

Faculté des bioingénieurs

Propositions d'espèces entomophiles pour les bandes aménagées favorables aux pollinisateurs (MAEC)

Auteur : Marie Marchal

Promoteur : Anne-Laure Jacquemart

Lecteurs : Thierry Hance & Christophe Manssens

Année académique 2018-2019

Bioingénieur : sciences agronomiques

Remerciements

Par ces quelques lignes, je souhaite remercier les différentes personnes qui m'ont accompagnée et aidée durant ce mémoire.

Tout d'abord, je tiens à remercier ma promotrice, Madame Anne-Laure Jacquemart, pour sa disponibilité et ses conseils, toujours utiles. Ses relectures attentives m'ont permis d'améliorer ce mémoire.

J'aimerais également remercier Charlotte Descamps pour sa présence tout au long de ce travail. Le temps consacré à répondre à mes questions, à m'aider dans le prélèvement de nectar, à relire mes écrits... m'ont été un soutien précieux. Je suis heureuse d'avoir réalisé ce mémoire à ses côtés.

Mes remerciements vont ensuite à Christel Buyens, qui m'a expliqué les différentes manipulations à effectuer en laboratoire et qui était toujours disponible pour me donner un coup de main.

Merci également à Christophe Manssens d'avoir parlé de ce sujet à Madame Anne-Laure Jacquemart et Charlotte Descamps. Sans cela, mon mémoire aurait pu être tout à fait différent. Le temps passé à me présenter le sujet, les parcelles d'essais et à répondre à mes questions m'a permis de démarrer ce mémoire dans de bonnes conditions.

Mes remerciements s'adressent aussi aux personnes qui possèdent les parcelles d'essais sur lesquelles les relevés d'insectes ont été effectués : Adrien Docks, Bernard Powiz et le CTA.

Je souhaite également remercier Marc Migon pour son aide dans les serres et le temps consacré à vérifier mes identifications d'insectes. De même, merci à Alain Pauly et David Genoud d'avoir confirmé mes déterminations d'insectes. Je remercie aussi Hélène Dailly pour les analyses de nectar.

Un merci tout particulier à Amandine R., Céline et Nicolas pour les quelques jours qu'ils ont passés avec moi sur les parcelles. J'ai apprécié leur aide et leur compagnie lors des relevés. Je remercie également Claire et Maxime pour leurs conseils quant à l'usage du logiciel R. Amandine M. a répondu à nombre de mes questions et pour cela, merci.

Enfin, j'aimerais terminer ces quelques lignes en remerciant mes parents pour leur soutien tout au long de mes études et de mon mémoire. Que ce soit pour les petites friandises apportées lors des journées de canicule sur les parcelles, leurs conseils, leur relecture...
Merci !

Table des matières

Introduction.....	1
1. Cadre de l'étude	1
2. Insectes pollinisateurs	1
2.1. Pollinisation	1
2.2. Insectes pollinisateurs	2
2.2.1. Hyménoptères	2
2.2.2. Diptères	3
2.2.3. Autres ordres.....	4
2.3. Déclin des insectes pollinisateurs.....	4
2.3.1. Causes.....	4
2.3.2. Conséquences.....	4
2.3.3. Solutions et soutiens	5
3. Espèces végétales étudiées	7
3.1. <i>Borago officinalis</i>	7
3.1.1. Caractéristiques générales	7
3.1.2. Pollinisation et reproduction.....	8
3.1.3. Utilisation	9
3.2. <i>Fagopyrum esculentum</i>	9
3.2.1. Caractéristiques générales	9
3.2.2. Pollinisation et reproduction.....	10
3.2.3. Utilisation	10
3.3. <i>Helianthus annuus</i>	11
3.3.1. Caractéristiques générales	11
3.3.2. Pollinisation et reproduction.....	12
3.3.3. Utilisation	12
3.4. <i>Phacelia tanacetifolia</i>	12
3.4.1. Caractéristiques générales	12
3.4.2. Pollinisation et reproduction.....	13
3.4.3. Utilisation	14
3.5. <i>Trifolium</i> spp.....	14
3.5.1. Caractéristiques générales	14
3.5.2. Pollinisation et reproduction.....	15
3.5.3. Utilisation	16
4. Objectifs	16

Matériel et Méthodes	17
1. Matériel végétal	17
2. Sites d'étude.....	17
2.1. Sart-Risbart.....	18
2.2. Lauzelle.....	19
2.3. Strée	21
2.4. Dongelberg	22
2.5. Incourt	23
3. Pollinisateurs	24
3.1. Suivis.....	24
3.2. Identification	25
3.3. Pollen.....	26
4. Ressources en nectar.....	27
5. Analyses statistiques	29
Résultats.....	30
1. Conditions environnementales	30
1.1. Conditions météorologiques	30
1.2. Floraison	30
2. Pollinisateurs	32
2.1. Guilde des pollinisateurs	32
2.2. Pollen.....	38
3. Ressources en nectar.....	41
4. Résultats principaux	43
Discussion.....	44
1. Mélange proposé	44
1.1. Guilde des pollinisateurs	44
1.2. Nectar	47
1.3. Pollen.....	49
1.4. Autres paramètres.....	52
2. Espèces non-recommandées.....	52
3. Limites de l'étude	54
4. Perspectives.....	54
Conclusion	56
Bibliographie	57
Annexes	65

Liste des figures

Figure 1 – <i>Borago officinalis</i>	8
Figure 2 – <i>Fagopyrum esculentum</i>	9
Figure 3 – <i>Helianthus annuus</i>	11
Figure 4 – <i>Phacelia tanacetifolia</i>	13
Figure 5 – <i>Trifolium</i> spp.	14
Figure 6 – Localisation des parcelles sur le site de Sart-Risbart.....	18
Figure 7 – Disposition des espèces végétales étudiées sur le site de Sart-Risbart	19
Figure 8 – Localisation des parcelles sur le site de la ferme de Lauzelle	20
Figure 9 – Disposition des espèces végétales étudiées sur le site de la ferme de Lauzelle	21
Figure 10 – Localisation de la parcelle de trèfles de Perse au sein du CTA.....	22
Figure 11 – Localisation de la parcelle de trèfles de Perse à Dongelberg	23
Figure 12 – Localisation de la bande faune d’Incourt	23
Figure 13 – Piston à insecte.....	27
Figure 14 – Nombre d’espèces d’insectes différentes observées sur les sept espèces végétales étudiées.....	34
Figure 15 – Réseau d’interactions entre les sept espèces végétales étudiées et les insectes observés	35
Figure 16 – Abondance relative des différents groupes pour chaque espèce végétale.....	36

Liste des tableaux

Tableau 1 – Caractéristiques botaniques de <i>T. alexandrinum</i> , <i>T. incarnatum</i> et <i>T. resupinatum</i>	14
Tableau 2 – Sites, dates et densités de semis des sept espèces végétales étudiées	17
Tableau 3 – Caractéristiques géographiques des sites d'étude	18
Tableau 4 – Localisation, nombre de jours et durée des relevés d'insectes sur les sept espèces végétales étudiées.....	24
Tableau 5 – Nombre de mesures effectuées au réfractomètre et nombre d'échantillons soumis à la GC	28
Tableau 6 – Comparaison des températures et précipitations à Uccle des mois de mai à août 2018 avec les normales de 1981-2010.....	30
Tableau 7 – Période de floraison des espèces végétales étudiées sur les sites de Sart-Risbart et Lauzelle.....	31
Tableau 8 – Densité florale moyenne des sept espèces végétales étudiées	31
Tableau 9 – Nombres totaux d'espèces d'insectes observés sur les sept espèces végétales étudiées.	32
Tableau 10 – Nombre moyen d'insectes observés au cours d'une journée de relevés.....	38
Tableau 11 – Nombre et origine des pelotes collectées	38
Tableau 12 – Fidélité des différents morphotypes de visiteurs	39
Tableau 13 – Identification des grains de pollen autres que ceux provenant de l'espèce d'intérêt	39
Tableau 14 – Caractéristiques du nectar de cinq des sept espèces végétales étudiées.....	41
Tableau 15 – Synthèse des résultats principaux obtenus pour les sept espèces végétales étudiées ..	43

Acronymes

CTA : Centre des technologies agronomiques

GC : Gas chromatography

GTO : Groupe taxonomique opérationnel

MAEC : Méthodes agro-environnementales et climatiques

PAC : Politique agricole commune

UE : Union européenne

Introduction

1. Cadre de l'étude

En Belgique, des méthodes agro-environnementales et climatiques (MAEC) sont proposées aux agriculteurs pour protéger l'environnement, conserver le patrimoine (végétal et animal) et maintenir les paysages des zones agricoles. Une de ces MAEC vise à soutenir la petite faune des plaines agricoles en installant des bandes aménagées en bordure de champs. Les agriculteurs qui désirent mettre en place cette mesure peuvent par exemple semer un mélange de céréales qu'ils ne récolteront pas. Cependant, cette MAEC présente un inconvénient : en étant ressemé chaque année vers les mois d'avril-mai, le couvert nourricier favorise la venue d'adventices. Pour pallier ce problème, Natagriwal¹ souhaite alterner ces céréales de printemps avec des céréales d'hiver. Dès lors, un autre mélange est nécessaire pour couvrir les bandes aménagées entre les mois d'avril-mai et le mois de novembre. Ce couvert pourrait être composé d'espèces végétales offrant des ressources bénéfiques aux insectes pollinisateurs.

Les insectes pollinisateurs interviennent dans la reproduction de plus de la moitié des angiospermes sauvages et cultivées et sont actuellement menacés. Par conséquent, les espèces végétales dépendant de la pollinisation entomophile pourraient être impactées par la baisse des insectes pollinisateurs, tout comme pourrait l'être à terme notre alimentation. Ainsi, introduire des espèces végétales favorables aux pollinisateurs dans les bandes aménagées pourrait se révéler utile.

Peu d'études ont été menées pour évaluer l'efficacité des mélanges floraux semés à destination des pollinisateurs. Ce mémoire a donc pour but de déterminer quelles espèces semer en mélange pour attirer la plus grande diversité d'insectes pollinisateurs. À cette fin, sept espèces végétales déjà employées dans le cadre de MAEC ou reconnues pour leurs caractéristiques entomophiles ont été choisies et suivies durant un été. Il s'agit de *Borago officinalis*, *Fagopyrum esculentum*, *Helianthus annuus*, *Phacelia tanacetifolia*, *Trifolium alexandrinum*, *T. incarnatum* et *T. resupinatum*.

2. Insectes pollinisateurs

2.1. Pollinisation

Dans le cadre d'une reproduction sexuée, les plantes à fleurs doivent être pollinisées pour que la graine ou le fruit se forme (Abrol, 2012). En effet, la pollinisation précède la fécondation et permet le transfert du pollen des anthères vers les stigmates. Ce transfert s'effectue de manière spontanée ou grâce à l'intervention d'un vecteur tel que le vent, l'eau, la gravité, les mammifères, les oiseaux, les insectes ou l'action de l'homme (Abrol, 2012).

¹ Natagriwal est une « association sans but lucratif dont la mission est d'informer, conseiller et encadrer les agriculteurs, forestiers et propriétaires publics ou privés dans la mise en œuvre du programme agro-environnemental et du réseau écologique européen Natura 2000 » (Natagriwal, no date a).

Pour attirer les insectes pollinisateurs, la plupart des fleurs sécrètent du nectar, un liquide constitué entre autres de sucres et d'acides aminés (Parachnowitsch, Manson and Sletvold, 2019). Le pollen représente également une ressource appréciée par les insectes, car il fournit les éléments nécessaires au développement des larves et jeunes adultes d'abeilles en termes de protéines, lipides, vitamines et minéraux (Nicolson and Human, 2013). Par conséquent, en visitant les fleurs à la recherche de nectar ou de pollen, les insectes permettent la pollinisation (Parachnowitsch, Manson and Sletvold, 2019). Ainsi, la proportion des angiospermes pollinisées par les insectes varie de 78% dans les écosystèmes tempérés à 94% dans les écosystèmes tropicaux (Ollerton, Winfree and Tarrant, 2011). Parmi les 115 principales plantes cultivées dans le monde, 75% dépendent de la pollinisation animale. Les 35% restant incluent notamment les cultures anémophiles (céréales) qui fournissent 60% de la production agricole globale (Klein *et al.*, 2007). En Wallonie, les principales cultures entomophiles sont les suivantes : colza, certaines cultures maraichères (pois et haricots), les cultures fruitières et les cultures horticoles sous serres (van Dyck, 2019).

En 2015, la pollinisation animale contribuait à 5 à 8% de la production agricole mondiale, ce qui représente, à l'échelle mondiale, une valeur marchande annuelle de 235 à 577 milliards de dollars américains (Potts *et al.*, 2016).

2.2. Insectes pollinisateurs

Les insectes visiteurs les plus communs des fleurs appartiennent aux ordres des hyménoptères, lépidoptères, diptères et coléoptères. Parmi ces insectes, tous ne contribuent pas avec la même efficacité à la pollinisation des plantes (Abrol, 2012). Une distinction est donc de mise entre le terme « visiteur » qui inclut tous les insectes se rendant sur les fleurs et le terme « pollinisateur » qui représente les insectes effectuant un transfert de pollen efficace. Au sein de ces insectes, certains sont dits polylectiques ou oligolectiques ; les premiers visitent plusieurs espèces florales, tandis que les seconds sont spécifiques à une ou quelques espèces déterminées (Potts *et al.*, 2010).

2.2.1. Hyménoptères

En Belgique, il existe environ 3 500 espèces d'hyménoptères, dont 370 sont des abeilles. Parmi celles-ci, 47 sont des espèces protégées (Terzo and Rasmont, 2007). Grâce à leur morphologie adaptée, les espèces de la superfamille des *Apoidea* sont des pollinisateurs efficaces (Abrol, 2012).

a. Abeille domestique

L'abeille domestique (*Apis mellifera*) est une abeille sociale originaire d'Europe, du Moyen-Orient et d'Afrique. Étant généraliste, elle visite une large gamme d'espèces végétales et est couramment employée pour polliniser les plantes cultivées. Outre la pollinisation, elle permet également la production de miel, propolis et cire (Delaplane and Mayer, 2000).

A. mellifera vit dans des colonies pérennes pouvant compter plus de 50 000 individus (Abrol, 2012). Grâce à leur système de communication complexe, ceux-ci peuvent trouver et collecter de la nourriture avec un maximum d'efficacité. Au cours d'une journée, une abeille mellifère fait 12 voyages ou plus vers la ruche, visitant ainsi plusieurs milliers de fleurs. Au cours d'un voyage, l'ouvrière visite une seule espèce florale ; cette fidélité est une caractéristique qui ne se retrouve pas chez toutes les abeilles (Free, 1963; Abrol, 2012). Pour butiner, elles peuvent explorer jusqu'à 3 km autour de leur ruche, même si elles restent généralement concentrées dans un rayon de 600 m (Abrol, 2012).

b. Bourdons

Tout comme l'abeille domestique, les bourdons (*Bombus* spp.) sont des pollinisateurs efficaces. En Belgique, les trente espèces recensées peuvent être classées selon la couleur de leur robe en différents Groupes Taxonomiques Opérationnels (GTO) (Annexe 1) (Terzo and Rasmont, 2007).

Leur langue, dont la longueur varie suivant l'espèce (de $12,5 \pm 0,8$ mm pour *B. hortorum* à $6,4 \pm 0,3$ mm pour *B. jonellus* (Goulson *et al.*, 2005)), est généralement plus longue que celle d'*A. mellifera*. Par conséquent, ils butinent préférentiellement des fleurs à corolles profondes, telles que celles des *Fabaceae* (Goulson *et al.*, 2005; Terzo and Rasmont, 2007). Or, l'abondance de ces espèces végétales diminue dans nos régions, ce qui pourrait être une des explications de la régression de plus de la moitié des espèces de bourdons en Belgique (Goulson *et al.*, 2005; Terzo and Rasmont, 2007).

Contrairement à l'abeille domestique, les colonies de bourdons sont annuelles et ne comptent que 100 à 500 individus. Ainsi, seule la reine survit pendant l'hiver et la disponibilité et qualité des ressources florales à la fin de l'été jouent un rôle important dans ses chances de survie (Terzo and Rasmont, 2007; Abrol, 2012).

c. Abeilles solitaires

À l'exception d'*A. mellifera*, des *Bombus* et des *Halictidae*, les abeilles sont généralement solitaires et ne sont donc pas organisées en colonie. Une autre différence réside dans leur régime alimentaire : les abeilles solitaires sont souvent plus spécialistes qu'*A. mellifera*. (Michez and Vereecken, 2010). La distance qu'elles parcourent pour atteindre une aire de butinage varie de 150 à 600 m suivant l'espèce (Gathmann and Tschardt, 2002). Enfin, la participation des abeilles sauvages à la pollinisation des productions agricoles est estimée à 20% (Sánchez-Bayo and Wyckhuys, 2019).

2.2.2. Diptères

Bien que souvent négligées, les espèces de l'ordre des diptères participent également à la pollinisation (Ssymank *et al.*, 2008). Leur efficacité moindre que celle des hyménoptères ne les empêche pas d'intervenir dans la pollinisation de plus de 100 espèces végétales cultivées. Les principales familles participant à la pollinisation sont les suivantes : *Syrphidae*, *Empididae*, *Muscidae* et *Calliphoridae* (Ssymank *et al.*, 2008; Rader *et al.*, 2016; FAO, 2018).

La faune belge compte 4 474 espèces différentes de diptères, dont 317 sont des syrphes (Terzo and Rasmont, 2007). Les larves de ces dernières peuvent être utilisées en lutte biologique pour lutter contre les ravageurs des cultures, tels que les pucerons par exemple (Vockeroth and Thompson, 1987).

2.2.3. Autres ordres

Pourtant peu étudiées, des espèces appartenant à d'autres ordres que celui des hyménoptères et celui des diptères participent également à la pollinisation. Ainsi, les coléoptères et les lépidoptères jouent un rôle dans la pollinisation des espèces entomophiles (Rader *et al.*, 2016).

2.3. Déclin des insectes pollinisateurs

Le taux de déclin des insectes est dramatique : dans les prochaines décennies, 40% des espèces d'insectes existants pourraient s'éteindre (Sánchez-Bayo and Wyckhuys, 2019). Une étude allemande a noté une diminution de 76% de la biomasse des insectes sur une période de 27 ans, dans des zones naturelles protégées en Allemagne (Hallmann *et al.*, 2017).

2.3.1. Causes

Quatre facteurs majeurs sont responsables du déclin des insectes (Sánchez-Bayo and Wyckhuys, 2019). Premièrement, la perte et la fragmentation des habitats sont les causes principales du déclin des abeilles. En effet, elles induisent une diminution des ressources florales disponibles et une raréfaction des sites de nidification et d'hibernation (Williams and Osborne, 2009; Potts *et al.*, 2010). Deuxièmement, l'intensification de l'agriculture, avec l'usage des pesticides, impacte les insectes directement et indirectement. Les insecticides peuvent provoquer la mort *via* une intoxication directe et affecter le système immunitaire des abeilles, les rendant plus sensibles aux infections par les *Varroa* (acariens) et autres agents pathogènes, tels que *Nosema bombi*. Quant aux herbicides et engrais, ils agissent indirectement en diminuant les ressources florales disponibles. Les performances de reproduction des reines et des mâles peuvent aussi être affectées, mettant en danger la viabilité de colonies entières (Brittain *et al.*, 2010; Potts *et al.*, 2010; Sánchez-Bayo and Wyckhuys, 2019). Troisièmement, les *Varroa*, des champignons et des virus sont aussi responsables du déclin des hyménoptères (Potts *et al.*, 2010). Et, enfin, le changement climatique est le quatrième facteur majeur intervenant dans la diminution des insectes (Potts *et al.*, 2010; Sánchez-Bayo and Wyckhuys, 2019).

2.3.2. Conséquences

Tous les insectes ne sont pas impactés de la même manière par les différents facteurs cités précédemment. Par exemple, les espèces nichant dans le sol sont plus menacées que celles qui utilisent les cavités des bois ou les tiges des plantes, surtout dans les zones où

l'agriculture intensive a provoqué la perte de sites de nidification et de diversité florale (Potts *et al.*, 2010).

De même, les insectes oligolectiques sont plus menacés que les insectes généralistes. Ainsi, parmi le genre *Bombus*, les espèces à longue (> 9 mm) et moyenne (entre 8 et 9 mm) langue qui se sont spécialisées dans la collecte de pollen de *Fabaceae* deviennent plus rares que les bourdons à langue courte, plus généralistes (Goulson *et al.*, 2005). En effet, les espèces de la famille des *Fabaceae*, habituellement employées dans les rotations comme source d'azote, ont été remplacées par des engrais chimiques. Par conséquent, la quantité de ressources florales provenant des *Fabaceae* a été réduite (Goulson *et al.*, 2005).

À l'instar des abeilles sauvages, les abeilles domestiques voient également leurs effectifs diminuer. En Europe centrale, 25% des colonies d'abeilles domestiques ont été perdues entre 1985 et 2005 (Potts *et al.*, 2010).

Ce déclin des insectes pollinisateurs diminue la diversité des espèces florales, ainsi que la part de la production agricole dépendant des insectes pour la pollinisation. En effet, la cause la plus fréquente de la baisse de reproduction des plantes sauvages et cultivées est le manque de pollinisateurs (Potts *et al.*, 2010; Sánchez-Bayo and Wyckhuys, 2019).

2.3.3. Solutions et soutiens

a. Solutions agronomiques

Pour enrayer le déclin des insectes pollinisateurs et donc la baisse des services écosystémiques rendus aux plantes sauvages et cultivées, différentes mesures peuvent être mises en place (Carreck and Williams, 2002). Les méthodes présentées dans les paragraphes qui suivent visent à favoriser l'abondance et/ou la diversité d'espèces végétales entomophiles.

Tout d'abord, les espèces cultivées entomophiles telles que le colza ou le tournesol représentent déjà une source de nectar et de pollen pour les insectes pollinisateurs. Cependant, les ressources abondantes offertes par ces cultures ne sont disponibles que pendant une courte période de l'année. Leur impact positif sur les insectes est donc limité (Decourye, Mader and Desneux, 2010). Aux États-Unis, l'introduction, dans les rotations actuelles, de plantes spécialement pour les insectes bénéfiques aux cultures est suggérée (Thom *et al.*, 2018).

De même, des mélanges floraux à destination des insectes pollinisateurs peuvent être semés en bordure de champs (Carreck and Williams, 2002; Decourye, Mader and Desneux, 2010). Les espèces choisies pour ces mélanges doivent répondre à différentes caractéristiques agronomiques et biologiques (Carreck and Williams, 2002). Les critères agronomiques sont les suivants : un semis et une gestion avec des équipements agricoles standards, une préparation la plus minimaliste possible du lit de semences et une capacité à surmonter la compétition des adventices. Du côté biologique, le mélange doit contenir des espèces qui seront encore en fleurs fin août début septembre (Carreck and Williams, 2002). En effet,

c'est à cette période de l'année que les bourdons s'accouplent et que les reines doivent se préparer à leur survie hivernale. Or, à ce moment-là, les autres ressources florales sont plus rares (Terzo and Rasmont, 2007). Les espèces du mélange doivent également produire des ressources florales abondantes et être attractives pour les insectes ciblés sans pour autant favoriser la venue d'insectes indésirables (Carreck and Williams, 2002; Terzo and Rasmont, 2007). Ces mélanges peuvent également inclure des espèces capables de fournir des éléments pour la fabrication des nids d'abeilles solitaires, de la nourriture pour les larves de lépidoptères ou encore des proies pour les syrphes (Carreck and Williams, 2002). Bien que des études sur l'efficacité des mélanges semés soient réalisées, leur nombre est encore insuffisant. Par conséquent, des espèces végétales sont parfois proposées aux pollinisateurs sans que leur utilité n'ait été prouvée (Carreck and Williams, 2002; Sprague *et al.*, 2016; Ouvrard, 2018).

Enfin, limiter la destruction chimique et mécanique des ressources florales non cultivées qui poussent naturellement pourrait favoriser les insectes pollinisateurs (Decourye, Mader and Desneux, 2010). Cependant, plusieurs études ont montré que les espèces qui repoussent naturellement dans ces terres laissées en jachère sont surtout des céréales et des adventices aux ressources florales peu abondantes (Carreck and Williams, 2002).

b. Soutiens politiques

Ces solutions agronomiques peuvent être soutenues par l'action des politiques (Kerstin Sundseth Ecosystems LTD, 2018). Par exemple, le 1^{er} juin 2018, la Commission européenne a publié un plan de sauvegarde de l'Union européenne (UE) en faveur des pollinisateurs. Auparavant, l'UE avait déjà soutenu des projets de recherche pour comprendre les causes et conséquences du déclin des pollinisateurs. Des mesures avaient également été prises pour empêcher la propagation d'espèces exotiques envahissantes et pour restreindre l'utilisation de trois pesticides néonicotinoïdes. La Politique agricole commune (PAC) propose aussi des mesures pour aider les pollinisateurs (Kerstin Sundseth Ecosystems LTD, 2018). En Wallonie, celles-ci s'intègrent dans les méthodes agro-environnementales et climatiques proposées aux agriculteurs (Parlement européen, 2018). En effet, des bandes aménagées à fleurs des prés peuvent être semées en faveur des pollinisateurs (Natagriwal, no date c).

Les agriculteurs qui acceptent, sur base volontaire, d'installer ces bandes fleuries en remplacement d'une culture sous labour s'engagent pour cinq ans. Une compensation financière (1500€/ha) leur est octroyée pour couvrir le coût d'installation et les pertes de rendement que ces bandes engendrent. Ces bandes aménagées ont pour buts principaux de renforcer le maillage écologique et de favoriser la biodiversité. Elles permettent également de structurer et embellir le paysage agricole. Leur longueur doit mesurer minimum 200 m et a généralement une largeur de 12 m. L'usage de fertilisants, amendements ou produits phytosanitaires est interdit, sauf conditions particulières (Natagriwal, no date c).

