

**Etude des effets du miellat et de son microbiote sur le comportement d'oviposition du syrphe *Episyrphus balteatus* (De Geer) et étude de l'impact des bandes fleuries sur les auxiliaires de culture en champ de blé**

**Auteur :** Hulot, Laura

**Promoteur(s) :** Francis, Frédéric; Magain, Nicolas

**Faculté :** Faculté des Sciences

**Diplôme :** Master en biologie des organismes et écologie, à finalité approfondie

**Année académique :** 2019-2020

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/9902>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

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

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

---

**Université de Liège**

**Faculté des Sciences**

**Gembloux Agro-Bio Tech**

**Département Biologie, Ecologie et  
Evolution**

**Laboratoire d'Entomologie fonctionnelle et  
évolutive**

**Etude des effets du miellat et de son microbiote sur le  
comportement d'oviposition du syrpe *Episyrphus balteatus*  
(De Geer) et étude de l'impact des bandes fleuries sur les  
auxiliaires de culture en champ de blé**

---

**HULOT Laura**



Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Master en biologie des organismes et  
écologie, à finalité approfondie

**Option** : Ethologie fondamentale et appliquée à la gestion des populations

Promoteur : FRANCIS Frédéric

Co-promoteur : MAGAIN Nicolas

Encadrant : NOEL Grégoire

**Année académique 2019 - 2020**

# **Etude des effets du miellat et de son microbiote sur le comportement d'oviposition du syrphe *Episyrphus balteatus* (De Geer) et étude de l'impact des bandes fleuries sur les auxiliaires de culture en champ de blé**

Hulot Laura - Année 2020

Gembloux Agro-Bio Tech, Laboratoire d'Entomologie fonctionnelle et évolutive

Promoteur : Francis F. ; Co-promoteur : Magain N. ; Encadrant : Noël G.

## **Résumé :**

Les insectes prédateurs permettent de réguler les populations de ravageurs dans les cultures. Parmi ces insectes, les syrphes jouent un rôle important dans l'élimination des pucerons. L'installation de bandes fleuries sous forme de cultures intercalaires semble être un moyen efficace pour attirer les ennemis naturels des insectes nuisibles. Dans un premier temps, le comportement d'oviposition des syrphes *Episyrphus balteatus* a été étudié en tunnel de vol en présence de différents traitements (miellat d'*Acyrtosiphon pisum*, miellat d'*Aphis fabae*, solution filtrée de bactéries *Staphylococcus sciuri* et mélange des composés chimiques 3-méthyl-2-buténal et acide 3-diméthyl- 3,3 acrylique). Une application du mélange de composés chimiques a également été réalisée sur des parcelles expérimentales de cameline (*Camelina sativa*) et de sarrasin (*Fagopyrum esculentum*) semées en champ de blé à Gembloux afin d'évaluer l'abondance de syrphes attirées par cette solution. Les résultats n'ont pas montré de différence significative avec les témoins négatifs ni en laboratoire, ni sur le terrain en ce qui concerne à la fois la solution de bactéries filtrée et les composés d'intérêts. En revanche, la ponte des syrphes *E. balteatus* semble induite par les deux types de miellats testés. Dans un second temps, une évaluation de la diversité en syrphes a été réalisée sur les mêmes bandes expérimentales semées en champ de blé. Les insectes ont été capturés à l'aide de pièges colorés et de filets. Une diversité semblable a été constatée dans les bandes de cameline et de sarrasin avec une légère supériorité pour le sarrasin. L'installation de bandes fleuries en culture intercalaire est donc favorable à l'attraction de syrphes de divers genres et espèces. En revanche, les produits appliqués n'ont pas pu augmenter cette abondance d'ennemis naturels.

**Mots-clés :** bandes fleuries; auxiliaires de culture; ravageurs; miellat; *Staphylococcus sciuri*; *Episyrphus balteatus*; *Acyrtosiphon pisum*; *Aphis fabae*.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon promoteur, le Professeur Frédéric Francis, de m'avoir permis de réaliser mon mémoire au sein du laboratoire d'Entomologie fonctionnelle et évolutive et de m'avoir guidé dans la réalisation de celui-ci. Merci à Nicolas Magain d'avoir accepté d'être mon co-promoteur, d'avoir pris de mes nouvelles et d'avoir répondu à mes questions durant l'année.

