des interviews.

- Etes-vous éleveur, cultivateur ou les deux?
- Avez-vous sur vos terrains des MAEC ou des parcelles en agriculture bio?
- OUI: selon vous, est-ce que vous pensez que cela fait une différence? en terme de biodiversité? Pourquoi?
- Observez vous des insectes, en particulier des abeilles ou des bourdons ?
- Ont-ils une importance/rôle selon vous?
- Selon vous, où vivent-ils? ou se nourrissent-ils?
- Comment considérez-vous le paysage autour de vous? Diriez-vous qu'il s'agit d'un paysage 'naturel' ou plutôt 'artificiel'. Quels aspects vous font dire cela?
- Considérez-vous votre environnement comme un milieu naturel, artificiel ou un peu des deux? Si oui quels éléments contribuent à cet aspect naturel et artificiel?
- Pour vous un champ est-il un milieu naturel/artificiel?  
Observez-vous, lorsque vous vous baladez ou travaillez, les animaux ou les fleurs? En particulier les abeilles ?
- Pensez vous que, hors MAEC ou bio. Un milieu agricole est un support de biodiversité?

# RÉSULTATS

## 1. RESSOURCES FLORALES

### 1.1. PRODUCTION DE NECTAR

Sur l'ensemble des six sites étudiés, un total de 33 espèces en fleurs en avril ont été cartographiées, 72 en mai et 126 en juin pour un total de 166 espèces botaniques observées en floraison au moins une fois lors de la cartographie des ressources florales.

Les espèces contribuant le plus à la production de nectar par saison ont été reprises dans la **Figure 3**. *Prunus avium* (50.8%), *Prunus spinosa* (29.9%) et *Lamium purpureum* (10.9%) ont produit 91.7 % du nectar pour la saison d'avril. Le colza cultivé, *Brassica napus* à lui seul a produit 84.85% des ressources de nectar en mai. En juin, *Centaurea cyaneus* (37.4%), *Trifolium repens* (29.6%), *Trifolium pratense* (15.2%), *Heracleum sphondylium* (7.3%) et *Vicia cracca* (4.2%) ont produit 93.6% du nectar.

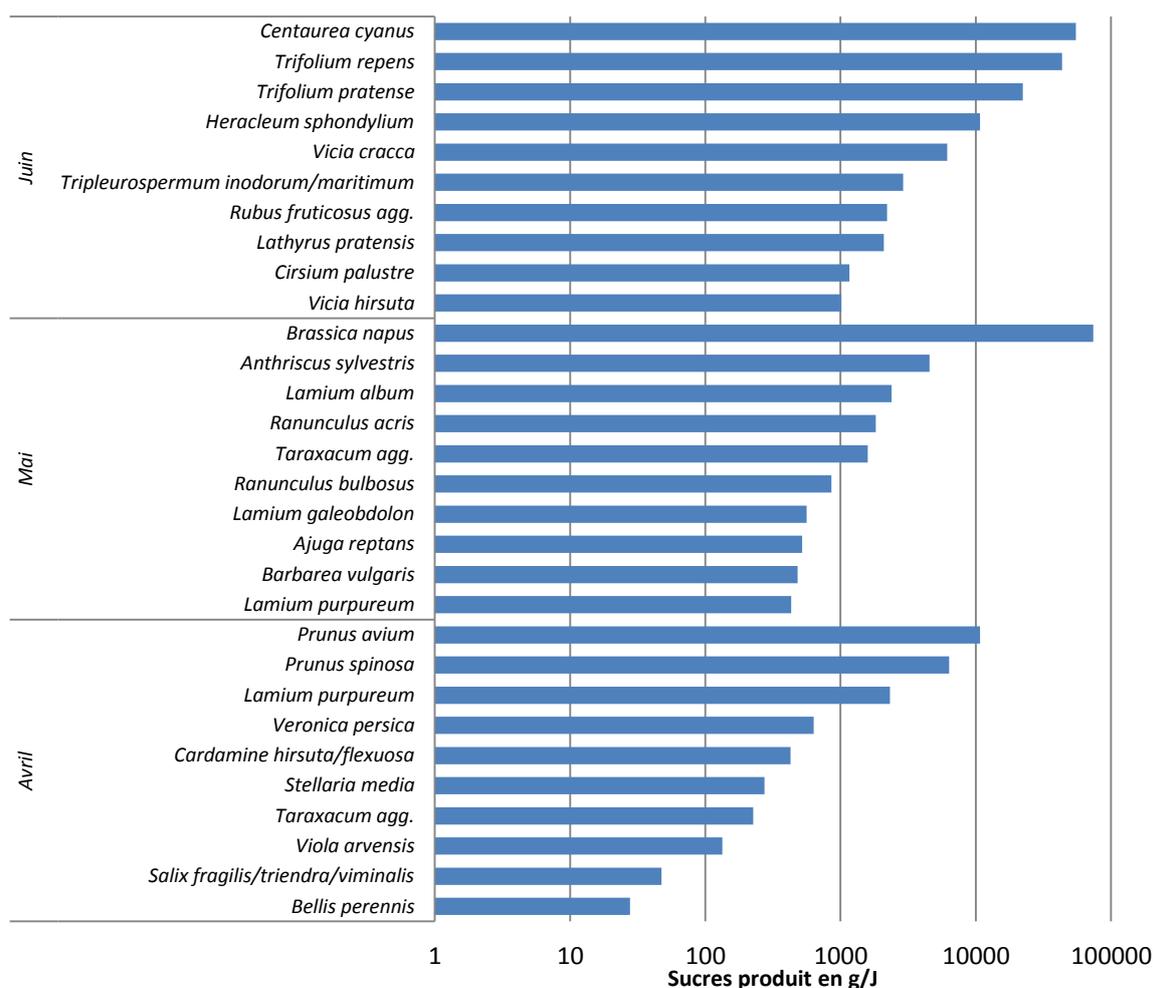


Figure 3 Somme des productions de sucres journalières des dix premières espèces contributrices par saison sur une échelle logarithmique. Ces valeurs représentent l'ensemble des données par saison tous sites et tous compartiments confondus.

Seulement 9 espèces, *Lamium purpureum*, *Lamium album*, *Taraxacum agg.*, *Veronica persica*, *Stellaria media*, *Viola arvensis*, *Glechoma hederacea*, *Geranium molle* et *Bellis perennis* ont été observées en fleur sur l'ensemble des 3 saisons d'échantillonnages, l'ensemble des données florales sont disponibles à Annexe 3.

A l'échelle du paysage, la production moyenne par site était de 3536 g/J de sucres en avril, 14897 g/J en mai et 25202 g/J en juin. Cependant, une grande disparité a été observée entre sites et entre saisons pour un même site (**Figure 4**). En mai, lorsque les champs de colza n'ont pas été pris en compte, la production de nectar moyenne a chuté à 2598 g/J par site.

Pour la saison d'avril, 90% des ressources globales en nectar étaient produites par des fleurs retrouvées dans trois compartiments: les lisières (48.4%), les haies (29.8%) et les chaumes (12.7%). En mai, 89% des ressources en nectar (hors cultures de colza) étaient produites par cinq compartiments: les pâtures (52%), les bord de routes (14.6%), les prairies (8.7%), les lisières (8.5%) et les haies (5.2%). En juin, 95.3% des ressources en nectar étaient produites dans quatre compartiments: les cultures (38.6%), les prairies (23.3%), les pâtures (17.5%), et les pâtures extensives (16%), bien que ces dernières soient présentes seulement sur la moitié des sites. A nouveau, les contributions relatives de chaque compartiment ont varié entre sites. Lors de la session d'échantillonnage de Juin avait lieu les fauches des prairies non extensives, sur les premiers sites à avoir été échantillonnés (Calestienne I et II) toutes les prairies n'étaient pas encore fauchées.

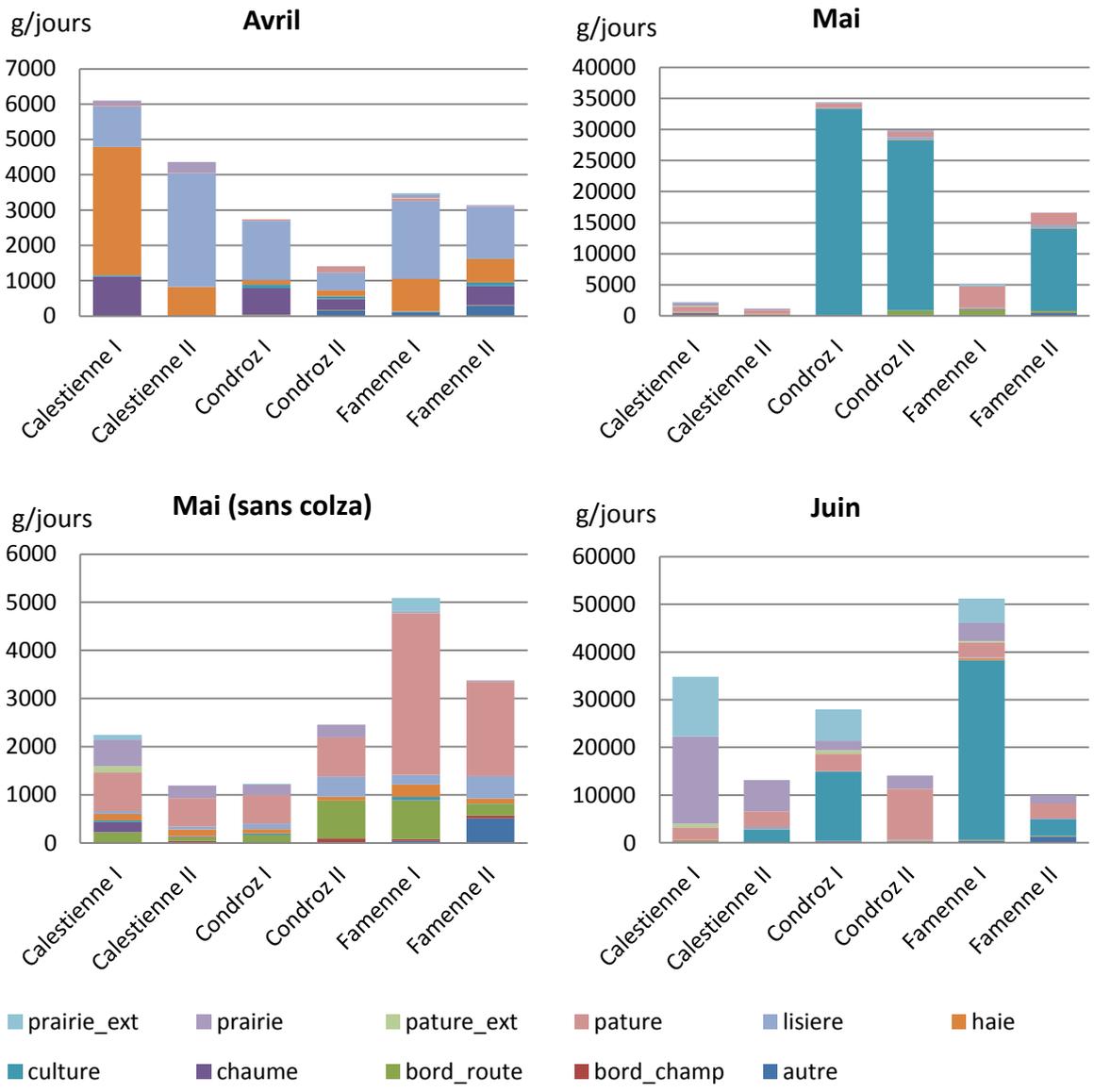


FIGURE 4 PRODUCTION TOTALE DE SUCRES EN G/JOURS DES ESPECES FLORISTIQUE PAR COMPARTIMENTS ET PAR SITES.

Aucune différence significative de rendement de sucres au m<sup>2</sup> ou de rendement global entre sites structurés et simples a été révélée par les tests de Student.

La valeur I représente la différence entre le rendement de nectar au m<sup>2</sup> de surface fleurie avec la rendement au m<sup>2</sup> globale d'un site. En avril la différence entre la production globale et florale est élevée, cette différence diminue avec le temps, Figure 5.

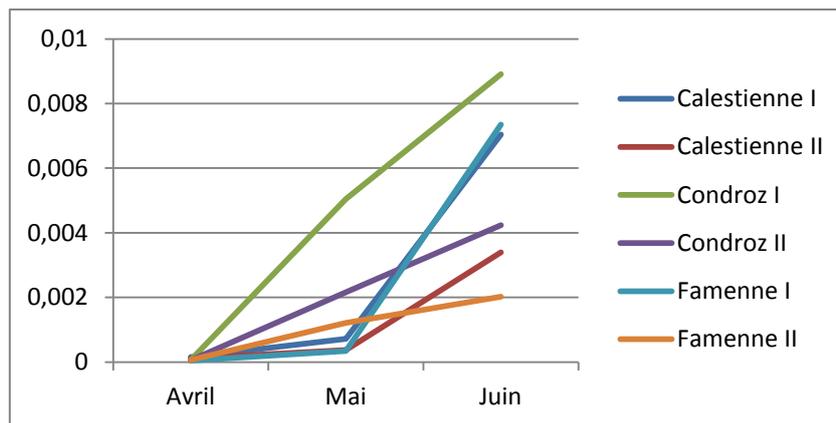


Figure 5: Evolution de la valeur I cette valeur se rapproche de 1 plus la difference entre la production florale et la production globale est faible.

## 1. COMPARAISON DES PRODUCTIONS DE SUCRES ENTRE COMPARTIMENTS

Le rendement en sucres des compartiment des paysages agricoles a significativement évolué entre les saisons ( $p$ -value $<0.001$ ), avec en moyenne  $0.256\text{g}/\text{m}^2$  de sucres produit en avril,  $0.024\text{g}/\text{m}^2$  en Mai et  $0.067\text{g}/\text{m}^2$  en juin. Les rendements de sucres au  $\text{m}^2$  se sont révélés significativement supérieurs en Avril par rapport aux autres saisons ( $p<0.001$ ) mais cette différence de rendement n'est plus autant marquée entre les mois de mai et juin ( $p=0.08$ ).

Il faut noter que pour réaliser les analyses, les éléments du paysage n'ayant aucune ressource n'ont pas été pris en compte pour les calculs de rendement et production de nectar. Ces valeurs sont donc surestimées.

Cependant, en termes de production, l'évolution de la quantité de sucres entre saisons est remarquable ( $p=0.002$ ), mais la quantité de production n'est significativement différente qu'entre avril et juin ( $p<0.001$ ) avec des quantités de productions moyennes de sucres de  $55.8\text{g}/\text{J}$  en avril,  $200\text{g}/\text{j}$  en mai et  $376\text{g}/\text{J}$  en juin.

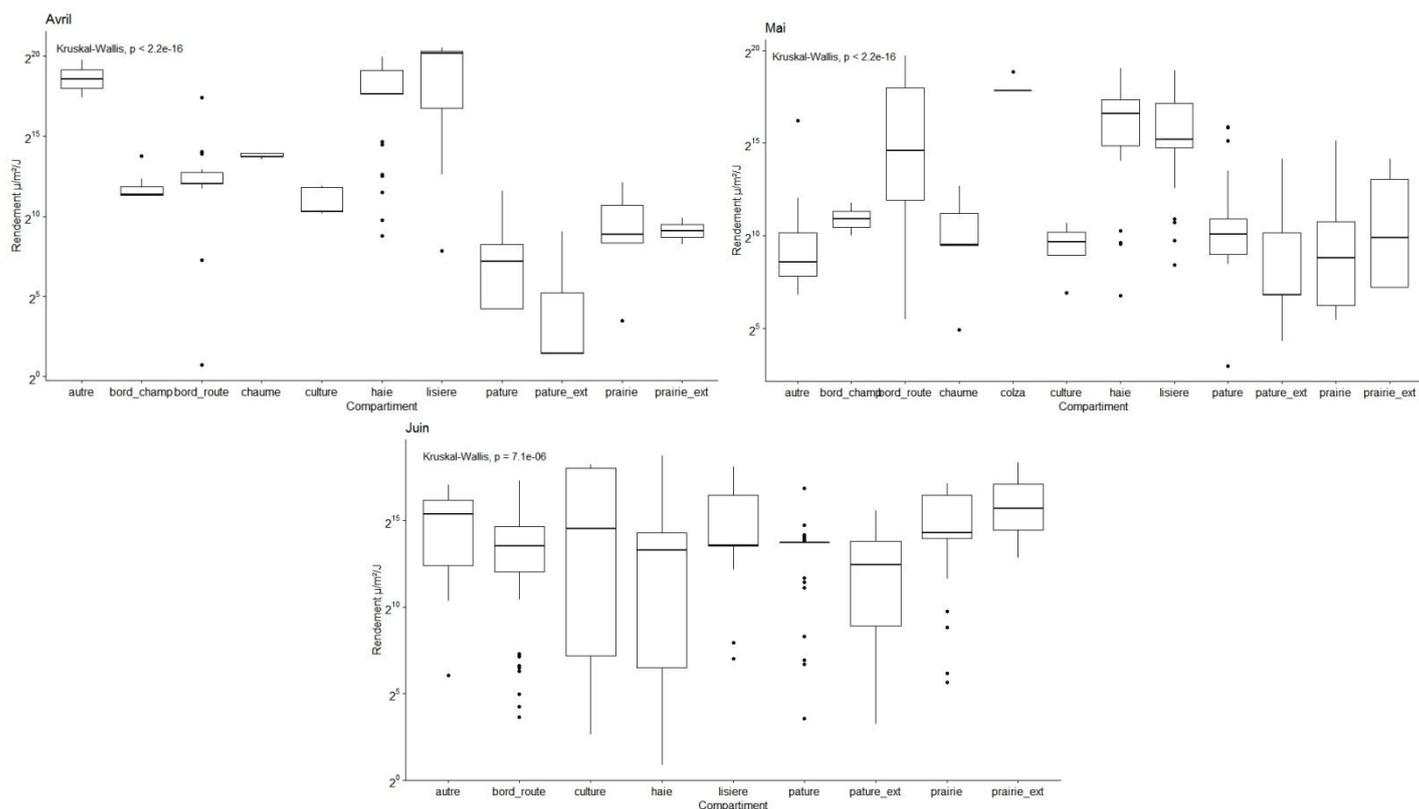


Figure 6 Boxplot des Rendements (graphiques de gauches) et production (graphiques de droite) transformée en log base 2 par compartiments, pour les saisons d'Avril, Mai , et Juin. Tout sites confondus.