En plus de ces bandes aménagées à fleurs des prés, il existe trois autres types de bandes aménagées : bandes aménagées pour la faune, bandes aménagées à fleurs des champs et bandes aménagées pour lutter contre le ruissellement érosif (Natagriwal, no date d). Les bandes aménagées pour la faune visent également à favoriser la biodiversité, et plus particulièrement celle des oiseaux. Elles peuvent prendre différentes formes, telles qu'un mélange de céréales non récoltées. En étant ressemés chaque année vers les mois d'avril-mai, ces mélanges pour la faune favorisent la venue des adventices. Afin de pallier ce problème, Natagriwal souhaite alterner ces céréales de printemps avec des céréales d'hiver (Natagriwal, no date b; Manssens, 2018).

3. Espèces végétales étudiées

Les bandes aménagées à fleurs des prés peuvent donc favoriser les insectes pollinisateurs (Carreck and Williams, 2002). Cependant, peu d'études ont été réalisées pour vérifier leur efficacité (Ouvrard, 2018). Au cours de ce mémoire, sept espèces végétales entomophiles (*Borago officinalis*, *Fagopyrum esculentum*, *Helianthus annuus*, *Phacelia tanacetifolia*, *Trifolium alexandrinum*, *Trifolium resupinatum* et *Trifolium incarnatum*) ont été testées et leurs caractéristiques sont détaillées dans les paragraphes qui suivent.

3.1. *Borago officinalis*

3.1.1. Caractéristiques générales

La bourrache (*Borago officinalis* Linnaeus) (Figure 1) est une plante annuelle herbacée appartenant à la famille des *Boraginaceae* (Asadi-Samani, Bahmani and Rafieian-Kopaei, 2014). Originaires d'Europe, d'Afrique du Nord et d'Asie Mineure, elle est également cultivée dans plusieurs pays du monde et peut pousser dans divers milieux : sols humides avec un bon drainage, milieux froids ou complètement exposés à la lumière du soleil... (Asadi-Samani, Bahmani and Rafieian-Kopaei, 2014).



Figure 1 – *Borago officinalis* : (A) Inflorescence, (B) Fleur, (C) Stade végétatif
(Sauf indication contraire, toutes les photos ont été prises sur le terrain par Marchal M.)

B. officinalis est une plante à fleurs hermaphrodites dont la hauteur varie de 70 à 100 cm. Ses tiges, souvent ramifiées, portent des feuilles pouvant atteindre 20 cm de long (Bennet, 2003; Asadi-Samani, Bahmani and Rafieian-Kopaei, 2014). Ses fleurs ont un diamètre avoisinant les 3 cm, sont de 5-mères et sont regroupées en cymes scorpioides. Elles changent de couleur en fonction de leur stade sexuel : elles passent du rose (stade mâle) au bleu (stade femelle) pendant l'anthèse qui dure généralement trois jours (Montaner, Floris and Alvarez, 2001; Asadi-Samani, Bahmani and Rafieian-Kopaei, 2014). La profondeur de leur corolle est de 1,74 mm (Peat, Tucker and Goulson, 2005). Au cours de sa période de floraison (juin à septembre), une plante produit une centaine de fleurs (Descamps *et al.*, 2018).

3.1.2. Pollinisation et reproduction

B. officinalis est une espèce allogame à pollinisation entomophile dont les fleurs sont protandres : le stade mâle précède le stade femelle au sein d'une même fleur (Montaner, Floris and Alvarez, 2001).

Les visiteurs recensés sur ses fleurs appartiennent à l'ordre des hyménoptères, diptères et lépidoptères (Carreck and Williams, 2002; Gorenflo *et al.*, 2017). Au sein des hyménoptères, les abeilles domestiques et les bourdons (majorité de GTO Lapidarius et Terrestris) sont plus nombreux que les abeilles solitaires. L'ensemble de ces abeilles visitent les fleurs durant toute la période de floraison, leur abondance saisonnière reflétant les pics de floraison (Carreck and Williams, 2002). Quant aux diptères, dont les principales espèces observées appartiennent à la famille des *Syrphidae*, ils présentent une moins grande diversité que

l'ordre des hyménoptères. Enfin, le nombre des lépidoptères est nettement inférieur aux insectes des deux autres ordres (Carreck and Williams, 2002).

Ces insectes visitent *B. officinalis* pour le pollen et nectar qu'elle produit. Le premier possède une haute teneur en protéines ($43,9 \pm 1,1$ % de protéines brutes (Thom *et al.*, 2018)), tandis que le second est de type saccharose dominant (Baijot, 2016). Le volume de nectar produit par *B. officinalis* est de $6,5 \mu\text{L}/\text{fleur}$ et la concentration en sucres du nectar avoisine les 50% (Descamps *et al.*, 2018).

3.1.3. Utilisation

B. officinalis est cultivée dans de nombreux pays d'Europe et d'Amérique à des fins médicinales et culinaires, ainsi que pour l'utilisation commerciale de ses graines. L'huile contenue dans ces dernières est une source exceptionnellement riche en acides gras essentiels : l'acide linoléique (LA) et l'acide gamma linoléique (GLA) (Mhamdi *et al.*, 2007). *B. officinalis* est également utilisée dans les mélanges fleuris à destination des pollinisateurs (Carreck and Williams, 2002).

3.2. *Fagopyrum esculentum*

3.2.1. Caractéristiques générales

Le sarrasin (*Fagopyrum esculentum* Moench) (Figure 2) est une plante annuelle herbacée appartenant à la famille des *Polygonaceae*. Cette plante est une des plus vieilles pseudo-céréales domestiquées d'Asie. Elle a été cultivée pendant des siècles sur ce continent, ainsi qu'en Amérique du Nord et en Europe (Cawoy *et al.*, 2009). Étant une plante sensible au froid, elle ne peut être cultivée qu'à faible altitude dans des milieux au climat tempéré. De plus, le système racinaire de *F. esculentum* ne pénètre pas profondément dans le sol, ce qui pourrait expliquer son exigence hydrique (Neskovic, Srejavic and Vujicic, 1986)

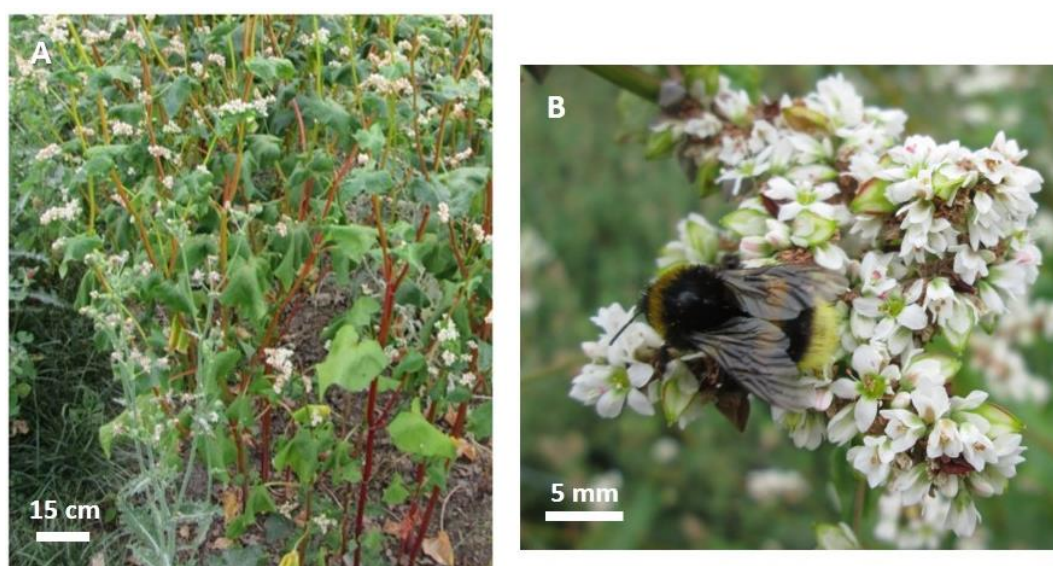


Figure 2 – *Fagopyrum esculentum* : (A) Plantes, (B) Inflorescence

F. esculentum, espèce hermaphrodite à croissance indéterminée, est une espèce distyle dont les fleurs, de couleur blanche à rose, ont un diamètre d'environ six à sept millimètres (Campbell, 1997; Quinet *et al.*, 2004; Cawoy *et al.*, 2006). Deux types de fleurs existent au sein d'une même population : des fleurs longistyles (pistil long et étamines courtes) et des fleurs brévistyles (pistil court et étamines longues) (Quinet *et al.*, 2004). Les trois étamines composant le verticille interne s'ouvrent spontanément du côté externe, tandis que les cinq étamines situées sur le verticille externe s'ouvrent du côté interne. Cette déhiscence permet de couvrir de pollen les deux côtés d'un insecte visitant une fleur (Campbell, 1997). L'inflorescence de *F. esculentum* se caractérise par un racème composé qui produit latéralement d'une à trente cymes unipares. (Quinet *et al.*, 2004; Cawoy *et al.*, 2009).

F. esculentum commence à fleurir quatre à six semaines après le semis et peut rester en fleurs durant une période de quatre à quinze semaines. Cependant, chaque fleur ne reste ouverte qu'un jour. Le pic de floraison est atteint deux à trois semaines après la première anthèse et coïncide avec l'arrêt de la croissance de la plante (Cawoy *et al.*, 2009).

3.2.2. Pollinisation et reproduction

F. esculentum étant une espèce auto-incompatible distyle, une pollinisation croisée entre les deux morphes floraux est requise. Celle-ci est réalisée par les insectes (Bjorkman, 1995).

Parmi les insectes observés sur *F. esculentum*, ceux appartenant à la superfamille des *Apoidae* (*A. mellifera* et *Bombus spp.*) et à la famille des *Syrphidae* sont les plus nombreux. D'autres hyménoptères et diptères, ainsi que des insectes appartenant à d'autres ordres, tels que ceux des lépidoptères et hémiptères visitent également les fleurs de *F. esculentum* (Carreck and Williams, 2002; Jacquemart, Gillet and Cawoy, 2007). Les populations d'insectes visitant *F. esculentum* varient en fonction du pays, de l'année, du mois et de la période de la journée (Jacquemart, Gillet and Cawoy, 2007; Campbell *et al.*, 2016).

Les insectes visitant *F. esculentum* peuvent collecter du pollen et du nectar. Le pollen de *F. esculentum* ne contient qu'une faible quantité de protéines (< 20%) (Somerville and Nicol, 2006; Trees for bees, 2014). Quant au nectar, il est de type hexoses-dominant (85% de fructose et glucose) et son volume moyen par fleur est estimé à 0,1 µL (Cawoy *et al.*, 2006). Au champ, la concentration en sucre peut changer au cours de la journée (Lee and Heimpel, 2003).

3.2.3. Utilisation

F. esculentum était une culture très populaire du 17^e au 19^e siècle, mais les rendements plus importants du blé ont provoqué l'abandon de cette culture au cours du 20^e siècle. Cependant, cette pseudo-céréale connaît aujourd'hui un regain d'intérêt grâce à ses qualités nutritionnelles nouvellement découvertes. Sa valeur nutritionnelle est en effet meilleure que celles des céréales plus communes et elle trouve de multiples applications dans l'industrie

agro-alimentaire. (Kawa, Taylor and Przybylski, 2003; Kim, Kim and Park, 2004; Tang *et al.*, 2009). *F. esculentum* est également utilisée dans les mélanges floraux à destination des pollinisateurs et de la petite faune (Carreck and Williams, 2002).

3.3. *Helianthus annuus*

3.3.1. Caractéristiques générales

Le tournesol commun (*Helianthus annuus* Linnaeus) (Figure 3) est une plante annuelle herbacée appartenant à la famille des *Asteraceae*. Originaire d'Amérique du Nord, il est principalement cultivé pour ses graines et l'ornement (Minckley *et al.*, 1994; Jacquemart and Descamps, 2018).



Figure 3 – *Helianthus annuus* : (A) Plantes, (B) Capitule

H. annuus mesure de 1 à 3 m de haut et possède une inflorescence de type capitule avec un réceptacle plan, dont le diamètre varie de 15 à 40 cm (Jacquemart and Descamps, 2018). Cette plante compte de 1000 à 2000 fleurs par capitule (Macfarlane, 2018a). Des fleurs tubulées fertiles jaune pâle ou rouge foncé se trouvent au centre du capitule, tandis qu'en périphérie il s'agit de fleurs ligulées longues, jaunes et stériles (Minckley *et al.*, 1994). Chaque fleur fertile possède cinq étamines. Quant à la floraison, elle est centripète : les fleurs tubulées en périphérie fleurissent en premier, passant du stade mâle au stade femelle (protandrie) (Fayet, 2017). En général, le stade mâle ne dure qu'un jour et ce n'est qu'à ce moment que le pollen et le nectar peuvent être produits (Minckley *et al.*, 1994). Les stigmates restent réceptifs jusqu'à 14 jours, mais leur réceptivité décline au fil du temps. La floraison d'un capitule dure de 6 à 10 jours et peut avoir lieu de juin à septembre. Environ deux semaines après l'apparition des premières fleurs, le pic de floraison est atteint (Macfarlane, 2018a).

3.3.2. Pollinisation et reproduction

Les populations sauvages d'*H. annuus* sont auto-incompatibles, à l'inverse des cultivars modernes qui sont auto-compatibles et capables de s'auto-polliniser partiellement ou totalement (Gandhi *et al.*, 2005). Ainsi, les insectes participent à la pollinisation des fleurs de tournesol (Macfarlane, 2018a).

Tout d'abord, près de 90% des insectes observés sur *H. annuus* appartiennent à l'ordre des hyménoptères, mais des diptères, coléoptères et lépidoptères peuvent également visiter les fleurs de cette plante (Goswami, Khan and Usha, 2013; Jadhav, Sreedevi and Prasad, 2015). La famille la plus représentée est celle des *Apidae*. Les autres hyménoptères recensés appartiennent notamment à la famille des *Halictidae* et *Andrenidae* (Minckley *et al.*, 1994; Greenleaf and Kremen, 2006; Goswami, Khan and Usha, 2013; Jadhav, Sreedevi and Prasad, 2015).

Par la suite, les insectes visitent *H. annuus* davantage pour son nectar que son pollen. Si des abeilles domestiques collectent du pollen, c'est généralement parce qu'elles butinent du nectar en même temps (Macfarlane, 2018a). Ce nectar est de type hexoses-dominant et le volume moyen produit par un fleuron est de 0,12 µL de nectar (Vear *et al.*, 1990). La préférence des insectes pour le nectar provient de la faible qualité du pollen d'*H. annuus*, dont la teneur en protéines n'est pas très élevée (13,4% de moyenne) (Somerville and Nicol, 2006). Lorsque, en fin d'été, les sources de pollen alternatives à celle d'*H. annuus* se raréfient, les abeilles pourraient collecter plus de pollen de *H. annuus* que quand le choix est plus vaste (Feel, 1986).

3.3.3. Utilisation

H. annuus est cultivé principalement pour son huile, mais aussi pour alimenter le bétail et les humains. *H. annuus* est également employé dans l'industrie des biocarburants et sert de plante d'ornement (Macfarlane, 2018a). Enfin, il n'est pas rare d'observer des tournesols dans les bandes aménagées pour la faune (Natagriwal, no date b).

3.4. *Phacelia tanacetifolia*

3.4.1. Caractéristiques générales

La phacélie (*Phacelia tanacetifolia* Benth) (Figure 4) est une plante annuelle herbacée appartenant à la famille des *Boraginaceae*. Originaire de Californie et introduite depuis les années 1800 en Europe, *P. tanacetifolia* est utilisée, entre autres, comme engrais vert, culture de couverture et source de pollen et nectar pour les abeilles (Williams and Christian, 1991; Jacquemart and Descamps, 2018).

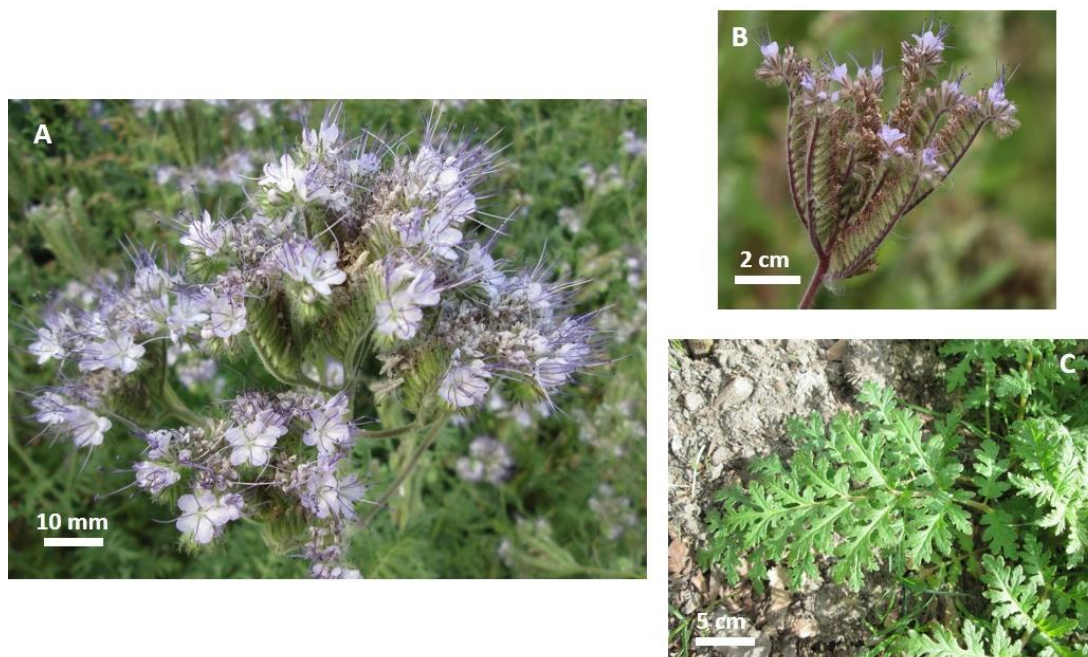


Figure 4 – *Phacelia tanacetifolia* : (A) Inflorescence, (B) Inflorescence, (C) Feuille

P. tanacetifolia mesure de 25 à 85 cm et ses feuilles sont très découpées (Jacquemart and Descamps, 2018). La couleur de ses fleurs varie du mauve bleuâtre au blanc (Williams and Christian, 1991). Une fleur est composée d'une corolle de 6 à 9 mm, de cinq longues étamines et d'un ovaire distyle (Petanidou, 2003). Les fleurs sont positionnées sur un seul côté, en un corymbe allongé d'abord enroulé, qui se déroule ensuite quand les fleurs s'ouvrent. La période de floraison s'étend en général sur deux mois et peut être prolongée par un arrosage régulier. La date de semis pour être ajustée pour déterminer la période de floraison (Williams and Christian, 1991).

3.4.2. Pollinisation et reproduction

Les insectes visiteurs de *P. tanacetifolia* recensés dans différents pays d'Europe appartiennent à l'ordre des hyménoptères, diptères (*Syrphidae*), lépidoptères et coléoptères. Les hyménoptères représentent l'ordre le plus abondant, avec une majorité d'*A. mellifera* et de diverses espèces de bourdons (notamment *B. lapidarius*, *B. ruderarius*, *B. lucorum*, *B. terrestris* et *B. pascuorum*), même si d'autres familles sont également présentes (*Halictidae*, *Vespidae*, ...) (Williams and Christian, 1991; Carreck and Williams, 2002; Petanidou, 2003).

Le pollen de cette plante fait partie des pollens ayant un contenu élevé en protéines (minimum 25% de protéines dans le pollen) (Trees for bees, 2014). Quant à son nectar, il est saccharose dominant (59,23% de saccharose en conditions irriguées), avec une concentration moindre en fructose et glucose (Petanidou, 2003). En moyenne, une fleur produit $0,328 \pm 0,188 \mu\text{L}$ de nectar (Ouvrard, 2018). Cependant, les abeilles et les bourdons

visitant les fleurs de *P. tanacetifolia* ne prélèvent pas équitablement ces deux ressources. En effet, une étude anglaise rapporte que 78% des abeilles domestiques observées cherchent du nectar et 22% du pollen. Au cours des mois de septembre et d'octobre, leur comportement semble néanmoins changer : leur frottement délibéré pour obtenir du pollen augmente. Ceci peut s'expliquer par la diminution des autres sources de pollen à cette période de l'année. Quant aux bourdons, rares sont ceux qui s'intéressent au pollen : 97% d'entre eux viennent pour le nectar et 3% pour le pollen (Williams and Christian, 1991). D'autres études sont arrivées à la même conclusion : les abeilles recherchent plus le nectar que le pollen de *P. tanacetifolia*. Les insectes ne prélevant quasi que du nectar ne tireraient donc pas profit du pollen à haute teneur en protéines de *P. tanacetifolia* (Petanidou, 2003; Sprague *et al.*, 2016).

3.4.3. Utilisation

P. tanacetifolia peut être cultivée comme engrais vert, culture de couverture ou encore dans des systèmes de conservation sur les sols soumis à l'érosion. *P. tanacetifolia* représente également une source de nectar pour les abeilles mellifères. Sa densité florale importante et sa capacité à nourrir les abeilles et bourdons lui valent d'ailleurs d'être semée par les apiculteurs (Williams and Christian, 1991). Elle est aussi utilisée dans les bandes fleuries (Carreck and Williams, 2002). Son nectar et son pollen améliorent le succès reproducteur des insectes agents de contrôle biologiques, tels que *Episyrphus balteatus*, une syrpe. La phacélie est donc conseillée pour les stratégies de lutte biologique (Laubertie, Wratten and Hemptinne, 2012).

3.5. *Trifolium* spp.

3.5.1. Caractéristiques générales

Le trèfle d'Alexandrie (*Trifolium alexandrinum* Linnaeus), le trèfle incarnat (*T. incarnatum* Linnaeus) et le trèfle de Perse (*T. resupinatum* Linnaeus) (Figure 5) appartiennent tous les trois à la famille des *Fabaceae* (McGregor, 1976). *T. alexandrinum* est originaire d'Égypte, *T. incarnatum* d'Europe et *T. resupinatum* d'Iran et de Turquie (Knight and Hollowell, 1974; Semra, Çolak and Kendir, 2007; Jat *et al.*, 2013). Les températures inférieures à 4°C sont souvent fatales à *T. alexandrinum* (McGregor, 1976), qui est donc cultivé principalement dans les régions au climat chaud et sec. *T. resupinatum*, quant à lui, est moins sensible au froid et est plus résistant à la sécheresse que *T. alexandrinum*.

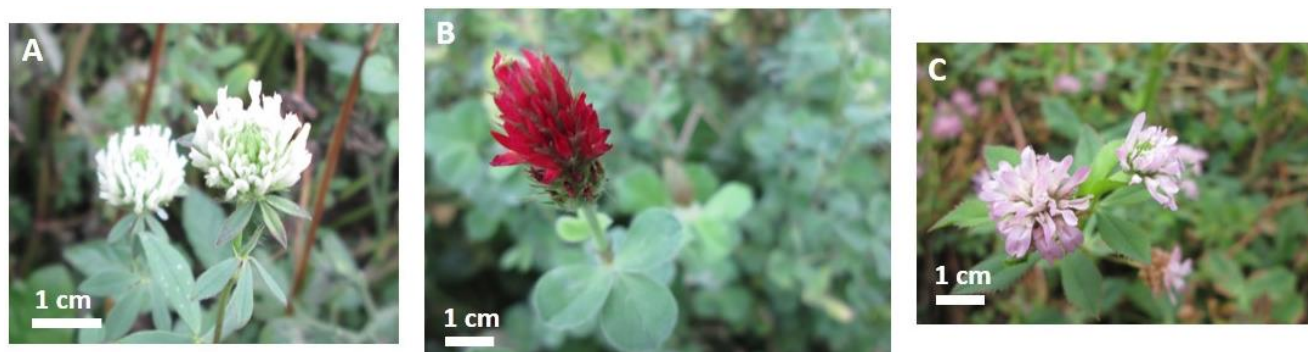


Figure 5 : (A) *Trifolium alexandrinum*, (B) *T. incarnatum*, (C) *T. resupinatum*

Les trèfles possèdent certaines caractéristiques communes entre eux. Leurs fleurs persistant après la floraison sont groupées en inflorescence compacte. Une fleur est composée d'un large pétale dorsal, de deux pétales latéraux en forme d'ailes et de deux pétales inférieurs. En général, elle compte dix étamines formant un tube autour de l'ovaire. Leur couleur varie en fonction de l'espèce (Tableau 1). Lorsque les fleurs de *T. incarnatum* ne sont pas pollinisées, elles restent ouvertes environ deux semaines avant de flétrir. Si ses fleurs sont pollinisées, elles flétrissent dans la journée (Rivals, 1961; McGregor, 1976; Jacquemart and Descamps, 2018). En été, *T. alexandrinum* fleurit pendant plusieurs semaines (Macfarlane, 2018b).

Tableau 1 – Caractéristiques botaniques de *T. alexandrinum*, *T. incarnatum* et *T. resupinatum*

	Hauteur (cm)	Couleur des fleurs	Autres caractéristiques
<i>T. alexandrinum</i>	30 – 70	Blanc jaunâtre	Profondeur de la corolle : 7-8 mm
<i>T. incarnatum</i>	20 – 50	Rouge incarnat	Corolle : 16 mm de long et 3 mm de large Inflorescence cylindrique et allongée 65 à 125 fleurs par inflorescence
<i>T. resupinatum</i>	10 – 40 Tiges s'affaissant à la moindre pluie	Rose pourpre	Odeur suave

Sources : (Rivals, 1961; MacGregor, 1976; Jacquemart and Descamps, 2018; Macfarlane, 2018b)

3.5.2. Pollinisation et reproduction

Les trois trèfles présentés ci-avant sont tous capables de s'autopolliniser. Néanmoins, l'intervention des insectes facilite le processus de pollinisation. Dans la majorité des cas, ce sont les abeilles mellifères, qui viennent pour prélever du nectar et du pollen, qui pollinisent les trèfles (McGregor, 1976).