Merci à mon encadrant, Grégoire Noël, pour ses conseils, son soutien, sa disponibilité et ses relectures de mon travail.

Merci à toute l'équipe du laboratoire pour leur accueil et notamment à Frédéric Dressen qui s'est occupé des élevages, à Didier Conoir, Nicolas Poncelet, Jeannine Bortels, Antoine Boullis pour leur aide. Merci aussi à Clément Martin pour ses conseils en statistiques.

Merci au Professeur Frank Delvigne pour la production de la bactérie *S. sciuri*. Merci aussi au Directeur de la Ferme expérimentale de Gembloux Agro-Bio Tech, Bernard Bodson, d'avoir permis et coordonné les semis des bandes fleuries indispensables à la réalisation de mon travail.

Un grand merci à Lucas, avec qui j'ai passé des journées entières de travail. Merci de m'avoir guidé lors de mes premiers jours à Gembloux. Merci pour tout ce que tu m'as appris, pour le maintien des élevages et des plantes. Merci de nous avoir conduit sur le terrain et merci pour tout ce que tu as pris en charge durant l'année. Sans toi je n'aurais pas pu récolter toutes les données qu'on a obtenues. Merci pour ton aide pour l'identification des syrphes et pour toutes les heures que tu as passé à épingler durant les derniers jours de galères qu'il nous restait. Merci aussi à ta copine, Maïké, qui nous a donné un coup de main pour une partie de nos analyses statistiques.

Merci également à tous les autres mémorants, Grégoire, Lallie, Lisa, Jérémie, Elise et Patient, pour leur soutien et pour les quelques bons moments passés ensemble.

Merci à Julie qui m'a appris à épingler et à rendre les bourdons "fluffy", mais aussi pour sa bonne humeur. Merci aussi à Alexandra pour ses conseils.

Je tiens également à remercier mon copain Joaquim qui est toujours là pour moi peu importe mon humeur. Merci de m'avoir soutenue et d'avoir cru en moi durant toutes ces années passées à l'université. Merci de m'avoir toujours accompagnée et aidée dans les bons et les mauvais moments. Je ne te remercierai jamais assez pour tout ce que tu m'apportes.

Merci également à toute ma famille pour leur soutien et leurs encouragements. Merci à mes parents de m'avoir permis de réaliser ces études.

Finalement, merci à mes amis qui sont toujours là malgré les distances et les circonstances de cette année particulière.

## TABLE DES MATIERES

<b>1) Introduction générale</b> .....	<b>10</b>
<b>2) Contrôle biologique : Les bandes fleuries</b> .....	<b>11</b>
<b>3) Trois niveaux trophiques : Plantes - phytophages - prédateurs/parasitoïdes</b> .....	<b>13</b>
3.1) Premier niveau : Plantes dicotylédones .....	15
3.1.1) <i>Camelina sativa</i> (L.) Crantz, 1762 .....	15
3.1.2) <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench, 1794 .....	16
3.1.3) <i>Vicia faba</i> L., 1753 ( <i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i> Beck) .....	17
3.2) Deuxième niveau : Pucerons .....	19
3.2.1) Taxonomie .....	19
3.2.2) Morphologie .....	20
3.2.3) Reproduction et cycle de vie .....	20
3.2.4) Régime alimentaire .....	22
3.2.5) Statut de ravageur .....	22
3.2.6) Prédateurs et parasitoïdes .....	23
3.2.7) Contrôle .....	23
3.2.8) Espèces étudiées .....	25
3.2.8.1) <i>Acyrtosiphon pisum</i> (Harris, 1778) .....	25
3.2.8.2) <i>Aphis fabae</i> Scop., 1763 .....	25
3.3) Miellat des pucerons .....	25
3.4) Troisième niveau : Prédateurs <i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer, 1776) (Diptère : Syrphidae) .....	27
3.4.1) Généralités .....	27
3.4.2) Cycle de vie .....	28
3.4.3) Stimuli de ponte .....	28
<b>4) Objectifs</b> .....	<b>29</b>
<b>5) Matériel et méthodes</b> .....	<b>30</b>
5.1) Tests comportementaux en laboratoire .....	30
5.1.1) Préparation et gestion du matériel et des élevages .....	30
5.1.1.1) Gestion des plantes .....	30
5.1.1.2) Gestion des élevages .....	30