Les valeurs de productions et de rendement varient significativement entre compartiments pour toutes les saisons ( $p < 0.001$ ).

En avril, le rendement en nectar est très hétérogène, avec trois compartiments nettement plus productifs que les autres qui sont les lisières, avec  $0.736\text{g}/\text{m}^2$  de sucres produits en moyenne par jour, les haies ( $0.35\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{J}$ ) et les espèces classées dans le compartiment "autre" ( $0.527\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{J}$ ). Dans ce compartiment ont été classés de nombreux arbres de *Prunus avium* ou *Prunus spinosa* n'étant pas situés dans des lisières ou des haies. A titre de comparaison, les prairies extensives et pâtures extensives ont produit peu, respectivement  $0.0003$  et  $0.0001$  en moyenne de sucres produit quotidiennement par mètre carré, elles étaient principalement dominées de *Taraxacum spp* et *Bellis perennis*.

Cependant, lorsque la surface d'occupation des ressources florales est prise en compte, la production la plus importante a été réalisée par les chaumes avec  $244\text{g}/\text{J}$ , suivis des lisières ( $162\text{g}/\text{J}$ ) et des haies ( $45.9\text{g}/\text{J}$ ).

En mai, alors que la productivité moyenne des lisières ( $0.115\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{J}$ ) et des haies ( $0.116\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{J}$ ) a diminué par rapport au mois précédent, deux nouveaux compartiments contribuent fortement à la production : il s'agit des bords de routes ( $0.058\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{J}$ ) et surtout des cultures de colza ( $0.236\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{J}$ ).

Au niveau de la production, l'apport de chaque compartiment s'homogénéise hormis pour les cultures de colza qui ont apporté 6150g/J en moyenne par parcelle. A titre de comparaison, les autres compartiments réunis n'ont produit que 33.44g/J en moyenne, avec un maximum pour les pâturages (75.7g/J) et au minimum les bords de routes (15.1g/J)

En juin, le rendement en sucres des compartiments s'homogénéise. Le compartiment des chaumes n'est plus représenté en cette saison. Les rendements augmentent et ce sont les cultures et les prairies extensives qui ont affiché la meilleure productivité, avec 0.122g/m<sup>2</sup>\*J et 0.101g/m<sup>2</sup>\*J respectivement. Les autres ont eu en moyenne une productivité de 0.348g/m<sup>2</sup>\*J, avec un maximum 0.527g/m<sup>2</sup>\*J pour les lisières et seulement 0.147g/m<sup>2</sup>\*J pour les pâturages. Le rendement de nectar au m<sup>2</sup> entre prairie et prairies extensives ne s'est pas révélé significativement différent, cependant il ces données de rendement ne concernent que les prairies qui n'avaient pas été encore fauchés.

## 2. ABONDANCE ET DIVERSITE DES INSECTES VISITEURS

Sur l'ensemble des trois sessions d'échantillonnage, 1245 interactions ont été observées, 305 impliquant des diptères (appartenant à 11 familles) , 41 lépidoptères (appartenant à 5 familles ) et 899 hyménoptères (appartenant à 11 familles) dont 363 *Apis mellifera* et 326 bourdons.

La Figure 7 détaille le nombre d'espèces d'insectes visiteurs identifiées, retrouvées par site pour les trois sessions d'échantillonnage. De grandes différences sont observables entre sites et saisons et sont en partie dues aux conditions climatiques lors des échantillonnages, les transects d'observation au sein d'un site ayant été généralement réalisés sur un ou deux jours consécutifs.

Les 3 principaux UTO observés sont: *Bombus terrestris* (118 observations), *Bombus lapidarius* (111 interactions) et *Bombus pascuorum* (84 interactions), ils l'ont tous été sur l'ensemble des trois sessions d'échantillonnage. Une partie des individus d'*Apis mellifera* ainsi que de *Bombus terrestris* observés, ont pu provenir des ruchettes déposées dans le cadre de cette étude ou des ruches d'abeilles présentes sur les sites.

Sur un total de 166 espèces en fleurs lors des sessions d'observations, les interactions ont été observées sur 78 espèces végétales.

De ces interactions, 62.20% ont eu lieu seulement sur 10 espèces de fleurs qui sont, en ordre décroissant de fréquence: *Rubus fruticosus agg.*, *Lamium purpureum*, *Taraxacum agg.*, *Centaurea cyanus*, *Trifolium repens*, *Prunus spinosa*, *Heracleum sphondylium*, *Veronica persica* et *Brassica napus*.

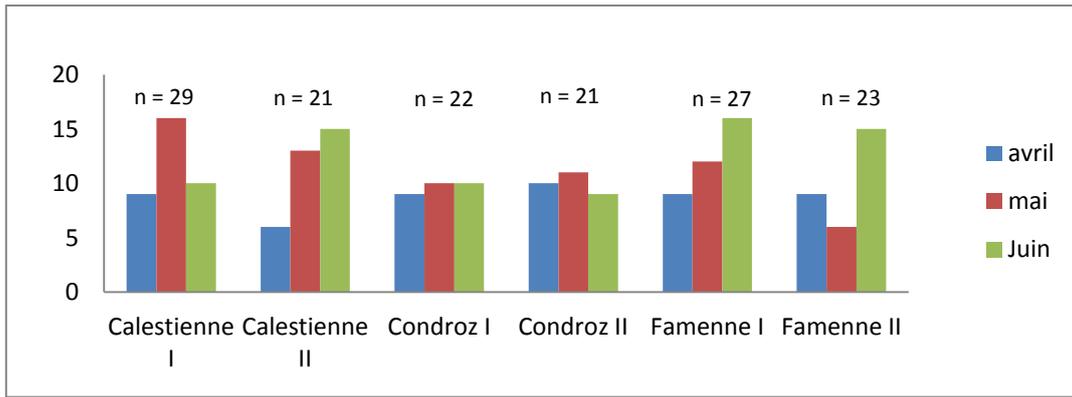


Figure 7: Nombre d'espèces d'insectes visiteurs observés par site et par saison, les valeurs totales indiquent le nombre d'espèces différentes sur l'ensemble des saisons

Au cours des 3 saisons d'échantillonnage, les effectifs des taxons d'insectes visiteurs ont varié significativement ( $Chi^2(22) = 357, p < 0.001$ ). Le nombre total d'espèces différentes observées semble constant entre les sites (Figure 8).

Les quatre principaux pollinisateurs observés au cours des trois saisons d'échantillonnage : *A. mellifera*, *B. terrestris*, *B. lapidarius* et *B. pascuorum*, ont utilisés des ressources florales différentes entre les trois saisons d'échantillonnages (respectivement,  $Chi^2(22-12-18-16) = 330.47 - 132.67 - 119.23, p < 0.001$ ), ainsi que dans l'utilisation des compartiments.

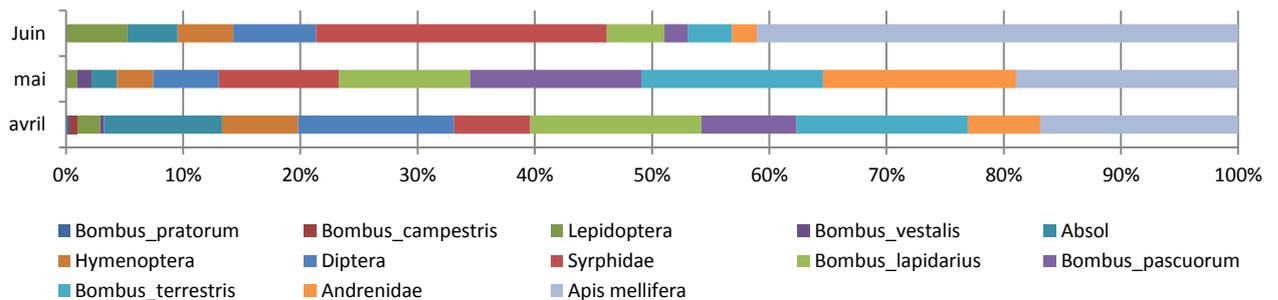
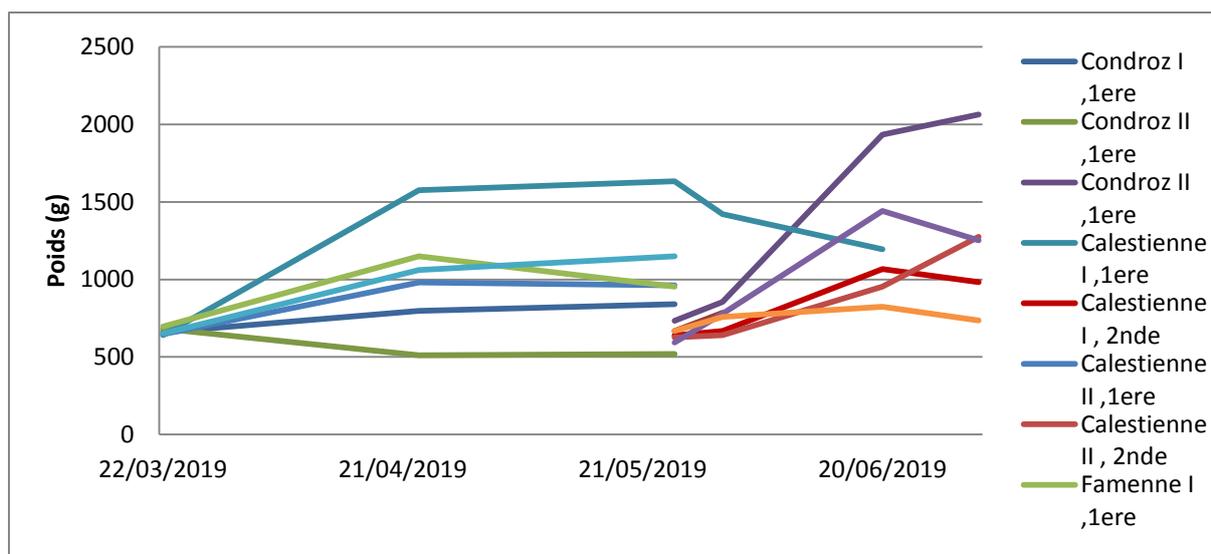


Figure 8 Proportions des effectifs d'insectes visiteurs observés par saisons, Absol désigne le groupe des abeilles solitaires.



**Figure 9: Evolution du poids des colonies de *B. terrestris*. les ruches sont désignée par le nom du site où elles se situent. A partir du 23/05/2019 les première ruches (1ere) ont été remplacées par les 2ème, seule la 1ere ruche du site Calestienne I est restée sur le site**

Aucunes analyse n'a été réalisée sur l'évolution du poids des ruches étant donné que la moitié des colonies ont subit des incidents, prédation par de petit ou gros mammifère ou renversement de la colonie. Néanmoins le poids des colonies semblent avoir varié différemment entre les premières et les deuxièmes ruches, les dernières augmentant de poids plus rapidement, puis chutant entre les pesées du 20 juin et 2 juillet

### 3. VISUALISATION DES RESEAUX D'INTERACTION

En avril, 308 interactions ont été observées sur 18 espèces végétales. 78.96% des interactions ont été réalisées sur seulement 5 espèces : *Lamium purpureum* (30.42%), *Prunus spinosa* (22.65%), *Veronica persica* (11.33%), *Taraxacum agg.* (7.77%) et *Bellis perennis* (5.8%). Les principaux insectes visiteurs observés ce mois était *Apis mellifera*, *Bombus lapidarius* et *Bombus terrestris*.

Pour le mois de mai, 327 interactions ont été observées sur 30 espèces végétales. 8 d'entre elles totalisant 76.83% des interactions, principalement sur *Taraxacum agg.*(27%), *Brassica napus* (11%), *Lamium purpureum* (10.4%) et *Barbarea vulgaris* (9.15%). Les taxons d'insectes visiteurs les plus observés était *Apis mellifera*, *Bombus terrestris* et *Bombus pascuorum*.

En juin, 609 observations d'interactions ont été enregistrées, principalement sur *Rubus fruticosus agg.* (23.15%), *Centaurea cyanus* (17.73%) et *Trifolium repens* (13.30%). *Apis mellifera* a été observée pour 41% des interactions. Cependant, les bourdons appartenant aux GTO *Lapidarius*, *Terrestris* et *Pascuorum* n'ont été observés à eux trois que 65 fois.

La régression linéaire effectuée entre la quantité d'interactions observées sur une famille floristique et sa production de nectar n'a pas révélé de corrélation significative.

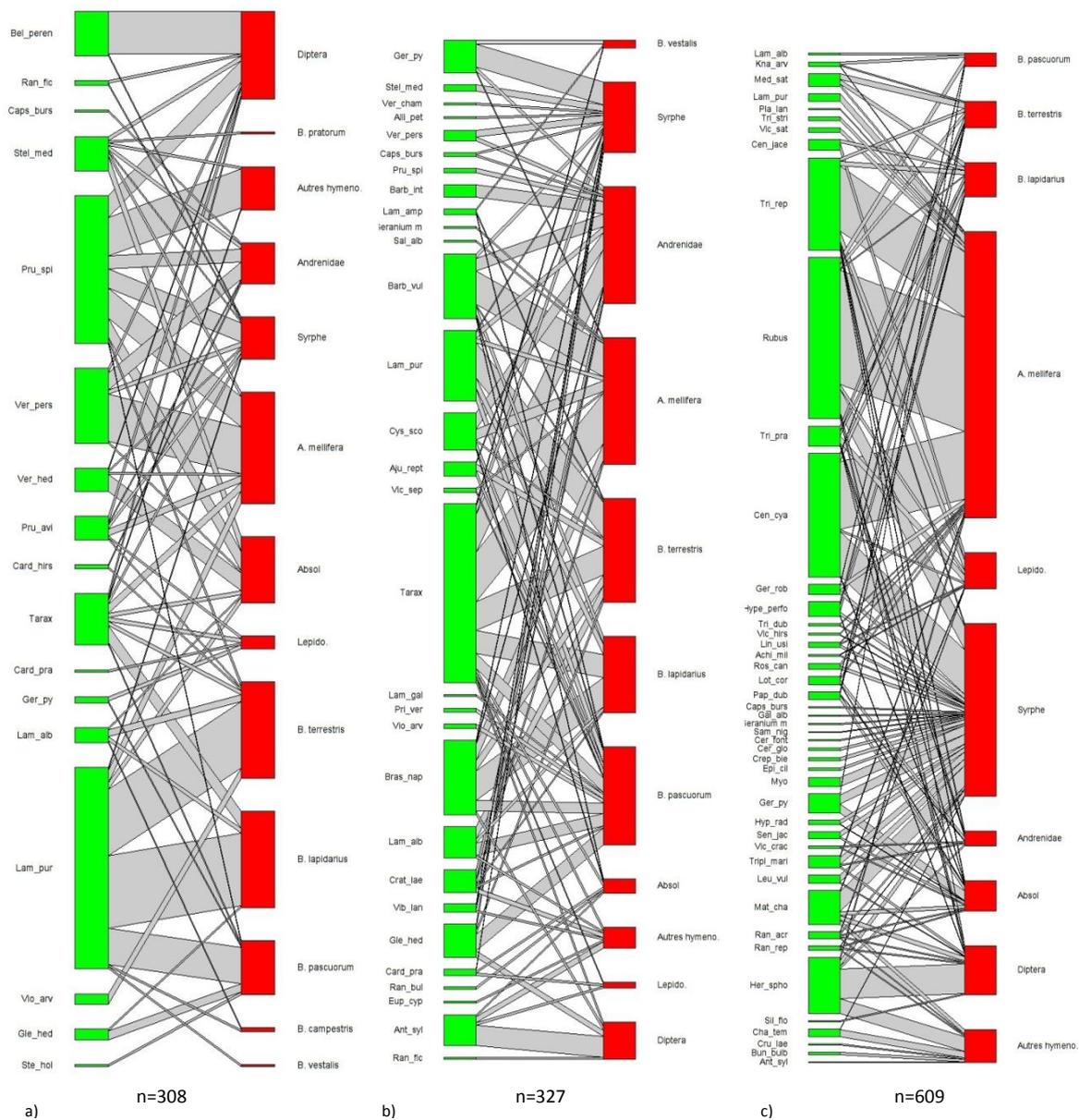


Figure 10 Réseaux d'interactions entre fleurs (vert) et groupes d'insectes visiteurs (rouge) pour les trois saisons d'échantillonnage: avril (a), mai (b) et juin (c), la signification des abréviations est disponible dans l'Annexe 4

## 4. MODULARITE

Les graphiques d'interactions produits avec l'algorithme de Dormann (Figure 11) montrent des assemblages d'insectes visiteurs plus fréquemment observés dans certains assemblages de compartiments, où certains compartiments hébergent un assemblage particulier d'insectes visiteurs (cadres rouges dans le graphique). Les valeurs de modularité pour ces trois graphes sont positives et se sont révélées significativement supérieures aux valeurs de modularité des réseaux nuls ( $p$ -value=0 pour les 3). En avril, la modularité ( $Q= 0.297$ ) est supérieure à celle des mois de mai ( $Q= 0.205$ ) et juin ( $Q= 0.207$ ). On note toutefois la présence de nombreuses interactions hors de ces cadres, plus ou moins denses (cellules bleues).