La seule étude trouvée sur les insectes visitant *T. alexandrinum* a été réalisée en Inde. Celle-ci a recensé des insectes appartenant à l'ordre des hyménoptères, diptères, lépidoptères, hémiptères, coléoptères et orthoptères. Les insectes de la famille des *Apidae* étaient les plus abondants (Jat *et al.*, 2013).

Les fleurs de *T. resupinatum* ne produisent pas une quantité très importante de nectar, mais les passages rapides des abeilles mellifères d'une fleur à l'autre permettraient de compenser cette faible production (McGregor, 1976).

En Belgique, le genre *Trifolium* est le plus visité par les abeilles à langue longue (Terzo and Rasmont, 2007).

3.5.3. Utilisation

T. alexandrinum, *T. incarnatum* et *T. resupinatum* sont généralement employés comme fourrage pour le bétail. Ils sont également utilisés en tant qu'engrais vert, pour le pâturage et pour lutter contre l'érosion. De nombreuses espèces de *Trifolium* sont des sources de miel et de pollen pour les abeilles (McGregor, 1976; Jat *et al.*, 2013).

4. Objectifs

Ce mémoire a pour but de déterminer, parmi une sélection de sept espèces végétales, quel mélange floral pourrait favoriser la plus grande diversité d'insectes pollinisateurs. Pour atteindre cet objectif, différentes questions sont posées. (1) Quelle espèce végétale attire le plus grand nombre et la plus grande diversité d'espèces d'insectes ? (2) Quelle espèce a la plus grande quantité de nectar à offrir, et quelle est la composition de ce dernier ? (3) Les insectes collectent-ils le pollen produit par les espèces végétales semées, ou récoltent-ils le pollen d'autres plantes ?

Les réponses à ces questions permettront de définir quelles sont les plantes les plus attractives et bénéfiques aux pollinisateurs afin de les proposer dans de futurs mélanges fleuris à semer.

Matériel et Méthodes

1. Matériel végétal

Le tableau 2 reprend les sept espèces végétales étudiées, ainsi que les sites dates et densités auxquelles elles ont été semées. Le fournisseur des semences est également indiqué.

Tableau 2 – Espèces végétales étudiées, ainsi que les sites, dates et densités auxquelles elles ont été semées. Le fournisseur des semences est indiqué dans la dernière colonne.

	Sites	Date du semis	Densité de semis (kg/ha)	Origine des semences
<i>B. officinalis</i>	Sart-Risbart	17/05/2018	8	ECOSEM
	Lauzelle	23/05/2018	16	ECOSEM
<i>F. esculentum</i>	Sart-Risbart	17/05/2018	40	Société Limagrain
	Lauzelle	23/05/2018	80	Société Limagrain
<i>H. annuus</i>	Sart-Risbart	17/05/2018	**	ECOSEM
	Incourt	*	**	***
<i>P. tanacetifolia</i>	Sart-Risbart	17/05/2018	7	Société Jorion
	Lauzelle	23/05/2018	14	Société Jorion
<i>T. incarnatum</i>	Sart-Risbart	17/05/2018	25	Société Limagrain
	Lauzelle	23/05/2018	50	Société Limagrain
<i>T. alexandrinum</i>	Sart-Risbart	17/05/2018	25	Société Limagrain
	Lauzelle	23/05/2018	50	Société Limagrain
<i>T. resupinatum</i>	Sart-Risbart	17/05/2018	25	Société Jorion
	Lauzelle	23/05/2018	50	Société Jorion
	Strée	*	25	***
	Dongelberg	*	**	***

* La date de semis exacte n'a pas pu être obtenue. En général, les semis ont lieu entre le 1^{er} avril et la fin du mois de mai.

** La densité exacte de semis n'a pas pu être obtenue. Pour les trèfles de Perse, la densité recommandée est de l'ordre de 25 kg/ha. Pour les tournesols, la densité recommandée en mélange est de 4 kg/ha. Cependant, sur le site de Sart-Risbart, la densité semble plus se rapprocher des 8 kg/ha.

*** Le fournisseur de semences n'a pas pu être obtenu.

2. Sites d'étude

Les relevés d'insectes ont été réalisés sur cinq sites différents (Tableau 3), tous localisés en Wallonie (Belgique). Au départ, seuls deux sites étaient prévus pour les relevés d'insectes : Sart-Risbart et la ferme de Lauzelle. Cependant, toutes les espèces végétales nécessaires aux observations n'ont pas poussé sur les parcelles de Sart-Risbart. De plus, le tournesol n'était pas présent sur les deux sites, puisque la décision de l'ajouter aux plantes à étudier n'a été prise que durant l'été. Trois autres localités ont donc été ajoutées pour permettre des répétitions dans le suivi des insectes : Strée, Dongelberg et Incourt.

Tableau 3 – Caractéristiques géographiques des sites d'étude (WalOnMap - SPW, 2018). La superficie d'une parcelle d'espèce végétale étudiée sur le site est indiquée dans la dernière colonne.

Site	Commune	Latitude	Longitude	Altitude	Superficie d'une parcelle
Sart-Risbart	Incourt	50°39'58'' N	4°44'59'' E	145 m	180 m ²
Lauzelle	Ottignies	50°40'49'' N	4°37'06'' E	136 m	2 m ²
Strée	Modave	50°30'42'' N	5°30'03'' E	245 m	948 m ²
Dongelberg	Jodoigne	50°41'44'' N	4°49'31'' E	96 m	4000 m ²
Incourt	Incourt	50°41'52'' N	4°45'56'' E	138 m	6060 m ²

2.1. Sart-Risbart

Entourée de champs, cette bande (Figure 6) est occupée par des bandes faunes depuis au moins cinq ans. Ces dernières sont également bordées par une haie de 3 mètres de large et 345 mètres de long d'un côté et par des arbres fruitiers et des conifères (~130a) de l'autre côté (Annexe 2). Les parcelles présentes sur ce lieu peu fréquenté diffèrent de celles de Lauzelle par la quantité d'adventices présentes. Les parcelles de Sart-Risbart étant nettement plus grandes que celles de Lauzelle, un arrachage manuel des espèces indésirables n'a pas pu être effectué.

Au début de l'étude, *H. annuus* ne comptait pas parmi les espèces végétales à étudier. Par conséquent, seules 6x2 parcelles de 9x20 m² ont été mises en place sur le site de Sart-Risbart. Dans le sens de la longueur, à l'avant et à l'arrière des parcelles étudiées, un couvert nourricier composé de *Raphanus sativus*, *H. annuus* et de céréales de printemps a été semé pour compléter les bandes. Les plantes de l'espèce *H. annuus* présentes dans ce mélange ont permis de suivre les pollinisateurs sur cette espèce végétale durant le mois d'août. La figure 7 reprend la disposition aléatoire des espèces végétales au sein des bandes fleuries.

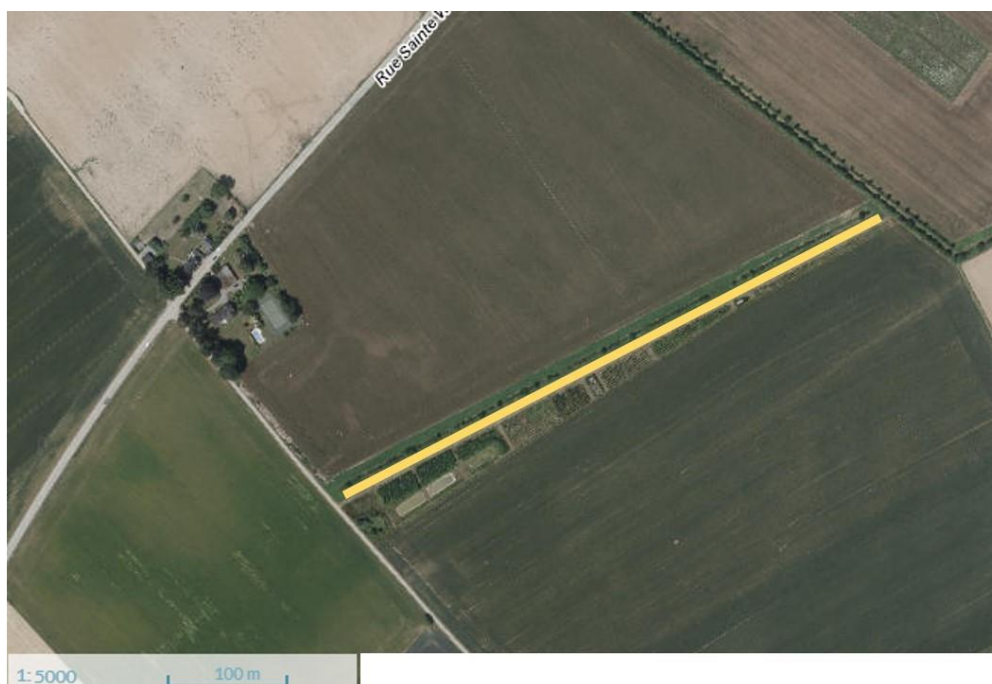


Figure 6 – Localisation des parcelles sur le site de Sart-Risbart, le rectangle jaune représentant les parcelles étudiées (WalOnMap - SPW, 2018)

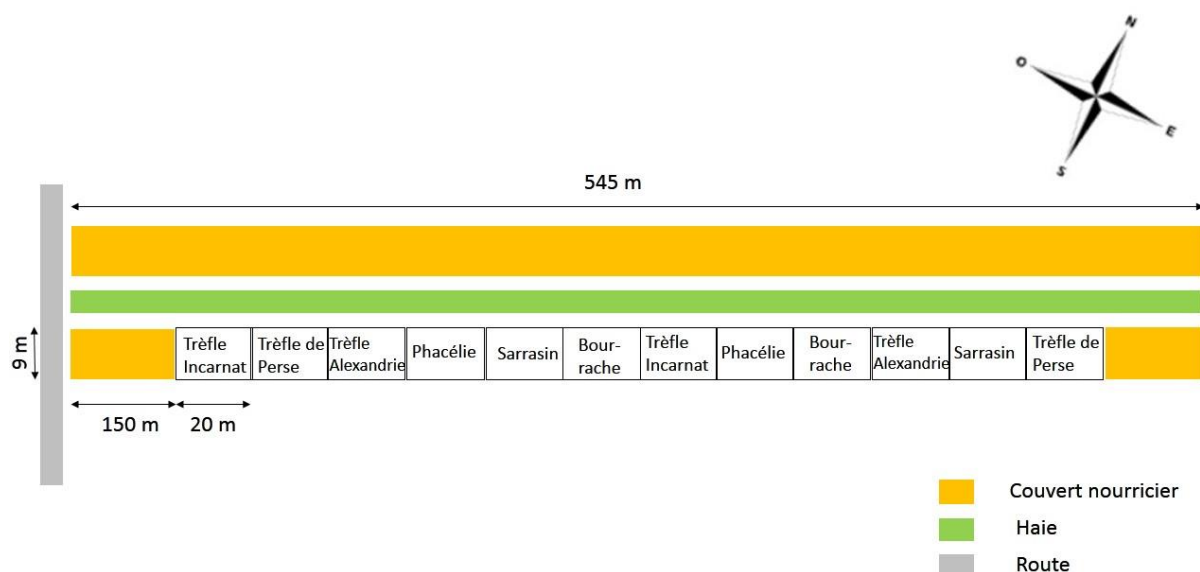


Figure 7 – Disposition des espèces végétales étudiées sur le site de Sart-Risbart

2.2. Lauzelle

La proximité et l'appartenance de la ferme de Lauzelle à l'UCLouvain ont participé à la décision de l'ajouter comme répétition au site de Sart-Risbart. Lors des suivis, un potager de 350 m² était en place à une vingtaine de mètres des parcelles de tests (Figure 8). Les parcelles étaient bordées par une prairie pâturée et, à 45 m, par une route nationale. Un relevé de la végétation a été réalisé durant l'été, et approfondi par Eléonore de Roissart au début de l'automne (de Roissart, 2019). L'annexe 2 reprend les différentes espèces végétales présentes à proximité des parcelles.

Les parcelles sont au nombre de 14, deux d'entre elles étant occupées par *Echium plantagineum*, une espèce végétale étudiée dans le cadre d'un autre mémoire. Le 23 mai 2018, les espèces végétales d'intérêt ont été semées sur des parcelles de 2m² et leur répartition au sein de celles-ci a été choisie de manière aléatoire. À l'exception d'*H. annuus* qui n'a pas été semé sur ce site, toutes les espèces étudiées sont semées sur deux parcelles distinctes. La figure 9 reprend la disposition de ces dernières. La taille des parcelles étant nettement inférieure à celles de Sart-Risbart, la densité de semis a été doublée par rapport à ce site, afin d'assurer la levée d'un nombre suffisant de plantes. Comme mentionné précédemment, les adventices au sein des parcelles ont régulièrement été arrachées.



Figure 8 – Localisation des parcelles sur le site de la ferme de Lauzelle, le rectangle jaune représentant les 14 parcelles. (WalOnMap - SPW, 2018)

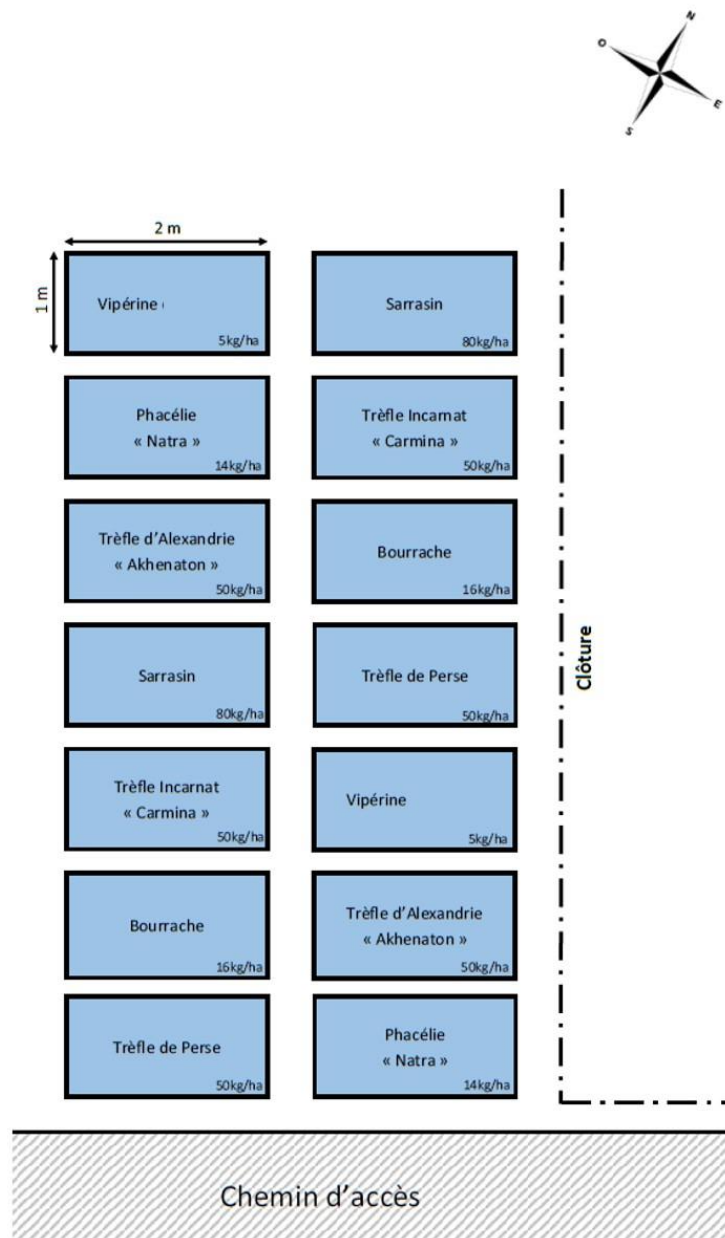


Figure 9 – Disposition des espèces végétales étudiées sur le site de la ferme de Lauzelle (Docks, 2018)

2.3. Strée

Le troisième site sur lequel les insectes visitant le trèfle de Perse ont été observés appartient au Centre des Technologies Agronomiques (CTA) de Strée.

Les trèfles de Perse n'ayant pas poussé en quantité suffisante sur les bandes fleuries de Sart-Risbart, la parcelle du CTA (Figure 10) a été ajoutée pour le suivi du mois de juillet. Ce lieu de 55 ha est constitué de cultures et de prairies et se situe à proximité d'un bois. Quatre ruches sont installées à une centaine de mètres de la parcelle d'intérêt.

La parcelle de trèfles de Perse mesurant 3x316 m² appartient à une bande faune constituée de plusieurs espèces végétales reprises dans l'annexe 2. Cette bande est elle-même entourée d'autres bandes MAEC et de champs.



Figure 10 – Localisation de la parcelle de trèfles de Perse au sein du CTA, le rectangle jaune représentant la bande faune à laquelle la parcelle de trèfles appartient (WalOnMap - SPW, 2018)

2.4. Dongelberg

Tout comme pour le site de Strée, la parcelle située à Dongelberg (Figure 11) a permis d’obtenir une répétition pour les trèfles de Perse, en août dans ce cas-ci.

En juillet, ce site avait déjà été envisagé pour le suivi des pollinisateurs sur les trèfles de Perse, mais ces derniers ne possédaient pas assez de fleurs fraîchement ouvertes. Mi-août, des zones assez grandes pour les observations requises étaient en fleurs. Par conséquent, la répétition vis-à-vis du site de Lauzelle a été réalisée dans ce village, plutôt que celui de Strée, plus éloigné de l’UCLouvain.

La bande de trèfles de Perse est bordée par un champ de maïs d’un côté, par un champ déjà moissonné de l’autre et par une route de campagne et quelques arbres aux autres extrémités. La parcelle en elle-même (100 x 40 m²) n’est pas composée uniquement de trèfles ; des bleuets, lamiacées et adventices alternent avec l’espèce végétale d’intérêt. L’annexe 2 liste la végétation sur la bande et les espaces qui la touchent.



Figure 11 – Localisation de la parcelle de trèfles de Perse à Dongelberg, le rectangle jaune représentant la bande dans laquelle des trèfles de Perse sont présents (WalOnMap - SPW, 2018)

2.5. Incourt

Entourée de champs et bordée par une route, cette bande faune (Figure 12) ne contient pas que des tournesols. Un mélange de plusieurs espèces végétales a en effet été semé bien avant que cette parcelle ne soit ajoutée au protocole d'observation. Ce n'est que fin août que la décision d'ajouter cette bande a été prise. L'annexe 2 reprend les espèces végétales de la bande faune mesurant 505x12 m.



Figure 12 – Localisation de la bande faune d'Incourt, le rectangle jaune représentant la bande dans laquelle des tournesols sont présents (WalOnMap - SPW, 2018)

3. Pollinisateurs

3.1. Suivis

Du 30 juin 2018 au 28 août 2018, des relevés d'insectes visitant les plantes étudiées ont été réalisés. L'objectif était d'atteindre quatre répétitions pour les sept espèces végétales semées ; deux en juillet et deux en août, sur des sites distincts lorsqu'il s'agissait du même mois. Cependant, la présence d'adventices sur les parcelles supposées accueillir les trois espèces de trèfles et les conditions météorologiques particulières de l'été 2018 (sécheresse et chaleur) ont restreint le nombre d'observations prévues. L'ajout du tournesol au protocole de base ayant eu lieu durant le mois d'août, seuls des relevés au cours de ce mois ont pu être réalisés pour cette espèce. *B. officinalis*, *F. esculentum* et *T. resupinatum* correspondent aux trois espèces pour lesquelles quatre répétitions ont pu être accomplies. Le tableau 4 reprend le nombre de jours et la localisation des relevés effectués sur les différentes plantes.

En début de journée, un périmètre est délimité autour des plantes étudiées. Sa taille est choisie en fonction du nombre de fleurs ouvertes et de la quantité d'insectes visiteurs. Afin de capturer un nombre suffisant d'insectes et de surveiller simultanément toutes les fleurs, sa surface avoisine généralement $\frac{1}{2}$ m². Pour les tournesols semés en mélange, elle s'étend jusqu'au m² puisque leur densité est moindre. Chaque heure, pendant 20 minutes, tous les insectes se posant sur les fleurs à l'intérieur de cet espace sont capturés à l'aide d'un filet, puis enfermés dans un pilulier. Si un insecte n'est pas capturé, un maximum d'informations le concernant est néanmoins noté : ordre, famille, espèce, morphotype... Lorsque les 20 minutes sont écoulées, les insectes identifiables sont relâchés. Quant aux autres, ils sont placés dans un pilulier contenant un coton imbibé d'acétate d'éthyle, puis déposés dans un bac frigorifique avant d'être placés, le soir, dans un congélateur à moins 20°C dans lequel ils seront conservés en vue de leur identification. Un premier classement a déjà lieu sur le terrain : hyménoptères (abeilles, guêpes, bourdons), diptères (syrphes, non-syrphes), coléoptères et lépidoptères. Au sein des bourdons, une distinction entre les différents GTO est également réalisée (Annexe 1).

Les prélèvements ont été réalisés par vent faible, absence de pluie et température supérieure à 15°C, conditions favorables à l'activité de butinage des insectes. Ces prélèvements sont réalisés neuf fois par jour, de 8h30 (ou 9h30) à 16h30 (ou 17h30). Des averses dans le courant de la journée ont réduit à huit le nombre d'observations pour le trèfle de Perse à Strée. Le tableau 4 indique le temps total consacré à la capture des visiteurs pour chacune des espèces végétales.

Au terme de chaque journée, les données météorologiques heure par heure (température, vitesse du vent, précipitation et humidité) sont relevées sur le site *MeteoBelgique.be*, sauf pour les parcelles de Lauzelle. En effet, la ferme de Lauzelle possédant sa propre station météo, les données y ont été récoltées à la fin du mois de juillet et d'août. Pour les autres localités, les stations météo les plus proches référencées sur le site *MeteoBelgique.be* ont servi de référence. Celles-ci ne proposant parfois pas de relevés, plusieurs stations ont été requises pour un même site. Pour Sart-Risbart, les stations de Grez-Doiceau, Incourt et Jodoigne-Souveraine, situées respectivement à 17 km, 4 km et 8 km de Sart-Risbart², ont été consultées. Pour Dongelberg, la station météo de Jodoigne-Souveraine, située à 2 km, a servi de référence. Quant à la parcelle de tournesols d'Incourt, la station météo d'Incourt a fourni les données souhaitées.

Tableau 4 – Localisation, nombre de jours et durée (minutes) des relevés d'insectes sur les sept espèces végétales étudiées

	Juin (site)	Juillet (site)	Août (site)	Total (jours)	Total (minutes)
<i>B. officinalis</i>	/	Sart-Risbart	Sart-Risbart		
		Lauzelle	Lauzelle	4	720
<i>F. esculentum</i>	Sart-Risbart	Sart-Risbart	Sart-Risbart		
		Lauzelle	Lauzelle	5	880
<i>H. annuus</i>	/	/	Sart-Risbart		
			Incourt	2	320
<i>P. tanacetifolia</i>	/	Sart-Risbart	/		
		Lauzelle	Lauzelle	3	560
<i>T. alexandrinum</i>	/	Lauzelle	Lauzelle	2	360
<i>T. incarnatum</i>	/	Lauzelle	Lauzelle	2	360
<i>T. resupinatum</i>	/	Lauzelle	Lauzelle		
		Strée	Dongelberg	4	700

3.2. Identification

Afin d'identifier les différents insectes capturés, plusieurs ouvrages, clés de détermination et sites web ont été consultés. La collection du laboratoire a également été utilisée.

Livres et sites web généraux :

- Chinery (2012)
- Sites web :
Le Monde des insectes (no date); Quel est cet animal , (no date)

Diptères :

- Ball (2008)
- *Calliphoridae* : (Mthalyi, 1977; Szpila, 2009)

² Les distances à vol d'oiseau ont été mesurées *via* Google maps, en prenant comme point de départ la localisation de la parcelle et, comme point d'arrivée, le village dans lequel se situe la station météo. Ce point a été choisi par Google maps et les distances ont été arrondies à l'unité la plus proche. La même démarche a été employée pour le calcul des autres distances.

- *Empididae* : (Hackston, 2012, 2013)
- *Syrphidae* : (Le Monde des insectes, 2010; Dor, Maillet-Mezera and Sarthou, 2011; Speight and Sarthou, 2013)
- *Tachinidae* : (Tschorsnig and Herting, 1994)

Hyménoptères :

- OPIE (no date)
- *Andrenidae* : (Patiny and Terzo, 2010)
- *Apidae* : (Amiet, Muller and Praz, unpublished)
- *Apoides* : (Terzo and Rasmont, no date; Scheuchl, 2000; SAPOLL, 2018)
- *Bombus* spp. : (Rasmont and Terzo, 2017)
- *Cremnops* spp. : (Tucker, Chapman and Sharkey, 2015)
- *Halictus* spp. et *Lasioglossum* spp.: (Pauly, 2014)

Les insectes ont été déterminés au binoculaire Motic SMZ-161. Les insectes identifiés ont ensuite été confiés à des spécialistes pour vérification : Marc Migon (diptères, coléoptères et hémiptères), Alain Pauly (abeilles solitaires) et David Genoud (autres hyménoptères).

Concernant les espèces du genre *Bombus*, l'identification n'a pas été plus loin que le GTO, au vu de la difficulté de différencier deux espèces d'un même GTO.

3.3. Pollen

Les insectes capturés présentant des pelotes de pollen ont été placés au sein d'un piston à insectes (Figure 13) pour permettre le prélèvement de ces dernières. Une pelote par insecte est prélevée et placée dans un tube eppendorf conservé au frais, le temps de rejoindre un congélateur à -20°C.