5.1.1.2.1) Elevage de pucerons.....	30
5.1.1.2.1) Elevage de syrphes .....	31
5.1.1.3) Récolte de miellat.....	31
5.1.1.2) Culture de bactéries <i>Staphylococcus sciuri</i> .....	32
5.1.2) Protocoles expérimentaux.....	32
5.1.2.1) Tests de choix .....	32
5.1.2.2) Tests de durée de vie du miellat .....	34
5.1.3) Analyses statistiques.....	35
5.2) Applications sur le terrain .....	36
5.2.1) Description du site d'étude .....	36
5.2.2) Pièges.....	37
5.2.3) Captures au filet.....	38
5.2.4) Observations florales après application de produits.....	38
5.2.5) Analyses statistiques.....	39
<b>6) Résultats.....</b>	<b>41</b>
6.1) Impacts de différents traitements sur la ponte d' <i>E. balteatus</i> en tunnel de vol .....	41
6.1.1) Effets des pucerons .....	41
6.1.2) Effets des différents traitements appliqués sur trois espèces de plantes .....	41
6.1.3) Effets de deux miellats vieilles d' <i>A. pisum</i> .....	45
6.2) Impacts de l'application de composés chimiques sur les populations de syrphes visitant les bandes fleuries .....	47
6.3) Impacts des bandes de cameline et de sarrasin sur la diversité en syrphes .....	49
6.3.1) Evaluation de la diversité alpha.....	49
6.3.2) Evaluation de la diversité beta .....	50
<b>7) Discussion.....</b>	<b>52</b>
7.1) Influence de différents traitements sur la ponte d' <i>E. balteatus</i> en tunnel de vol.....	52
7.1.1) Application de miellats, bactéries et composés chimiques sur différentes plantes .....	52
7.1.2) Influence du vieillissement du miellat sur la ponte du syrphe <i>E. balteatus</i> .....	54
7.1.3) Influence de différents traitements sur le comportement d'oviposition du syrphe <i>E. balteatus</i> .....	54
7.1.4) Perspectives et améliorations à apporter dans les expériences en tunnel de vol.	55

7.2) Effet de composés chimiques sur l'attractivité des syrphes en bandes fleuries .....	56
7.3) Analyse de la diversité de syrphes dans les bandes fleuries en champ de blé .....	57
7.3.1) Diversité et traits fonctionnels des syrphes .....	57
7.3.2) Etude de la portée de l'attractivité des bandes fleuries dans le champ .....	58
7.3.3) Evaluation de la diversité à l'intérieur des bandes fleuries.....	58
<b>8) Conclusion .....</b>	<b>59</b>
<b>9) Références bibliographiques .....</b>	<b>61</b>
<b>10) Annexes.....</b>	<b>73</b>