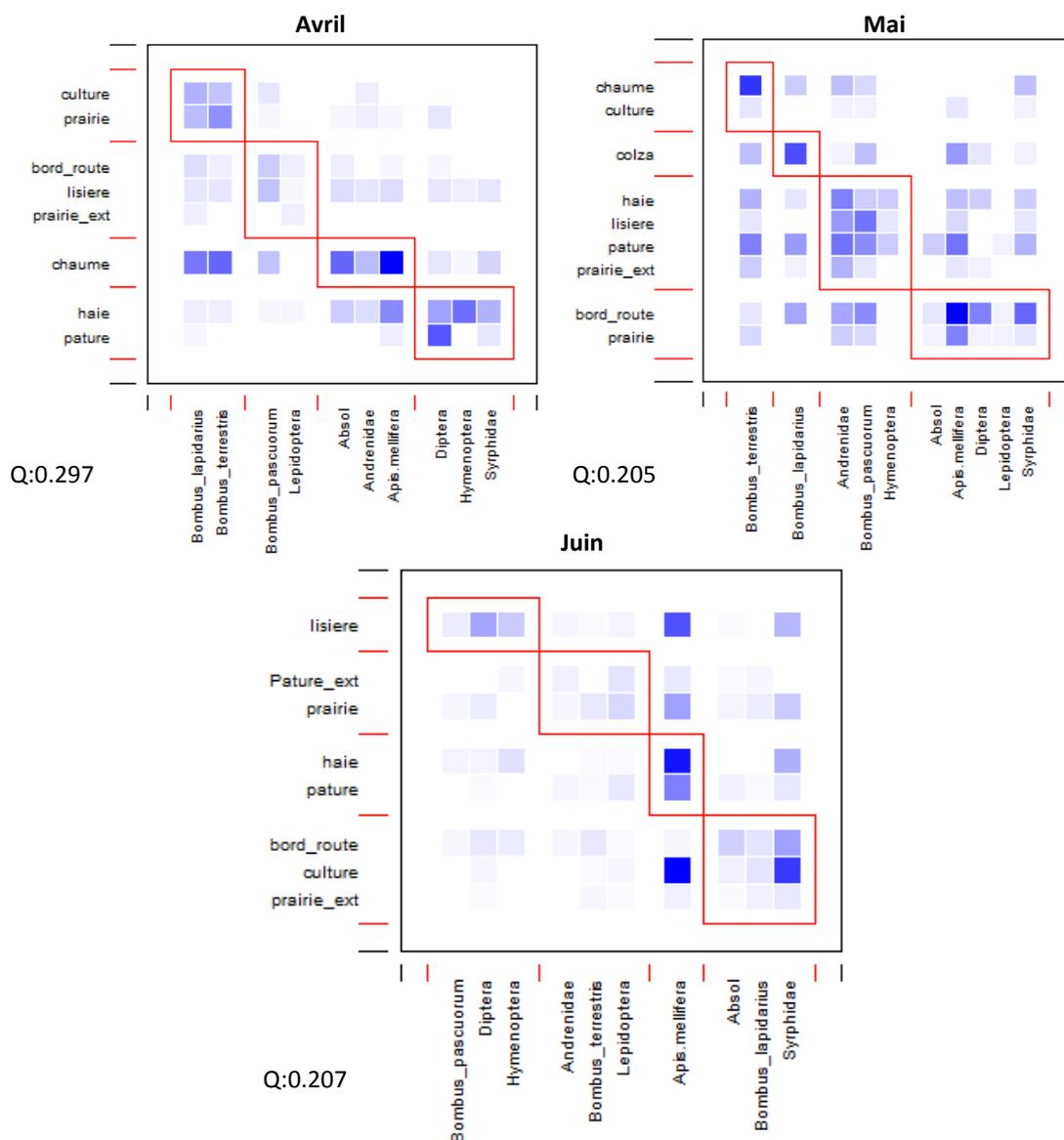


Figure 11: Matrices d'interaction pollinisateurs/compartiments, les colonnes représentent les pollinisateurs et les lignes correspondent aux compartiments. Les cellules bleues représentent les interactions dont l'intensité est proportionnelle au nombre d'interactions. Les cadres rouges représentent les modules définis par la méthode 'Beckett' de la fonction 'computeModule': Package 'Bipartite'. Les données des 3 saisons d'échantillonnages ont été regroupées. Q correspond à la valeur de modularité calculée par la méthode Beckett

Les assemblages de pollinisateurs sont différents d'une saison à l'autre et les compartiments accueillent des communautés de pollinisateurs différentes à chaque saison.

## 5. ROBUSTNESS

Les courbes d'extinction produites par la commande 'second.extinct' en supprimant les espèces végétales ayant le plus d'interactions différentes en premier ont été réalisées pour chaque site d'échantillonnage pour les trois saisons confondues (Annexe 2). Dans chaque cas, 100 répétitions ont été réalisées, et les valeurs de robustness calculées (Tableau 3). Ces valeurs correspondant à l'aire sous la courbe d'extinction (M. Devoto, 2007) peuvent varier d'un 'run' à l'autre.

Site	Valeur de Robustness
Famenne I	0.686
Famenne II	0.430
Calestienne I	0.720
Calestienne II	0.490
Condroz I	0.640
Condroz II	0.492

**Tableau 3: Valeurs de robustness calculées après 100 simulations d'extinctions**

On peut remarquer aisément que les valeurs de robustness sont supérieures pour les sites de bonne qualité. Les courbes d'extinctions visibles dans l'Annexe 2 montrent une extinction secondaire moins rapide. Il faut noter que dans les données d'interactions des sites de meilleure qualité, sont pris en compte les transects des prairies extensives et pâtures extensives.

## RAPPORT D'ENTRETIENS AVEC LES AGRICULTEURS

L'enquête auprès des acteurs de terrains a été réalisée lors de 3 entretiens d'environ 1h30 chez des agriculteurs et 4 interviews/discussions sur le terrain, d'une durée variable.

Les agriculteurs sont originaires de la région Caledoniennes sauf deux, l'un de la région du Condroz et le dernier du département du Tarn dans le sud-ouest de la France. L'ensemble des agriculteurs interviewés en Belgique étaient principalement des éleveurs. Par manque de temps et de disponibilité des agriculteurs et vis à vis des modalités du mémoire, il a été décidé d'interviewer un cultivateur tarnais.

La majeure partie des personnes rencontrées se sont révélées ouvertes et répondant facilement aux questions. Le format de cet interview laisse beaucoup de liberté à l'interviewé sur les thèmes qu'il souhaite aborder. Aucun des agriculteurs interrogés ne pratiquait une agriculture biologique, cependant l'un d'entre eux avait une zone en Natura 2000 sur une partie de ses prairies.

Dans l'ensemble le questionnaire utilisé n'a pas été suivi à la lettre mais cela a eu comme résultat des discussions très intéressantes et des réponses à la question de fond : Quelle biodiversité vit selon-vous dans vos terres ?

Ce que l'on peut conclure de la plupart de ces interviews c'est que pour tous les agriculteurs questionnés il existe une vie sauvage sur et dans leurs terres, cependant il convient de faire quelques remarques à ce propos, premièrement la flore n'est quasiment jamais évoquée hormis dans deux cas : les adventices et les bandes fleuries, on reviendra sur ce sujet plus tard. Il semble que le terme de biodiversité ou environnement, qui a été employé par l'enquêteur, n'évoque que le règne animal dans l'imaginaire des agriculteurs interviewés. Pour les éleveurs, la nature sauvage présente sur leurs terres est principalement représentée par les oiseaux dans les haies ou bien les insectes dans les tas de fumier qui ont été évoqués par l'un d'entre eux. Lorsque la question est posée de savoir où se place la biodiversité en milieu agricole ce sont surtout des éléments naturels comme les haies ou les bois qui sont évoqués.

Dans le cas du cultivateur tarnais, les exemples de biodiversité qu'il a cités, sont le lac qu'il a creusé, les vers dans le sol, les abeilles dans les champs de colza.

Lorsque l'on aborde le thème de la conservation de la nature, dans la plupart des cas, les mesures qui ont été prises sont vues comme des contraintes. Plus précisément un des éleveurs par exemple, critiquait la date de fauche interdite avant le 1er Juillet qui ne tenait pas compte des saisons trop précoces. Il n'était pas nécessairement contre le principe d'une fauche plus tardive mais qu'elle soit alors adaptée aux conditions climatiques locales et "gérée" par l'agriculteur.

Les cas de mesures "inadaptées" a aussi été évoqué par le cultivateur, à propos de celles liées à l'obligation d'un couvert végétal après la récolte ou l'interdiction du travail du sol tardif, qui selon lui ne sont pas adaptés à la région argilo-calcaire où il vit mais plutôt aux plaines alluviales.

Sur le même sujet, un éleveur a fait part de ses réflexions sur le même thème, selon lui les mesures ne ciblent pas les bons agriculteurs, les prairies et pâturages que constituent ses terres sont parsemées de haies, bocages,

pelouses sèches et humides. Selon lui les mesures (MAEC et Natura 2000) liées à ces milieux, lui imposent des contraintes et il considère donc qu'elles ne sont pas si utiles, Du fait du contexte climatique et pédologique de la région (nous sommes en Calectienne) lui et les autres agriculteurs de la région n'ont pas d'autres choix que de pratiquer une agriculture relativement extensive. Ainsi, l'humidité de la terre lui faisait déjà pratiquer une fauche tardive. Il n'y a pas eu de grand remembrement dans sa région ce qui a permis de préserver une bonne partie de haies antérieures à l'industrialisation de l'agriculture. Il ne voit pas de différence avec ou sans ces mesures. Selon lui c'est une manière pour le gouvernement de surveiller les pratiques à travers les contrôles et les déclarations obligatoires.

Pour le cultivateur les contraintes sont venues aussi de certaines mesures comme l'arrêt du labour profond ou les mesures liées à l'utilisation des produits phytosanitaires. Ces dernières séries de mesures ont été, entre autre, une des raisons qui l'a motivé à partir à la retraite. Selon lui, on lui a appris et même incité de la part des institutions agricoles et des normes à avoir un champ "propre" sans adventices, lorsque maintenant il voit un champ "envahis" (cf. champs en agriculture biologique) il ne « comprend pas ». Selon lui, certaines mesures n'ont pas eu les effets escomptés, il n'a par exemple pas constaté d'amélioration de l'état de la biodiversité du sol après l'interdiction du labour profond. Cependant il admet que pendant des années sa profession a fait des "bêtises" avec l'utilisations d'insecticides ou le labour profond par exemple, qui entraîne un appauvrissement des sols. Mais il explique qu'il n'a pas attendu certaines mesures, il appliquait déjà certaines pratiques comme le paillage ou remonter la terre lors du labour pour éviter la dégradation des sols. Lors d'épandage d'insecticide combiné avec un fongicide sur les cultures de colza, il a constaté avec d'autres agriculteurs une très forte mortalité des abeilles, ils ont donc décidé d'eux mêmes d'arrêter d'épandre ce mélange et de ne plus traiter lors de la floraison du colza. En parlant des abeilles, il a raconté qu'en France, la fédération de chasse a financé pendant un temps, des semences pour les bandes fleuries, ce qui a incité plusieurs agriculteurs de la région à mettre en place ces bandes, c'était selon lui une bonne initiative, les gens s'arrêtaient pour cueillir et ça permettait aux abeilles de butiner. Ces aides on cessé mais il explique que cet exemple montre que les agriculteurs sont enclin à mettre en place certaines mesures si elles ne leur font pas perdre de l'argent.

Pour conclure, l'impression générale ressentie lors de ces interviews est que les personnes interrogées conscientisent de deux manières la biodiversité dans les milieux agricoles, il y a une nature "naturelle" dans les haies, les forêts, etc... et une nature "fonctionnelle" qui interagit avec leurs cultures: abeilles, vers-de-terres. Aucun d'eux ne niait la disparition des oiseaux ou l'impact que l'agriculture intensive a pu avoir sur la biodiversité. Globalement ils estiment qu'ils peuvent/souhaitent avoir aussi un impact positif sur la biodiversité ou du moins réduire certaines pratiques néfastes. Mais face aux défis économiques liés à leur profession, l'ajout de nouvelles contraintes environnementales n'est pas bien perçu, d'autant plus qu'elles sont jugées dans certains cas inadaptées aux conditions locales. Ils souhaiteraient dans certains cas, que leurs avis soient plus souvent sollicités, ou au moins que leurs remarques soient écoutées.

## DISCUSSION

Ce mémoire a servi d'étude préparatoire à un projet de recherche intégré proposé par l'UCL en collaboration avec d'autres universités européennes. L'objectif a été d'évaluer l'influence de paysages agricoles contrastés sur les disponibilités en ressources florales pour les insectes pollinisateurs et l'influence de ces paysages sur les structures des communautés de pollinisateurs. Cette étude s'intègre dans les très nombreuses recherches étudiant le déclin des pollinisateurs et essaie d'apporter des connaissances à travers une approche à large échelle du paysage et de comprendre l'influence du contexte agricole sur les structures des interactions entre pollinisateurs et ressources florales.

L'un des objectifs est de mettre en parallèle les variations spatiales et phénologiques des ressources florales avec la structure des réseaux d'interactions entre plantes et pollinisateurs. Aucune étude n'avait jusqu'alors été réalisée en Wallonie en prenant en compte un paysage agricole dans son ensemble afin d'appréhender la dynamique saisonnière des communautés de plantes à fleurs et d'insectes visiteurs. L'approche de cette étude a été d'identifier et quantifier les disponibilités en ressources florales à travers la production de nectar et d'étudier l'influence du paysage sur les communautés de pollinisateurs par le biais des réseaux d'interaction entre plantes et pollinisateurs.

A terme, l'objectif est aussi de proposer un cadre de réflexion pour une utilisation efficace des mesures agro-environnementales réalisées et mises en place par l'asbl Natagriwal.

Etudier les communautés à travers les interactions qui les structurent est une étape essentielle en vue d'établir, d'éventuelles mesures de conservation. Les réseaux d'interactions sont par nature dynamiques, tant temporellement vis à vis de la saisonnalité mais aussi de l'action anthropique, omniprésente dans les paysages agricoles. Ainsi que spatialement par rapport à des paysages en mosaïque, caractéristiques des milieux agricoles. (Cole et al., 2017; Duelli et al., 1999) L'étude de ces dynamiques est un apport crucial dans le cadre de mesures de protection de l'environnement. Les connaissances apportées par cette approche peuvent permettre de mieux cibler des mesures en décelant d'éventuels pics ou gaps de disponibilité en ressources et d'évaluer l'importance relative des différents habitats disponibles pour les pollinisateurs composant les paysages agricoles.

### 1. LIMITES DE L'ETUDE ET CONTRAINTES RENCONTREES

Dans le cadre de cette étude il y a eu plusieurs limites qu'il est nécessaire d'éclaircir pour comprendre dans quel contexte les données ont été collectées, l'une de ces premières limites est liée aux contraintes de temps et de surface à couvrir pour réaliser des échantillonnages les plus précis

possible, à la résolution de l'individu et du nombre de fleurs, mais aussi à l'échelle du paysage. De tels échantillonnages prennent du temps, et il est nécessaire de prendre en compte les contraintes logistiques, mais aussi météorologiques pour optimiser les sessions d'échantillonnages. De ce fait une session complète, couvrant l'ensemble des six sites d'étude a pris environ 3 semaines entre la 1er phase d'échantillonnage (cartographie des ressources florales) du 1er site jusqu'à la dernière, (relevé de densité des ressources florales) du dernier site. Certains travaux agricoles ont été réalisés pendant les sessions d'échantillonnages comme le déchaumage, les labours ou les fauches, ce qui a induit une différence dans les quantités de ressources mesurées entre les sites. Mais cela fait partie des caractéristiques de ces milieux et de la dynamique "naturelle" des paysages agricoles. Une autre limite est le choix de ne pas étudier les milieux forestiers et urbains tels que les jardins ou vergers, pourtant tout de même présents dans les sites étudiés. Ce choix l'a été pour des raisons d'accessibilité et de contraintes techniques liées à la difficulté d'appréhender correctement les ressources produites par les arbres sans matériel adéquat.