Au total, 187 pelotes ont été récoltées. Les manipulations nécessaires pour identifier leur origine demandant un certain temps, tous les échantillons n'ont pas été analysés. Ainsi, 60 échantillons ont été acétolysés selon le protocole d'Erdtman (1960) modifié (Descamps, 2014) et identifiés à l'aide d'un microscope Leitz Wetzlar. Des ouvrages (Reille, 1992, 1995) et des lames de référence ont été utilisés pour reconnaître les grains de pollen. Si des grains de pollen d'origines différentes étaient observés sur une même lame, un comptage d'environ 400 grains était réalisé pour établir les proportions des différentes espèces. Pour 10 pelotes, le nombre de grains n'était pas suffisant que pour en compter autant.

Les grains de pollen des trois *Trifolium* étudiés étant fort semblables, une distinction entre les trois espèces n'a pas été possible. Par conséquent, lorsqu'un grain de pollen de *Trifolium* sp. était présent dans une pelote, l'hypothèse que ce grain venait du *Trifolium* sur lequel l'insecte butinait a été posée.



Figure 13 – Piston à insecte (Apiculture.net, no date)

4. Ressources en nectar

Afin de connaître la quantité, la concentration et la composition en sucres du nectar produit par les différentes espèces végétales étudiées, plusieurs opérations ont été effectuées.

Chaque matin, les fleurs fraîchement ouvertes au sein du périmètre délimité ont été comptées. Chaque fleur représente une unité florale, à l'exception des fleurs d'*H. annuus*. Pour cette espèce, un capitule a été compté comme une unité florale. Cette simplification a déjà été réalisée dans plusieurs études, au vu du nombre élevé de fleurons sur un capitule (1000 à 2000 fleurs/capitule) (Macfarlane, 2018a; Ouvrard, 2018).

Ensuite, début août, des fleurs ont été cueillies pour permettre le prélèvement du nectar. Cependant, vu les conditions météorologiques particulièrement défavorables (sécheresse et températures élevées) la quantité obtenue était insuffisante que pour permettre des analyses. Par conséquent, fin septembre, les sept espèces végétales d'intérêt ont été semées dans les serres de l'UCLouvain ($24 \pm 2^\circ\text{C}$, 65-70% d'humidité, 16h de lumière/jour). Chaque espèce a été semée individuellement dans des pots contenant un mélange constitué de 50% de terreau et 50% de sable. Au total, 2×10 graines par espèce ont été mises en pot. Début décembre, les pots ont été transférés dans une chambre de culture aux conditions suivantes : 21°C le jour et 19°C la nuit, 65 à 70% d'humidité et 16h de lumière par jour. Les plantes ont reçu plusieurs traitements visant à éliminer les thrips et mouchettes du terreau présentes.

Plusieurs techniques ont été employées pour prélever le nectar des fleurs. Pour la bourrache et la phacélie, des microcapillaires de 5 μL et 1 μL respectivement ont été utilisés (Hirschmann Laborgeräte, Eberstadt, Germany). Les fleurs de sarrasin, trèfles de Perse et trèfles d'Alexandrie ont, quant à elles, été centrifugées à l'aide de la centrifugeuse (Centrifuge 5430R) pour permettre l'extraction du nectar. Neuf fleurs de sarrasin sont détachées et placées dans un tube eppendorf (1,5 μL) dont le fond a préalablement été percé de quatre à cinq trous. Ce tube est positionné au-dessus d'un second tube eppendorf de même dimension et l'ensemble est placé dans la centrifugeuse. Le tout est centrifugé une première fois à 13 200 rpm pendant quatre minutes puis une seconde fois à la même vitesse pendant deux minutes. Entre les deux, les fleurs obstruant les trous sont déplacées vers le haut du tube. La même opération est effectuée avec les trèfles, si ce n'est que la quantité de

fleurs prélevées est plus importante : une vingtaine de fleurs pour un eppendorf. Le tournesol n'ayant pas germé, aucune mesure sur le nectar qu'il produit n'a pu être réalisée. En ce qui concerne le trèfle incarnat, son absence de floraison n'a pas permis les prélèvements.

Le volume de nectar prélevé a été mesuré différemment suivant la méthode d'extraction employée. La hauteur de nectar dans les microcapillaires a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse, puis convertie en volume par une règle de trois. Le volume présent dans les tubes eppendorf a été calculé à l'aide d'une micropipette réglée sur 1 µL, qui prélevait le nectar des tubes.

Suivant la quantité de nectar disponible, de 12 à 21 mesures au réfractomètre (Eclipse, Handled refractometer, Bellingham et Stanley) ont été effectuées pour connaître la concentration en sucres. Cette concentration est lue en degrés Brix (°Bx) sur le réfractomètre, avec 1°Bx correspondant à 1g de saccharose pour 100g de solution. Le contenu en sucres par fleurs (s, mg) a été calculé grâce à la formule suivante : $s = 10 * d * v * C$, avec d représentant la densité d'une solution de saccharose à la concentration C ($d = 0.0037921 * C + 0.0000178 * C^2 + 0.9988603$) et v correspondant au volume de nectar (ml).

Au minimum deux échantillons par espèce végétale ont ensuite été soumis à Hélène Dailly, au laboratoire de sciences environnementales, pour réaliser une chromatographie en phase gazeuse (GC). Cette GC a été réalisée à l'aide d'un Thermo Trace 1310 muni d'un spectromètre de masse Thermo ISQ-QD, avec pour gaz vecteur l'He (1 mL/min). La colonne utilisée répond aux caractéristiques suivantes : Restek Rxi-5Sil MS (30m x 0.25 mm ID, 0.25 µm df). Les échantillons ont été dilués 10x, 20x ou 40x selon leur teneur en sucres. La température du four est maintenue à 105°C pendant 4 min puis montée jusqu'à 280°C par palier de 15°C toutes les minutes. Le four reste ensuite à cette température pendant 20 min. Les températures de l'injecteur et du détecteur (ligne de transfert et ion source) s'élèvent, quant à elles, à 250°C, 305°C et 280°C respectivement. Grâce à cette GC, les concentrations en fructose, glucose et saccharose du nectar ont pu être connues (µg/mg de nectar). Le tableau 5 reprend, par espèce végétale, le nombre et le volume des échantillons passés au réfractomètre et à la GC.

Tableau 5 – Nombre de mesures effectuées au réfractomètre et nombre d'échantillons ainsi que leur volume total soumis à la GC, par espèce végétale

	Réfractomètre	Nombre d'échantillons	GC	
	Nombre de mesures		Volume total (µL)	Dilution
<i>B. officinalis</i>	21	3	28.3	40x
<i>F. esculentum</i>	12	3	28	20x
<i>P. tanacetifolia</i>	15	2	12,1	20x
<i>T. alexandrinum</i>	13	4	40	10x
<i>T. resupinatum</i>	15	2	12,5	10x

5. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du programme Rstudio.

Afin de comparer l'abondance des insectes au cours d'une journée entre les différentes espèces végétales, une ANOVA a été réalisée. À cette fin, la normalité et l'égalité des variances ont d'abord été vérifiées. Une ANOVA a également été menée pour comparer les densités florales des différentes espèces végétales. Un test post-hoc de Tukey a permis de déterminer quelles espèces végétales présentaient des différences entre elles.

Pour visualiser la diversité des espèces d'insectes au sein de chaque espèce végétale, des graphes ont été dessinés en séparant les individus en plusieurs groupes. L'ordre des hyménoptères a été séparé en trois catégories : *A. mellifera*, *Bombus* spp. et non-*Apidae*. La catégorie non-*Apidae* inclut autant les guêpes que les abeilles solitaires et les autres hyménoptères n'appartenant pas à la famille des *Apidae*. Quant à l'ordre des diptères, il a été séparé en deux catégories : *Syrphidae* et non-*Syrphidae*. Enfin, les ordres des coléoptères, hémiptères et lépidoptères ont été rassemblés dans la catégorie Autres.

Les résultats de l'analyse du nectar récolté ont été comparés *via* plusieurs ANOVA. Le volume, les sucres totaux et les concentrations en sucres ont été testés. À nouveau, la normalité et l'égalité des variances ont d'abord été vérifiées. Si l'égalité des variances n'était pas respectée, une transformation en log10 des données a été réalisée pour satisfaire cette condition. Des tests post-hoc de Tukey ont permis de déterminer quelles espèces végétales présentaient des différences entre elles pour les différents paramètres évoqués.

Résultats

1. Conditions environnementales

1.1. Conditions météorologiques

Le printemps et l'été 2018 ont connu des conditions météorologiques inhabituellement chaudes et sèches par rapport aux normales de la période allant de 1981 à 2010 (Tableau 6). Une vague de chaleur³ de 26 jours a marqué les mois de juillet et août, avec un total de neuf jours de canicule⁴.

Tableau 6 – Comparaison des températures et précipitations à Uccle des mois de mai à août 2018 avec les normales de 1981-2010 (MeteoBelgique.be, 2018a)

Mois	Température (°C)	Précipitations (L/m ²)	Précipitations (jours)
Mai	16,3	13,9	10
Normales mai*	13,6	66,5	16,2
Juin	18,1	15,8	4
Normales juin*	16,2	71,1	15
Juillet	22	49,7	5
Normales juillet*	18,4	73,5	14,3
Août	19,4	69,2	11
Normales août*	18	79,3	14,5

* Les normales pour chaque mois se rapportent à la moyenne de la période 1981-2010

De manière générale, les relevés ont été effectués au cours de journées chaudes et sèches aux conditions similaires. Seules les observations sur le site de Strée ont été interrompues par des précipitations. La moyenne des températures de la première moitié du mois de juillet était de 25°C, tandis qu'elle s'élevait à 30°C dans la seconde. En août, la température moyenne a diminué, passant de 25°C dans la première moitié du mois à 20°C dans la seconde. Le 27 juillet, à Lauzelle, la température la plus haute de tous les relevés a été enregistrée et était de 37,4°C.

1.2. Floraison

Toutes les espèces végétales n'ont pas fleuri en même temps. Les dates de début et fin de floraison inscrites dans le tableau 7 sont approximatives et présentées surtout à titre indicatif. En effet, les sites n'ont pas été visités tous les jours et toutes les espèces végétales n'étaient pas encore en fleurs ou fanées aux dates indiquées. De même, aucun seuil spécifique n'a été établi pour définir à partir de quel moment une espèce était en pleine floraison.

³ Vague de chaleur : succession de minimum 5 jours de températures maximales supérieures à 25°C, dont au moins trois sont supérieures à 30°C (MeteoBelgique.be, 2018b)

⁴ Journée de canicule : journée durant laquelle la température est montée au-dessus de 30°C (MeteoBelgique.be, 2018b)

Tableau 7 – Période de floraison des espèces végétales étudiées sur les sites de Sart-Risbart et Lauzelle

	Sart-Risbart			Lauzelle		
	Début floraison	Encore en fleurs ?		Début floraison	Encore en fleurs ?	
		04-08	21-08		15-07	18-08
<i>B. officinalis</i>	16-07	oui	oui	13-07	oui	oui
<i>F. esculentum</i>	30-06	oui	oui	02-07	oui	oui
<i>H. annuus</i>	16-07	oui	oui	/		
<i>P. tanacetifolia</i>	07-07	non	non	13-07	oui	non
<i>T. alexandrinum</i>	/			26-07	/	non
<i>T. incarnatum</i>	/			26-07	/	oui
<i>T. resupinatum</i>	/			22-06	non*	non

* Entre le 17-07-18 et le 01-08-18, un nombre suffisant d'individus a fleuri, permettant la réalisation d'un relevé sur le site de Lauzelle au cours du mois d'août (01-08-18). Néanmoins, la densité florale était moindre que lors du relevé de juillet.

Sur le site de Sart-Risbart, seule une dizaine de trèfles, toutes espèces confondues a fleuri. Sur ce site, *F. esculentum* est la première espèce à avoir fleuri (30 juin), tandis qu'à Lauzelle il s'agit de *T. resupinatum* (22 juin). Les périodes de floraison massive de *P. tanacetifolia*, *T. alexandrinum* et *T. resupinatum* ont duré moins longtemps (approximativement 27 jours, 22 jours et 15 jours) que celles des autres espèces étudiées (plus d'un mois).

En ce qui concerne la densité florale (Tableau 8), elle n'est pas identique pour toutes les espèces végétales étudiées ($F = 4,671$, $df = 6$, $p\text{-valeur} = 0,00717$). En effet, la densité florale de *T. alexandrinum* est plus élevée que celle de *B. officinalis*, *F. esculentum*, *H. annuus* et *P. tanacetifolia*. Par contre, aucune différence significative n'est notée entre les trois espèces du genre *Trifolium*.

Tableau 8 – Densité florale moyenne des sept espèces végétales étudiées. Le nombre de mesures ayant permis de calculer ces moyennes est indiqué (n). Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes ($p < 0,05$)

	Unité florale/m ²	n
<i>B. officinalis</i>	105 ± 77 ^b	4
<i>F. esculentum</i>	1576 ± 1754 ^b	5
<i>H. annuus</i>	9* ± 3 ^b	2
<i>P. tanacetifolia</i>	1016 ± 728 ^b	3
<i>T. alexandrinum</i>	8441 ± 4424 ^a	2
<i>T. incarnatum</i>	5213 ± 3354 ^{ab}	2
<i>T. resupinatum</i>	4945 ± 3236 ^{ab}	4

* Une unité florale d'*H. annuus* compte pour un capitule. En moyenne, un capitule d'*H. annuus* est composé de 650 fleurons (sur base du comptage des fleurons présents sur ¼ de capitule d'*H. annuus*)

2. Pollinisateurs

2.1. Guilde des pollinisateurs

Au total, pendant les 22 jours de relevés, 2131 insectes ont été observés sur les sept espèces végétales étudiées (Tableau 9). Parmi eux, 266 ont été capturés pour une détermination ultérieure (Annexe 3). Les relevés ont permis d'identifier 61 espèces d'insectes différentes : 22 de l'ordre des hyménoptères, 21 de l'ordre des diptères, 13 de l'ordre des coléoptères, 3 de l'ordre des lépidoptères et 2 de l'ordre des hémiptères. Au sein des différentes familles représentées, celle des *Syrphidae* est la plus diversifiée (14 espèces).

Tableau 9 – Nombres totaux d'espèces d'insectes observés sur les sept espèces végétales étudiées. L'abréviation sp. signifie que l'espèce n'a pas pu être déterminée, soit parce que l'insecte n'a pas été prélevé pour une identification ultérieure, soit parce qu'une détermination jusqu'à l'espèce n'a pas été possible, malgré l'identification ultérieure. *Eristalis* sp. pourrait donc correspondre à une des *Eristalis* spp. déjà citée dans le tableau. (B : *B. officinalis*, F : *F. esculentum*, H : *H. annuus*, P : *P. tanacetifolia*, TA : *T. alexandrinum*, TI : *T. incarnatum* et TR : *T. resupinatum*)

Ordre	Famille	Espèce insecte	B	F	H	P	TA	TI	TR
Hymenoptera			325	215	125	410	266	85	248
	Andrenidae	<i>Andrena dorsata</i>		2					
		<i>Andrena flavipes</i>		18					6
		<i>Andrena</i> sp.		3					
	Apidae	<i>Apis mellifera</i>	109	81	4	34	8		99
		<i>Bombus lapidarius</i> (GTO)	51	17	49	235	35		82
		<i>Bombus pascuorum</i> (GTO)	119	4	8	54	217	84	37
		<i>Bombus terrestris</i> (GTO)	39	6	60	67	1		8
		<i>Bombus</i> sp.			1				
		<i>Nomada fucata</i>							1
		<i>Nomada</i> sp.							
	Braconidae	<i>Cremnops desertor</i>		4					
	Colletidae	<i>Colletes hederæ</i>		1					
		<i>Colletes</i> sp.		2					3
		<i>Hylaeus communis</i>				1			
	Crabonidae	<i>Oxybellus</i> sp.		3					
	Formicidae	Indéterminé		1		1			
	Halictidae	<i>Halictus</i> sp.							1
		<i>Halictus tumulorum</i>	1			3			2
		<i>Lasioglossum morio</i>				3	1		
		<i>Lasioglossum nitidulum</i>	1	2		1			2
		<i>Lasioglossum pauxillum</i>	1	2					
		<i>Lasioglossum</i> sp.	2				2		
		<i>Lasioglossum zonolum</i>							1
	Ichneumonidae	Indéterminé		3					1
	Speciforme	Indéterminé		2	3	1			
	Vespidae	<i>Eumenidae</i>						1	
		<i>Polistes</i> sp.		5					
		<i>Vespula</i> sp.	2	21					1

Ordre	Famille	Espèce insecte	B	F	H	P	TA	TI	TR
		<i>Vespa vulgaris</i>		19		1			2
		Indéterminé		6					
	Indéterminé			13		9	2		2
Diptera			279	85	8	5	7	16	
	Anthomyiidae	Indéterminé			45				
	Calliphoridae	<i>Lucilia sp.</i>		4					
		Indéterminé					2	3	
	Chloropidae	Indéterminé		1					
	Empididae	Indéterminé		6					
	Muscidae	Indéterminé		6					1
	Scatophagidae	<i>Scatophaga sp.</i>		1					
	Syrphidae	<i>Cheilosia sp.</i>		1					
		<i>Episyrphus balteatus</i>		21					4
		<i>Eristalis arbustorum</i>		5					
		<i>Eristalis nemorum</i>		3					
		<i>Eristalis sp.</i>		18					
		<i>Eristalis tenax</i>		13	15				1
		<i>Eupeodes corollae</i>		3					1
		<i>Eupeodes luniger</i>				3			
		<i>Melanostoma mellinum</i>		1					
		<i>Myathropa florea</i>		1					
		<i>Pipizella bimaculata</i>		1					
		<i>Scaeva pyrastris</i>		1					
		<i>Sphaerophoria scripta</i>		15		1			
		<i>Syrirta pipiens</i>		40					1
		<i>Syrphus ribesii</i>		1					
		Indéterminé		46	1	4	3		6
	Tachinidae	<i>Eriothrix sp.</i>		1					
		Indéterminé		3					
	Indéterminé	Indéterminé		87	24			4	2
Coleoptera			16				5		16
	Bruchidae	Indéterminé							2
	Cantharidae	<i>Rhageonycha fulva</i>							1
	Carabidae	<i>Amara plebeja</i>		1					
	Chrysomelidae	<i>Altica sp.</i>		1					
		<i>Gastrophysa polygoni</i>							1
		<i>Oulema gallaeciana</i>		1					
		<i>Oulema melanopus</i>		2					1
	Coccinellidae	<i>Coccinella septempunctata</i>					2		6
		<i>Harmonia axyridis</i>							1
		<i>Hippodamia variegata</i>					2		
		Indéterminé							1
	Nitidulidae	Indéterminé					1		
	Oedemeridae	<i>Oedemera sp.</i>		1					

Ordre	Famille	Espèce insecte	B	F	H	P	TA	TI	TR
		<i>Oedemera virescens</i>		5					
	Indéterminé	Indéterminé		5					3
Lepidoptera				3		4			1
	Noctuidae	<i>Autographa gama</i>				1			
	Pieridae	<i>Pieris rapae</i>		3		2			1
	Indéterminé					1			
Hemiptera				2					2
	Miridae	Indéterminé		2					1
	Indéterminé	Indéterminé							1
Indéterminé				6		1			1
Total			325	521	210	423	276	92	284
Temps total (min)			720	880	320	560	360	360	700

Parmi l'ensemble des espèces d'insectes identifiées, 70% d'entre elles se retrouvent sur *F. esculentum* (Figure 14 et Figure 15). Cette espèce végétale est donc visitée par le plus grand nombre d'espèces d'insectes. En effet, elle attire 42 espèces différentes, contre 25 et 16 pour *T. resupinatum* et *P. tanacetifolia*, les deux autres espèces visitées par un nombre élevé d'espèces d'insectes. Quant à *T. alexandrinum*, *B. officinalis* et *H. annuus*, ils sont visités par quatre fois moins d'espèces que *F. esculentum*. Enfin, *T. incarnatum* est l'espèce végétale étudiée qui présente le moins de diversité en termes d'insectes visiteurs : 3 espèces différentes ont été comptabilisées pour ce trèfle.

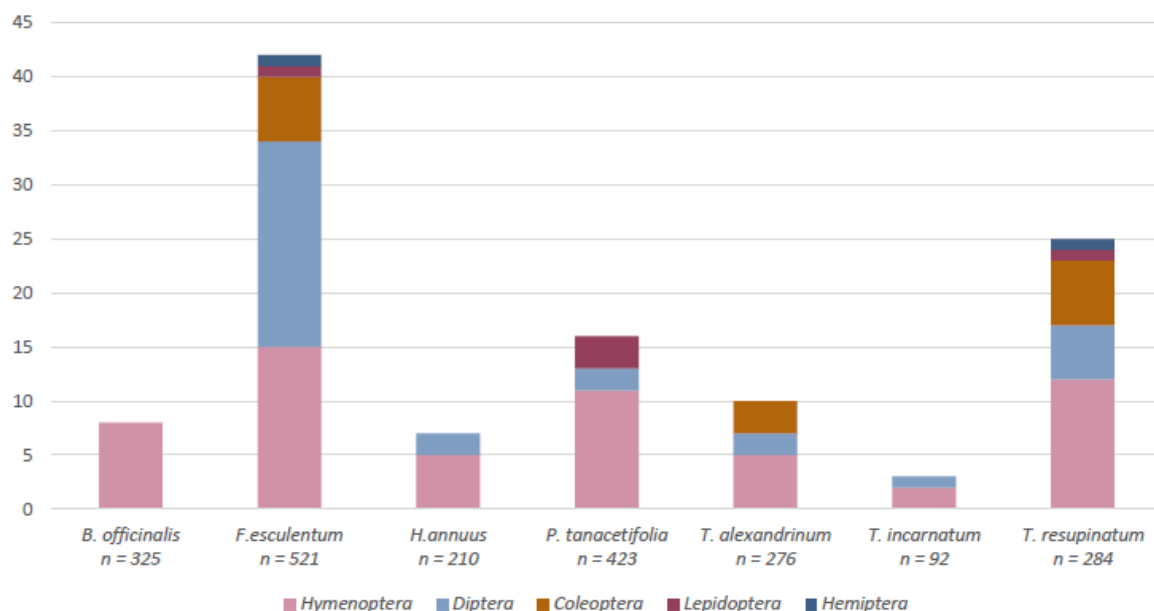


Figure 14 – Nombre d'espèces d'insectes différentes observées sur les sept espèces végétales étudiées, classées par ordre. Le nombre total d'insectes observés (n) sur chacune des espèces végétales est indiqué.

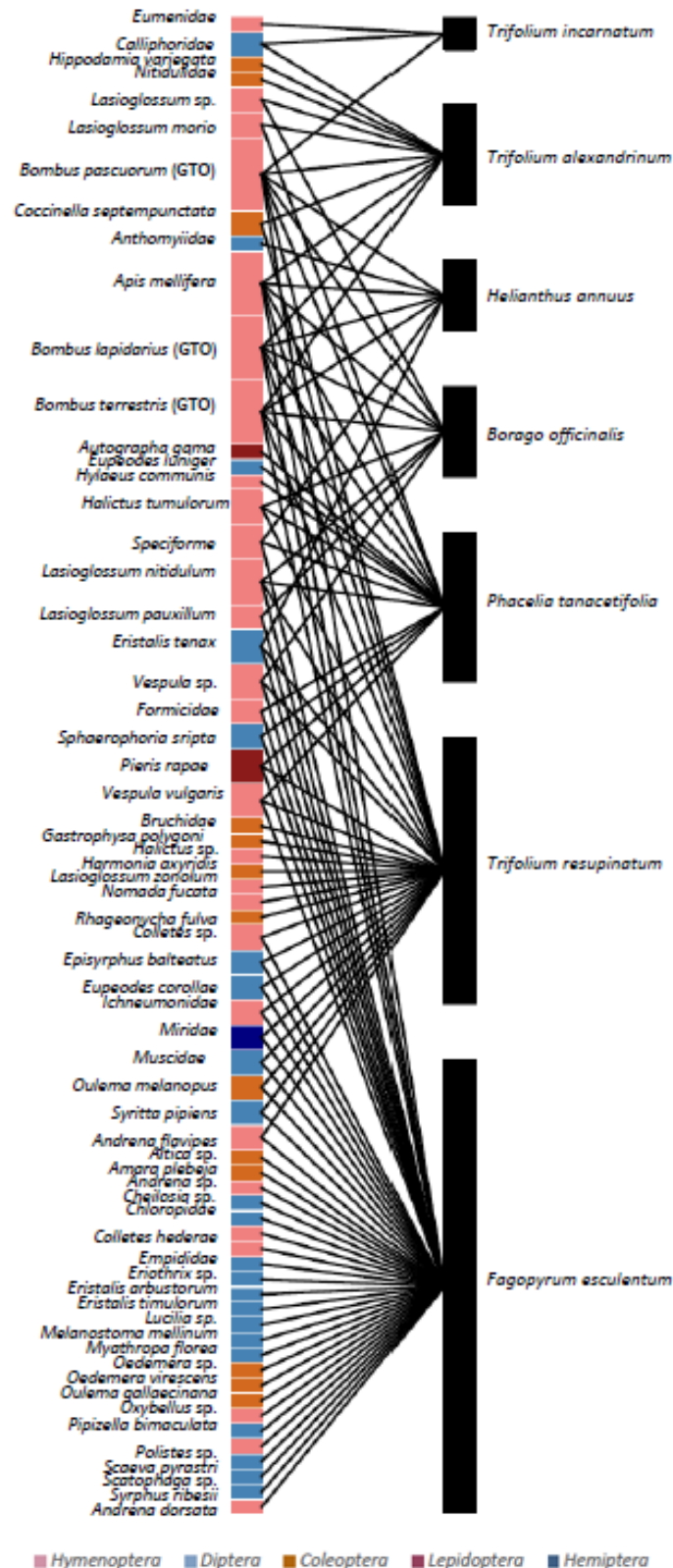


Figure 15 – Réseau d’interactions entre les sept espèces végétales étudiées et les insectes observés lors des 22 jours de relevés. Une espèce d’insecte n’a été comptée qu’une fois par espèce végétale. Chaque rectangle correspond à une espèce d’insecte (à gauche) ou à une espèce végétale (à droite). La hauteur d’un rectangle à gauche est proportionnelle au nombre d’espèces végétales sur lequel l’insecte a été observé, tandis que la hauteur d’un rectangle à droite est proportionnelle au nombre d’espèces d’insectes observées sur l’espèce végétale considérée.