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Exemple de relations tritrophiques entre le Diptère <i>Episyrphus balteatus</i> , les pucerons <i>Acyrtosiphon pisum</i> et <i>Aphis fabae</i> et les plantes dicotylédones <i>Vicia faba</i> , <i>Camelina sativa</i> et <i>Fagopyrum esculentum</i> (Schéma réalisé avec BioRender). .....	14
Figure 2 : Illustration de <i>Camelina sativa</i> (Masclef, 1891).....	15
Figure 3 : Illustration de <i>Fagopyrum esculentum</i> (Masclef, 1891) .....	16
Figure 4 : Illustration de <i>Vicia faba</i> var. <i>minor</i> (Tela Botanica).....	17
Figure 5 : Morphologie des pucerons - A gauche : <i>Acyrtosiphon pisum</i> adulte aptère et quelques juvéniles (Shipher Wu et Gee-way Lin, National Taiwan University). A droite : morphologie générale schématisée d'un puceron adulte ailé (Godin & Boivin, 2002) .....	20
Figure 6 : Cycle de vie d'un puceron holocyclique monoïque (Passion entomologie, 2019) ..	21
Figure 7 : Photos de syrphes ( <i>E. balteatus</i> ) - A : Adulte femelle en train de pondre. B : Larve. C : Puce. ....	27
Figure 8 : Cycle de vie d' <i>Episyrphus balteatus</i> à 17 °C. Source : J. Poidatz (Koppert).....	28
Figure 9 : <i>V. faba</i> infesté de <i>A. fabae</i> placée sur le dispositif de récolte de miellat.....	32
Figure 10 : Dispositif expérimental mis en place pour la réalisation des tests de choix en tunnel de vol .....	33
Figure 11 : Dispositif expérimental - Gembloux, route d'Eghezée (50°29'57.2"N 4°44'13.2"E). Source : G. Delneuvillie, Géoportail de la Wallonie .....	36
Figure 12 : Disposition des Pantraps à l'intérieur et à l'extérieur des bandes fleuries semées dans un champ de blé .....	37
Figure 13 : Dispositif expérimental appliqué à une bande de <i>F. esculentum</i> . Le "Contrôle +" correspondant à la parcelle d'1 m <sup>2</sup> sur laquelle est pulvérisée une solution, le "Contrôle -" correspondant à la parcelle sur laquelle rien n'est déposé.....	39
Figure 14 : Effet de différents traitements sur le comportement des syrphes <i>E. balteatus</i> en tunnel de vol. A à D : Pourcentage d'individus répondants ou non à la présence de miellat d' <i>A. fabae</i> (A, E, I), de miellat d' <i>A. pisum</i> (B, F), d'une solution de bactéries <i>S. sciuri</i> (C, G, J) et du mélange de composés chimiques (D, H, K) appliqué sur la féverole (A à D), sur le pois (E à H) et sur le sarrasin (I à K).....	43
Figure 15 : Effet du miellat d' <i>A. pisum</i> de 72h (en rouge), du miellat d' <i>A. pisum</i> de 96h (en vert) et d'un témoin négatif (en bleu) sur la ponte d' <i>E. balteatus</i> en tunnel de vol. NT = boîte de Petri non traitée .....	46



Figure 16 : Effet de deux traitements sur le comportement des syrphes <i>E. balteatus</i> en tunnel de vol. A gauche : Pourcentage d'individus répondants ou non à la présence de miellat d' <i>A. pisum</i> de 72h (à gauche) et de 96h (à droite) .....	47
Figure 17 : Effet d'un mélange de composés chimiques appliqué dans des bandes fleuries de Cameline (à gauche) et de sarrasin (à droite) sur le nombre de syrphes effectuant des visites florales. NT = bandes non traitées.....	48
Figure 18 : Représentation graphique de la richesse spécifique (A), de l'abondance (B), des indices de Simpson (C) et de Shannon (D) au sein de deux types de bandes fleuries (Cameline à gauche et sarrasin à droite) semées dans un champ de froment à Gembloux en 2020 .....	50
Figure 19 : Représentation graphique (PCoA) des espèces et des genres de syrphes retrouvés dans les Pantraps à l'intérieur et à différentes distances des bandes fleuries de cameline (C) et de sarrasin (S) à Gembloux en 2020. S1 = semaine 1; S2 = semaine 2; S3 = semaine 3; D0 = 0 mètres; D3 = 3 mètres; D12 = 12 mètres; D50 = 50 mètres. 51	51
Figure 20 : Représentation graphique (PCoA) des espèces et des genres de syrphes retrouvés dans les Pantraps à l'intérieur (D0, en noir) et à 3 (D3, en rouge), 12 (D12, en vert) et 50 mètres (D50, en bleu) des bandes fleuries de cameline (C) et de sarrasin (S) à Gembloux en 2020. S1 = semaine 1; S2 = semaine 2; S3 = semaine 3 .....	51
Figure 21 : Représentations graphiques (PCoA) des espèces et des genres de syrphes capturés au filet (F) au sein des bandes fleuries de cameline (C) et de sarrasin (S) à Gembloux en 2020. S1 = semaine 1; S2 = semaine 2; S3 = semaine 3 .....	52
Figure 22 : Récapitulatif des produits appliqués sur chaque espèce de plantes semée en serre pour les expériences menées en tunnel de vol. ....	73
Figure 23 : Cartographie des cultures situées aux alentours du champ expérimental. Source : G. Delneuvillle, Géoportail de la Wallonie. ....	73
Figure 24 : Photos des pièges colorés placés dans les bandes de sarrasin Source : G. Delneuvillle.....	75
Figure 25 : Effet de plusieurs traitements appliqués sur la féverole (A), le pois (B) et le sarrasin (C) sur la ponte d' <i>E. balteatus</i> en tunnel de vol. NT = boîte de Petri non traitée.....	76
Figure 26 : Rangs d'abondance sur chacune des cultures à Gembloux en 2020 - A : Rangs d'abondance sur l'ensemble des deux cultures. B : Rangs d'abondance sur les bandes de cameline. C : Rangs d'abondance sur les bandes de sarrasin. ....	80