Une autre limite est la nature "discrète" de l'approche. Les échantillonnages ont en effet été réalisés une fois par mois pour chaque site, de ce fait, certains gap ou pic de floraisons ont pu passer inaperçu.

La période étudiée est aussi à prendre en compte. Cette étude ne s'est focalisée que sur trois mois, de début Avril à fin Juin. Ce laps de temps couvre des périodes cruciales du début du printemps jusqu'au début de l'été où l'absence de ressources ou sa disparition brutale peut avoir d'importantes conséquences sur les communautés d'insectes. La période de mars n'a pas été prise en compte, cependant les saisons suivantes à partir du moi de juillet ont été couvertes par d'autres étudiants dans le cadre de leurs travaux de fin d'études respectifs.

Une autre limite à noter est que seule la production de nectar est étudiée. Bien que cette ressource soit indispensable pour subvenir aux besoins énergétiques des insectes visiteurs, le pollen est une ressource importante pour le développement du couvain chez les apidés sociaux et abeilles solitaires (Vaudo et al., 2015).

D'autre part les relevés floraux ont été faits indépendamment des transects d'observation. A l'origine il était prévu de réaliser un relevé exhaustif des espèces présentes sur les transects pollinisateurs ainsi que leur densité. Ces informations auraient eu l'avantage d'avoir une mesure standardisée de la richesse spécifique au niveau floristique ainsi que des mesures de productivité florales.

Il est nécessaire de relever également certaines contraintes liées à la plupart des études de terrain en écologie et auxquelles nous avons été confrontés.

La première est liée aux conditions climatiques qui ont inévitablement eu un impact sur les observations des pollinisateurs, mais aussi sur la phénologie des ressources florales lors d'épisode de

forte chaleur par exemple.

D'autre part lorsque l'on travaille à plusieurs, ce qui fut mon cas, pour une partie de cette enquête il faut savoir se montrer clair dans ses explications pour le protocole d'échantillonnage. Par exemple, certaines modalités n'ont pas été correctement transmises et une partie du protocole qui prévoyait l'estimation des couverts végétaux au niveau des transects pollinisateurs ainsi que le relevé des espèces florales présentes mais non visitées n'a pu être réalisé entièrement.

D'autre part, les données cartographiques peuvent manquer de précision au niveau de l'identification des espèces florales, du fait de la procédure utilisée et des grandes surfaces à couvrir certaines espèces morphologiquement proches et vivant dans les mêmes milieux ont pu être confondues, ces espèces ont donc été regroupées.

De plus certaines espèces deviennent moins visibles car dissimulées par la croissance du couvert végétal d'une saison à l'autre et par une diminution de la densité florale.

Certaines ressources n'ont pas été considérées par oubli, tels que les saules fleurissant début avril qui n'ont pas été correctement recensés.

L'échantillonnage est une étape cruciale dans toute étude écologique semi-expérimentale, mais l'encodage de ces données est aussi une étape indispensable qui nécessite certaines préparations préalables, surtout lorsque l'échantillonnage est réalisé par plusieurs observateurs. Dans notre cas, deux plateformes d'encodages ont été utilisées. Excel pour les données de comptage et les données d'observations et Qgis pour l'encodage des données cartographiques. Si pour Excel un simple tableau peut suffire, l'encodage sur Qgis nécessite quelques préparations. Dans ce cas, il faut des champs appropriés et surtout des polygones préparés à l'avance pour ne pas avoir à les redessiner à chaque fois afin de limiter le nombre d'erreurs et faciliter la manipulation des données lors de leur traitement. Malheureusement cette étape n'a pas été anticipée suffisamment à l'avance et a, par conséquent, limité l'exploitation des données. Concrètement, suite à un mauvais découpage des éléments du paysage, les dimensions et l'emplacement de certains compartiments étaient trop imprécis, ce qui a conduit dans certains cas à une mauvaise attribution de l'élément aux patches floraux. Il aurait fallu redessiner ces éléments mais face aux contraintes de délais des modalités du mémoire, cela n'a pu être réalisé à temps.

## 2. EFFET DE LA VARIATION SAISONNIERE ET DU PAYSAGE SUR LES RESSOURCES FLORALES

### PHENOLOGIE DES RESSOURCES

Lors des relevées floristiques il a été observé une forte hétérogénéité de la disponibilité en ressources. De manière plus ou moins marquée en fonction des saisons, une minorité d'espèces

contribuait à la majorité de la production en nectar, principalement du fait que ces espèces ont une floraison dense et des effectifs relativement importants dans les milieux où on les retrouve. Le début de printemps, entre Mars et Avril est une période critique pour certaines espèces de pollinisateurs, en particulier pour les espèces d'abeilles, car c'est une période généralement plus pauvre en ressource (Timberlake et al., 2019). Début Avril, les prunus (*Prunus avium* et *Prunus spinosa*) entament leur floraison, quasiment tous en même temps, ce qui a apporté une importante quantité de ressources respectivement 50.82% et 29.91% de la production globale en nectar. La majorité des ressources est généralement produite par un petit nombre d'espèces floristiques dominantes dans le paysage (Timberlake et al., 2019). Cette tendance a été également observée pour les mois de mai et de Juin. Ces espèces se retrouvaient exclusivement dans les haies et lisières. Cependant le plus grand nombre d'interactions du mois d'Avril a été observé dans les chaumes, Dominé de touffes de lamier pourpres en fleurs avec lesquelles un grand nombre d'interactions ont été observées. Globalement la disponibilité en ressources est importante mais elle dépend de la présence de haies ou de lisières. Dans le site de Condroz II montrant, relativement aux autres sites, un fort déficit en ressources nectarifères, la faible densité de haies n'a pu être compensée par les quelques lisières présentes et la seule chaume présente sur le site.

En mai, un pic de production en nectar est clairement visible dans trois sites, mais l'origine de cette production provient des champs de colza, capables de produire, selon les données relevées, environ 2.37kg de sucre par hectares. Sur ces cultures ont pu être observés trois GTO de *Bombus*: *B. terrestris*, *B. lapidarius* et *B. pascuorum*, représentant à eux trois 67% des interactions observées, *Apis mellifera* représentait 22% des interactions, le reste des interactions concernait 8.3% de diptère et 2.80% d'abeille solitaires. En produisant de grandes quantités de ressources en nectar, les cultures de colza apportent une importante quantité de ressources qui peuvent bénéficier aux espèces de bourdons généralistes comme *B. terrestris*, *B. lapidarius* et *B. pascuorum* (Westphal et al., 2003) mais également à certaines abeilles sauvages (Holzschuh et al., 2013). Cependant l'effet positif sur les effectifs de ces espèces pourrait augmenter la compétition avec les espèces ne se nourrissant pas sur les cultures de colza (Holzschuh et al., 2013). Au delà de cette ressource, la production des autres éléments du paysage semble relativement réduite sur certains sites. Les pâturages produisaient en moyenne 1.3kg de sucres par sites, et en effet 20.4% des observations d'interactions l'ont été dans ces pâtures, mais pour les 3/4 elles l'ont été sur *Taraxacum agg.* qui produisait 18.15% de la ressource en nectar dans les pâturages. Cette espèce semble être une ressource importante pour les pollinisateurs (Hicks et al., 2016).

La plus grande diversité d'interactions observées pour le mois de Mai fut au niveau des bords de

routes avec 11 espèces d'insectes visiteurs observés sur 12 espèces de fleurs différentes. Les bords de routes en mai produisaient une quantité de sucre au mètre carré très variable d'un élément à l'autre, allant de  $30\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{J}$  à  $0.87\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{J}$  mais avec un rendement moyen relativement élevé par rapport aux autres compartiments ( $0.12\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{J}$ ). Dans des paysages en mosaïque, les bords de routes peuvent parfois procurer une quantité et une diversité de ressources non négligeable aux pollinisateurs (Baude et al., 2016; Cole et al., 2017).

En Juin les espèces messicoles ont fortement contribué à la production de ressources en nectar, notamment le Bleuet *Centaurea cyanus* pouvant recouvrir des champs entiers avec une densité moyenne relevée de 180 unités florales par  $\text{m}^2$ , cette espèce messicole reste néanmoins sur la liste rouge des plantes messicoles wallones (Legast et al., 2008). Cette espèce fut également, dans une moindre mesure, retrouvée au bord des routes. Cette fleur est une ressource importante pour les pollinisateurs, 17% des interactions pendant le mois de juin ont été observées sur cette espèce.

D'autres espèces de messicoles comme les coquelicots *Papaver dubium* et *Papaver roheas*, ont été densément retrouvés dans les cultures et au bord des routes. ces espèces peuvent procurer une grande quantité de pollen pour les pollinisateurs (Hicks et al., 2016). Cependant peu d'interactions ont été relevées sur ces espèces, 7 au total, malgré le fait que ces espèces aient de nombreuses fois été observées hors transects d'observations en interaction avec des pollinisateurs.

Globalement la disponibilité en ressources était plus importante en Juin qu'en Mai, ce qui ne correspond pas aux précédentes recherches identifiant un gap en Juin (Timberlake et al., 2019) . Ces études ont été réalisées en Grande Bretagne mais cela peut aussi être dû à un décalage phénologique des variations climatiques annuelles (Flo et al., 2018; Khanduri et al., 2013).

La saisonnalité semble avoir eu une influence significative sur l'abondance des pollinisateurs, malgré un épisode caniculaire lors des transects d'observations, le nombre d'observations réalisées en Juin est le double des mois précédents. Les températures élevées ont pu provoquer un biais sur les densités relatives d'insectes observés (Fijen and Kleijn, 2017).

### 3. INFLUENCE DU CONTEXTE AGRICOLE

Les sites structurés ne se sont pas révélés significativement plus productifs que les sites simples, mais la puissance du test est relativement faible car les comparaisons ont été réalisées à partir des données moyennes par site. Les critères de qualification des sites structurés basés seulement sur la présence de MAEC pourraient aussi être améliorés en prenant en compte également les proportions d'éléments semi-naturels par exemple. Néanmoins, bien que peu de différences de rendement de

ressource en nectar aient été observées au niveau des prairies pour Avril et Mai, c'est en Juin que les prairies extensives, se sont révélées importantes dans le paysage, non seulement en terme de production de nectar mais aussi en diversité floristique, pouvant ainsi subvenir à une plus grande diversité d'insectes (Hicks et al., 2016). Les réglementations liées aux dates de fauche appliquées à ces prairies. Pas de fauches avant le 15 juin ou le 1er juillet pour les prairies avec MB2 ou MC4 (" | Natagriwal," n.d.), leur confèrent une importance d'autant plus grande car elles permettent d'atténuer une baisse de la disponibilité en ressource due aux fauches des prairies et des bords de route réalisées à la même période.

Le nombre d'espèces d'insectes visiteurs observés est resté similaire entre les différents sites. Les comparaisons des scores de connectances et de robustness entre sites structurés et plus simples ne se sont pas montrés significatifs. La robustness dépend en partie de la connectance (Estrada, 2007). Mais les valeurs de connectances sont influencées par l'effort d'échantillonnage ainsi que les conditions météorologiques dans lesquelles les observations ont été réalisées (Blüthgen et al., 2015; Dormann et al., 2009). Cependant les paysages agricoles simplifiés sont connus pour avoir diverses influences sur les pollinisateurs. Les paysages simplifiés peuvent avoir des impacts négatifs: sur la croissance des abeilles solitaires (Renauld et al., 2016) et sur le nombre de leurs descendants (Goodell, 2003; Williams and Kremen, 2007). Sur le nombre de colonies chez les bourdons (Persson and Smith, 2013). Les paysages simplifiés, peuvent exacerber la pression de compétition, entre les ruches d'*Apis mellifera* et *Bombus spp.* (Herbertsson et al., 2016).

La simplification des paysages agricoles qui résulte d'une intensification des pratiques, n'est pas seulement liée à la disparition d'habitats naturels et semi-naturels ou à une diminution de la diversité des ressources disponibles mais aussi à une augmentation de l'usage de pesticides (Meehan, 2011)

#### 4. INFLUENCE DES ELEMENT DU PAYSAGE SUR LES RESSOURCES ET LES POLLINISATEURS

L'importance relative des différents compartiments dans l'approvisionnement en ressources à l'échelle du paysage est évidente. Au cours des saisons, l'apport de nectar a considérablement varié d'un compartiment à l'autre, mais également dans l'importance de l'utilisation de ces compartiments par les pollinisateurs.

Les différents habitats dans un même module ont plus de connections en commun avec les mêmes espèces de pollinisateurs. Ils sont donc potentiellement complémentaires dans l'approvisionnement de ressources pour les pollinisateurs qui y sont retrouvés. Soit les mêmes pollinisateurs vont rechercher différentes ressources florales entre les différents compartiments d'un même module, soit les mêmes ressources florales sont présentes entre les compartiments d'un même module. Dans les cas des réseaux étudiés, cette interprétation n'est pas forcément évidente, étant donné que les compartiments d'un même module et donc partageant des cortèges de pollinisateurs semblables,

ne partageaient pas forcément les mêmes communautés floristiques. Néanmoins les réseaux les plus modulaires ont tendance à mieux résister aux perturbations (Bascompte and Gonzalez, 2017).

Toutefois, on remarque que dans certains sites, la taille réduite d'un compartiment influe sur les disponibilités en ressources du site, par exemple dans le site de Condroz II, l'apport global en nectar est considérablement réduit en Avril, car la plupart des ressources étaient produites dans les haies et lisières. Mais la quantité d'observations d'insectes dans ce site n'était pas différent des autres sites.

## CONCLUSION

L'importance relative des différents compartiments évolue au fil du temps. Les assemblages compartiment/pollinisateur diffèrent dans la densité d'interaction et dans la nature de ces interactions entre les saisons et entre les sites. Cependant la production en nectar ne semble pas avoir d'influence sur les quantités d'interactions avec les pollinisateurs, cela peut signifier que le nectar n'est pas la seule ressource recherchée par les pollinisateurs. Sur certaines espèces pourtant très abondantes et productrices semblent avoir été boudées par les hyménoptères, c'est le cas notamment pour les espèces de la famille des apiaceae ou des ranunculaceae. La production de nectar par certains angiospermes est une ressource essentielle pour les pollinisateurs, cependant en plus du volume produit, la qualité du nectar varie d'une espèce à l'autre dans les différentes proportions de sucres (Hicks et al., 2016; Nicolson and Thornburg, 2007), dans cette étude, la qualité du nectar n'a pas été prise en compte mais peut pourtant influencer le choix des pollinisateurs. D'autres facteurs tel l'emplacement des nectaires dans la fleur n'est pas sans importance. La morphologie des fleurs est d'ailleurs un facteur principal dans le choix des ressources, entre espèces spécialistes ou généralistes (Vickery and Jr., n.d.). Le pollen est également une ressource cruciale pour le développement des larves chez les hyménoptères. Cette ressource est plus difficilement appréhendable, toutes fleurs produisent du pollen mais tous les pollens ne sont pas exploités, la composition du pollen en lipides et protéines et les quantités produites varient beaucoup entre espèces florales (Roulston and Cane, 2000; Vaudo et al., 2015). Pour la recherche appliquée sur les espèces spécialistes, connaître les informations liées à leurs besoins floristiques et comprendre comment ces ressources évoluent dans l'espace et dans le temps est indéniablement crucial pour cibler des mesures de conservation. En effet, pour les espèces spécialistes, limitées à un nombre réduit d'espèces végétales comme source de nourriture, la disponibilité en ressource peut vite devenir un facteur limitant. Leur survie lorsque celle-ci est insuffisante ou que la compétition avec les espèces de pollinisateurs généralistes devient trop rude peut être compromise (Goulson et al., 2005; Herbertsson et al., 2016). Bien qu'étudier la variation des ressources florales soit déjà bien documenté, l'influence de cette disponibilité sur les pollinisateurs généralistes est moins évidente

comme nous avons pu le constater. Ces derniers peuvent adapter leurs besoins aux ressources disponibles, ce phénomène est d'ailleurs bien connu des apiculteurs qui influencent la qualité de leur miel en choisissant l'emplacement de leurs ruches. En contexte agricole, dans des paysages par nature hétérogènes et très variables d'une région à l'autre, l'importance relative de chaque espèce florale pour la production de ressources pour les pollinisateurs est difficilement appréhendable et généralisable à tous les paysages (Mandelik et al., 2012; Williams et al., 2012). Les recherches sur les matrices paysagères, définissant des habitats plus ou moins favorables aux pollinisateurs permettent déjà de pouvoir cibler spatialement quels habitats favoriser en fonction du taxon que l'on cherche à préserver (Holzschuh et al., 2012; Moquet et al., 2015). Mais les réseaux d'interactions entre plantes et pollinisateurs sont complexes à appréhender dans des paysages variables, dans le temps et l'espace. Lorsque l'objectif de conservation est de maintenir une diversité et des effectifs stables des populations de pollinisateurs, le principal défi de la recherche appliquée en écologie est de pouvoir intégrer de multiples espèces répondant à des besoins tout autant multiples. De nouvelles approches ont récemment été développées afin de pouvoir répondre à ces problématiques. En utilisant une approche à travers l'étude des réseaux d'interactions bipartite entre les pollinisateurs et les habitats dans lesquels ils évoluent. Cette approche peut fournir des outils afin d'estimer l'importance d'une espèce particulière ou d'un habitat particulier dans un paysage donné, grâce à l'analyse des propriétés des réseaux entre les habitats et ceux qui y vivent (Marini et al., 2019).