Parmi les espèces d'insectes observées, celles appartenant au genre *Bombus* se retrouvent sur toutes les espèces végétales étudiées et sont les plus abondantes (Figure 16). En effet, si les observations pour chaque espèce végétale sont chacune rapportées à une journée d'observation (9x20 min) et ensuite additionnées, le groupe des *Bombus* spp. est celui qui, au total, est le plus présent (63% de l'ensemble des visiteurs). Une autre espèce présente sur toutes les espèces végétales à l'exception de *T. incarnatum*, est *A. mellifera*. Enfin, les individus de l'ordre des diptères sont eux aussi présents sur toutes les espèces végétales, à l'exception de *B. officinalis*. Par contre, leur abondance relative ne dépasse les 40% que sur *F. esculentum* et *H. annuus*.

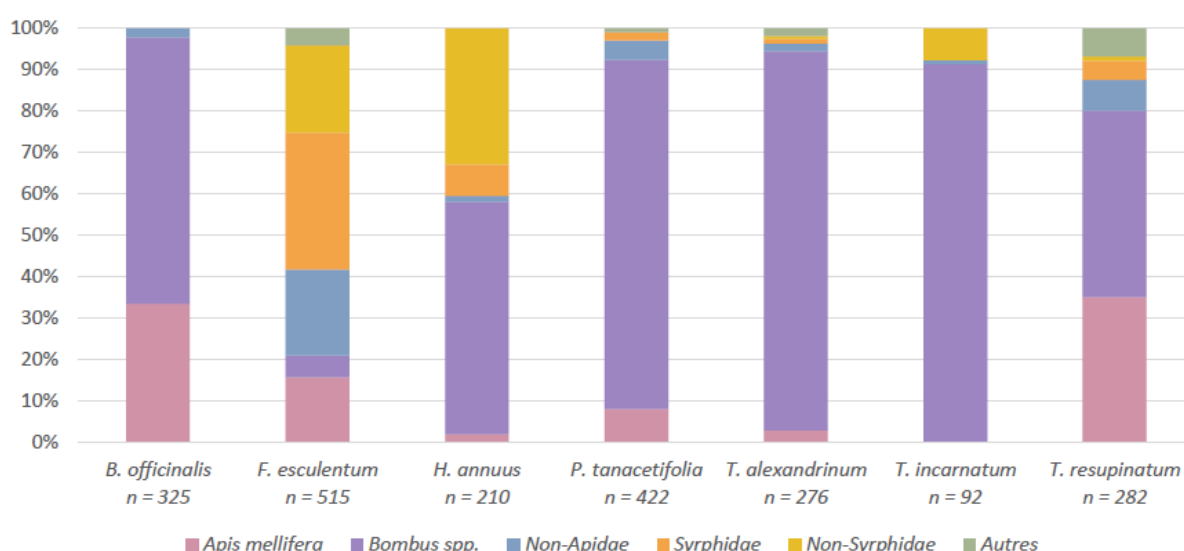


Figure 16 – Abondance relative des différents groupes pour chaque espèce végétale. Le nombre total d'insectes observés (n) pour chaque espèce végétale est indiqué.

a. *Borago officinalis*

Pour commencer, *B. officinalis* est visitée par 8 espèces différentes appartenant toutes à l'ordre des hyménoptères (Figure 14). Chacune de ces espèces se retrouve sur au moins une autre espèce végétale que *B. officinalis* (Figure 15). En termes d'abondance, ces hyménoptères sont représentés par 64% de *Bombus* spp., 34% d'*A. mellifera* et 2% d'hyménoptères non-*Apidae*. Les *Bombus* spp. sont représentés par 57% de *Bombus* appartenant au GTO Pascuorum, 24% appartenant au GTO Lapidarius et 19% appartenant au GTO Terrestris. Les non-*Apidae* répertoriés appartiennent à la famille des *Halictidae* et des *Vespidae*.

b. *Fagopyrum esculentum*

Contrairement à *B. officinalis*, *F. esculentum* est visité par des insectes appartenant à tous les groupes définis pour ce mémoire. Ainsi, cette espèce végétale attire plus de deux tiers des espèces déterminées, soit 42 espèces dont la moitié ne se retrouve que sur *F. esculentum*. Parmi les espèces présentes sur *F. esculentum*, le groupe des *Syrphidae* est le plus abondant (33%) et le plus diversifié (13 espèces). Les diptères non-*Syrphidae* (21%), hyménoptères

non-*Apidae* (21%), *A. mellifera* (16%) et *Bombus* spp. (5%) sont les autres groupes majoritairement présents sur *F. esculentum*. Contrairement aux autres espèces végétales, *F. esculentum* n'est donc pas visité majoritairement par des espèces du genre *Bombus*.

c. *Helianthus annuus*

Tout comme *B. officinalis*, *H. annuus* est visité par moins d'une dizaine d'espèces (7). À l'instar de toutes les autres espèces végétales étudiées, exception faite de *F. esculentum*, le groupe majoritairement présent est celui des *Bombus* spp. (56%). En termes d'abondance relative, *H. annuus* est l'espèce qui attire le plus d'individus du groupe non-*Syrphidae* (33%). Celui-ci est représenté par des individus de la famille des *Anthomyiidae* (21%) et par des diptères non-capturés. Les autres groupes présents sur *H. annuus* sont les suivants : *Syrphidae* (8%), *A. mellifera* (2%) et non-*Apidae* (1%). Enfin, la famille des *Anthomyiidae* n'a été retrouvée que sur *H. annuus*.

d. *Phacelia tanacetifolia*

P. tanacetifolia, quant à elle, est visitée par 16 espèces différentes d'insectes, soit deux fois plus qu'*H. annuus*. Parmi celles-ci, trois espèces n'ont été observées que sur cette espèce végétale. Tout comme la majorité des espèces végétales étudiées, *P. tanacetifolia* est visitée principalement par le groupe *Bombus* spp. (84%). Néanmoins, tous les autres groupes se retrouvent aussi sur *P. tanacetifolia*, avec 8% d'*A. mellifera*, 2% de *Syrphidae* et 1% du groupe « Autres ».

e. *Trifolium* spp.

À l'instar de *P. tanacetifolia*, *T. alexandrinum* et *T. incarnatum* sont visités presque exclusivement par des individus du groupe *Bombus* spp. (plus de 90%). *T. alexandrinum* attire 10 espèces différentes, tandis que *T. incarnatum* est l'espèce végétale qui attire le moins grand nombre d'espèces. En effet, seules trois espèces différentes d'insectes ont été observées sur *T. incarnatum*, avec une majorité de bourdons appartenant au GTO Pascuorum (91%). Un individu de la sous-famille des *Eumenidae* (*Vespidae*) n'a été observé que sur ce trèfle, tandis que deux espèces de coléoptères ne se retrouvent que sur *T. alexandrinum*.

Contrairement aux deux autres espèces de *Trifolium* étudiées, *T. resupinatum* attire une diversité plus grande d'insectes. En effet, il est la deuxième espèce végétale à attirer le plus d'insectes différents (25). Près de la moitié de ces espèces sont également présentes sur *F. esculentum* et pas sur d'autres espèces végétales. Un peu moins d'un tiers des insectes observés sur *T. resupinatum* n'a pas été référencé sur les autres espèces végétales. Ceux-ci appartiennent à l'ordre des coléoptères, la famille des *Halictidae* et des *Nomadae*. Après *F. esculentum*, *T. resupinatum* est la deuxième espèce qui attire le moins d'individus du groupe *Bombus* (45%). *A. mellifera* est l'espèce la plus abondante (35%) et les six autres groupes sont présents en quantité moindre (de 7 à 1%).

Les sept espèces végétales étudiées n'attirent donc pas toutes les mêmes espèces d'insectes. Par contre, en termes de nombre d'insectes observés au cours d'une journée d'observation (9x20 min), aucune différence significative ne peut être notée ($F = 0,93$, $df = 6$, $p\text{-valeur} = 0,502$). Le nombre d'insectes moyen observé au cours d'une journée d'observation est repris dans le tableau 10.

Tableau 10 – Nombre moyen d'insectes observés au cours d'une journée de relevés (9x20min). Le nombre de mesures ayant permis de calculer ces moyennes est indiqué (n).

	Nombre d'insectes moyen sur une durée de 180 min	n
<i>B. officinalis</i>	81 ± 43	4
<i>F. esculentum</i>	106 ± 70	5
<i>H. annuus</i>	118 ± 64	2
<i>P. tanacetifolia</i>	134 ± 63	3
<i>T. alexandrinum</i>	138 ± 14	2
<i>T. incarnatum</i>	46 ± 21	2
<i>T. resupinatum</i>	74 ± 34	4

2.2. Pollen

Parmi les insectes observés, plusieurs avaient collecté du pollen. Les pelotes de 187 d'entre eux ont été collectées (Tableau 11) et 60 d'entre elles ont été analysées. Le pourcentage des grains de pollen de l'espèce végétale sur laquelle l'insecte se trouvait au moment du prélèvement, aussi appelée espèce d'intérêt, est indiqué dans le tableau 12. Les autres espèces présentes dans ces pelotes sont reprises dans le tableau 13. L'annexe 4, quant à elle, reprend la composition détaillée de chacune des pelotes analysées.

Tableau 11 – Nombre et origine des pelotes collectées (B : *B. officinalis*, F : *F. esculentum*, P : *P. tanacetifolia*, TA : *T. alexandrinum*, TI : *T. incarnatum* et TR : *T. resupinatum*)

	B	F	P	TA	TI	TP	Total
<i>Andrena flavipes</i>		2				3	5
<i>Apis mellifera</i>	5	12		1		22	40
GTO Lapidarius	2		7	2		17	28
GTO Pascuorum	9		3	33	29	10	84
GTO Terrestris	8		22				30
Total	24	14	32	36	29	52	187

Tableau 12 – Fidélité (Pourcentage des grains de pollen de l'espèce d'intérêt) des différents morphotypes de visiteurs. Le nombre de pelotes analysées est indiqué entre parenthèses. (B : *B. officinalis*, F : *F. esculentum*, P : *P. tanacetifolia*, TA : *T. alexandrinum*, TI : *T. incarnatum* et TR : *T. resupinatum*)

	B	F	P	TA	TI	TR	Moyenne générale
Andrena flavipes		6% ± 8 (2)				3% (1)	5% ± 6 (3)
Apis mellifera	30% ± 47 (4)	99% ± 2 (4)		26% (1)		55% ± 52 (4)	58% ± 46 (13)
GTO Lapidarius	6% ± 3 (2)		96% ± 4 (3)	30% ± 6 (2)		96% ± 11 (8)	75% ± 37 (15)
GTO Pascuorum	49% ± 41 (4)		59% ± 4 (3)	47% ± 24 (3)	58% ± 48 (4)	56% ± 47 (5)	54% ± 35 (19)
GTO Terrestris	75% ± 50 (4)		94% ± 16 (6)				86% ± 33 (10)
Moyenne générale	45% ± 45 (14)	68% ± 48 (6)	85% ± 20 (12)	45% ± 26 (6)	52% ± 43 (4)	70% ± 42 (18)	

Tableau 13 – Identification des grains de pollen autres que ceux provenant de l'espèce d'intérêt. (B : *B. officinalis*, F : *F. esculentum*, P : *P. tanacetifolia*, TA : *T. alexandrinum*, TI : *T. incarnatum* et TR : *T. resupinatum*)

	B	F	P	TA	TI	TR
Andrena flavipes		Apiaceae Asteraceae				Asteraceae
Apis mellifera	Asteraceae <i>P. tanacetifolia</i> <i>Trifolium</i> sp.			Asteraceae <i>P. tanacetifolia</i>		Asteraceae <i>E. plantagineum</i> <i>F. esculentum</i>
GTO Lapidarius	<i>E. plantagineum</i> <i>P. tanacetifolia</i>		<i>E. plantagineum</i> <i>F. esculentum</i>	Asteraceae <i>P. tanacetifolia</i>		<i>E. plantagineum</i>
GTO Pascuorum	<i>E. plantagineum</i> <i>F. esculentum</i> <i>Trifolium</i> sp.		Apiaceae Asteraceae <i>B. officinalis</i> <i>E. plantagineum</i> <i>Trifolium</i> sp.	<i>E. plantagineum</i> <i>P. tanacetifolia</i>	<i>E. plantagineum</i> <i>P. tanacetifolia</i>	<i>E. plantagineum</i> Asteraceae <i>E. vulgare</i>
GTO Terrestris	<i>F. esculentum</i>					

Les pelotes de pollen prélevées sur les insectes permettent de donner une idée de la fidélité des insectes pour les espèces végétales semées.

Pour commencer, *P. tanacetifolia* est l'espèce végétale pour laquelle les insectes ont la fidélité la plus haute. En effet, tous les insectes la visitant ont la moitié ou plus de leur pelote

composée de grains de pollen de *P. tanacetifolia* : en moyenne, une pelote prélevée sur un insecte visitant *P. tanacetifolia* est composée à 85% de *P. tanacetifolia*.

Tout comme pour *P. tanacetifolia*, la fidélité moyenne des insectes visitant *T. resupinatum* est élevée : en moyenne, une pelote prélevée sur un insecte visitant *T. resupinatum* est composée de 70% de grains de pollen de *T. resupinatum*. Ce pourcentage élevé est principalement dû aux bourdons du GTO Lapidarius dont toutes les pelotes sauf une sont composées uniquement de grains de pollen de *T. resupinatum*. En effet, les autres morphotypes d'insectes ne présentent pas une fidélité si uniforme pour *T. resupinatum* : seule la moitié des individus de l'espèce *A. mellifera* et des bourdons appartenant au GTO Pascuorum sont hautement fidèles à *T. resupinatum*.

Contrairement aux insectes visitant *T. resupinatum*, les insectes d'un même morphotype ont un comportement semblable vis-à-vis de *F. esculentum*. En effet, tous les individus de l'espèce *A. mellifera* sont hautement fidèles à *F. esculentum*, contrairement aux individus de l'espèce *A. flavipes* dont les pelotes ne sont composées que d'un dixième de grains de pollen de *F. esculentum*. Ainsi, une pelote prélevée sur un insecte visitant *F. esculentum* est composée en moyenne de 68% de grains de pollen de *F. esculentum*.

À l'inverse des insectes visitant les trois espèces végétales précédentes, les visiteurs de *T. incarnatum*, *T. alexandrinum* et *B. officinalis* ne leur sont, en moyenne, pas hautement fidèles. En effet, (moins de) la moitié de ces insectes ont des pelotes composées majoritairement de grains de pollen provenant de ces espèces.

Enfin, contrairement aux autres espèces végétales étudiées, aucune pelote n'a été prélevée sur les insectes visitant *H. annuus*. Ceci s'explique par l'absence de pelote sur les visiteurs de *H. annuus*.

Si les résultats sont maintenant analysés du point de vue des insectes plutôt que de celui des espèces végétales, les bourdons du GTO Terrestris présentent le comportement le plus uniforme et le plus fidèle. En effet, % d'entre eux ont des pelotes composées uniquement de l'espèce végétale sur laquelle ils ont été capturés. Les bourdons du GTO Lapidarius, quant à eux, ont également un comportement uniforme, mais celui-ci peut varier suivant l'espèce végétale qu'ils visitent. Ainsi, une pelote prélevée sur un bourdon du GTO Lapidarius visitant *P. tanacetifolia* ou *T. resupinatum* est composée en moyenne de 96% de grains de pollen issus de ces espèces végétales. Par contre, si la pelote est prélevée sur un individu visitant *B. officinalis* ou *T. alexandrinum*, elle contiendra moins de la moitié de ces espèces végétales. Contrairement aux bourdons du GTO Terrestris et Lapidarius, les individus de l'espèce *A. mellifera* et du GTO Pascuorum n'ont pas un comportement uniforme vis-à-vis d'une même espèce végétale. En effet, la moitié est fidèle à l'espèce végétale sur laquelle ils ont été capturés, tandis que l'autre moitié ne l'est pas. Tout comme cette deuxième moitié, les trois andrènes dont les pelotes ont été analysées ne sont pas fidèles à l'espèce sur laquelle elles ont été capturées.

Pour terminer, lorsqu'un insecte n'est pas fidèle à l'espèce végétale sur laquelle il a été capturé, il possède des pelotes dont l'origine des grains de pollen peut varier. En général, ceux-ci viennent principalement des autres espèces végétales étudiées sur les parcelles, à savoir *B. officinalis*, *F. esculentum*, *P. tanacetifolia* et *Trifolium* spp.. Du pollen d'*E. plantagineum*, espèce semée sur les parcelles de Lauzelle, ou du pollen d'espèces de la famille des *Asteraceae* peut également être présent dans ces pelotes.

3. Ressources en nectar

Outre le pollen que les insectes collectent, les fleurs peuvent également produire du nectar. Le tableau 14 reprend la quantité et la composition du nectar produit par cinq des sept espèces végétales étudiées.

Tableau 14 – Caractéristiques du nectar de cinq des sept espèces végétales étudiées. Les moyennes ne partageant aucune lettre au sein d'une même colonne sont significativement différentes ($p < 0,05$). Le nombre de mesures ayant permis de calculer les moyennes est indiqué (n). (S : saccharose, F : Fructose et G : Glucose)

	Volume ($\mu\text{L}/\text{fleur}$)	Sucres totaux (mg/fleur)	Concentration en sucres ($^{\circ}\text{Brix}$)	S / (F+G)
<i>B. officinalis</i>	$1,7 \pm 1,02$ (21) ^a	$1,14 \pm 0,68$ (21) ^a	$54,29 \pm 4,33$ (21) ^a	$1,15 \pm 0,24$ (3)
<i>F. esculentum</i>	$0,52 \pm 0,22$ (12) ^b	$0,20 \pm 0,07$ (12) ^b	$36,08 \pm 10,72$ (12) ^b	$0,40 \pm 0,04$ (3)
<i>P. tanacetifolia</i>	$0,22 \pm 0,10$ (15) ^c	$0,16 \pm 0,07$ (15) ^b	$56,20 \pm 7,11$ (15) ^a	$1,09 \pm 0,01$ (2)
<i>T. alexandrinum</i>	$0,21 \pm 0,12$ (13) ^c	$0,03 \pm 0,01$ (13) ^c	$12,54 \pm 3,73$ (13) ^d	$0,14 \pm 0,03$ (4)
<i>T. resupinatum</i>	$0,17 \pm 0,07$ (15) ^c	$0,05 \pm 0,04$ (15) ^c	$22,13 \pm 10,47$ (15) ^c	$0,06 \pm 0,03$ (2)
F ; p-valeur (df)	$102,6 ; < 10^{-16}$ (4)	$49,74 ; < 10^{-16}$ (4)	$99,87 ; < 10^{-16}$ (4)	/

Parmi les cinq espèces végétales pour lesquelles le nectar a été analysé, *B. officinalis* est celle qui produit le plus grand volume de nectar par fleur ($1,7 \pm 1,02 \mu\text{L}/\text{fleur}$). Ensuite, *F. esculentum* est la deuxième espèce à produire le plus grand volume de nectar, avec $0,52 \pm 0,22 \mu\text{L}/\text{fleur}$, soit moins de trois fois le volume moyen produit par *B. officinalis*. Les trois espèces restantes, à savoir *P. tanacetifolia*, *T. alexandrinum* et *T. resupinatum*, produisent un volume de nectar non significativement différent. Celui-ci est près de huit fois moins élevé que le volume de nectar produit par *B. officinalis*.

En ce qui concerne la quantité de sucres dans le nectar d'une fleur, *B. officinalis* est à nouveau l'espèce la plus productive ($1,14 \pm 0,68 \text{ mg}/\text{fleur}$). *F. esculentum* et *P. tanacetifolia* sont les deux autres espèces pour lesquelles le contenu en sucres totaux du nectar est le plus élevé, avec une quantité six fois plus faible que celle de *B. officinalis*. Enfin, aucune différence significative ne peut être notée entre *T. alexandrinum* et *T. resupinatum* ($p = 0,292$), les deux espèces pour lesquelles la quantité de sucres dans le nectar d'une fleur est la plus faible (respectivement $0,03 \pm 0,01 \text{ mg}/\text{fleur}$ et $0,05 \pm 0,04 \text{ mg}/\text{fleur}$).

La composition de ces sucres varie d'une espèce végétale à l'autre. En effet, *B. officinalis* et *P. tanacetifolia* ont toutes les deux un nectar de type saccharose dominant, tandis que le nectar de *F. esculentum*, *T. alexandrinum* et *T. resupinatum* est de type hexose-dominant.

4. Résultats principaux

Le tableau 15 reprend les résultats principaux obtenus au cours de ce mémoire.

Tableau 15 – Synthèse des résultats principaux obtenus pour les sept espèces végétales étudiées. Le nombre de mesures ayant permis de calculer les moyennes est indiqué (n). B : *B. officinalis*, F : *F. esculentum*, H : *H. annuus*, P : *P. tanacetifolia*, TA : *T. alexandrinum*, TI : *T. incarnatum* et TR : *T. resupinatum*

	B	F	H	P	TA	TI	TR
Insectes							
Nombre d'espèces d'insectes différentes	8	42	7	16	10	3	25
Nombre d'espèces d'insectes différentes observées uniquement sur cette espèce	0	22	1	3	2	1	6
Densité florale							
Unité florale/m²	105 ± 77 (4)	1576 ± 1754 (6)	9* ± 3 (2)	1016 ± 728 (3)	8441 ± 4424 (2)	5213 ± 3354 (2)	4945 ± 3236 (5)
Nectar							
Volume (µL/fleur)	1,7 ± 1,02 (21)	0,52 ± 0,22 (12)	0,12 ¹	0,22 ± 0,10 (15)	0,21 ± 0,12 (13)	/	0,17 ± 0,07 (15)
Concentration (°Brix)	54,29 ± 4,33 (21)	36,08 ± 10,72 (12)	/	56,20 ± 7,11 (15)	12,54 ± 3,73 (13)	/	22,13 ± 10,47 (15)
Pollen							
Teneur en protéines brutes (%)	43,9 ²	< 20 ³	13,4 ⁴	≥ 25 ³	/	/	/
Fidélité (%)	45 ± 45 (14)	68 ± 48 (6)	/	85 ± 20 (12)	45 ± 26 (6)	52 ± 43 (4)	70 ± 42 (18)

* Une unité florale d'*H. annuus* compte pour un capitule. En moyenne, un capitule d'*H. annuus* est composé de 650 fleurons (sur base du comptage des fleurons présents sur ¼ de capitule d'*H. annuus*)

¹ Vear et al (1990), ² Thom et al. (2018), ³ Trees for bees (2014), ⁴ Somerville and Nicol (2006)

Discussion

Les observations et analyses réalisées dans le cadre de ce mémoire ont permis d'établir quelles espèces végétales attirent le plus d'insectes pollinisateurs différents. Ainsi, cette discussion présente le mélange fleuri recommandé pour les bandes aménagées en développant les paramètres qui ont permis d'effectuer ce choix.

1. Mélange proposé

Parmi les sept espèces végétales étudiées au cours de ce mémoire, quatre ont été retenues pour composer ou compléter un mélange fleuri favorable aux pollinisateurs : *F. esculentum*, *T. resupinatum*, *P. tanacetifolia* et *H. annuus*. Au vu du prix élevé de *B. officinalis*⁵, cette espèce est proposée à titre optionnel. Quant à *T. incarnatum* et *T. alexandrinum*, ils ne sont pas recommandés pour diverses raisons qui seront exposées plus tard dans la discussion.

1.1. Guilde des pollinisateurs

Les quatre espèces retenues pour la composition de ce mélange attirent ensemble 58 espèces différentes d'insectes. Parmi celles-ci, 21 appartiennent à l'ordre des hyménoptères (*Apidae*, *Andrenidae*, *Vespidae*, *Halictidae*...) et 14 à la famille des *Syrphidae*, deux groupes reconnus comme pollinisateurs efficaces (Ssymank *et al.*, 2008; Abrol, 2012). Aucune des espèces observées au cours de ce mémoire ne fait partie de la liste des insectes protégés en Wallonie (Loi du 12 juillet 1973 sur la conservation de la nature Annexe IIb, 1973).

a. *Fagopyrum esculentum*

Des quatre espèces proposées pour le mélange fleuri, *F. esculentum* est celle qui attire le plus grand nombre d'espèces d'insectes différentes (42). Ainsi, à lui seul, *F. esculentum* attire plus de ¾ des espèces d'insectes identifiées dans le cadre de ce mémoire. De plus, plus d'¼ des espèces identifiées ne se retrouvent que sur *F. esculentum*. Parmi l'ensemble des insectes observés sur *F. esculentum*, la famille la plus diversifiée est celle des *Syrphidae*, avec 13 espèces différentes. En termes d'abondance, la famille des *Syrphidae* est également la plus présente sur cette espèce (33%), suivie par les diptères non-*Syrphidae* (21%), les hyménoptères non-*Apidae* (21%), *A. mellifera* (16%) et les *Bombus* spp. (5%). Des individus de l'ordre des coléoptères, lépidoptères et hémiptères ont aussi été observés sur *F. esculentum*, mais en plus faible quantité.