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description des comportements réalisés par les syrphes <i>E. balteatus</i> lors des tests de choix dans le tunnel de vol.....	34
Tableau 2 : P-valeurs obtenues pour les facteurs fixes calculées à partir du test F basé sur l'approximation de Satterthwaite (fonction "step", library "lmerTest") après modélisation (LMM) pour les différents traitements et espèces de plantes. ....	42
Tableau 3 : P-valeurs obtenues pour les facteurs fixes calculées à partir du test F basé sur l'approximation de Satterthwaite (fonction "step", library "lmerTest") après modélisation (LMM) pour les différents traitements (miellat d' <i>A. pisum</i> de 72h et 96h). ....	46
Tableau 4 : P-valeurs obtenues pour les facteurs fixes calculées à partir du test F basé sur l'approximation de Satterthwaite et pour les facteurs aléatoires calculées via des tests de rapport de vraisemblance (Chi2) (fonction "step", library "lmerTest") après modélisation (LMM) pour les différents traitements (Composés ou NT) dans les deux types de bandes fleuries (cameline ou sarrasin).....	48
Tableau 5 : Composition des bandes fleuries - Les poids des graines semées correspondent aux doses recommandées.....	74
Tableau 6 : Base de données comportant le nombre de spécimens récolté à l'aide des Pantraps par espèce ou genre dans les différentes parcelles (cameline ou sarrasin) à Gembloux en 2020 .....	77
Tableau 7 : Base de données comportant le nombre de spécimens récolté à l'aide des filets par espèce ou genre dans les différentes parcelles (cameline ou sarrasin) à Gembloux en 2020 .....	79
Tableau 8 : Abondance et proportion des différentes espèces de syrphes retrouvés dans les bandes de cameline .....	81
Tableau 9 : Abondance et proportion des différentes espèces de syrphes retrouvés dans les bandes de sarrasin .....	82

## 1) Introduction générale

Depuis les années 50, l'arrivée des engrais et des produits phytosanitaires ainsi que l'utilisation des machines agricoles ont augmenté les rendements de l'agriculture et celle-ci s'est intensifiée dans le monde entier (Matson, Parton, Power, & Swift, 1997). Les nouveautés de cette époque ont également entraîné la fragmentation des habitats semi-naturels et la simplification des paysages et cela a engendré une perte de biodiversité importante (Geiger et al., 2010). Cette biodiversité joue pourtant un rôle primordial car elle offre toute une série de services écosystémiques. Parmi eux, se trouve notamment la production de nourriture, la contribution au recyclage des nutriments, la régulation des microclimats ainsi que celle des ravageurs de culture par leurs ennemis naturels (Altieri, 1999). Lors d'une comparaison entre deux paysages réalisée par Rusch *et al.* (2016), une diminution d'efficacité du contrôle biologique sur les ravageurs de 46% a été constatée dans des paysages simplifiés comparés à des plus complexes. Une des premières étapes pour la lutte biologique est donc de préserver et de restaurer des milieux semi-naturels.