## BIBLIOGRAPHIE

- | Natagriwal [WWW Document], n.d. URL <https://www.natagriwal.be/fr/mesures-agro-environnementales/liste-des-mae/fiches#> (accessed 8.25.19).
- Aizen, M.A., Garibaldi, L.A., Cunningham, S.A., Klein, A.M., 2008. Long-Term Global Trends in Crop Yield and Production Reveal No Current Pollination Shortage but Increasing Pollinator Dependency. *Curr. Biol.* 18, 1572–1575. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2008.08.066>
- Bascompte, J., Gonzalez, A., 2017. Effects of network modularity on the spread of perturbation impact in experimental metapopulations 201, 199–201.
- 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, 85–88. <https://doi.org/10.1038/nature16532>
- Bengtsson, J., Ahnström, J., Weibull, A.C., 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: A meta-analysis. *J. Appl. Ecol.* 42, 261–269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01005.x>
- Benton, T.G., Vickery, J.A., Wilson, J.D., 2003. Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? *Trends Ecol. Evol.* 18, 182–188. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9)
- Signal, E.M., McCracken, D.I., 1996. Low-Intensity Farming Systems in the Conservation of the Countryside. *J. Appl. Ecol.* 33, 413. <https://doi.org/10.2307/2404973>
- Blüthgen, N., Frund, J., Vázquez, D.P., Florian Menze, 2015. What Do Interaction Network Metrics Tell Us About Specialization and Biological Traits? *Nico* 89, 1–24.
- Blüthgen, N., Klein, A.-M., 2011. Functional complementarity and specialisation: The role of biodiversity in plant–pollinator interactions. *Basic Appl. Ecol.* 12, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.11.001>
- Brouwer, F., Ittersum, M.K. van (Martin K., 2010. Environmental and agricultural modelling : integrated approaches for policy impact assessment. Springer.
- Cameron, S.A., Lozier, J.D., Strange, J.P., Koch, J.B., Cordes, N., Solter, L.F., Griswold, T.L., 2011. Patterns of widespread decline in North American bumble bees. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 108, 662–7. <https://doi.org/10.1073/pnas.1014743108>
- 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. *Ecol. Lett.* 17, 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. *Agric. Ecosyst. Environ.* 246, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.007>
- Cresswell, J.E., 2011. A meta-analysis of experiments testing the effects of a neonicotinoid insecticide (imidacloprid) on honey bees. *Ecotoxicology* 20, 149–157. <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0566-0>
- 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. *Ecol. Entomol.* 40, 22–35. <https://doi.org/10.1111/een.12226>

- Dormann, C., Gruber, B., Freund, J., 2008. Introducing the bipartite Package: analysing ecological networks. *Interaction* 1, 0.2413793.
- Dormann, C.F., Frund, J., Bluthgen, N., Gruber, B., 2009. Indices, Graphs and Null Models: Analyzing Bipartite Ecological Networks. *Open Ecol. J.* 2, 7–24. <https://doi.org/10.2174/1874213000902010007>
- Dormann, C.F., Strauss, R., 2014. A method for detecting modules in quantitative bipartite networks. *Methods Ecol. Evol.* 5, 90–98. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12139>
- Duelli, P., Obrist, M.K., Schmatz, D.R., 1999. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: above-ground insects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74, 33–64. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00029-8)
- Dunn, R.R., 2005. Modern insect extinctions, the neglected majority. *Conserv. Biol.* <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00078.x>
- Dunne, J.A., Williams, R.J., Martinez, N.D., 2002. Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. *Ecol. Lett.* 5, 558–567. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2002.00354.x>
- Eilers, E.J., Kremen, C., Smith Greenleaf, S., Garber, A.K., Klein, A.-M., 2011. Contribution of Pollinator-Mediated Crops to Nutrients in the Human Food Supply. *PLoS One* 6, e21363. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021363>
- Estrada, E., 2007. Food webs robustness to biodiversity loss: The roles of connectance, expansibility and degree distribution. *J. Theor. Biol.* 244, 296–307. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2006.08.002>
- Europa, 2018. EU Common agricultural policy: Land cover and land use.
- Fijen, T.P.M., Kleijn, D., 2017. How to efficiently obtain accurate estimates of flower visitation rates by pollinators. *Basic Appl. Ecol.* 19, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.01.004>
- Flo, V., Bosch, J., Arnan, X., Primante, C., Martín González, A.M., Barril-Graells, H., Rodrigo, A., 2018. Yearly fluctuations of flower landscape in a Mediterranean scrubland: Consequences for floral resource availability. *PLoS One* 13, e0191268. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191268>
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K., 2005. Global consequences of land use. *Science (80- )*. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Fortuna, M.A., Stouffer, D.B., Olesen, J.M., Jordano, P., Mouillot, D., Krasnov, B.R., Poulin, R., Bascompte, J., 2010. Nestedness versus modularity in ecological networks: Two sides of the same coin? *J. Anim. Ecol.* 79, 811–817. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01688.x>
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., Morales, J.M., Bommarco, R., Cunningham, S.A., Carvalho, 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., Viana, B.F., Westphal, C., Winfree, R., Klein, A.M., 2011. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecol. Lett.* 14, 1062–72. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x>
- Ghazoul, J., 2005. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends Ecol. Evol.* 20, 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.026>
- Gill, R.J., Ramos-Rodriguez, O., Raine, N.E., 2012. Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. *Nature* 491, 105–108. <https://doi.org/10.1038/nature11585>
- Goodell, K., 2003. Food availability affects *Osmia pumila* (Hymenoptera: Megachilidae) foraging, reproduction, and brood parasitism. *Oecologia* 134, 518–527. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1159-2>
- Goulson, D., Hanley, M.E., Darvill, B., Ellis, J.S., Knight, M.E., 2005. Causes of rarity in bumblebees. *Biol. Conserv.*

122, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2004.06.017>

- Goulson, D., Lye, G.C., Darvill, B., 2008. Decline and Conservation of Bumble Bees. *Annu. Rev. Entomol.* 53, 191–208. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093454>
- Greenleaf, S.S., Williams, N.M., Winfree, R., Kremen, C., 2007. Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia* 153, 589–596. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0752-9>
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörrén, T., Goulson, D., de Kroon, H., 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS One* 12, e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Hendrickx, F., Maelfait, J.P., Van Wingerden, W., Schweiger, O., Speelmans, M., Aviron, S., Augenstein, I., Billeter, R., Bailey, D., Bukacek, R., Burel, F., Diekötter, T., Dirksen, J., Herzog, F., Liira, J., Roubalova, M., Vandomme, V., Bugter, R., 2007. How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *J. Appl. Ecol.* 44, 340–351. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01270.x>
- Henry, M., Beguin, M., Requier, F., Rollin, O., Odoux, J.-F., Aupinel, P., Aptel, J., Tchamitchian, S., Decourtye, A., 2012. A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. *Science (80-. )*. 336, 348–350. <https://doi.org/10.1126/science.1215039>
- Herbertsson, L., Lindström, S.A.M., Rundlöf, M., Bommarco, R., Smith, H.G., 2016. Competition between managed honeybees and wild bumblebees depends on landscape context. *Basic Appl. Ecol.* 17, 609–616. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.05.001>
- Hicks, D.M., Ouvrard, P., Baldock, K.C.R.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 11, e0158117. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158117>
- Holland, J.M., Bianchi, F.J., Entling, M.H., Moonen, A.C., Smith, B.M., Jeanneret, P., 2016. Structure, function and management of semi-natural habitats for conservation biological control: a review of European studies. *Pest Manag. Sci.* <https://doi.org/10.1002/ps.4318>
- Holzschuh, A., Dormann, C.F., Tschardtke, T., Steffan-Dewenter, I., 2013. Mass-flowering crops enhance wild bee abundance. *Oecologia* 172, 477–484. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2515-5>
- Holzschuh, A., Dudenhöffer, J.-H., Tschardtke, T., 2012. Landscapes with wild bee habitats enhance pollination, fruit set and yield of sweet cherry. *Biol. Conserv.* 153, 101–107. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2012.04.032>
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T., 2010. How do landscape composition and configuration, organic farming and fallow strips affect the diversity of bees, wasps and their parasitoids? *J. Anim. Ecol.* 79, 491–500. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2009.01642.x>
- Hooper, D.U., Chapin, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J., Wardle, D.A., 2005. EFFECTS OF BIODIVERSITY ON ECOSYSTEM FUNCTIONING: A CONSENSUS OF CURRENT KNOWLEDGE. *Ecol. Monogr.* 75, 3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Hopfenmüller, S., Steffan-Dewenter, I., Holzschuh, A., 2014. Trait-specific responses of wild bee communities to landscape composition, configuration and local factors. *PLoS One* 9, e104439. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104439>
- Isbell, F., Calcagno, V., Hector, A., Connolly, J., Harpole, W.S., Reich, P.B., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Tilman, D., Van Ruijven, J., Weigelt, A., Wilsey, B.J., Zavaleta, E.S., Loreau, M., 2011. High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature* 477, 199–202. <https://doi.org/10.1038/nature10282>

- Kennedy, C.M., Lonsdorf, E., Neel, M.C., Williams, N.M., Ricketts, T.H., Winfree, R., Bommarco, R., Brittain, C., Burley, A.L., Cariveau, D., Carvalheiro, L.G., Chacoff, N.P., Cunningham, S.A., Danforth, B.N., Dudenhöffer, J.-H., Elle, E., Gaines, H.R., Garibaldi, L.A., Gratton, C., Holzschuh, A., Isaacs, R., Javorek, S.K., Jha, S., Klein, A.M., Krewenka, K., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Morandin, L., Neame, L.A., Otieno, M., Park, M., Potts, S.G., Rundlöf, M., Saez, A., Steffan-Dewenter, I., Taki, H., Viana, B.F., Westphal, C., Wilson, J.K., Greenleaf, S.S., Kremen, C., 2013. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecol. Lett.* 16, 584–599. <https://doi.org/10.1111/ele.12082>
- Khanduri, V.P., Sharma, C.M., Kumar, K.S., Ghildiyal, S.K., 2013. Annual variation in flowering phenology, pollination, mating system, and pollen yield in two natural populations of *Schima wallichii* (DC.) Korth. *ScientificWorldJournal*. 2013, 350157. <https://doi.org/10.1155/2013/350157>
- Klein, A.-M.M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tscharntke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. The Royal Society London. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Kremen, C., Williams, N.M., Thorp, R.W., 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 99, 16812–6. <https://doi.org/10.1073/pnas.262413599>
- Le Conte, Y., Ellis, M., Ritter, W., 2010. *Varroa* mites and honey bee health: can *Varroa* explain part of the colony losses? *Apidologie* 41, 353–363. <https://doi.org/10.1051/apido/2010017>
- Le Féon, V., Schermann-Legionnet, A., Delettre, Y., Aviron, S., Billeter, R., Bugter, R., Hendrickx, F., Burel, F., 2010. Intensification of agriculture, landscape composition and wild bee communities: A large scale study in four European countries. *Agric. Ecosyst. Environ.* 137, 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.01.015>
- Legast, M., Mahy, G., Messicoles, L.E.S., Moissons, F.D.E.S., Feremans, N., 2008. LES MESSICOLESFLEURS DES MOISSONS. *Les Messicoles Fleur. Des Moissons* 26–33.
- Mandelik, Y., Winfree, R., Neeson, T., Kremen, C., 2012. Complementary habitat use by wild bees in agri-natural landscapes. *Ecol. Appl.* 22, 1535–1546. <https://doi.org/10.1890/11-1299.1>
- Marini, L., Bartomeus, I., Rader, R., Lami, F., 2019. Species–habitat networks: A tool to improve landscape management for conservation. *J. Appl. Ecol.* 56, 923–928. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13337>
- McGEOCH, M.A., 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 73, S000632319700515X. <https://doi.org/10.1017/S000632319700515X>
- Menz, M.H.M., Phillips, R.D., Winfree, R., Kremen, C., Aizen, M.A., Johnson, S.D., Dixon, K.W., 2011. Reconnecting plants and pollinators: challenges in the restoration of pollination mutualisms. *Trends Plant Sci.* 16, 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.09.006>
- Moquet, L., Mayer, C., Michez, D., Wathelet, B., Jacquemart, A.-L., 2015. Early spring floral foraging resources for pollinators in wet heathlands in Belgium. *J. Insect Conserv.* 19, 837–848. <https://doi.org/10.1007/s10841-015-9802-5>
- Moreira, E.F., Boscolo, D., Viana, B.F., 2015. Spatial Heterogeneity Regulates Plant-Pollinator Networks across Multiple Landscape Scales. *PLoS One* 10, e0123628. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123628>
- Morse, D.H., 1971. The Insectivorous Bird as an Adaptive Strategy. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 2, 177–200. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.02.110171.001141>
- Newman, M.E.J., Girvan, M., n.d. Finding and evaluating community structure in networks. *Phys. Rev. E* 69, 026113. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.69.026113>
- Nicolson, S.W., Thornburg, R.W., 2007. Nectar chemistry, in: *Nectaries and Nectar*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 215–264. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5937-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5937-7_5)
- Öckinger, E., Smith, H.G., Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural

- landscapes. *J. Appl. Ecol.* 44, 50–59. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01250.x>
- Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S., 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120, 321–326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Orthophotos 2018 | Géoportail de la Wallonie [WWW Document], n.d. URL <http://geoportail.wallonie.be/catalogue/71cb59f2-fb18-41bc-9dbf-00ab93f69850.html> (accessed 8.25.19).
- Ouvrard, P., Transon, J., Jacquemart, A.-L.L., 2018. Flower-strip agri-environment schemes provide diverse and valuable summer flower resources for pollinating insects. *Biodivers. Conserv.* 27, 2193–2216. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1531-0>
- Persson, A.S., Smith, H.G., 2013. Seasonal persistence of bumblebee populations is affected by landscape context. *Agric. Ecosyst. Environ.* 165, 201–209. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2012.12.008>
- Pimm, S.L., Raven, P., 2000. Extinction by numbers. *Nature* 403, 843–845. <https://doi.org/10.1038/35002708>
- Pinhasi, R., Fort, J., Ammerman, A.J., 2005. Tracing the origin and spread of agriculture in Europe. *PLoS Biol.* 3, e410. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0030410>
- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W.E., 2010. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends Ecol. Evol.* 25, 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Rasmont P. & Pauly A., 2010. Les bourdons de la Belgique. Gembloux.
- Renauld, M., Hutchinson, A., Loeb, G., Poveda, K., Connelly, H., 2016. Landscape Simplification Constrains Adult Size in a Native Ground-Nesting Bee. *PLoS One* 11, e0150946. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150946>
- Requier, F., 2015. Ecologie des abeilles mellifères en paysage agricole intensif. *Bull. la Société Entomol. Fr.* 2, 120–127.
- Robinson, R.A., Sutherland, W.J., 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *J. Appl. Ecol.* 39, 157–176. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00695.x>
- Romain Carrié, M., Annie Ouin Mme Emilie Andrieu, M., Christophe Bouget, M., Françoise Burel, M., Rennes, U., Mme EMILIE ANDRIEU, P., Toulouse, I., 2016. Discipline ou spécialité : Agrosystèmes, Écosystèmes et Environnement Présentée et soutenue par : Hétérogénéité des paysages et des pratiques agricoles: effets sur la diversité des abeilles sauvages et la pollinisation Sciences Ecologiques, Vétérinaires, .
- Roulston, T.H., Cane, J.H., 2000. Pollen nutritional content and digestibility for animals. *Plant Syst. Evol.* 222, 187–209. <https://doi.org/10.1007/BF00984102>
- Rundlöf, M., Andersson, G.K.S., Bommarco, R., Fries, I., Hederström, V., Herbertsson, L., Jonsson, O., Klatt, B.K., Pedersen, T.R., Yourstone, J., Smith, H.G., 2015. Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. *Nature* 521, 77–80. <https://doi.org/10.1038/nature14420>
- Sammataro, D., Gerson, U., Needham, G., 2000. Parasitic Mites of Honey Bees: Life History, Implications, and Impact. *Annu. Rev. Entomol.* 45, 519–548. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.519>
- Sánchez-Bayo, F., Wyckhuys, K.A.G., 2019. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biol. Conserv.* 232, 8–27. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2019.01.020>
- Schenk, M., Krauss, J., Holzschuh, A., 2018. Desynchronizations in bee-plant interactions cause severe fitness losses in solitary bees. *J. Anim. Ecol.* 87, 139–149. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12694>
- Sjödin, N.E., Bengtsson, J., Ekblom, B., 2007. The influence of grazing intensity and landscape composition on the diversity and abundance of flower-visiting insects. *J. Appl. Ecol.* 45, 763–772.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01443.x>