D'autres études ont également pointé la diversité et l'abondance des individus de la famille des *Syrphidae* sur *F. esculentum* (Carreck and Williams, 2002; Jacquemart, Gillet and Cawoy, 2007). Par contre, suivant les études, la diversité d'espèces observées varie : en Belgique, 49

⁵ Sur base des prix indiqués par l'entreprise Semailles : *B. officinalis* : 3€/g, *F. esculentum* : 0,011 €/g, *H. annuus* : 1€/g, *P. tanacetifolia* : 0,06€/g et *T. incarnatum* : 0,06€/g (Semailles, no date). Si ces prix sont rapportés à la densité du semis du site de Sart-Risbart : *B. officinalis* : 24 000 €/ha, *F. esculentum* : 440 €/ha, *P. tanacetifolia* : 420 €/ha et *T. incarnatum* : 1 500 €/ha

espèces ont été observées (Jacquemart, Gillet and Cawoy, 2007), tandis qu'au Royaume-Uni, seules 13 espèces différentes ont été recensées (Carreck and Williams, 2002). Tout comme pour ce mémoire, les espèces présentes appartiennent majoritairement à l'ordre des hyménoptères et des diptères (Carreck and Williams, 2002; Jacquemart, Gillet and Cawoy, 2007). En revanche, Ouvrard (2018) n'a pas observé d'insecte sur *F. esculentum* lors de relevés réalisés sur plusieurs espèces végétales dans des bandes aménagées. Cependant, ce mémoire et d'autres études (Carreck and Williams, 2002; Jacquemart, Gillet and Cawoy, 2007) montrent que *F. esculentum* peut attirer une large gamme d'insectes, ce qui incite à inclure *F. esculentum* dans le mélange fleuri.

En effet, le pourcentage d'individus de la famille des *Apidae* et des *Syrphidae* s'élève à 54% et, des sept espèces végétales étudiées, *F. esculentum* est celle qui est visitée par la plus grande diversité d'insectes. Cette diversité d'insectes peut s'expliquer par la morphologie des fleurs de *F. esculentum* : en raison de ses fleurs petites et ouvertes, *F. esculentum* permet à une large gamme d'insectes non-spécialistes de se nourrir de son nectar et/ou de son pollen (Jacquemart, Gillet and Cawoy, 2007). Ainsi, des insectes de l'ordre des coléoptères et hémiptères se retrouvent également sur *F. esculentum* mais ne participent pas avec la même efficacité à la pollinisation. Cette morphologie florale pourrait aussi expliquer le peu de bourdons observés sur *F. esculentum* en comparaison aux autres espèces végétales étudiées. En effet, les trois morphotypes de bourdons observés sur l'ensemble des espèces végétales ont tous une longue langue (de $6,79 \pm 0,3$ mm à $8,9 \pm 0,2$ mm suivant les GTO (Benedek, 1973; Balfour, Garbuzov and Ratnieks, 2013)). Or, les individus à longue langue préfèrent butiner des fleurs à corolle profonde (Goulson *et al.*, 2005).

b. *Trifolium resupinatum*

T. resupinatum est la deuxième espèce végétale qui attire le plus d'espèces différentes d'insectes (25, dont la moitié de l'ordre des hyménoptères et de la famille des *Syrphidae*). Parmi ces insectes, les $\frac{2}{3}$ ne se retrouvent que sur *T. resupinatum* ou *F. esculentum*. En termes d'abondance, les individus du genre *Bombus* spp. (45%) et de l'espèce *A. mellifera* (35%) sont les plus présents sur cette espèce végétale.

L'abondance des bourdons peut s'expliquer par la longueur de leur langue. En effet, les abeilles à longue langue, tels que les bourdons observés au cours de ce mémoire (de $6,79 \pm 0,3$ mm à $8,9 \pm 0,2$ mm suivant les GTO (Benedek, 1973; Balfour, Garbuzov and Ratnieks, 2013)), préfèrent butiner des fleurs à corolle profonde (Goulson *et al.*, 2005). Ainsi, Terzo et Rasmont (2007) recommandent d'inclure systématiquement une *Fabaceae*, dont la corolle des fleurs est généralement profonde, dans les bandes aménagées pour favoriser les abeilles à longue langue. La présence d'une espèce du genre *Trifolium* dans le mélange est d'autant plus utile que le déclin des bourdons dans nos régions est dû, entre autres, à la raréfaction des espèces de *Fabaceae* dans nos paysages (Goulson *et al.*, 2005).

Tout comme les espèces du genre *Bombus*, l'espèce *A. mellifera* est abondante sur *T. resupinatum*. Ceci peut s'expliquer par la présence de quatre ruches à 100 m des parcelles

sur le site de Strée. En effet, ce jour-là, les individus appartenant à l'espèce *A. mellifera* représentaient 88% des visiteurs de *T. resupinatum*, soit ¼ de l'ensemble des insectes observés au cours des quatre relevés sur cette espèce végétale.

c. *Phacelia tanacetifolia*

P. tanacetifolia est la troisième espèce végétale qui attire le plus d'espèces différentes (16, dont ⅔ appartiennent à l'ordre des hyménoptères et à la famille des *Syrphidae*). En termes d'abondance, les individus du genre *Bombus* sont les plus abondants (84%), suivis par l'espèce *A. mellifera* (8%).

D'autres études ont également mis en évidence l'abondance des individus de la famille des *Apidae* sur *P. tanacetifolia* (Carreck and Williams, 2002; Petanidou, 2003). Tout comme dans ce mémoire, les bourdons du GTO *Lapidarius* sont les individus les plus présents (Carreck and Williams, 2002). Des espèces de la famille des *Syrphidae* ont aussi été observées (Carreck and Williams, 2002; Petanidou, 2003). Hickman et Wratten (1996) ont d'ailleurs montré que *P. tanacetifolia* peut fournir de la nourriture aux *Syrphidae* dont les larves sont utilisées en lutte biologique. Ainsi, *P. tanacetifolia* pourrait améliorer le potentiel de ces individus en tant que prédateurs de pucerons.

Bien que *P. tanacetifolia* attire moins d'espèces que *F. esculentum* et *T. resupinatum*, celles-ci appartiennent majoritairement à l'ordre des hyménoptères et à la famille des *Syrphidae*. De plus, les individus les plus abondants appartiennent à une famille de pollinisateurs efficaces, les *Apidae* (Abrol, 2012). Enfin, trois espèces d'insectes n'ont été observées que sur cette espèce végétale, deux d'entre elles appartenant à la famille des *Syrphidae* et au groupe des non-*Apidae*. Par conséquent, la diversité moindre d'insectes sur *P. tanacetifolia* est compensée par ces différents éléments.

d. *Helianthus annuus*

Contrairement aux trois espèces précédentes, *H. annuus* n'attire que peu d'espèces différentes d'insectes (7). Cependant, à l'exception d'une espèce, toutes appartiennent à l'ordre des hyménoptères ou à la famille des *Syrphidae*. De plus, le groupe majoritaire est celui de *Bombus* spp. (56%), les autres groupes les plus abondants étant les non-*Syrphidae* (33%), les *Syrphidae* (8%) et *A. mellifera* (2%).

Dans d'autres études, les espèces majoritairement retrouvées sur *H. annuus* appartiennent également à l'ordre des hyménoptères. Au sein de cet ordre, la famille des *Apidae* est la plus abondante (Greenleaf and Kremen, 2006; Jadhav, Sreedevi and Prasad, 2015).

Les espèces les plus abondantes retrouvées sur *H. annuus* sont donc des pollinisateurs efficaces (Abrol, 2012). Par conséquent, la faible diversité d'espèces et le pourcentage moins élevé d'individus du genre *Bombus* ne doivent pas être vus comme un frein à l'usage d'*H. annuus* dans le mélange. D'autant plus que l'atout d'*H. annuus* réside surtout dans sa période de floraison. En effet, celle-ci est plus tardive que celle des autres espèces végétales, ce qui signifie que du nectar et du pollen pourront encore être disponibles fin août pour les

insectes. Ainsi, quand les autres espèces du mélange n'auront plus beaucoup de fleurs ouvertes, mais que les insectes seront encore à la recherche de nourriture, *H. annuus* aura toujours des ressources à offrir.

e. *Borago officinalis*

Une cinquième espèce peut être *B. officinalis*, qui est visitée par huit espèces d'hyménoptères issues de trois familles différentes : *Apidae*, *Halictidae* et *Vespidae*. Parmi ces espèces, les bourdons comptent pour 64% des individus observés et *A. mellifera* pour 34%.

Dans d'autres études, la famille des *Apidae* est également la plus abondante, avec une majorité d'*A. mellifera* et de bourdons appartenant au GTO Lapidarius (Carreck and Williams, 2002; Gorenflo *et al.*, 2017). Ces résultats diffèrent donc légèrement de ce mémoire, puisque les bourdons les plus abondants observés font partie du GTO Pascuorum. En ce qui concerne la diversité d'espèces présentes sur *B. officinalis*, Carreck et Williams (2002) ont observé presque quatre fois plus d'espèces différentes (22) que dans ce mémoire. Celles-ci appartiennent aux ordres des hyménoptères, diptères et lépidoptères. Cette diversité plus élevée au Royaume-Uni laisse penser que, sur d'autres sites, *B. officinalis* pourrait attirer une plus grande variété d'insectes. Cette hypothèse est appuyée par les observations de Baijot (2016), qui a relevé 10 espèces différentes d'insectes, dont six n'ont pas été observées sur *B. officinalis* dans ce mémoire.

Les observations de cet été indiquent donc que *B. officinalis* attire huit espèces d'insectes différentes. Toutes se retrouvent au moins sur une autre espèce du mélange. De plus, les individus de la famille des *Apidae* (4) représentent à eux seuls 98% des insectes observés sur *B. officinalis*. La diversité d'insectes présente sur *B. officinalis* est donc faible. Cependant, les quatre espèces les plus abondantes sont des pollinisateurs efficaces (Abrol, 2012). En outre, *B. officinalis* était encore en fleurs mi-août, quand *T. resupinatum* et *P. tanacetifolia* ne l'étaient plus. Par conséquent, si elle est ajoutée au mélange, elle pourra offrir des ressources supplémentaires aux insectes à cette période de l'année. D'autant plus que *B. officinalis* est déjà employée dans des mélanges fleuris à destination des pollinisateurs (Carreck and Williams, 2002; Carvell *et al.*, 2006).

1.2. Nectar

Les différentes espèces végétales étudiées attirent donc une large gamme d'insectes. Ces insectes visitent les fleurs pour, entre autres, se nourrir du nectar qu'elles produisent (Parachnowitsch, Manson and Sletvold, 2019). En effet, le nectar est une des récompenses principales offertes par les plantes pour les pollinisateurs. Sa quantité, sa composition et sa position représentent donc des éléments déterminants dans l'interaction entre les plantes et les pollinisateurs (Parachnowitsch, Manson and Sletvold, 2019).

Parmi les quatre espèces végétales du mélange pour lesquelles le nectar a été analysé, *B. officinalis* est celle qui produit le plus grand volume de nectar par fleur ($1,7 \pm 1,02 \mu\text{L}/\text{fleur}$). Ensuite, *F. esculentum* est la deuxième espèce à produire le plus grand volume de nectar, avec $0,52 \pm 0,22 \mu\text{L}/\text{fleur}$, soit moins de trois fois le volume moyen produit par *B. officinalis*. Les deux espèces restantes, à savoir *P. tanacetifolia* et *T. resupinatum*, produisent un volume de nectar près de huit fois moins élevé que le volume de nectar produit par *B. officinalis*.

Si ces résultats sont comparés à ceux de la littérature (Descamps *et al.*, 2018), *B. officinalis* reste le plus grand producteur de nectar ($6,5 \mu\text{L}/\text{fleur}$), bien que le volume mesuré dans le cadre de ce mémoire soit plus faible. Par contre, concernant *F. esculentum*, c'est l'inverse qui est observé : le volume mesuré dans le cadre de ce mémoire est plus élevé que celui présenté dans une autre étude ($0,0995 \mu\text{L}/\text{fleur}$) (Cawoy *et al.*, 2006). Cette différence peut s'expliquer par la méthode employée dans cette étude, qui diffère de celle utilisée dans ce mémoire : Cawoy *et al.* utilisent des microcapillaires, tandis que, pour ce mémoire, le nectar a été extrait par centrifugation. En ce qui concerne les espèces du genre *Trifolium*, McGregor (1976) ne donne pas de résultats chiffrés, mais indique que *T. resupinatum* ne produit pas beaucoup de nectar. Enfin, d'après Vear *et al.* (1990), le volume de nectar produit par un fleuron de *H. annuus* ne serait pas plus élevé que les volumes obtenus pour les espèces du genre *Trifolium* étudiées dans ce mémoire : $0,12 \mu\text{L}/\text{fleuron}$.

En ce qui concerne la concentration en sucres, *P. tanacetifolia* et *B. officinalis* sont les deux espèces qui produisent le nectar le plus concentré en sucres (respectivement $56,20 \pm 7,11$ °Brix et $54,29 \pm 4,33$ °Brix). Ces résultats sont semblables à ce que Descamps *et al.* (2018) ont mesuré pour *B. officinalis*. *F. esculentum* est la troisième espèce à proposer un nectar riche en sucres, avec $36,08 \pm 10,72$ °Brix. Cependant, si les résultats de l'étude de Cawoy *et al.* (2006) sont pris en compte ($55,78 \pm 5,88$ °Brix), *F. esculentum* produit un nectar de concentration similaire à celui de *P. tanacetifolia* et *B. officinalis*. Enfin, *T. resupinatum* produit un nectar dont la concentration en sucres est inférieure à 25°Brix.

Les paramètres présentés ci-avant, à savoir le volume de nectar produit par une fleur et la concentration de celui-ci, interviennent dans le choix des pollinisateurs pour une ressource florale (Parachnowitsch, Manson and Sletvold, 2019). Afin que l'énergie dépensée pour prélever le nectar n'excède pas celle fournie par le nectar, il est suggéré que, toute autre chose étant égale, les pollinisateurs préfèrent un nectar avec une concentration en sucre élevée. Néanmoins, cette concentration ne doit pas dépasser un certain seuil, sinon le nectar devient trop visqueux et ne peut être prélevé par les pollinisateurs (Parachnowitsch, Manson and Sletvold, 2019). Ainsi, la concentration en sucres optimale du nectar pour les bourdons est de 50-65%, tandis que pour *A. mellifera* elle est de 60% (Nicolson, 2007). *B. officinalis* et *P. tanacetifolia* ont donc un nectar dont la concentration en sucres est adéquate pour ces insectes. Tout comme l'est le nectar de *F. esculentum* selon l'étude de Cawoy *et al.* (2006).

Sur base du volume de nectar et de la concentration en sucres de ce dernier, *B. officinalis*, *P. tanacetifolia* et *F. esculentum* sont donc les plus adaptées pour les pollinisateurs. *B. officinalis* est d'autant plus intéressante qu'elle produit toujours un volume de nectar plus élevé que les autres espèces du mélange, même sous stress hydrique et hautes températures (2µL/fleur) (Descamps *et al.*, 2018).

D'après certains auteurs, le type de nectar peut également influencer le choix des hyménoptères pour une espèce végétale plutôt qu'une autre (Fonta *et al.*, 1985). En effet, les hyménoptères préfèrent les nectars dominés par le saccharose (Fonta *et al.*, 1985), car, selon Baker et Baker (1983), les nectars hexoses dominants pourraient être responsables de stress osmotiques chez les insectes (in Vattala *et al.*, 2006). Baker et Baker (1983) indiquent également que les nectars dont la composition en sucres est dominée par les hexoses proviennent de fleurs pollinisées par les petits *Apidae*, tandis que les nectars à dominance de saccharose attirent des plus gros *Apidae* (*Apis* spp. ou *Bombus* spp.) (in Jacquemart, 1992). Cependant, les observations de cet été ne rejoignent pas ces études. En effet, aucune différence significative n'a été notée entre le nombre d'individus attirés par les différentes espèces végétales. De plus, *F. esculentum* et *T. resupinatum*, dont le nectar est hexoses-dominants, n'attirent pas de petits *Apidae*. Ceci rejoint donc les résultats de plusieurs études pour lesquelles aucun lien évident ne peut être établi entre le type de nectar et les pollinisateurs rencontrés (Southwick, Loper and Sadwick, 1981; Jacquemart, 1992).

Enfin, le nectar n'est pas composé uniquement de sucres et les métabolites secondaires qu'il contient peuvent également agir sur les interactions entre plante et pollinisateurs (Nepi, Grasso and Mancuso, 2018). Par conséquent, l'analyse des autres constituants du nectar pourrait apporter des informations supplémentaires sur les préférences des pollinisateurs pour les différentes espèces végétales étudiées.

1.3. Pollen

Bien que le nectar représente une source d'énergie majeure pour les visiteurs des fleurs, il n'est pas la seule source de nutriments offerte par celles-ci (Genissel *et al.*, 2002). En effet, du pollen, qui contient les nutriments principaux nécessaires au développement des larves d'abeilles (protéines, acides aminés et stérols principalement) est également produit (Nicolson and Human, 2013). Ainsi, une étude a montré que les bourdons préfèrent les pollens à haute teneur en protéines à ceux à faible teneur (Hanley *et al.*, 2008). L'analyse de la composition des pelotes de pollen prélevées sur les insectes cet été a donc pour but de déterminer si les insectes prélèvent le pollen mis à leur disposition.

Des sept espèces végétales étudiées, *P. tanacetifolia* est celle pour laquelle la fidélité des insectes est la plus élevée : en moyenne, une pelote prélevée sur un insecte visitant *P.*

tanacetifolia est composée à 85% de grains de pollen de *P. tanacetifolia*. Ce résultat est étonnant au vu des conclusions de plusieurs études : les insectes auraient en effet tendance à négliger le pollen de *P. tanacetifolia* pour se nourrir uniquement de son nectar (Williams and Christian, 1991; Petanidou, 2003; Sprague *et al.*, 2016). Pourtant, le contenu en protéines brutes du pollen de *P. tanacetifolia* est élevé (minimum 25% de protéines brutes dans le pollen) (Trees for bees, 2014).

Après *P. tanacetifolia*, *T. resupinatum* est la deuxième espèce pour laquelle la fidélité moyenne des insectes est la plus élevée : en moyenne, une pelote prélevée sur un insecte visitant *T. resupinatum* est composée à 70% de *T. resupinatum*. Ce pourcentage élevé est principalement dû aux bourdons du GTO *Lapidarius* dont toutes les pelotes sauf une sont composées uniquement de grains de pollen de *T. resupinatum*.

Par la suite, le pollen de *T. resupinatum* semble intéresser un grand nombre d'hyménoptères, contrairement à celui de *F. esculentum* : un nombre trois fois plus élevé de pelotes a été prélevé sur les insectes visitant *T. resupinatum*, comparativement à *F. esculentum*. Le pollen de *F. esculentum* ayant un faible contenu en protéines (inférieur à 17%) (Somerville and Nicol, 2006; Trees for bees, 2014), il pourrait expliquer la présence moindre de pelotes de pollen sur les visiteurs de cette espèce. Carreck et Williams (2002) indiquent d'ailleurs que *F. esculentum* est utilisé comme source de nectar, mais pas de pollen dans les mélanges fleuris. Une autre raison pourrait être la faible abondance d'individus de la famille des *Apidae* parmi les visiteurs de *F. esculentum* (19%). En effet, pour les autres espèces végétales étudiées, les insectes ayant collecté du pollen appartiennent tous à la famille des *Apidae* (à l'exception de trois individus de la famille des *Andrenidae* sur *T. resupinatum*). Par conséquent, le moins grand nombre de pelotes prélevées sur les visiteurs de *F. esculentum* pourrait s'expliquer par la présence moindre d'individus de la famille des *Apidae* sur cette espèce.

Quant aux insectes visitant *B. officinalis*, ils ne lui sont pas hautement fidèles. En effet, moins de la moitié de ces insectes ont des pelotes composées majoritairement de grains de pollen provenant de *B. officinalis*. Pourtant, le contenu en protéines du pollen de *B. officinalis* est élevé ($43,9 \pm 1,1$ %) (Thom *et al.*, 2018).

Enfin, contrairement aux autres espèces végétales étudiées, aucune pelote n'a été observée sur les insectes visitant *H. annuus*. Cette absence de pelote a également été notée dans d'autres études et se justifie par la faible teneur en protéines du pollen de *H. annuus* ($21,7 \pm 1,7$ %) (Feel, 1986; Thom *et al.*, 2018). Cette faible teneur en protéines est également observée chez d'autres espèces de la famille des *Asteraceae* (Hanley *et al.*, 2008). De plus, Hanley *et al.* (2008) indique que le pollen des *Fabaceae* a généralement un contenu en protéines et en acides aminés essentiels plus élevé que celui des *Asteraceae* (jusqu'à deux fois plus élevé pour le contenu en protéines). Ces éléments pourraient donc ne pas jouer en faveur de l'ajout de *H. annuus* au mélange fleuri. Cependant, quand les fleurs qui produisent du pollen apprécié par les insectes se font plus rares, le pollen des fleurs jusqu'alors

délaissées est utilisé par les insectes (Somerville and Nicol, 2006; Nicolson and Human, 2013). Par conséquent, *H. annuus*, dont la floraison est plus tardive dans la saison, pourrait fournir du pollen pour les insectes à un moment où les autres ressources se font plus rares.

En plus des espèces végétales étudiées, d'autres espèces étaient également présentes dans les pelotes de pollen analysées. Ainsi, sur 52 pelotes de pollen prélevées sur le site de Lauzelle, 40% contenaient des grains de pollen d'*E. plantagineum*, une espèce végétale également semée dans les parcelles. Selon Thom *et al.* (2018), le pollen de cette *Boraginaceae* a une teneur en protéines brutes élevée (30,3%), ce qui pourrait expliquer sa présence dans toutes ces pelotes. Des grains de pollen issus de plantes n'appartenant pas aux parcelles (*Asteraceae*, *Apiaceae*) se retrouvaient également dans 20% des pelotes. Les insectes capturés sur les espèces semées visitent et se nourrissent donc aussi d'autres espèces végétales que celles présentes dans les parcelles.

Parmi les insectes collectant du pollen sur les espèces végétales semées, les bourdons appartenant au GTO Terrestris sont les plus fidèles. En effet, $\frac{1}{2}$ d'entre eux ont des pelotes composées uniquement de l'espèce végétale sur laquelle ils ont été capturés. Ces observations concordent avec une étude réalisée en Allemagne, où les individus de l'espèce *B. terrestris* étaient ceux qui visitaient le moins grand nombre d'espèces sur une même période de temps (Raine and Chittka, 2007). Par contre, dans une autre étude, les individus du GTO Terrestris sont moins fidèles. En effet, seul $\frac{1}{3}$ de leurs pelotes contient plus de 95% d'une même espèce végétale (Somme *et al.*, 2015).

Tout comme les bourdons du GTO Terrestris dans ce mémoire, l'espèce *A. mellifera* est hautement fidèle : les pelotes récoltées sur les individus de cette espèce sont composées majoritairement d'un seul type de grains de pollen. En effet, lors d'un trajet, *A. mellifera* ne récolte du pollen que sur une seule espèce végétale (Sprague *et al.*, 2016).

De même, les bourdons du GTO Lapidarius collectent majoritairement des pelotes issues d'une même espèce végétale au cours d'un trajet ($\frac{1}{2}$ des pelotes sont composées de plus de 80% d'une même espèce végétale). Cependant, cette espèce n'est pas toujours celle sur laquelle le bourdon est capturé. Dans l'étude de Somme *et al.* (2015), les individus de l'espèce *B. lapidarius* sont également fidèles : 75% des individus de l'espèce *B. lapidarius* ont des pelotes pures.

Par contre, les individus du GTO Pascuorum ne sont pas autant fidèles que les morphotypes d'insectes précédemment cités. En effet, seule la moitié des pelotes prélevées sur ces derniers contiennent plus de 80% d'une même espèce végétale. Dans l'étude de Raine et Chittka (2007), *B. pascuorum* est également l'espèce la moins fidèle : il visite le plus grand nombre d'espèces végétales sur une période de temps donnée. Cependant, ces résultats diffèrent de l'étude réalisée par Somme *et al.* (2015) où 80% des individus de l'espèce *B. pascuorum* ont des pelotes pures.

Pour conclure, sur base des pelotes prélevées cet été, *P. tanacetifolia* est l'espèce à qui les insectes sont les plus fidèles. De plus, son pollen étant de bonne qualité (Trees for bees, 2014), elle semble adaptée pour le mélange fleuri à destination des pollinisateurs. Le pollen de *B. officinalis* est également à haute teneur en protéines (Thom *et al.*, 2018), mais les insectes ne lui sont pas aussi fidèles. *A contrario*, le pollen de *H. annuus* n'a pas un contenu élevé en protéines (Thom *et al.*, 2018), mais il pourrait se révéler utile en fin de saison, quand les autres espèces du mélange ne sont plus en fleurs (Somerville and Nicol, 2006; Nicolson and Human, 2013). Néanmoins, la composition pollinique des pelotes ne doit pas être le seul résultat sur lequel se baser pour choisir les espèces végétales du mélange. D'autant plus que certains résultats divergent avec ceux d'autres études (Williams, 1997; Somme *et al.*, 2015; Sprague *et al.*, 2016).

1.4. Autres paramètres

Outre les pollinisateurs présents sur les espèces étudiées et les ressources que ces dernières peuvent leur offrir, la période de floraison est également un paramètre à prendre en compte pour choisir la composition du mélange (Carreck and Williams, 2002). Ainsi, des quatre espèces proposées pour le mélange, *F. esculentum* et *T. resupinatum* sont celles qui fleurissent massivement le plus tôt (dès la fin du mois de juin). À l'inverse, *H. annuus* ne fleurit qu'à partir de la moitié du mois de juillet, mais est encore en fleurs fin août, quand *T. resupinatum* ne l'est plus depuis un mois. *P. tanacetifolia*, quant à elle, n'a pas une longue période de floraison (1 mois), comme le mentionnent Terzo et Rasmont (2007). Néanmoins, durant le mois où elle est en fleurs, elle fournit des ressources utiles et appréciées par les pollinisateurs. Enfin, *B. officinalis* peut être utile au mélange, étant donné qu'elle fleurit pendant plus d'un mois et qu'elle produit du nectar et du pollen de qualité.