Il a aussi été démontré que les insecticides ont un impact négatif sur la santé des humains mais également sur l'environnement. L'efficacité des auxiliaires de cultures, définis comme les organismes qui fournissent des services écosystémiques au niveau agricole (Joseph, Delattre, & Sarthou, 2017), est diminuée par ces pesticides. Par conséquent, du fait que les ennemis naturels des ravageurs de cultures ne soient plus suffisants pour réguler les populations de nuisibles, une plus grande quantité de produits phytosanitaires doit être utilisée (Devine & Furlong, 2007). Il est aussi à noter qu'au fur et à mesure des années, des résistances de la part des ravageurs sont de plus en plus constatées. Le système se transforme alors en un cercle vicieux et cette course à l'armement n'est pas viable à long terme (van Emden & Harrington, 2007). Il est donc nécessaire d'essayer de trouver des méthodes alternatives pour lutter contre les insectes nuisibles tout en conservant la biodiversité.

Des mesures sont proposées à différentes échelles pour préserver cette biodiversité. Par exemple, des haies peuvent être plantées sur les bords des champs afin de diminuer l'érosion des sols ainsi que le ruissellement des eaux. Ces haies peuvent aussi servir d'abris pour de nombreux animaux. Parmi les autres mesures possibles, nous retrouvons les bandes fleuries en bord de champs ou à l'intérieur des champs, qu'on appelle alors cultures

intercalaires (Wratten, Gillespie, Decourtye, Mader, & Desneux, 2012; Uyttenbroeck, 2017). Dans plusieurs pays européens dont la Belgique, ces mesures sont prises en compte dans des programmes agro-environnementaux et sont appelées Mesures Agro-Environnementales (MAE). Elles ont pour but de protéger l'environnement, de conserver la biodiversité et de maintenir les paysages ruraux. Des aides financières sont attribuées aux agriculteurs qui s'investissent dans ces mesures (Servais, 2015).

## **2) Contrôle biologique : Les bandes fleuries**

Le biocontrôle est défini comme l'utilisation d'ennemis ou de substances naturels pour lutter contre les organismes nuisibles qui causent des dégâts aux cultures (Busson, Chetty, Robin, & Aubertot, 2016). Il existe trois types de contrôles biologiques qui utilisent les insectes. Lorsqu'il est question de lutte biologique classique, des auxiliaires exogènes au milieu y sont introduits. Ensuite, la lutte biologique par augmentation consiste à élever en laboratoire des ennemis naturels déjà présents sur le site à traiter afin de les relâcher en masse. Enfin, le troisième type de biocontrôle est la lutte biologique par conservation qui a pour but de maintenir les prédateurs déjà installés grâce à des aménagements qui leur sont favorables (Heimpel et al. *in* Vauzelle, 2018; DeBach & Rosen, 1991).

La lutte biologique par conservation peut se faire via deux types d'approches différentes : (1) la régulation *bottom up* où l'agriculteur rend ses cultures plus résistantes et moins facilement localisables par les nuisibles grâce à des choix adéquats de variétés, de calendrier, de travail du sol, etc. ; (2) la régulation *top down* qui consiste à fournir aux prédateurs et parasitoïdes naturels un habitat favorable à leur survie et à leur reproduction (Gratton & Denno, 2003; Vauzelle, 2018). Dans cette étude, seule l'approche *top down* sera abordée.

Les bandes fleuries font partie des Mesures Agro-Environnementales et plus particulièrement des méthodes de lutte biologique de conservation *top down*. Elles apportent aux auxiliaires de culture des aliments comme du nectar ou du pollen aux pollinisateurs, ou encore des proies ou des hôtes aux prédateurs et aux parasitoïdes. Elles peuvent également servir d'abris et permettent aux insectes de pondre et de s'y réfugier durant l'hiver ou lorsque ceux-ci se trouvent dans des conditions défavorables. Elles fournissent aussi d'autres avantages comme la diminution de l'érosion du sol, la réduction

des mauvaises herbes ou encore l'amélioration du paysage d'un point de vue esthétique (Wratten, Gillespie, Decourtye, Mader, & Desneux, 2012).