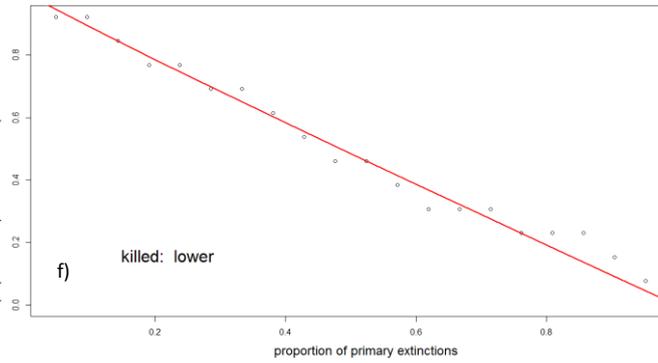
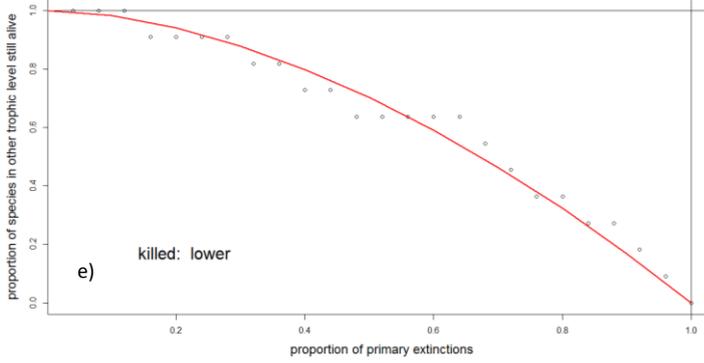
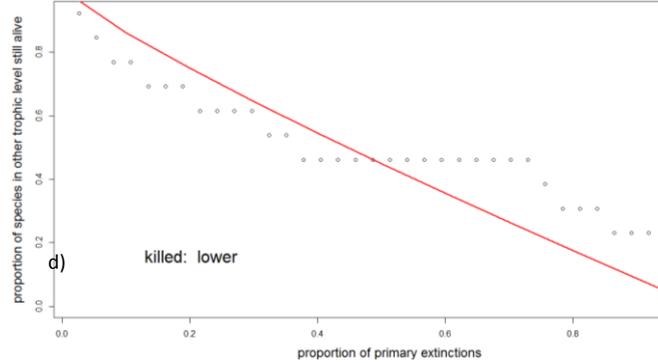
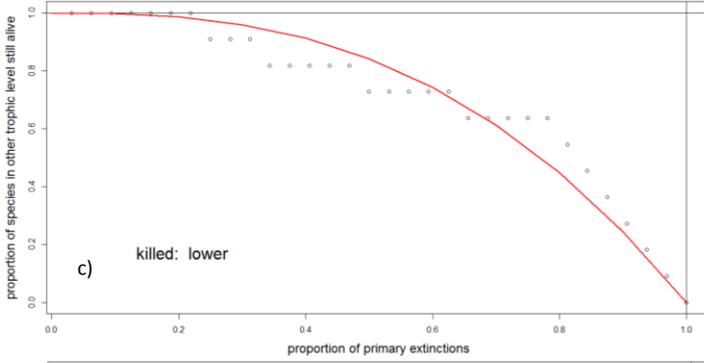
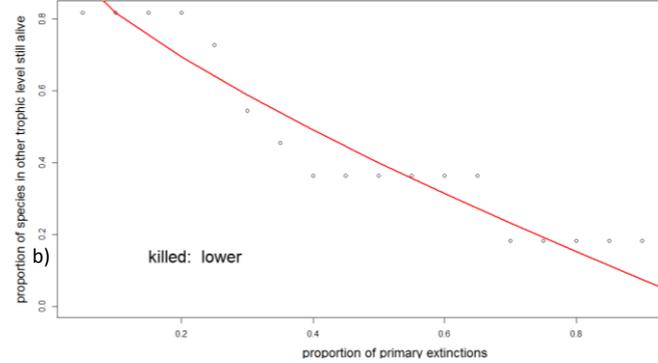
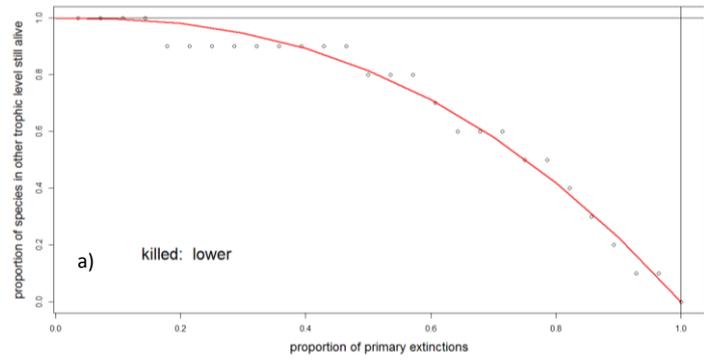
- Somme, L., Vanderplanck, M., Michez, D., Lombaerde, I., Moerman, R., Wathelet, B., Wattiez, R., Lognay, G., Jacquemart, A.-L.L., 2015. Pollen and nectar quality drive the major and minor floral choices of bumble bees. *Apidologie* 46, 92–106. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0307-0>
- Steffan-Dewenter, I., Münzenberg, U., Bürger, C., Thies, C., Tschardtke, T., 2002. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology* 83, 1421–1432. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[1421:SDEOLC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[1421:SDEOLC]2.0.CO;2)
- Steffan-Dewenter, I., Schiele, S., 2008. Do resources or natural enemies drive bee population dynamics in fragmented habitats? *Ecology* 89, 1375–87.
- Stoate, C., Boatman, N., Borralho, R., Carvalho, C.R., Snoo, G.R. d., Eden, P., 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *J. Environ. Manage.* 63, 337–365. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0473>
- Sutter, L., Jeanneret, P., Bartual, A.M., Bocci, G., Albrecht, M., 2017. Enhancing plant diversity in agricultural landscapes promotes both rare bees and dominant crop-pollinating bees through complementary increase in key floral resources. *J. Appl. Ecol.* 54, 1856–1864. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12907>
- Tilman, D., 1999. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96, 5995–6000. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.11.5995>
- Tilman, David, 1999. THE ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF CHANGES IN BIODIVERSITY: A SEARCH FOR GENERAL PRINCIPLES. *Ecology* 80, 1455–1474. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1455:TECOI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1455:TECOI]2.0.CO;2)
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Timberlake, T.P., Vaughan, I.P., Memmott, J., 2019. Phenology of farmland floral resources reveals seasonal gaps in nectar availability for bumblebees. *J. Appl. Ecol.* 56, 1365-2664.13403. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13403>
- Turcotte, M.M., Araki, H., Karp, D.S., Poveda, K., Whitehead, S.R., 2017. The eco-evolutionary impacts of domestication and agricultural practices on wild species. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 372, 20160033. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0033>
- Vanbergen, A.J., Initiative, the I.P., 2013. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Front. Ecol. Environ.* 11, 251–259. <https://doi.org/10.1890/120126>
- Vanbergen, A.J., Initiative, the I.P., Biesmeijer, J.C., Britton, N.F., Brown, M.J.F., Bryden, J., Budge, G.E., Bull, J.C., Carvell, C., Challinor, A.J., Connolly, C.N., Evans, D.J., Feil, E.J., Garratt, M.P., Greco, M.K., Heard, M.S., Jansen, V.A.A., Keeling, M.J., Kunin, W.E., Marris, G.C., Memmott, J., Murray, J.T., Nicolson, S.W., Osborne, J.L., Paxton, R.J., Pirk, C.W.W., Polce, C., Potts, S.G., Priest, N.K., Raine, N.E., Roberts, S., Ryabov, E. V, Shafir, S., Shirley, M.D.F., Simpson, S.J., Stevenson, P.C., Stone, G.N., Termansen, M., Wright, G.A., 2013. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Front. Ecol. Environ.* 11, 251–259. <https://doi.org/10.1890/120126>
- Vaudo, A.D., Farrell, L.M., Patch, H.M., Grozinger, C.M., Tooker, J.F., 2018. Consistent pollen nutritional intake drives bumble bee (*Bombus impatiens*) colony growth and reproduction across different habitats. *Ecol. Evol.* 8, 5765–5776. <https://doi.org/10.1002/ece3.4115>
- Vaudo, A.D., Tooker, J.F., Grozinger, C.M., Patch, H.M., 2015. Bee nutrition and floral resource restoration. *Curr. Opin. Insect Sci.* 10, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.05.008>
- Vickery, S.D.S. and R.K., Jr., n.d. ON THE RELATIVE IMPORTANCE OF FLORAL COLOR, SHAPE, AND NECTAR REWARDS IN ATTRACTING POLLINATORS TO MIMULUS. *Gt. Basin Nat.* <https://doi.org/10.2307/41712764>
- Westphal, C., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T., 2003. Mass flowering crops enhance pollinator densities at a

- landscape scale. *Ecol. Lett.* 6, 961–965. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00523.x>
- Whitehorn, P.R., O'Connor, S., Wackers, F.L., Goulson, D., 2012. Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science* 336, 351–2. <https://doi.org/10.1126/science.1215025>
- Williams, N.M., Kremen, C., 2007. Resource distributions among habitats determine solitary bee offspring production in a mosaic landscape. *Ecol. Appl.* 17, 910–21.
- Williams, N.M., Regetz, J., Kremen, C., 2012. Landscape-scale resources promote colony growth but not reproductive performance of bumble bees. *Ecology* 93, 1049–1058. <https://doi.org/10.1890/11-1006.1>
- Winfree, R., Aguilar, R., Vázquez, D.P., LeBuhn, G., Aizen, M.A., 2009. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology* 90, 2068–2076. <https://doi.org/10.1890/08-1245.1>
- Wratten, S.D., Gillespie, M., Decourtye, A., Mader, E., Desneux, N., 2012. Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. *Agric. Ecosyst. Environ.* 159, 112–122.
- 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. *J. Anim. Ecol.* 79, 674–681. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01675.x>

ANNEXE 1 CALENDRIER DES TRANSECTS D'OBSERVATIONS PAR COMPARTIMENT ET PAR SITE POUR LES TROIS SESSIONS D'ÉCHANTILLONNAGE, LES TRANSECTS NON RÉALISÉS (NA), NE L'ONT PAS ÉTÉ LORSQUE LE COMPARTIMENT ÉTAIT ABSENT DU SITE, QU'AUUCUNE RESSOURCE FLORALE N'AVAIT ÉTÉ OBSERVÉE LORS DE LA SESSION D'OBSERVATION OU À CAUSE D'UN IMPREVU LOGISTIQUE.

Site	Compartiment	1er session	2eme session	3eme session	Site	Compartiment	1er session	2eme session	3eme session
Calestienne I	<b>bord de route</b>	16-avr.	26-avr.	14-juin	Condroz II	<b>bord de route</b>	8-avr.	23-avr.	24-juin
	<b>chaume</b>	7-avr.	26-avr.	na		<b>chaume</b>	1-avr.	23-avr.	na
	<b>culture(Céréale)</b>	16-avr.	26-avr.	18-juin		<b>culture(Céréale)</b>	na	na	na
	<b>culture(Colza)</b>	na	na	na		<b>culture(Colza)</b>	na	23-avr.	na
	<b>haie</b>	16-avr.	26-avr.	14-juin		<b>haie</b>	1-avr.	23-avr.	24-juin
	<b>lisière</b>	16-avr.	26-avr.	14-juin		<b>lisière</b>	18-avr.	23-avr.	24-juin
	<b>pâtûre</b>	na	26-avr.	18-juin		<b>pâtûre</b>	18-avr.	23-avr.	25-juin
	<b>pâtûre ext.</b>	na	na	14-juin		<b>pâtûre ext.</b>	na	na	na
	<b>prairie</b>	16-avr.	26-avr.	18-juin		<b>prairie</b>	na	23-avr.	24-juin
<b>prairie ext.</b>	na	26-avr.	14-juin	<b>prairie ext.</b>	na	na	na		
Calestienne II	<b>bord de route</b>	7-avr.	26-avr.	16-juin	Famenne I	<b>bord de route</b>	18-avr.	29-avr.	23-juin
	<b>chaume</b>	na	na	na		<b>chaume</b>	na	na	na
	<b>culture(Céréale)</b>	7-avr.	26-avr.	16-juin		<b>culture(Céréale)</b>	18-avr.	29-avr.	23-juin
	<b>culture(Colza)</b>	na	na	na		<b>culture(Colza)</b>	na	29-avr.	na
	<b>haie</b>	7-avr.	26-avr.	16-juin		<b>haie</b>	18-avr.	29-avr.	23-juin
	<b>lisière</b>	7-avr.	26-avr.	16-juin		<b>lisière</b>	18-avr.	28-avr.	23-juin
	<b>pâtûre</b>	na	26-avr.	16-juin		<b>pâtûre</b>	na	29-avr.	23-juin
	<b>pâtûre ext.</b>	na	na	na		<b>pâtûre ext.</b>	na	na	23-juin
	<b>prairie</b>	7-avr.	26-avr.	13-juin		<b>prairie</b>	na	na	na
<b>prairie ext.</b>	na	na	na	<b>prairie ext.</b>	18-avr.	29-avr.	na		
Condroz I	<b>bord de route</b>	1-avr.	30-avr.	25-juin	Famenne II	<b>bord de route</b>	6-avr.	24-avr.	22-juin
	<b>chaume</b>	1-avr.	na	na		<b>chaume</b>	18-avr.	24-avr.	na
	<b>culture(Céréale)</b>	na	na	25-juin		<b>culture(Cereale)</b>	na	24-avr.	22-juin
	<b>culture(Colza)</b>	na	30-avr.	na		<b>culture(Colza)</b>	na	24-avr.	na
	<b>haie</b>	1-avr.	30-avr.	25-juin		<b>haie</b>	6-avr.	24-avr.	28-juin
	<b>lisière</b>	1-avr.	30-avr.	25-juin		<b>lisière</b>	6-avr.	24-avr.	22-juin
	<b>pâtûre</b>	1-avr.	30-avr.	na		<b>pâtûre</b>	6-avr.	24-avr.	28-juin
	<b>pature ext.</b>	na	na	25-juin		<b>pature ext.</b>	na	na	na
	<b>prairie</b>	na	30-avr.	25-juin		<b>prairie</b>	na	na	22-juin
<b>prairie ext.</b>	na	na	25-juin	<b>prairie ext.</b>	na	na	na		

ANNEXE 2 COURBES DE SECONDE EXTINCTION APRES LA DISPARITION SUCCESSIVE D'ESPECES BOTANIQUES AYANT LE PLUS D'INTERACTIONS DANS U  
 DECREISSANT. LES GRAPHIQUES A) ET B) CORRESPONDENT AUX SITES DE LA REGION FAGNE-FAMENNE, C) ET D) A LA REGION CALESTIENNE , E) ET F) ALA R  
 CONDROZ, LES GRAPHIQUES A), C) ET E) CORRESPONDENT AUX SITES DE MEILLEUR QUALITE.



ANNEXE 3 PHENOLOGIE DES ESPECES EN FLEURS, DE LA DENSITE MOYENNE D'UNITE FLORALES (UF) AU M<sup>2</sup> ET DU RENDEMENT DE SUCRES AU M<sup>2</sup>.. AINSI QUE LA QUANTITE DE POLLINISATEURS OBSERVE PAR ESPECES ET PAR SAISON ET LE NOMBRE D'ESPECES DE POLLINISATEURS DIFFERENTS OBSERVES.