La densité florale est également un paramètre à prendre en compte (Carreck and Williams, 2002). Bien qu'aucune différence significative n'ait été notée entre les espèces choisies pour le mélange, la densité florale moyenne de *B. officinalis* reste la plus faible. En effet, le nombre moyen de fleurs de *B. officinalis* par m² est de 10 à 56 fois plus faible que celui des autres espèces végétales du mélange. Par conséquent, ce paramètre pourrait jouer en défaveur de l'ajout de *B. officinalis* au mélange fleuri.

Pour finir, les graines produites par *H. annuus* et *F. esculentum* sont consommées par les oiseaux (Heiser *et al.*, 1969; Madison and Robel, 2001) et représentent donc un élément supplémentaire en faveur de ces deux espèces pour le mélange.

2. Espèces non recommandées

Des sept espèces végétales étudiées, deux ne sont pas recommandées pour le mélange fleuri à destination des pollinisateurs : *T. incarnatum* et *T. alexandrinum*.

Tout d'abord, la diversité des pollinisateurs observés sur ces deux trèfles est faible, en comparaison avec les autres espèces végétales étudiées. En effet, seules trois espèces différentes ont été observées sur *T. incarnatum*, avec une majorité de bourdons appartenant au GTO Pascuorum (91%). De plus, aucun individu de l'espèce *A. mellifera* n'a été observé sur ce trèfle, alors que toutes les autres espèces végétales étudiées ont été visitées par celle-ci. Cette absence peut s'expliquer par la longueur de la langue d'*A. mellifera* (McGregor, 1976). Cette dernière mesure $6,6 \pm 0,3$ mm, alors que celle de *B. pascuorum* mesure $8,9 \pm 0,2$ mm (Balfour, Garbuzov and Ratnieks, 2013). Ainsi, d'après McGregor (1976), l'abeille domestique aurait des difficultés à prélever des ressources dans les corolles profondes de *T. incarnatum* et préférerait se nourrir d'espèces chez lesquelles le nectar et le pollen sont plus accessibles. Pourtant, Knight et Hollowell (1974) recommandent de placer des ruches d'*A. mellifera* à proximité de champs de *T. incarnatum* pour favoriser la production de graines. Ces insectes visiteraient donc ce trèfle à un moment donné, ce qui signifie que l'absence d'*A. mellifera* sur *T. incarnatum* cet été n'est pas un résultat à généraliser. En ce qui concerne *T. alexandrinum*, les individus observés sur ce dernier appartiennent majoritairement au genre *Bombus* (92%), avec 79% de *B. pascuorum*. Au total, dix espèces différentes ont été observées sur ce trèfle, dont seulement la moitié appartient à l'ordre des hyménoptères. Enfin, à part un individu de la famille des *Vespidae*, toutes les espèces d'insectes présentes sur *T. incarnatum* et *T. alexandrinum* se retrouvent également sur au moins une autre espèce du mélange.

Par la suite, le volume et la composition du nectar de ces deux trèfles ne jouent pas non plus en leur faveur. En effet, la quantité de sucres totaux présents dans le nectar de *T. incarnatum* (Ouvrard, 2018) et de *T. alexandrinum* est de 0,03 mg/fleur. Cette valeur est la plus faible de toutes les espèces étudiées pour lesquelles le nectar a pu être analysé et est 38 fois moins élevée que la quantité observée pour *B. officinalis*. De plus, la concentration en sucres dans le nectar de *T. alexandrinum* est de 13%, ce qui est inférieur à la concentration en sucres optimale pour les bourdons (50-65%) et pour *A. mellifera* (60%) (Nicolson, 2007).

Par ailleurs, à l'inverse des insectes visitant *P. tanacetifolia*, *T. resupinatum* et *F. esculentum*, les visiteurs de *T. incarnatum* et *T. alexandrinum* ne leur sont, en moyenne, pas hautement fidèles.

Pour terminer, bien que *T. alexandrinum* et *T. incarnatum* aient une densité florale moyenne élevée (respectivement 8441,5 unités florales/m² et 5213,5 unités florales/m²), leur période de floraison n'encourage pas à les ajouter au mélange. En effet, ils n'ont commencé à fleurir massivement que la dernière semaine de juillet et, une vingtaine de jours après, les fleurs de

T. alexandrinum étaient déjà fanées. De plus, ils n'ont réussi à s'implanter que sur les parcelles de Lauzelle.

3. Limites de l'étude

Les résultats de ce mémoire permettent donc de proposer un mélange fleuri à destination des insectes pollinisateurs. Cependant, plusieurs facteurs pourraient avoir biaisé ces résultats, tels que les conditions environnementales par exemple.

Tout d'abord, les observations de cet été ne suffisent pas pour définir l'ensemble des visiteurs des sept espèces végétales étudiées en Belgique. En effet, les relevés ont été étalés sur deux mois d'une même année et, pour certaines espèces, seule une répétition a été réalisée. De plus, la taille des parcelles étudiées à Lauzelle (1x2m²) ne reflète pas les conditions réelles retrouvées en bandes aménagées.

Ensuite, les conditions météorologiques de l'été 2018, inhabituellement chaudes et sèches par rapport aux normales de la période allant de 1981 à 2010 (MeteoBelgique.be, 2018a), pourraient avoir influencé les périodes de floraison des différentes espèces étudiées. De même, la physiologie de ces dernières pourrait avoir été impactée par la chaleur et la sécheresse estivale, affectant par la même occasion les relations entre plantes et pollinisateurs (Racys and Montviliene, 2005; Descamps *et al.*, 2018). En effet, Descamps *et al.* (2018) ont montré que les paramètres floraux et la production de nectar et de pollen de *B. officinalis* sont affectés par les stress hydriques et les hausses de températures. Ces perturbations peuvent à leur tour modifier le comportement des insectes vis-à-vis de *B. officinalis* et diminuer le nombre de visites (Descamps *et al.*, 2018). Une sécrétion moindre de nectar lors de conditions chaudes et sèches en comparaison à des conditions plus fraîches et humides a également été mise en évidence pour *F. esculentum* (Racys and Montviliene, 2005). Ceci concorde donc avec les volumes de nectar plus faibles prélevés cet été, en comparaison à ceux, plus élevés, prélevés en conditions contrôlées en serres.

4. Perspectives

Au cours de ce mémoire, sept espèces végétales ont été étudiées. Cependant, les bandes aménagées à fleurs des prés ou pour la petite faune peuvent comprendre d'autres espèces que celles qui ont été étudiées dans ce cadre. Pour varier les ressources florales offertes aux pollinisateurs, ajouter d'autres espèces végétales à celles proposées dans le mélange pourrait donc être envisagé. Par exemple, *Raphanus sativus*, présent dans le couvert nourricier sur le site de Sart-Risbart, attire lui aussi des insectes de différentes familles. Carreck et Williams (1997) ont en effet observé des individus appartenant à la famille des *Syrphidae* et des *Apidae* au cours de leur étude. Cette espèce végétale a l'avantage d'également nourrir les oiseaux grâce aux graines qu'elle produit. Se limiter aux espèces proposées dans ce mémoire n'est donc pas obligatoire : semer des mélanges plus variés et

étudier d'autres combinaisons d'espèces pourraient être plus intéressantes pour les insectes et les oiseaux. Ouvrard (2018) recommande par exemple l'utilisation de *Centaurea jacea*, *Daucus carota* et *Lotus corniculatus*.

D'autre part, le mélange fleuri proposé offre des ressources florales aux pollinisateurs à partir de la fin du mois de juin jusqu'à la fin du mois d'août. Or, les insectes sont déjà à la recherche de nourriture avant cette période de l'année (Ouvrard, 2018). De plus, fin août, certaines espèces du mélange sont certes encore en fleurs, mais en quantité dérisoire par rapport à la période de pleine floraison ayant eu lieu plus tôt en été. Par conséquent, semer des espèces dont la période de floraison est plus étalée pourrait être bénéfique aux pollinisateurs. Ainsi, Ouvrard (2018) recommande d'introduire des espèces qui fleurissent au printemps ou en automne, tels que *Trifolium repens* dont le pollen est largement collecté par les bourdons, *Lamium purpureum*, *Ranunculus acris* et *Taraxacum agg.* Une autre option à considérer pourrait être de semer à proximité des bandes des espèces pérennes aux périodes de floraison plus étalées (Dramstad and Fry, 1995; Carvell *et al.*, 2006). Une étude norvégienne a d'ailleurs remarqué que les bourdons à longue langue préféraient les mélanges pérennes dans lesquels une majorité de *T. pratense* était présente (Carvell *et al.*, 2006).

Conclusion

Ce mémoire a permis de mettre en évidence quelles espèces, parmi une sélection de sept espèces végétales, peuvent favoriser la plus grande diversité d'insectes pollinisateurs.

Des sept espèces végétales étudiées, quatre sont recommandées pour les mélanges fleuris des bandes aménagées à destination des pollinisateurs : *Fagopyrum esculentum*, *Trifolium resupinatum*, *Phacelia tanacetifolia* et *Helianthus annuus*. Grâce à la complémentarité des différentes espèces qui le constituent, ce mélange offre du pollen et du nectar aux insectes de la fin du mois de juin à la fin du mois d'août. Ce couvert fleuri attire 58 espèces différentes, dont 21 de l'ordre des hyménoptères et 14 de la famille des *Syrphidae*. Ces deux groupes comptent en leur sein des pollinisateurs majeurs tels que les bourdons et l'abeille domestique.

Bien qu'elle n'attire aucune espèce supplémentaire, *Borago officinalis* pourrait être ajoutée à ce mélange. En effet, de toutes les espèces étudiées, elle est celle qui produit le plus grand volume de nectar et son pollen est de qualité. De plus, les insectes retrouvés sur ses fleurs sont des pollinisateurs efficaces appartenant entre autres à la famille des *Apidae*. Cependant, le prix élevé de ses semences peut être un frein à son utilisation. Quant à *Trifolium alexandrinum* et *Trifolium incarnatum*, ils ne sont pas conseillés pour les mélanges fleuris des bandes aménagées. En effet, ces trèfles attirent une faible diversité d'insectes pollinisateurs, sont les moins grands producteurs de nectar de toutes les espèces étudiées et n'ont pas fleuri sur un des sites d'étude.

Bibliographie

- Abrol, D. P. (2012) *Pollination biology - Biodiversity conservation and Agricultural Production*. India: Springer. doi: 10.1007/978-94-007-1942-2.
- Amiet, F., Muller, A. and Praz, C. (no date) 'Fauna Helvetica - Apidae 1'.
- Apiculture.net (no date) *Tube à piston marquage des reines abeilles*. Available at: <https://www.apiculture.net/marquage-des-reines/162-tube-piston.html> (Accessed: 10 February 2019).
- Asadi-Samani, M., Bahmani, M. and Rafieian-Kopaei, M. (2014) 'The chemical composition, botanical characteristic and biological activities of *Borago officinalis*: A review', *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7(S1), pp. S22–S28. doi: 10.1016/S1995-7645(14)60199-1.
- Baijot, A. (2016) *Etude des impacts du stress hydrique et de hausses de températures sur les ressources florales de la bourrache (*Borago officinalis*) et des repercussions possibles sur les relations plantes-pollinisateurs (Mémoire de fin d'études)*. Université Catholique de Louvain.
- Baker, H. G. and Baker, I. (1983) 'Floral nectar sugar constituents in relation to pollinator type', in Little, R. J. (ed.) *Handbook of Experimental Pollination Biology*. New York: Van Nostrand Reinhold, pp. 117–141.
- Balfour, N. J., Garbuzov, M. and Ratnieks, F. L. W. (2013) 'Longer tongues and swifter handling: Why do more bumble bees (*Bombus* spp.) than honey bees (*Apis mellifera*) forage on lavender (*Lavandula* spp.)?', *Ecological Entomology*, 38(4), pp. 323–329. doi: 10.1111/een.12019.
- Ball, S. (2008) 'Introduction to the families of British Diptera - Part 2 : Key to Families', pp. 1–20.
- Benedek, P. (1973) 'Relationship between the Tripping Rate and the Tongue Length of Lucerne Pollinating Wild Bees', *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 73(1–4), pp. 113–116. doi: 10.1111/j.1439-0418.1973.tb02275.x.
- Bennet, M. (2003) '*Borago officinalis* Linnaeus', in Timber Press (ed.) *Pulmonarias and the borage family*. Portland, pp. 84–85.
- Bjorkman, T. (1995) 'Role of honey bees (Hymenoptera: Apidae) in the pollination of buckwheat in eastern North America', *Journal of Economic Entomology*, 88(6), pp. 1739–1745. doi: 10.1093/jee/88.6.1739.
- Brittain, C. A. et al. (2010) 'Impacts of a pesticide on pollinator species richness at different spatial scales', *Basic and Applied Ecology*. Elsevier, 11(2), pp. 106–115. doi: 10.1016/j.baae.2009.11.007.
- Campbell, C. G. (1997) 'Buckwheat: *Fagopyrum esculentum* Moench. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops', *International Plant Genetic Resources Institute*. Rome, p. 93 pp. doi: 10.1663/0013-0001(2002)056[0110:bfempt]2.0.co;2.
- Campbell, J. W. et al. (2016) 'Insect Visitors to Flowering Buckwheat, *Fagopyrum esculentum* (Polygonales: Polygonaceae), in North-Central Florida', *Florida Entomologist*, 99(2), pp. 264–268. doi: 10.1653/024.099.0216.
- Carreck, N. L. and Williams, I. H. (1997) 'Observations on two commercial flower mixtures as food sources for beneficial insects in the UK', *Journal of Agricultural Science*, 128(4), pp. 397–403. doi: 10.1017/S0021859697004279.
- Carreck, N. L. and Williams, I. H. (2002) 'Food for insect pollinators on farmland: insect visits to flowers of annual seed mixtures', *Journal of Insect Conservation*, 6, pp. 13–23. doi:

10.1023/A:1015764925536.

Carvell, C. *et al.* (2006) 'Assessing the value of annual and perennial forage mixtures for bumblebees by direct observation and pollen analysis1', *Apidologie*, 37, pp. 326–340. doi: 10.1051/apido:2006002.

Cawoy, V. *et al.* (2006) 'Morph Differences and Honeybee Morph Preference in the Distylous Species *Fagopyrum esculentum* Moench', *International Journal of Plant Sciences*, 167(4), pp. 853–861. doi: 10.1086/504924.

Cawoy, V. *et al.* (2009) 'Floral Biology of Common Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench)', *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 3(1), pp. 1–9. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.909.836&rep=rep1&type=pdf>.

Chinery, M. (2012) *Insectes de France et d'Europe occidentale*. Edited by E. Flammarion. Paris.

Decourye, A., Mader, E. and Desneux, N. (2010) 'Review article Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems *', *Apidologie*, 41, pp. 264–277. doi: 10.1051/apido/2010024.

Delaplane, K. S. and Mayer, D. F. (2000) *Crop pollination by bees*. USA: CABI publishing.

Descamps, C. (2014) *Etude exploratoire de la guilde de pollinisateurs de Calluna vulgaris présente en landes sèches au mont Lozère en lien avec des caractéristiques spatiales et environnementales (Mémoire de fin d'études)*. Université Catholique de Louvain.

Descamps, C. *et al.* (2018) 'Temperature and water stress affect plant–pollinator interactions in *Borago officinalis* (Boraginaceae)', *Ecology and Evolution*, 8(6), pp. 3443–3456. doi: 10.1002/ece3.3914.

Docks, A. (2018) 'Essais 2018 : Pollinisateurs et bandes fleuries à la ferme de Lauzelle'. Lauzelle.

Dor, C., Maillet-Mezera, J. and Sarthou, V. (2011) 'Syrphes – Fiches espèces'. Available at: http://www.rmt-biodiversite-agriculture.fr/moodle/pluginfile.php/343/mod_resource/content/2/les_syrphes_vd.pdf.

Dramstad, W. and Fry, G. (1995) 'Foraging activity of bumblebees (*Bombus*) in relation to flower resources on arable land', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 53(2), pp. 123–135. doi: 10.1016/0167-8809(94)00561-R.

van Dyck, H. (2019) 'Entomologie appliquée à l'agriculture, communication personnelle'. Louvain-la-Neuve.

FAO (2018) *The pollination of cultivated plants: A compendium for practitioners*, Fao. Available at: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/I9201EN>.

Fayet, A. (2017) 'La pollinisation du tournesol'. Louvain-la-Neuve: CARI, pp. 21–22. Available at: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwikqr29HhAhUCL1AKHW7hBEIQFjAGegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.cari.be%2Fmedias%2Fabcie_articles%2F176_fiche.pdf&usg=AOvVaw1doah3SokijucCC_fPQM5C.

Feel, R. D. (1986) 'Foraging Behaviors of *Apis mellifera* L. and *Bombus* spp. on Oilseed Sunflower (*Helianthus annuus* L.)', *Journal of the Kansas entomological society*, 59(1), pp. 72–81.

Fonta, C. *et al.* (1985) 'Role des nectars de tournesol dans le comportement des insectes pollinisateurs et analyse quantitative des éléments glucidiques de ces sécrétions', *Acta oecologica*, 6(2), pp. 175–186.

Free, J. B. (1963) 'The Flower Constancy of Honeybees', *Journal of Animal Ecology*, 32(1), pp. 119–

131. Available at: <https://www.jstor.org/stable/2521>.

Gandhi, S. D. *et al.* (2005) 'The self-incompatibility locus (S) and quantitative trait loci for self-pollination and seed dormancy in sunflower', *Theoretical and Applied Genetics*, 111(4), pp. 619–629. doi: 10.1007/s00122-005-1934-7.

Gathmann, A. and Tschardt, T. (2002) 'Foraging ranges of solitary bees', *Journal of Animal Ecology*, 71, pp. 757–764.

Genissel, A. *et al.* (2002) 'Influence of pollen origin on performance of *Bombus terrestris* micro-colonies', *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 104, pp. 329–336.

Gorenflo, A. *et al.* (2017) 'Contrasting pollination efficiency and effectiveness among flower visitors of *Malva sylvestris*, *Borago officinalis* and *Onobrychis viciifolia*', *Journal of Pollination Ecology*, 21(1), pp. 62–70.

Goswami, V., Khan, M. S. and Usha, M. S. (2013) 'Studies on pollinator fauna and their relative abundance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) at Pantnagar, Uttarakhand, India', *Journal of Applied and Natural Sciences*, 5(2), pp. 294–296.

Goulson, D. *et al.* (2005) 'Causes of rarity in bumblebees', *Biological Conservation*, 122(1), pp. 1–8. doi: 10.1016/j.biocon.2004.06.017.

Greenleaf, S. S. and Kremen, C. (2006) 'Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower', *PNAS*, 103(37), pp. 13890–13895. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0600929103>.

Hackston, M. (2012) 'Family Empididae - Key to genus adapted from Collin (1960)', pp. 1–19.

Hackston, M. (2013) 'Genus Empis - Key to British species, Derived from Collin (1960)', pp. 1–39.

Hallmann, C. A. *et al.* (2017) 'More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas', *PLOS ONE*, 12(10). doi: 10.1371/journal.pone.0185809.

Hanley, M. E. *et al.* (2008) 'Breeding system, pollinator choice and variation in pollen quality in British herbaceous plants', *Functional Ecology*, 22(4), pp. 592–598. doi: 10.1111/j.1365-2435.2008.01415.x.

Heiser, C. B. *et al.* (1969) 'THE NORTH AMERICAN SUNFLOWERS (*HELIANTHUS*)', *Memoirs of the Torrey botanical society*, 22(3), pp. 1–218. Available at: <https://www.jstor.org/stable/43390641>.

Hickman, J. M. and Wratten, S. D. (1996) 'Use of *Phacelia tanacetifolia* strips to enhance biological control of aphids by hoverfly larvae in cereal fields', *Journal of Economic Entomology*, 89(4), pp. 832–840. doi: 10.1093/jee/89.4.832.

Jacquemart, A.-L. (1992) 'Préliminaires sur la production de nectar chez trois espèces de *Vaccinium*', *Apidologie*, (23), pp. 453–564.

Jacquemart, A.-L. and Descamps, C. (2018) *Flore écologique de Belgique*. Louvain-la-Neuve: S.A., EDITIONS AVERBODE|ERASME.

Jacquemart, A.-L., Gillet, C. and Cawoy, V. (2007) 'Floral visitors and the importance of honey bee on buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) in central Belgium', *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 82, pp. 104–108.

Jadhav, J. A., Sreedevi, K. and Prasad, P. R. (2015) 'Insect pollinator diversity and abundance in sunflower ecosystem', *Current Biotica*, 5(3), pp. 344–350.

Jat, M. K. *et al.* (2013) 'Diversity and abundance of different floral visitors on egyptian clover, *Trifolium alexandrinum*', *Forage Res.*, 38(4), pp. 225–229.

- Kawa, J. M., Taylor, C. G. and Przybylski, R. (2003) 'Buckwheat Concentrate Reduces Serum Glucose in Streptozotocin-Diabetic Rats', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(25), pp. 7287–7291. doi: 10.1021/jf0302153.
- Kerstin Sundseth Ecosystems LTD (2018) 'La commission adopte une Initiative européenne sur les pollinisateurs', *La lettre d'information Natura 2000*, July, pp. 6–7.
- Kim, S. L., Kim, S. K. and Park, C. H. (2004) 'Introduction and nutritional evaluation of buckwheat sprouts as a new vegetable', *Food Research International*, 37(4), pp. 319–327. doi: 10.1016/j.foodres.2003.12.008.
- Klein, A. M. et al. (2007) 'Importance of pollinators in changing landscapes for world crops', *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), pp. 303–313. doi: 10.1098/rspb.2006.3721.
- Knight, W. E. and Hollowell, E. A. (1974) 'Crimson clover', *Advances in agronomy*, 25, pp. 47–76.
- Laubertie, E. A., Wratten, S. D. and Hemptinne, J. L. (2012) 'The contribution of potential beneficial insectary plant species to adult hoverfly (Diptera: Syrphidae) fitness', *Biological Control*. Elsevier Inc., 61(1), pp. 1–6. doi: 10.1016/j.biocontrol.2011.12.010.
- Lee, J. and Heimpel, G. E. (2003) 'Nectar availability and parasitoid sugar feeding', *1st International Symposium on Biological Control of Arthropods*, pp. 220–225. Available at: http://www.invasiveforestinsectandweedbiocontrol.info/international_symposium/day4_pdf/lee.pdf.
- Loi du 12 juillet 1973 sur la conservation de la nature Annexe IIb (1973) *Loi du 12 juillet 1973 sur la conservation de la nature Annexe IIb*. Available at: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/lcn-annexe-iib-mammiferes-amphibiens-reptiles-poissons-et-invertes-bres-strictement-protges-en-wallonie.html?IDD=407&highlighttext=insectes+protégés+&IDC=2912> (Accessed: 6 May 2019).
- Macfarlane, R. P. (2018a) 'Asteraceae', in Roubik, D. W. (ed.) *The Pollination of Cultivated Plants. A Compendium for Practitioners*. 2nd edn. Italie: FAO, pp. 169–170. Available at: <http://www.fao.org/3/i9201en/I9201EN.pdf>.
- Macfarlane, R. P. (2018b) 'Fabaceae', in Roubik, D. W. (ed.) *The Pollination of Cultivated Plants. A Compendium for Practitioners*. 2nd edn. Italie: FAO, pp. 164–165. Available at: <http://www.fao.org/3/i9201en/I9201EN.pdf>.
- MacGregor, S. (1976) 'Insect pollination of cultivated plants', in *Insect pollination of cultivated plants*. Washington, pp. 1–411.
- Madison, L. A. and Robel, R. J. (2001) 'Energy characteristics and consumption of several seeds recommended for northern bobwhite food plantings', *Wildlife Society Bulletin*, 29(4), pp. 1219–1227. Available at: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/3784147>.
- Manssens, C. (2018) 'Communication orale'. Louvain-la-Neuve.
- McGregor, S. E. (1976) 'Crops dependent upon or benefited by insect pollination', in *Insect pollination of cultivated crop plants*. Washington.
- MeteoBelgique.be (2018a) *Météo en Belgique - Année 2018*. Available at: <https://www.meteobelgique.be/article/relevés-et-analyses/annee-2018.html?start=10> (Accessed: 12 March 2019).
- MeteoBelgique.be (2018b) *Météo en Belgique - Bilan de la vague de chaleur de juillet-août 2018*. Available at: <https://www.meteobelgique.be/article/nouvelles/la-suite/2289-bilan-de-la-vague-de-chaleur-de-juillet-aout-2018.html> (Accessed: 14 March 2019).