Pour que ces bandes fleuries soient efficaces, il faut que les insectes auxiliaires soient attirés par les fleurs et ceci à la bonne période de l'année. Il faut ensuite qu'ils y restent et qu'ils aillent dans les cultures adjacentes. Pour être utiles à l'élimination des pucerons, les syrphes adultes, par exemple, ont besoin de pollen et de nectar et doivent pondre sur les plantes cultivées au début de l'infestation par les pucerons afin que les larves puissent s'en nourrir. Ce n'est que dans ces conditions que les larves prédatrices peuvent être efficaces pour la lutte contre les ravageurs (F. Francis, Colignon, & Haubruge, 2003). Les insectes sont principalement attirés par des signaux visuels et olfactifs. Il est nécessaire de connaître leurs préférences mais aussi d'autres facteurs tels que la quantité, l'accessibilité des ressources ainsi que le moment où elles sont disponibles pour créer des bandes fleuries efficaces. La qualité du pollen est également importante à prendre en compte (Tschumi et al., 2016). Elle est estimée en fonction de sa composition en nutriments qui permettent le bon développement des insectes qui s'en nourrissent (Moerman et al., 2015; Roger et al., 2017; Vanderplanck, Leroy, Wathelet, Wattiez, & Michez, 2014). Ainsi ce sont les traits chimiques, architecturaux et phénologiques des plantes qui sont importants à considérer dans leur relation avec les insectes (Hatt et al., 2015). Par exemple, au niveau chimique, les composés organiques volatils émis par les plantes lors d'une attaque par un insecte phytophage vont attirer certains prédateurs naturels (F. Francis, Lognay, & Haubruge, 2004). La couleur des fleurs (Cowgill *in* Hatt et al., 2015), la largeur et la profondeur des corolles (Patt, Hamilton, & Lashomb, 1997) ou encore la hauteur des plantes (Brose, 2003) sont des exemples de traits architecturaux qui jouent des rôles majeurs dans l'attractivité des insectes. Enfin, en ce qui concerne les traits phénologiques, un des meilleurs exemples est celui de la période de floraison. En effet, celle-ci est directement reliée à la disponibilité en pollen et nectar dont les insectes pollinisateurs ont besoin (Hatt et al., 2015).