Espèce	Famille	Mois	Densité UF/m <sup>2</sup>	moyenne	Rendement sucres µg/jour/m <sup>2</sup>	Quantité d'interaction fleur/pollinisateur	Nombre d'espèce pollinisateur	de
<i>Achillea millefolium</i>	Asteraceae	Juin	210,3 ± 46,0		1589,6	2	2	
<i>Aegopodium podagraria</i>	Apiaceae	Juin	2,1 ± 0,0		NA	-	-	
<i>Agrimonia eupatoria</i>	Rosaceae	Juin	4,8 ± 0,0		6,6	-	-	
<i>Agrimonia procera</i>	Rosaceae	Juin	4,4 ± 0,0		NA	-	-	
<i>Ajuga reptans</i>	Lamiaceae	Mai	56,5 ± 25,6		8757,9	7		
	Lamiaceae	Juin	390,0 ± 0,0		60473,4	-	3	
<i>Alliaria petiolata</i>	Brassicaceae	Mai	185,0 ± 225,5		NA	1	1	
<i>Anagallis arvensis</i>	Primulaceae	Juin	1,4 ± 0,0		NA	-	-	
<i>Anthriscus sylvestris</i>	Apiaceae	Mai	2795,1 ± 1607,2		31668,5	15		4
	Apiaceae	Juin	15,0 ± 0,0		170,0	1		
<i>Aquilegia vulgaris</i>	Ranunculacea	Juin	0,8 ± 0,0		NA	-	-	
<i>Barbarea intermedia</i>	Brassicaceae	Mai	91,9 ± 56,0		NA	5	1	
<i>Barbarea vulgaris</i>	Brassicaceae	Mai	1139,9 ± 431,9		116802,3	30		7
	Brassicaceae	Juin	3,0 ± 3,1		305,3	-		
	Asteraceae	Avril	16,3 ± 8,8		13,7	21		
<i>Bellis perennis</i>	Asteraceae	Mai	7,1 ± 11,4		5,9	-		2
	Asteraceae	Juin	0,7 ± 0,4		0,6	-		
<i>Brassica napus</i>	Brassicaceae	Mai	245,1 ± 214,5		96781,5	36	7	
<i>Brassica oleracea</i>	Brassicaceae	Juin	10,3 ± 0,0		NA	-	-	
<i>Brassica rapa</i>	Brassicaceae	Mai	0,1 ± 0,0		16,5	-	-	
<i>Bunias orientalis</i>	Brassicaceae	Juin	147,0 ± 0,0		NA	-	-	
<i>Bunium bulbocastanum</i>	Apiaceae	Juin	14,7 ± 0,0		NA	2	1	
<i>Caltha palustris</i>	Ranunculacea	Mai	8,7 ± 0,4		38,0	-	-	

<i>Campanula percicifolia</i>	Asterids	Juin	0,2 ± 0,0	NA	-	-
<i>Campanula trachelium</i>	Asterids	Juin	4,0 ± 0,0	NA	-	-
	Brassicaceae	Avril	130,5 ± 0,0	50,9	1	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Brassicaceae	Mai	317,3 ± 506,0	123,7	-	2
	Brassicaceae	Juin	0,7 ± 0,0	0,3	1	
<i>Cardamine hirsuta/flexuosa</i>	Brassicaceae	Avril	294,3 ± 31,3	1324,1	2	2
<i>Cardamine pratensis</i>	Brassicaceae	Mai	10,9 ± 10,6	640,5	3	3
<i>Centaurea cyanus</i>	Asteraceae	Juin	51,6 ± 84,7	76386,7	108	6
<i>Centaurea nigra/jacea</i>	Asteraceae	Juin	8,9 ± 6,9	1770,6	-	-
<i>Cerastium arvense/fontanum</i>	Caryophyllaceae	Juin	13,0 ± 0,0	350,1	-	-
<i>Cerastium fontanum</i>	Caryophyllaceae	Juin	59,5 ± 0,0	1602,6	1	1
<i>Cerastium glomeratum</i>	Caryophyllaceae	Juin	18,0 ± 0,0	NA	2	1
	Caryophyllaceae	Mai	56,5 ± 110,3	NA	-	
<i>Chaerophyllum temulum</i>	Apiaceae	Juin	269,7 ± 688,2	NA	7	2
<i>Chamerion angustifolium</i>	Onagraceae	Juin	57,0 ± 0,0	53689,5	-	-
<i>Chelidonium majus</i>	Papaveraceae	Mai	21,5 ± 11,3	NA	-	-
	Papaveraceae	Juin	0,5 ± 0,0	NA	-	
<i>Cirsium arvense</i>	Asteraceae	Juin	2,9 ± 0,0	221,0	-	-
<i>Cirsium palustre</i>	Asteraceae	Juin	10,9 ± 36,0	2354,3	-	-
<i>Cirsium vulgare</i>	Asteraceae	Juin	8,6 ± 6,5	655,2	-	-
<i>Convolvulus arvensis</i>	Asterids	Juin	3,2 ± 6,6	1139,8	-	-
<i>Cornus sanguinea</i>	Asterids	Juin	192,0 ± 0,0	13207,7	-	-
<i>Crataegus monogyna/laevigata</i>						
	Rosaceae	Mai	821,7 ± 1159,9	84203,4	-	-
<i>Crepis biennis/capillaris</i>	Asteraceae	Juin	6,5 ± 3,6	59,0	3	1
	Rubiaceae	Mai	3333,4 ± 3756,6	NA	-	
<i>Cruciata laevipes</i>	Rubiaceae	Juin	651,2 ± 438,8	NA	1	1
	Fabaceae	Mai	774,9 ± 900,5	26315,6	14	5
<i>Cytisus scoparius</i>	Fabaceae	Juin	18,0 ± 0,0	611,3	-	
<i>Dactylorhiza majalis</i>	Orchidaceae	Mai	3,0 ± 0,0	NA	-	-

<i>Daucus carota</i>	Apiaceae	Juin	23,9 ± 0,0	176,0	-	-
<i>Digitalis purpurea</i>	Plantaginaceae	Juin	20,2 ± 0,4	25706,9	-	-
<i>Echium vulgare</i>	Boraginaceae	Juin	16,4 ± 0,0	11273,9	-	-
<i>Epilobium ciliatum</i>	Onagraceae	Juin	9,5 ± 14,1	1376,2	2	1
<i>Erodium cicutarium</i>	Geraniaceae	Mai	73,5 ± 0,0	NA	-	-
	Geraniaceae	Juin	26,3 ± 0,0	NA	-	-
<i>Euphorbia cyparissias</i>	Euphorbiaceae	Mai	47,4 ± 47,1	NA	1	1
	Euphorbiaceae	Juin	4,1 ± 0,0	NA	-	-
<i>Euphorbia helliscoides</i>	Euphorbiaceae	Mai	143,1 ± 162,8	NA	-	-
	Euphorbiaceae	Juin	2,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Euphorbia peplus</i>	Euphorbiaceae	Mai	4,2 ± 0,0	NA	-	-
<i>Fragaria vesca</i>	Rosaceae	Mai	34,4 ± 17,3	NA	-	-
	Rosaceae	Juin	0,8 ± 0,0	NA	-	-
<i>Fumaria officinalis</i>	Papaveraceae	Mai	721,6 ± 0,0	15801,6	-	-
	Papaveraceae	Juin	14,1 ± 27,6	307,9	-	-
<i>Galium album</i>	Rubiaceae	Juin	2315,1 ± 4341,1	8287,9	1	1
<i>Galium aparine</i>	Rubiaceae	Juin	655,0 ± 0,0	6209,4	-	-
<i>Galium palustre</i>	Rubiaceae	Juin	14,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Galium verum</i>	Rubiaceae	Juin	136,2 ± 188,1	89,9	-	-
<i>Geranium dissectum</i>	Geraniaceae	Mai	11,2 ± 15,3	30,1	-	-
	Geraniaceae	Juin	14,4 ± 33,0	38,8	-	-
	Geraniaceae	Avril	0,1 ± 0,0	1,8	-	-
<i>Geranium molle</i>	Geraniaceae	Mai	61,3 ± 22,5	1259,5	1	2
	Geraniaceae	Juin	8,0 ± 12,8	163,9	1	-
<i>Geranium pyrenaicum</i>	Geraniaceae	Mai	20,9 ± 11,2	344,1	16	7
	Geraniaceae	Juin	2,4 ± 5,9	40,3	17	-
<i>Geranium robertianum</i>	Geraniaceae	Juin	12,0 ± 18,6	1175,0	9	3
<i>Geranium rotundifolium</i>	Geraniaceae	Mai	4,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Geum urbanum</i>	Rosaceae	Juin	0,4 ± 0,4	11,1	-	-
<i>Glechoma hederacea</i>	Lamiaceae	Avril	79,0 ± 0,0	7455,2	5	6

	Lamiaceae	Mai	237,4 ± 450,6	22407,2	17	
	Lamiaceae	Juin	4,0 ± 0,0	377,5	-	
<i>Helianthemum nummularium</i>	Rosids	Juin	6,7 ± 0,0	NA	-	-
<i>Helleborus foetidus</i>	Ranunculaceae	Mai	4,3 ± 0,0	NA	-	1
<i>Heracleum sphondylium</i>	Apiaceae	Juin	177,7 ± 292,3	17449,1	49	5
<i>Hieracium agg.</i>	Asteraceae	Juin	2,1 ± 3,5	NA	-	-
<i>Hippocrepis comosa</i>	Fabaceae	Mai	6,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Hypericum perforatum</i>	Clusiaceae	Juin	10,7 ± 11,5	NA	13	4
<i>Hypochaeris radicata</i>	Asteraceae	Juin	2,7 ± 2,0	38,5	4	2
<i>Knautia arvensis</i>	Asterids	Juin	0,6 ± 0,6	90,7	4	3
	Lamiaceae	Avril	10,1 ± 4,3	10590,8	7	
<i>Lamium album</i>	Lamiaceae	Mai	248,8 ± 258,4	259700,1	15	6
	Lamiaceae	Juin	4,8 ± 4,2	5019,0	2	
<i>Lamium amplexicaule</i>	Lamiaceae	Avril	203,0 ± 0,0	NA	-	3
	Lamiaceae	Mai	8,7 ± 0,0	NA	3	
<i>Lamium galeobdolon</i>	Lamiaceae	Mai	177,7 ± 182,7	78200,3	1	1
	Lamiaceae	Avril	129,2 ± 124,2	3961,3	95	
<i>Lamium purpureum</i>	Lamiaceae	Mai	34,8 ± 26,3	1067,3	34	11
	Lamiaceae	Juin	9,4 ± 2,0	286,8	7	
<i>Lampsana communis</i>	Asteraceae	Juin	4,7 ± 5,9	1,2	-	-
<i>Lathyrus pratensis</i>	Fabaceae	Juin	16,7 ± 24,9	15906,9	-	-
<i>Leucanthemum vulgare</i>	Asteraceae	Juin	2,9 ± 3,3	45,8	-	-
<i>Ligustrum vulgare</i>	Asterids	Juin	0,5 ± 0,0	33,4	-	-
<i>Linum usitatissimum</i>	Rosids	Juin	36,0 ± 0,0	NA	4	3
<i>Lonicera periclymenum</i>	Asterids	Juin	1,2 ± 0,9	2065,0	-	-
<i>Lotus corniculatus</i>	Fabaceae	Juin	19,8 ± 39,7	1223,7	7	4
<i>Lotus pedunculatus</i>	Fabaceae	Juin	17,0 ± 0,0	601,1	-	-
<i>Lysimachia punctata</i>	Primulaceae	Juin	13,5 ± 0,0	NA	-	-
<i>Malva moschata</i>	Malvaceae	Juin	1,3 ± 2,4	873,1	-	-
<i>Matricaria chamomilla</i>	Asteraceae	Juin	128,6 ± 146,9	77,2	30	5

<i>Matricaria discoidea</i>	Asteraceae	Mai	30,0 ± 0,0	8,4	-	-
	Asteraceae	Juin	7,6 ± 4,9	2,1	-	-
<i>Medicago lupulina</i>	Fabaceae	Mai	1732,0 ± 0,0	2823,2	-	-
<i>Medicago sativa</i>	Fabaceae	Juin	97,6 ± 216,4	14267,2	11	3
<b><i>Melampyrum arvense</i></b>	Orobanchaceae	Juin	3,3 ± 0,0	NA	-	-
<i>Melilotus officinalis</i>	Fabaceae	Juin	1650,0 ± 0,0	33280,5	-	-
<i>Myosotis arvensis</i>	Boraginaceae	Mai	109,7 ± 171,9	2561,8	-	-
	Boraginaceae	Juin	59,0 ± 94,0	1378,7	-	-
<i>Myosotis scorpioides</i>	Boraginaceae	Juin	12,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Myosotis stricta</i>	Boraginaceae	Juin	2,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Onobrychis vicifolia</i>	Fabaceae	Juin	112,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Orchis mascula</i>	Orchidaceae	Mai	2,7 ± 0,0	NA	-	-
<i>Papaver dubium/rhoeas</i>	Papaveraceae	Mai	3,5 ± 0,0	18,8	-	-
	Papaveraceae	Juin	2,8 ± 2,9	14,8	-	-
<i>Pisum sativum</i>	Fabaceae	Juin	157,5 ± 161,9	3181,5	-	-
<i>Plantago lanceolata</i>	Plantaginaceae	Juin	8,4 ± 16,2	0,0	1	1
<i>Plantago media</i>	Plantaginaceae	Juin	0,2 ± 0,0	NA	-	-
<i>Potentilla argentea</i>	Rosaceae	Juin	0,4 ± 0,0	NA	-	-
<i>Potentilla recta</i>	Rosaceae	Juin	0,1 ± 0,0	NA	-	-
<i>Potentilla reptans</i>	Rosaceae	Juin	11,9 ± 2,2	366,3	-	-
<i>Primula veris</i>	Primulaceae	Avril	19,0 ± 0,0	NA	-	1
	Primulaceae	Mai	42,2 ± 7,0	NA	2	-
<i>Prunella vulgaris</i>	Lamiaceae	Juin	8,7 ± 28,4	1203,5	-	-
<i>Prunus avium</i>	Rosaceae	Avril	2275,0 ± 0,0	874692,0	11	6
<i>Prunus spinosa</i>	Rosaceae	Avril	611,3 ± 347,4	162747,9	70	9
<i>Ranunculus acris</i>	Ranunculacea	Mai	18,1 ± 9,1	1428,7	-	5
	Ranunculacea	Juin	1,2 ± 1,8	98,3	6	-
<i>Ranunculus bulbosus</i>	Ranunculacea	Mai	21,6 ± 26,9	1063,6	1	1
	Ranunculacea	Juin	0,3 ± 0,0	15,8	-	-
<i>Ranunculus ficaria</i>	Ranunculacea	Avril	20,7 ± 0,0	272,8	2	2

<i>Ranunculus flammula</i>	Ranunculacea	Juin	3,1 ± 0,0	36,6	-	-
<i>Ranunculus repens</i>	Ranunculacea	Mai	20,3 ± 18,8	2126,3	-	4
	Ranunculacea	Juin	0,4 ± 0,1	38,1	4	
<i>Reseda luteola</i>	Resedaceae	Juin	22,3 ± 29,4	NA	-	-
<i>Rhinanthus minor</i>	Orobanchaceae	Juin	17,4 ± 28,7	1892,1	-	-
<i>Rosa canina agg.</i>	Rosaceae	Juin	31,4 ± 7,0	543,7	5	2
<i>Rubus fruticosus agg.</i>	Rosaceae	Juin	46,0 ± 32,3	86986,3	141	8
<i>Salix cinerea/caprea</i>	Salicaceae	Avril	141,0 ± 0,0	5080,2	-	-
	Salicaceae	Mai	81,0 ± 0,0	2918,4	-	-
<i>Salix fragilis/triendra</i>	Salicaceae	Mai	557,3 ± 611,9	NA	-	-
<i>Salix sp.</i>	Salicaceae	Mai	31,5 ± 0,0	1134,9	-	-
	Salicaceae	Avril	186,5 ± 0,0	6719,6	-	-
<i>Sambucus nigra</i>	Asterids	Juin	1184,4 ± 1430,6	10908,3	1	1
<i>Sanguisorba minor</i>	Rosaceae	Mai	46,6 ± 0,0	5,1	-	-
	Rosaceae	Juin	0,6 ± 0,0	0,1	-	-
<i>Sedum acre</i>	Crassulaceae	Juin	334,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Senecio jacobaea</i>	Asteraceae	Juin	5,9 ± 1,6	133,8	-	-
<i>Sherardia arvensis</i>	Rubiaceae	Mai	72,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Silene dioica</i>	Caryophyllaceae	Mai	0,1 ± 0,0	58,6	-	-
<i>Silene flos-cuculi</i>	Caryophyllaceae	Juin	4,5 ± 0,0	NA	-	-
	Caryophyllaceae	Mai	7,3 ± 7,8	NA	-	-
<i>Silene latifolia</i>	Caryophyllaceae	Juin	6,2 ± 1,9	NA	-	-
<i>Silene vulgaris</i>	Caryophyllaceae	Juin	19,1 ± 0,0	4808,1	-	-
<i>Sinapis arvensis</i>	Brassicaceae	Mai	16,6 ± 0,2	922,0	-	-
	Brassicaceae	Juin	10,5 ± 0,0	582,7	-	-
<i>Solanum tuberosum</i>	Solanaceae	Juin	3,7 ± 3,3	99,7	-	-
<i>Sorbus sanguinea</i>	Rosaceae	Juin	216,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Stachys officinalis</i>	Lamiaceae	Juin	14,6 ± 16,7	NA	-	-
<i>Stachys sylvatica</i>	Lamiaceae	Juin	4,6 ± 11,4	1426,5	-	-
<i>Stellaria graminea</i>	Caryophyllaceae	Juin	21,2 ± 39,2	360,8	-	-