- Mhamdi, B. *et al.* (2007) 'Biochemical characterization of borage (*Borago officinalis* L.) seeds', *Journal of food biochemistry*, 33(2009), pp. 331–341.
- Michez, D. and Vereecken, N. (2010) 'Les abeilles sauvages, une biodiversité insoupçonnée', *Probio-Revue*, 33(2), pp. 110–113.
- Minckley, R. L. *et al.* (1994) 'Behavior and phenology of a specialist bee (*dieunomia*) and sunflower (*helianthus*) pollen availability', *Ecology*, 75(5), pp. 1406–1419. Available at: https://www.jstor.org/stable/1937464?seq=1#metadata_info_tab_contents.
- Le Monde des insectes (2010) 'Eristalis - Tableau d'identification des espèces du genre Eristalis'. Available at: <https://www.insecte.org/spip.php?article91>.
- Le Monde des insectes (no date) *Galerie du Monde des insectes*. Available at: <https://www.galerie-insecte.org/galerie/fichier.php> (Accessed: 10 February 2019).
- Montaner, C., Floris, E. and Alvarez, J. M. (2001) 'Geitonogamy: A mechanism responsible for high selfing rates in borage (*Borago officinalis* L.)', *Theoretical and Applied Genetics*, 102(2–3), pp. 375–378. doi: 10.1007/s001220051656.
- Mthalyi, F. (1977) 'A New Key for Hungarian Lucilia Species (Diptera, Calliphoridae)', 69.
- Natagriwal (no date a) *Identité / Natagriwal*. Available at: <https://www.natagriwal.be/fr/natagriwal/identite> (Accessed: 9 June 2019).
- Natagriwal (no date b) *Les méthodes agro-environnementales et climatiques : Bande aménagée pour la faune*. Available at: <https://www.natagriwal.be/fr/mesures-agro-environnementales/liste-des-mae/fiches/details/335> (Accessed: 15 April 2019).
- Natagriwal (no date c) *Les méthodes agro-environnementales et climatiques : Bandes aménagées à fleurs des prés*. Available at: <https://www.natagriwal.be/fr/mesures-agro-environnementales/liste-des-mae/fiches/details/342> (Accessed: 29 April 2019).
- Natagriwal (no date d) *Méthodes Agro-Environnementales et Climatiques*. Available at: <https://www.natagriwal.be/fr/mesures-agro-environnementales/en-quelques-mots> (Accessed: 22 April 2019).
- Nepi, M., Grasso, D. A. and Mancuso, S. (2018) 'Nectar in Plant–Insect Mutualistic Relationships: From Food Reward to Partner Manipulation', *Frontiers in Plant Science*, 9(July), pp. 1–14. doi: 10.3389/fpls.2018.01063.
- Neskovic, M., Srejovic, V. and Vujicic, R. (1986) 'Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.)', *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, 2, pp. 579–602.
- Nicolson, S. W. (2007) 'Nectar consumers', *Nectaries and Nectar*, (1983), pp. 289–342. doi: 10.1007/978-1-4020-5937-7_7.
- Nicolson, S. W. and Human, H. (2013) 'Chemical composition of the "low quality" pollen of sunflower (*Helianthus annuus*, Asteraceae)', *Apidologie*, 44(2), pp. 144–152. doi: 10.1007/s13592-012-0166-5.
- Ollerton, J., Winfree, R. and Tarrant, S. (2011) 'How many flowering plants are pollinated by animals?', *Oikos*, 120(3), pp. 321–326. doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x.
- OPIE (no date) *Clé des superfamilles d'hyménoptères*. Available at: <http://www7.inra.fr/opie-insectes/ch-entiere.htm> (Accessed: 10 February 2019).
- Ouvrard, P. (2018) *Estimation of pollinating insect populations in agro-ecosystems: comparing oilseed-rape fields and AES*. Université Catholique de Louvain.

- Parachnowitsch, A. L., Manson, J. S. and Sletvold, N. (2019) 'Evolutionary ecology of nectar', *Annals of Botany*, 123(2), pp. 247–261. doi: 10.1093/aob/mcy132.
- Parlement européen (2018) *La politique agricole commune (PAC) | Fiches thématiques sur l'Union européenne*.
- Patiny, S. and Terzo, M. (2010) 'Catalogue et clé des sous-genres et espèces du genre *Andrena* de Belgique et du nord de la France (Hymenoptera, Apoidea)'
- Pauly, A. (2014) 'Clé provisoire pour l'identification des *Halictus* Latreille, 1804 et *Lasioglossum* Curtis, 1833 de Belgique (Hymenoptera Apoidea Halictidae)', *Document de travail de Atlas Hymenoptera*, p. 117.
- Peat, J., Tucker, J. and Goulson, D. (2005) 'Does intraspecific size variation in bumblebees allow colonies to efficiently exploit diverse floral resources?', *Ecological Entomology*, 30, pp. 176–181.
- Petanidou, T. (2003) 'Introducing plants for bee-keeping at any cost? - Assessment of *Phacelia tanacetifolia* as nectar source plant under xeric Mediterranean conditions', *Plant Systematics and Evolution*, 238(1–4), pp. 155–168. doi: 10.1007/s00606-002-0278-x.
- Potts, S. et al. (2016) *IPBES : Résumé à l'intention des décideurs du rapport d'évaluation de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques concernant les pollinisateurs, la pollinisation et la production alimentaire*.
- Potts, S. G. et al. (2010) 'Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers', *Trends in Ecology and Evolution*. Elsevier Ltd, 25(6), pp. 345–353. doi: 10.1016/j.tree.2010.01.007.
- Quel est cet animal ? (no date) *Galerie et clés - Quel est cet animal ?* Available at: <https://www.quelestcetanimal.com/galerie/> (Accessed: 10 February 2019).
- Quinet, M. et al. (2004) 'Inflorescence structure and control of flowering time and duration by light in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench)', *Journal of Experimental Botany*, 55(402), pp. 1509–1517. doi: 10.1093/jxb/erh164.
- Racys, J. and Montviliene, R. (2005) 'Effect of bees-pollinators in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) crops', *Journal of Apicultural Science*, 49(1), pp. 47–51.
- Rader, R. et al. (2016) 'Non-bee insects are important contributors to global crop pollination', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(1), pp. 146–151. doi: 10.1073/pnas.1517092112.
- Raine, N. E. and Chittka, L. (2007) 'Flower constancy and memory dynamics in bumblebees (Hymenoptera : Apidae : *Bombus*)', *Entomologia Generalis*, 29(2–4), pp. 179–199. Available at: <http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/revistaselectronicas/Chittka/91.pdf>.
- Rasmont, P. and Terzo, M. (2017) 'Catalogue et clé des sous-genres et espèces du genre *Bombus* de Belgique et du nord de la France (Hymenoptera, Apoidea)', 2, pp. 1–28. doi: 10.1016/j.envpol.2016.03.040.
- Reille, M. (1992) *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord*. Marseille: Laboratoire de botanique historique et polynologie.
- Reille, M. (1995) *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord - Supplément 1*. Marseille: Laboratoire de botanique historique et polynologie.
- Rivals, P. (1961) 'Le trèfle de Perse (*Trifolium resupinatum* L.)', *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée*, 8(6–7), pp. 271–273. doi: 10.3406/jatba.1961.6916.
- de Roissart, E. (2019) *Proposition d'un plan d'aménagement des haies de la ferme de Lauzelle*

(Mémoire de fin d'études). Université Catholique de Louvain.

Sánchez-Bayo, F. and Wyckhuys, K. A. G. (2019) 'Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers', *Biological Conservation*, 232(January), pp. 8–27. doi: 10.1016/j.biocon.2019.01.020.

SAPOLL (2018) 'Clé simplifiée des genres d'apoïdes de la zone SAPOLL'.

Scheuchl, E. (2000) 'Clé illustrée des genres de la super-famille des Apoidea', (2000), pp. 9–21.

Semailles (no date) *Semences biologiques : variétés anciennes et du terroir, graines bio, légumes oubliés, collection, cadeaux*. Available at: <https://www.semaille.com/> (Accessed: 13 May 2019).

Semra, E., Çolak, E. and Kendir, H. (2007) 'Determination of Some Plant and Agricultural Characteristics in Persian Clover (*Trifolium resupinatum* L.)', *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13(3), pp. 240–245. doi: 10.1501/tarimbil_00000000543.

Somerville, D. C. and Nicol, H. I. (2006) 'Crude protein and amino acid composition of honey bee-collected pollen pellets from south-east Australia and a note on laboratory disparity', *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(1), p. 141. doi: 10.1071/ea03188.

Somme, L. et al. (2015) 'Pollen and nectar quality drive the major and minor floral choices of bumble bees', *Apidologie*, 46(1), pp. 92–106. doi: 10.1007/s13592-014-0307-0.

Southwick, E. E., Loper, G. M. and Sadwick, S. E. (1981) 'Nectar Production, Composition, Energetics and Pollinator Attractiveness in Spring Flowers of Western New York', *American Journal of Botany*, 68(7), pp. 994–1002. doi: 10.2307/2443231.

Speight, M. C. D. and Sarthou, J. (2013) 'Clés StN pour la détermination des adultes des syrphidae européens 2013', in *Syrph the Net, the database of European Syrphidae*. Syrph the. Dublin, p. 133.

Sprague, R. et al. (2016) 'Assessing pollinators' use of floral resource subsidies in agri-environment schemes: An illustration using *Phacelia tanacetifolia* and honeybees', *PeerJ*, 4, pp. 1–15. doi: 10.7717/peerj.2677.

Ssymank, A. et al. (2008) 'Pollinating Flies (Diptera): A major contribution to plant diversity and agricultural production', *Biodiversity*, 9(1–2), pp. 86–89. doi: 10.1080/14888386.2008.9712892.

Szpila, K. (2009) 'Key for identification of European fleshflies (Diptera, Sarcophagidae) of forensic importance Adult flies'.

Tang, C. H. et al. (2009) 'Physicochemical and antioxidant properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) protein hydrolysates', *Food Chemistry*. Elsevier Ltd, 115(2), pp. 672–678. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.12.068.

Terzo, M. and Rasmont, P. (2007) 'MALVAS Méthodes AgroEnvironnementales Liées à la Valorisation des Abeilles Sauvages - Suivi, étude et vulgarisation sur l'interaction entre les MAE et les abeilles sauvages', *Université de Mons-Hainaut - Région Wallonne - Direction générale de l'agriculture, Mons, Namur*, p. 77p.

Terzo, M. and Rasmont, P. (no date) 'Clé des genres d'apoïdes d'Europe occidentale', pp. 23–59.

Thom, M. D. et al. (2018) 'Specialty oilseed crops provide an abundant source of pollen for pollinators and beneficial insects', *Journal of Applied Entomology*, 142(1–2), pp. 211–222. doi: 10.1111/jen.12401.

Trees for bees (2014) 'Trees for Bees NZ Bee Plant Flowering Times in selected plant species reported to be visited by honey bees in New Zealand'. Available at: http://www.treesforbeesnz.org/__data/assets/pdf_file/0003/71328/tfb-results-for-protein-count.pdf.

- Tschorsnig, H. and Herting, B. (1994) 'The Tachinids (Diptera: Tachinidae) of Central Europe: Identification Keys for the Species and Data on Distribution and Ecology [ENGLISH TRANSLATION]', *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde*, pp. 1–125. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2013.04.001.
- Tucker, E. M., Chapman, E. G. and Sharkey, M. J. (2015) *A revision of the New World species of Cremnops Forster (Hymenoptera: Braconidae: Agathidinae)*, *Zootaxa*. Edited by M. Press. doi: 10.11646/zootaxa.3916.1.1.
- Vattala, H. D. *et al.* (2006) 'The influence of flower morphology and nectar quality on the longevity of a parasitoid biological control agent', *Biological Control*, 39(2), pp. 179–185. doi: 10.1016/j.biocontrol.2006.06.003.
- Vear, F. *et al.* (1990) 'Genetical studies of nectar and pollen production in sunflower', *Agronomie*, 10(3), pp. 219–231.
- Vockeroth, J. R. and Thompson, F. C. (1987) 'Syrphidae', in *Manual of Nearctic Diptera*. Ottawa, pp. 712–743.
- WalOnMap - SPW (2018). Available at: <http://geoportail.wallonie.be/walonmap#BBOX=-45311.03695707393,366646.03695707396,21090.670815341626,162775.32918465836> (Accessed: 21 February 2019).
- Williams, C. S. (1997) 'Nectar secretion rates, standing crops and flower choice by bees on *Phacelia tanacetifolia*', *Journal of Apicultural Research*, 36(1), pp. 23–32. doi: 10.1080/00218839.1997.11100927.
- Williams, I. H. and Christian, D. G. (1991) 'Observations on *Phacelia tanacetifolia* Benth (Hydrophyllaceae) as a food plant for honey bees and bumble bees', *Journal of Apicultural Research*, 30(1), pp. 3–12. doi: 10.1080/00218839.1991.11101227.
- Williams, P. H. and Osborne, J. L. (2009) 'Bumblebee vulnerability and conservation world-wide', *Apidologie*, 40(3), pp. 367–387. doi: 10.1051/apido/2009025.

Annexes

Annexe 1 – Groupes taxonomiques opérationnels

Annexe 2 – Végétation présente sur les différents sites d'étude

Annexe 3 – Nombres et identification des insectes capturés

Annexe 4 – Proportion et identification des grains de pollen

Annexe 1 – Groupes taxonomiques opérationnels

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

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

Annexe 2 – Végétation présente sur les différents sites d'études

La végétation présente sur les sites de Strée, Dongelberg et Incourt est moins détaillée que pour les sites de Sart-Risbart et Lauzelle, étant donné que ces sites n'ont servi qu'à une seule journée de relevé chacun. La strate dans laquelle l'espèce végétale a été observée est indiquée (a pour arbustive et h pour herbacée).

	Strate	Sart-Risbart	Lauzelle	Strée	Dongelberg	Incourt
<i>Acer pseudoplatanus</i>	a		x	x		
<i>Aesculus hippocastanum</i>	a		x			
<i>Alnus glutinosa</i>	a	x				
<i>Avena fatua</i>	h		x			
<i>Avena strigosa</i>	h			x		
<i>Beta vulgaris</i>	h				x	x
<i>Betula pendula</i>	a	x		x		
<i>Brassica carinata</i>	h			x		
<i>Bryonia dioica</i>	h		x			
<i>Buddleia davidii</i>	a		x			
<i>Buxaceae sempervirens</i>	h		x			
<i>Carpinus betulus</i>	a	x	x			
<i>Castaena sativa</i>	a	x	x			
<i>Cyanus segetum</i>	h				x	
Céréales de printemps	h			x		
<i>Chelidonium majus</i>	h		x			
<i>Chenopodium album</i>	h	x	x	x	x	x
<i>Cirsium</i> spp.	h	x	x	x		x
<i>Convolvulus arvensis</i>	h		x			
<i>Coriandrum sativum</i>	h		x			
<i>Cornus sanguinea</i>	a	x		x		
<i>Corylus avellana</i>	a	x	x	x		
<i>Crataegus monogyna</i>	a	x	x	x		
<i>Cucurbita pepo</i>	h		x			
<i>Dactylis glomerata</i>	h		x			
<i>Equisetum arvense</i>	h			x		
<i>Eruca vesicaria</i>	h		x			
<i>Fagopyrum esculentum</i>	h			x		x
<i>Fagus sylvatica</i>	a	x		x		
<i>Fraxinus excelsior</i>	a		x			
<i>Hedera helix</i>	a		x			
<i>Helianthus annuus</i>	h			x		x
<i>Ilex aquifolium</i>	a		x			
<i>Juglans regia</i>	a			x		
<i>Lactuca</i> sp.	h		x			
Lamiaceae	h				x	
<i>Leucanthemum vulgare</i>	h	x				
<i>Linum usitatissimum</i>	h	x				
<i>Lippia dulcis</i>	h		x			
<i>Magnolia</i> sp.	a		x			
<i>Malus domestica</i>	a	x				

	Strate	Sart-Risbart	Lauzelle	Strée	Dongelberg	Incourt
<i>Malva sp.</i>	h	x	x	x		
<i>Matricaria retucica</i>	h	x			x	
<i>Mentha rotundifolia</i>	h		x			
<i>Ocimum basilicum</i>	h		x			
<i>Origanum vulgare</i>	h	x	x			
<i>Panicum miliaceum</i>	h			x		
<i>Papaver rhoeas</i>	h			x	x	
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	h			x		x
<i>Phaseolus vulgaris</i>	h	x				
<i>Pinus sp.</i>	a	x				
<i>Plantago sp.</i>	h			x		
<i>Poa pratensis</i>	h		x			
Polygonacée	h	x				
<i>Populus sp.</i>	a	x				
<i>Prunus avium</i>	a		x			
<i>Prunus spinosa</i>	a	x				
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	a	x				
<i>Pyrus communis</i>	a	x				
<i>Quercus robur</i>	a		x			
<i>Raphanus sativus</i>	h	x		x		x
<i>Ribes nigrum</i>	a			x		
<i>Rosa canina</i>	a	x	x			
<i>Rubus sp.</i>	h		x			
<i>Rumex acetosella</i>	h		x	x		
<i>Salix alba</i>	a		x			
<i>Salix caprea</i>	a		x			
<i>Salix sp.</i>	a	x				
<i>Sambucus nigra</i>	a	x	x			
<i>Senecio sp.</i>	h		x			
<i>Setaria italica subsp. moharia</i>	h			x		
<i>Sinapsis alba</i>	h			x		x
<i>Solanum lycopersicum</i>	h		x			
<i>Solanum tuberosum</i>	h				x	x
<i>Sorbus aucuparia</i>	a	x				
<i>Sorghum bicolor</i>	h			x		
<i>Taraxacum spp</i>	h	x	x	x		x
<i>Thymus x citriodonus</i>	h		x			
<i>Trifolium incarnatum</i>	h			x		x
<i>Triticum aestivum</i>	h	x		x		
<i>Ulmus glabra</i>	a		x			
<i>Ulmus minor</i>	a	x	x			
<i>Urtica dioica</i>	h	x	x	x		
<i>Vicia sativa</i>	h			x		
x <i>Triticosecale</i>	h			x		

	Strate	Sart-Risbart	Lauzelle	Strée	Dongelberg	Incourt
<i>Zea mays</i>	h			x	x	x

Annexe 3 – Nombres et identification des insectes capturés

Ordre	Famille	Espèce insecte	B	F	H	P	TA	TI	TR
Hymenoptera			20	51	18	44	4	4	32
	Andrenidae	<i>Andrena dorsata</i>		2					
		<i>Andrena flavipes</i>		10					4
		<i>Andrena sp.</i>		2					
	Apidae	<i>Apis mellifera</i>	1	2					1
		<i>Bombus lapidarius</i> (GTO)	6	6	7	18			9
		<i>Bombus pascuorum</i> (GTO)	2		1	5	3	3	5
		<i>Bombus terrestris</i> (GTO)	8	3	9	11			4
		<i>Nomada fucata</i>							1
	Braconidae	<i>Cremnops desertor</i>		1					
	Colletidae	<i>Colletes hederæ</i>		1					
		<i>Hylaeus communis</i>				1			
	Crabonidae	<i>Oxybellus sp.</i>		1					
	Formicidae	Indéterminé		1		1			
	Halictidae	<i>Halictus tumulorum</i>	1			2			2
		<i>Lasioglossum morio</i>				3	1		
		<i>Lasioglossum nitidulum</i>	1	2		1			1
		<i>Lasioglossum pauxillum</i>	1	2					
		<i>Lasioglossum zonolum</i>							1
	Ichneumonidae	Indéterminé		1					1
	Speciforme	Indéterminé		2	1	1			
	Vespidae	<i>Eumenidae</i>						1	
		<i>Polistes sp.</i>		2					
		<i>Vespula vulgaris</i>		13		1			2
	Indéterminé								1
Diptera				53	3	3	1	1	4
	Anthomyiidae	Indéterminé			1				
	Calliphoridae	<i>Lucilia sp.</i>		4					
		Indéterminé					1		
	Chloropidae	Indéterminé		1					
	Empididae	Indéterminé		2					
		Empididae		2					
	Muscidae	Indéterminé		5					1
	Scatophagidae	<i>Scatophaga sp.</i>		1					
	Syrphidae	<i>Cheilosia sp.</i>		1					
		<i>Episyrphus balteatus</i>		3					1
		<i>Eristalis arbustorum</i>		3					
		<i>Eristalis nemorum</i>		2					
		<i>Eristalis tenax</i>		6	2				1

Ordre	Famille	Espèce insecte	B	F	H	P	TA	TI	TR
		<i>Eupeodes corollae</i>		3					1
		<i>Eupeodes luniger</i>				2			
		<i>Melanostoma mellinum</i>		1					
		<i>Myathropa florea</i>		1					
		<i>Pipizella bimaculata</i>		1					
		<i>Scaeva pyrastris</i>		1					
		<i>Sphaerophoria scripta</i>		5		1			
		<i>Syrirta pipiens</i>		8					
		<i>Syrphus ribesii</i>		1					
	Tachinidae	<i>Eriothrix sp.</i>		1					
		Indéterminé		1					
	Indéterminé	Indéterminé		3				1	
Coleoptera				11			3		2
	Bruchidae	Indéterminé							1
	Carabidae	<i>Amara plebeja</i>		1					
	Chrysomelidae	<i>Altica sp.</i>		1					
		<i>Gastrophysa polygoni</i>							1
		<i>Oulema gallaeciana</i>		1					
		<i>Oulema melanopus</i>		2					
		<i>Hippodamia variegata</i>					2		
	Coccinellidae	Indéterminé					1		
	Nitidulidae	Indéterminé							
	Oedemeridae	<i>Oedemera sp.</i>		1					
		<i>Oedemera virescens</i>		5					
Lepidoptera						1			
	Indéterminé					1			
Hemiptera				2					1
	Miridae	Indéterminé		2					1
	Indéterminé								1
Indéterminé	Indéterminé			3					1
Total général			20	123	21	48	8	5	41

Annexe 4 – Proportion et identification des grains de pollen

Proportion et identification des grains de pollen présents dans les pelotes prélevées sur les insectes visitant les espèces végétales étudiées. La fidélité représente le pourcentage de grains de pollen de l'espèce concernée, tandis que les autres lettres se réfèrent aux pourcentages des autres grains de pollen présents dans la pelote (Ap : *Apiaceae*, As : *Asteraceae*, B : *B. officinalis*, E : *E. plantagineum*, F : *F. esculentum*, P : *P. tanacetifolia*, T : *Trifolium* spp.). Lorsqu'un point d'interrogation précède un nombre, cela signifie qu'un doute persiste quant à l'identification indiquée.

	Fidélité (%)	Ap (%)	As (%)	B (%)	E (%)	F (%)	P (%)	T (%)	Indéterminé (%)
<i>B. officinalis</i>									
<i>Apis mellifera</i>	4						96		
	4		77			1	3		15
	11		2				87		
	100								
GTO Lapidarius	4				95	1			
	8				82		9		1
GTO Pascuorum	0				?100				
	41				57	2			
	55		1						44
	100								
GTO Terrestris	100								
	0					?100			
	100								
	100								
<i>F. esculentum</i>									
<i>Andrena flavipes</i>	0	51	38						11
	11		87						2
<i>Apis mellifera</i>	97								3
	97								3
	100								
	100								
<i>P. tanacetifolia</i>									
GTO Lapidarius	93								7
	94				9	14			
	100								
GTO Pascuorum	54			37					1
	60		2						
	61								39
GTO Terrestris	62	9			7				22
	100								

	Fidélité (%)	Ap (%)	As (%)	B (%)	E (%)	F (%)	P (%)	T (%)	Indéterminé (%)
	100								
	100								
	100								
	100								
	<i>T. alexandrinum</i>								
<i>Apis mellifera</i>	26		4				14		56
GTO Lapidarius	26		4				17		56
	34				1		1		63
GTO Pascuorum	29								71
	38				62				
	74				13	1	12		
	<i>T. incarnatum</i>								
GTO Pascuorum	3				97				
	32				68				
	96				2		2		
	100								
	<i>T. resupinatum</i>								
<i>Andrena flavipes</i>	3		97						
<i>Apis mellifera</i>	0				100				
	21		3			76			
	97								3
	100								
GTO Lapidarius	68				32				
	100								
	100								
	100								
	100								
	100								
	100								
GTO Pascuorum	0				100				
	10				90				
	82		1		17				
	87		1						12
	100								

Propositions d'espèces entomophiles pour les bandes aménagées favorables aux pollinisateurs (MAEC)

Marie Marchal

A l'heure actuelle, le déclin des insectes pollinisateurs est avéré. Or, ces insectes rendent des services écosystémiques aux plantes sauvages et cultivées. Pour favoriser l'abondance et la diversité de ces insectes, des mélanges fleuris peuvent être semés dans les bandes aménagées (MAEC). Cependant, peu d'études ont été réalisées pour évaluer l'efficacité des espèces florales choisies.

Dès lors, au cours de l'été 2018, sept espèces végétales (*Borago officinalis*, *Fagopyrum esculentum*, *Helianthus annuus*, *Phacelia tanacetifolia*, *Trifolium alexandrinum*, *Trifolium incarnatum* et *Trifolium resupinatum*) ont été suivies en bandes aménagées pour établir la diversité et l'abondance des insectes qu'elles attirent. La fidélité de ces insectes a également été évaluée. De même, la quantité et la composition en sucres du nectar produit par les espèces végétales étudiées ont été mesurées.

Parmi les insectes observés au cours des relevés, les bourdons sont les plus abondants (63% de l'ensemble des insectes observés) et la famille des *Syrphidae* est la plus diversifiée (14 espèces différentes). *F. esculentum* et *T. resupinatum* attirent le plus d'espèces d'insectes différentes (respectivement 42 et 25 espèces). *P. tanacetifolia* est l'espèce à qui les insectes sont les plus fidèles. Quant à *B. officinalis*, elle produit un nectar riche en sucres et le volume par fleur de celui-ci est au moins trois fois plus élevé que celui des six autres espèces végétales étudiées. Bien qu'*H. annuus* produise peu de nectar par rapport à *B. officinalis*, il est une des rares plantes à être encore en fleurs fin août, quand la présence de ressources florales est primordiale pour les bourdons. Par contre, *T. alexandrinum* et *T. incarnatum* n'attirent qu'une faible diversité d'insectes (respectivement 10 et 3 espèces) et produisent un nectar dont le poids de sucres totaux par fleurs est trente fois moins élevé que celui produit par *B. officinalis*. De plus, ces deux espèces de *Trifolium* ne fleurissent que fin juillet, après les cinq autres espèces étudiées, et *T. alexandrinum* n'est plus en fleurs mi-août.

En conclusion, les espèces recommandées pour les bandes aménagées en faveur des pollinisateurs sont *F. esculentum*, *T. resupinatum*, *P. tanacetifolia* et *H. annuus*. Bien que *B. officinalis* produise un volume élevé de nectar, elle n'est proposée qu'à titre optionnel, au vu du prix élevé de ses semences. Enfin, *T. alexandrinum* et *T. incarnatum* ne sont pas recommandés.