<i>Stellaria holostea</i>	Caryophyllaceae	Mai	60,7 ± 61,7	336,0	-	1
	Caryophyllaceae	Juin	2,4 ± 0,0	13,3	-	
	Caryophyllaceae	Avril	206,9 ± 265,2	1471,3	16	
<i>Stellaria media</i>	Caryophyllaceae	Mai	197,0 ± 0,0	1400,7	3	7
	Caryophyllaceae	Juin	3,3 ± 0,0	23,6	-	
<i>Stellaria palustris</i>	Caryophyllaceae	Juin	17,0 ± 0,0	94,2	-	-
<i>Symphytum officinale</i>	Boraginaceae	Juin	49,0 ± 7,1	96503,5	-	-
<i>Symphytum x uplandicum</i>	Boraginaceae	Juin	118,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Tanacetum vulgare</i>	Asteraceae	Juin	0,8 ± 0,0	NA	-	-
	Asteraceae	Mai	77,0 ± 0,0	NA	-	
	Asteraceae	Avril	4,2 ± 12,9	94,3	24	
<i>Taraxacum agg.</i>	Asteraceae	Mai	8,1 ± 12,8	182,6	89	13
	Asteraceae	Juin	0,4 ± 0,0	8,1	-	
<i>Thlaspi arvense</i>	Brassicaceae	Juin	35,5 ± 0,0	NA	-	-
<i>Trifolium dubium</i>	Fabaceae	Juin	155,4 ± 243,1	NA	2	2
<i>Trifolium pratense</i>	Fabaceae	Mai	825,8 ± 1875,3	96506,9	-	6
	Fabaceae	Juin	602,1 ± 210,1	70359,1	18	
<i>Trifolium repens</i>	Fabaceae	Mai	493,0 ± 0,0	24142,2	-	8
	Fabaceae	Juin	151,7 ± 233,8	7430,9	81	
<i>Trifolium striatum</i>	Fabaceae	Juin	2,6 ± 0,0	NA	3	1
<i>Tripleurospermum inodorum/maritimum</i>	Asteraceae	Juin	12,2 ± 12,1	17102,1	-	-
<i>Valeriana dioica</i>	Caprifoliaceae	Mai	5,0 ± 0,0	NA	-	-
<i>Valeriana officinalis</i>	Caprifoliaceae	Juin	7,2 ± 0,0	NA	-	-
<i>Valerianella locusta</i>	Caprifoliaceae	Mai	4382,2 ± 7873,0	NA	-	-
<i>Verbascum nigrum</i>	Scrofulariaceae	Juin	10,3 ± 0,0	NA	-	-
<i>Veronica chamaedrys</i>	Plantaginaceae	Mai	85,0 ± 74,5	752,5	1	1
	Plantaginaceae	Juin	4,3 ± 9,0	37,7	-	
<i>Veronica hederifolia</i>	Plantaginaceae	Avril	74,5 ± 0,0	NA	11	4
<i>Veronica persica</i>	Plantaginaceae	Avril	82,8 ± 54,6	2614,1	35	5

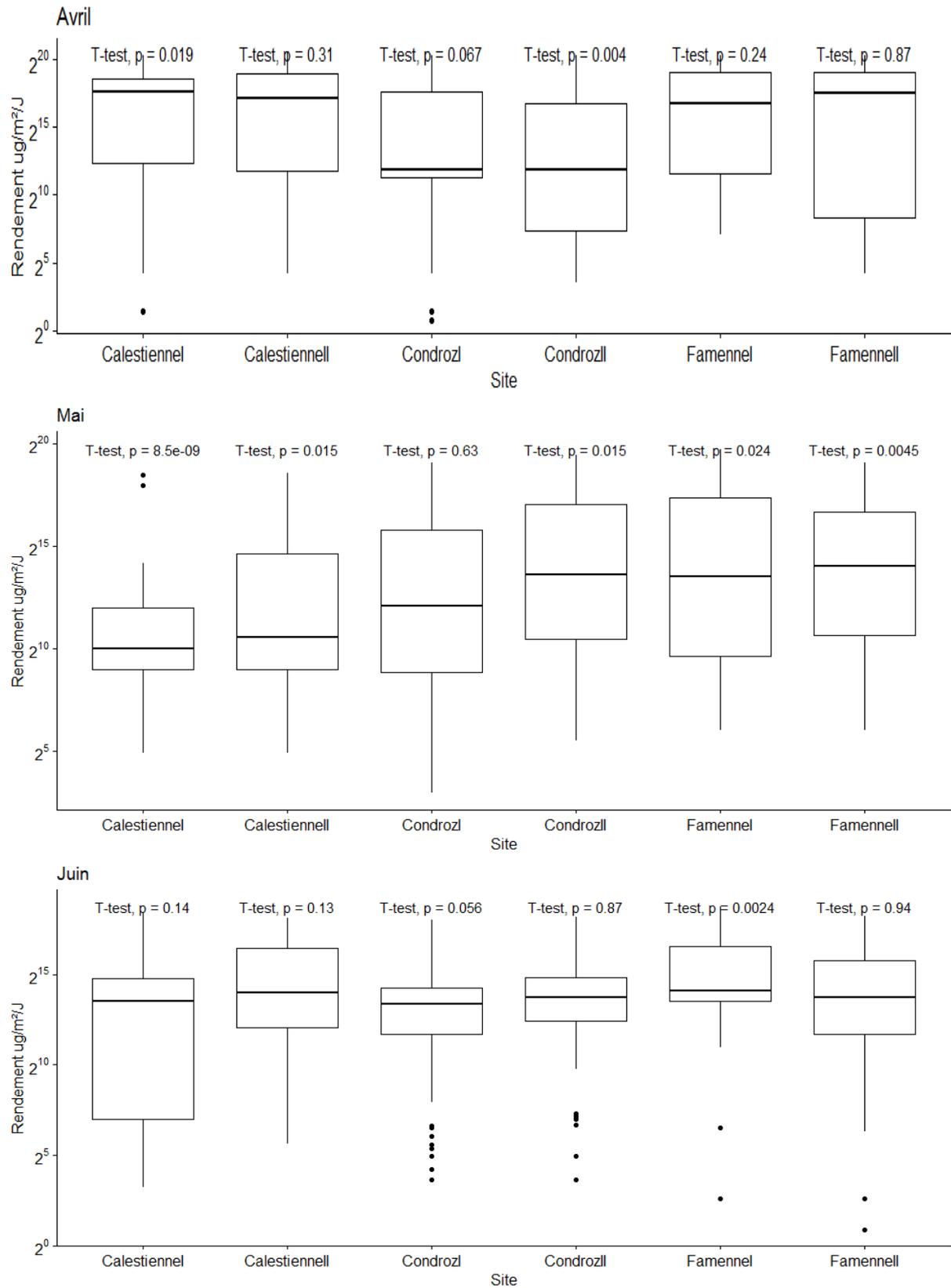
	Plantaginaceae	Mai	25,7 ± 34,4	812,4	5	
	Plantaginaceae	Juin	7,5 ± 0,0	235,3	-	
<i>Viburnum lantana</i>	Caprifoliaceae	Mai	910,8 ± 0,0	NA	4	3
<i>Vicia cracca</i>	Fabaceae	Juin	28,9 ± 47,9	14015,7	2	2
	Fabaceae	Mai	606,0 ± 0,0	16216,6	-	2
<i>Vicia hirsuta</i>	Fabaceae	Juin	133,0 ± 269,3	3558,2	2	
	Fabaceae	Mai	20,4 ± 36,7	6132,2	-	1
<i>Vicia sativa</i>	Fabaceae	Juin	8,7 ± 1,5	2627,3	4	
	Fabaceae	Mai	54,2 ± 64,1	6343,7	2	2
<i>Vicia sepium</i>	Fabaceae	Juin	1,0 ± 0,0	112,4	-	
<i>Vinca minor</i>	Apocynaceae	Mai	78,0 ± 0,0	NA	-	-
	Violaceae	Avril	34,1 ± 0,0	1820,0	5	2
<i>Viola arvensis</i>	Violaceae	Mai	36,1 ± 40,4	1929,7	2	
	Violaceae	Juin	6,9 ± 9,1	366,2	-	2
<i>Viola arvensis</i>	Violaceae	Avril	15,5 ± 0,0	2687,9	-	-
<i>Viola riviniana</i>	Violaceae	Avril				

ANNEXE 4 LISTE D'ABREVIATIONS DES ESPECES VEGETALES

Nom Latin	Abreviation
<i>Achillea millefolium</i>	Achi_mil
<i>Ajuga reptans</i>	Aju_rept
<i>Alliaria petiolata</i>	Alli_pet
<i>Anthriscus sylvestris</i>	Ant_syl
<i>Barbarea intermedia</i>	Barb_int
<i>Barbarea vulgaris</i>	Barb_vul
<i>Bellis perennis</i>	Bel_peren
<i>Brassica napus</i>	Bras_nap
<i>Bunium bulbocastanum</i>	Bun_bulb
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Caps_burs
<i>Cardamine hirsuta/flexuosa</i>	Card_hirs
<i>Cardamine pratensis</i>	Card_pra
<i>Centaurea cyanus</i>	Cen_cya
<i>Centaurea jacea</i>	Cen_jace
<i>Cerastium fontanum</i>	Cer_font
<i>Cerastium glomeratum</i>	Cer_glo
<i>Chaerophyllum temulum</i>	Cha_tem
<i>Crataegus laevigata</i>	Crat_lae
<i>Crepis biennis/capillaris</i>	Crep_bie
<i>Cruciata laevipes</i>	Cru_lae
<i>Cytisus scoparius</i>	Cys_sco
<i>Epilobium ciliatum</i>	Epi_cil
<i>Euphorbia cyparissias</i>	Eup_cyp
<i>Galium album</i>	Gal_alb
<i>Geranium molle</i>	Ger_mo
<i>Geranium pyrenaicum</i>	Ger_py
<i>Geranium robertianum</i>	Ger_rob
<i>Glechoma hederacea</i>	Gle_hed
<i>Heracleum sphondylium</i>	Her_spho
<i>Hypericum perforatum</i>	Hype_perfo
<i>Hypochaeris radicata</i>	Hyp_rad
<i>Knautia arvensis</i>	Kna_arv
<i>Lamium album</i>	Lam_alb
<i>Lamium amplexicaule</i>	Lam_amp
<i>Lamium galeobdolon</i>	Lam_gal
<i>Lamium purpureum</i>	Lam_pur
<i>Leucanthemum vulgare</i>	Leu_vul
<i>Linum usitatissimum</i>	Lin_usi

Nom Latin	Abreviation
<i>Lotus corniculatus</i>	Lot_cor
<i>Matricaria chamomilla</i>	Mat_cha
<i>Medicago sativa</i>	Med_sat
<i>Myosotis sp</i>	Myo
<i>Myosotis sp.</i>	Myo
<i>Papaver dubium</i>	Pap_dub
<i>Papaver dubium/rhoeas</i>	Pap_dub
<i>Plantago lanceolata</i>	Pla_lan
<i>Primula veris</i>	Pri_ver
<i>Prunus avium</i>	Pru_avi
<i>Prunus spinosa</i>	Pru_spi
<i>Ranunculus acris</i>	Ran_acr
<i>Ranunculus bulbosus</i>	Ran_bul
<i>Ranunculus ficaria</i>	Ran_fic
<i>Ranunculus repens</i>	Ran_rep
<i>Rosa canina agg.</i>	Ros_can
<i>Rubus fruticosus agg.</i>	Rubus
<i>Salix alba</i>	Sal_alb
<i>Sambucus nigra</i>	Sam_nig
<i>Senecio jacobea</i>	Sen_jac
<i>Silene flox-cucli</i>	Sil_flo
<i>Stellaria holostea</i>	Ste_hol
<i>Stellaria media</i>	Stel_med
<i>Taraxacum agg.</i>	Tarax
<i>Trifolium dubium</i>	Tri_dub
<i>Trifolium pratense</i>	Tri_pra
<i>Trifolium repens</i>	Tri_rep
<i>Trifolium striatum</i>	Tri_stri
<i>Tripleurospermum maritimum/inodorum</i>	Tripl_mari
<i>Veronica chamaedrys</i>	Ver_cham
<i>Veronica hederifolia</i>	Ver_hed
<i>Veronica persica</i>	Ver_pers
<i>Viburnum lantana</i>	Vib_lan
<i>Vicia cracca</i>	Vic_crac
<i>Vicia hirsuta</i>	Vic_hirs
<i>Vicia sativa</i>	Vic_sat
<i>Vicia sepium</i>	Vic_sep
<i>Viola arvensis</i>	Vio_arv

FIGURE 12 RESULTATS TEST T DE STUDENT APPAREILE ENTRE LES DIFFERENTS SITES D'ETUDES POUR LES TROIS SAISONS D'ECHANTILLONAGES.



Annexe 5 Matrices d'interaction pollinisateurs/compartiments, les colonnes représentent les pollinisateurs et les lignes correspondent aux compartiments. Les cellules bleues représentent les interactions dont l'intensité est proportionnelle au nombre d'interactions. Les cadres rouges représentent les modules définis par la méthode 'Beckett' de la fonction 'computeModule': Package 'Bipartite'. Les données des 3 saisons d'échantillonnages ont été regroupées. Q correspond à la valeur de modularité calculée par la méthode Beckett

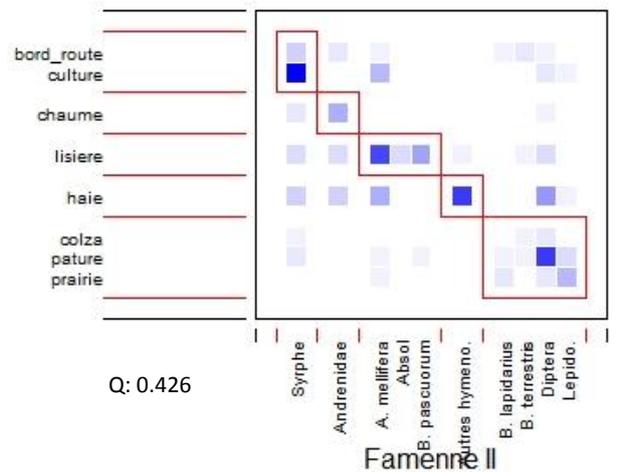
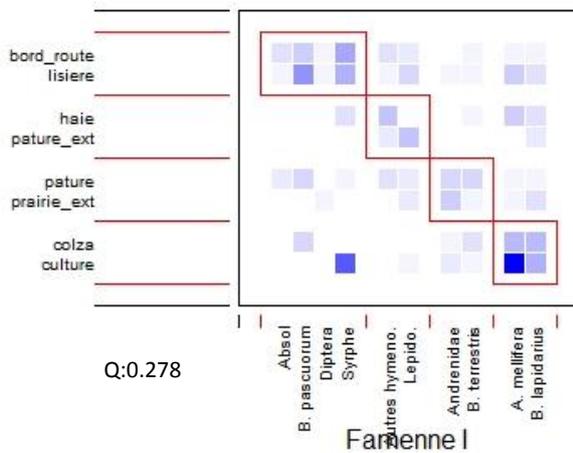
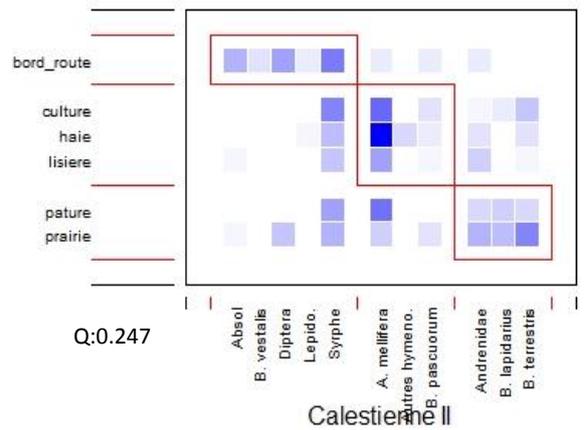
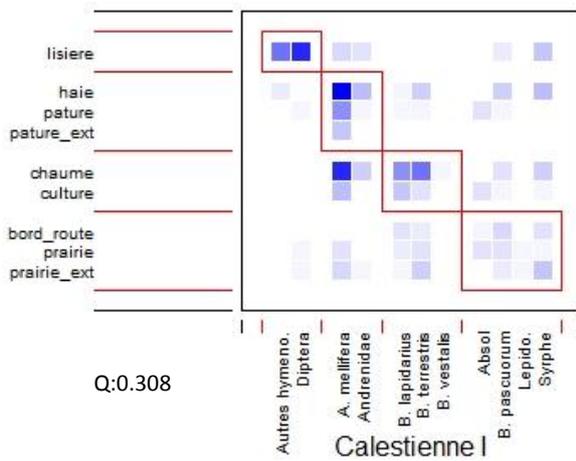
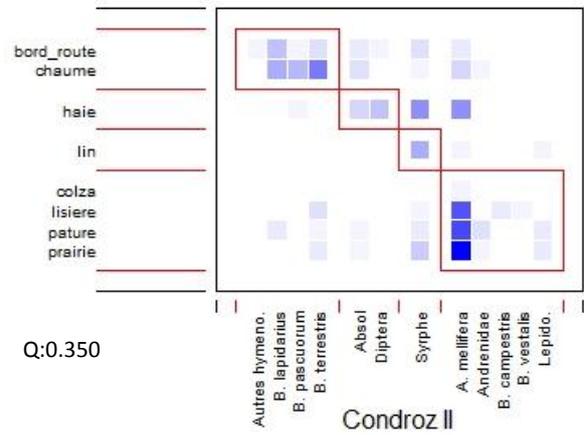
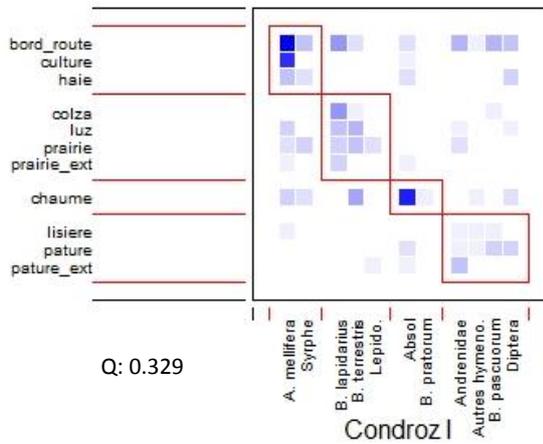


FIGURE 13 VISUALISATION DES SIX SITES ETUDIES, AVEC GRAND TYPES PARCELLAIRE, LES ZONES NON COUVERTES PAR UN TYPE DE COUVERTURE N'ONT PAS ETE ECHANTILLONNES.