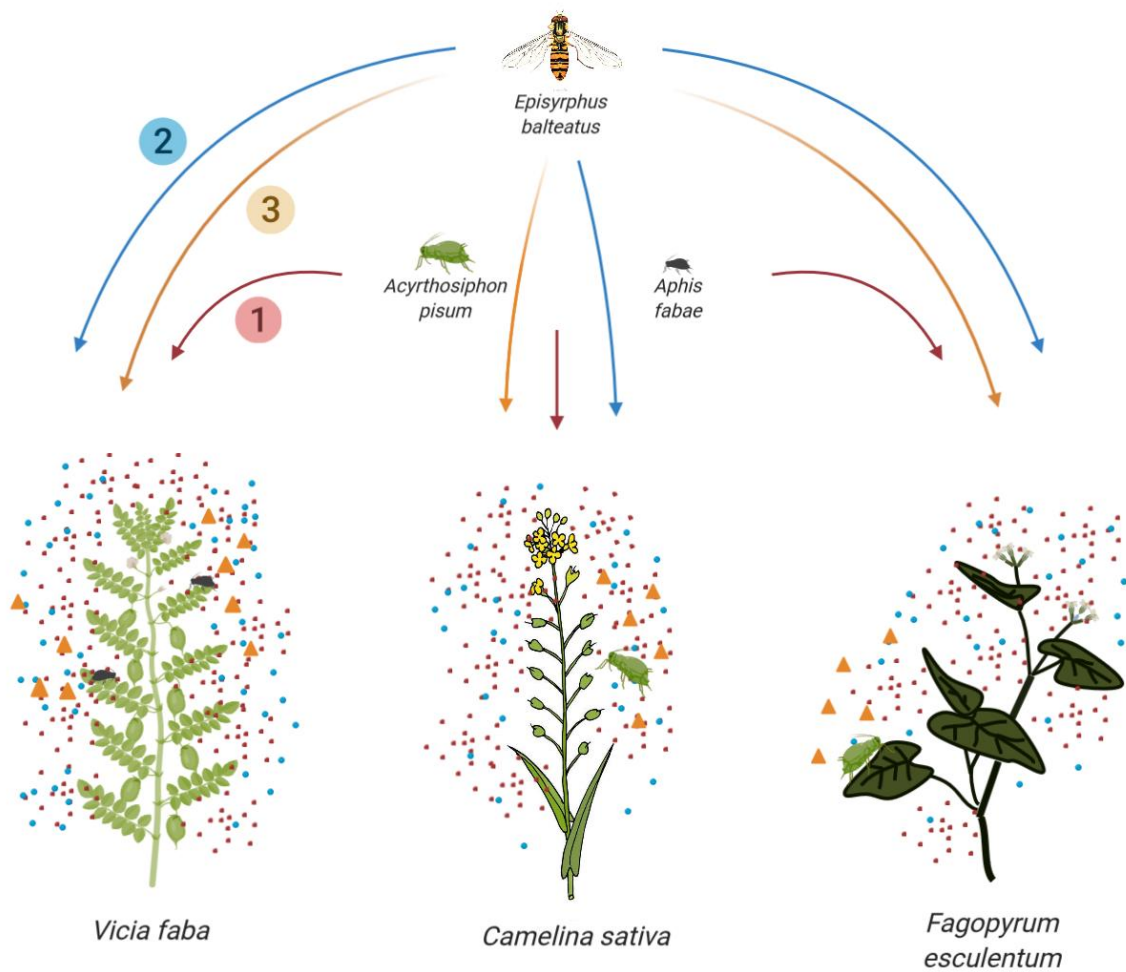
Des études sont réalisées soit sur des bandes monospécifiques (Carrié, George, & Wäckers, 2012), soit sur des mélanges composés de plusieurs espèces de plantes sauvages (e.g. Denys & Tschardtke, 2002). Le but de ces études est de mesurer l'impact de ces aménagements sur la diversité d'insectes dans les milieux agricoles et les effets de ces derniers sur les ravageurs de cultures. Il a été démontré à plusieurs reprises qu'une grande

diversité d'insectes est retrouvée dans ces bandes fleuries comparé à ce qui est recensé dans les cultures adjacentes (Denys & Tscharrntke, 2002; Haaland, Naisbit, & Bersier, 2011; Pfiffner & Wyss, 2004).

### **3) Trois niveaux trophiques : Plantes-phytophages-prédateurs/parasitoïdes**

Il existe des relations complexes entre les différents êtres vivants qui sont appelées relations trophiques. La prédation, la phytophagie ou encore le parasitisme en font partie. En agriculture, les relations tritrophiques entre les plantes, les phytophages et les prédateurs ou les parasitoïdes sont souvent observées (Fig 1). Chaque niveau de ces chaînes trophiques peut comporter plusieurs insectes appartenant à différentes familles. Ces niveaux peuvent ainsi également être appelés guildes ou communautés (Vauzelle, 2018).

Les plantes, en plus de leur barrière physique, possèdent des moyens chimiques pour se défendre appelés métabolites secondaires. Les molécules toxiques peuvent être regroupées en plusieurs classes de substances secondaires comme, par exemple, les alcaloïdes, les glucosinolates, les iridoïdes, les isoflavonoïdes, les quinones, les saponines, etc. Les insectes spécialistes appartenant au deuxième niveau trophique se sont adaptés et ont développé des techniques pour se servir de certaines de ces molécules normalement toxiques. Par exemple, les ravageurs spécialisés peuvent se servir des glucosinolates émis par les Brassicaceae lors d'une attaque par un phytophage pour localiser et reconnaître la plante-hôte (F. Francis, 2003). Les substances allélochimiques qui profitent à l'espèce qui les réceptionne sont les kairomones, celles qui profitent aux émetteurs du signal sont les allomones et enfin, celles qui sont bénéfiques aux deux sont les synomones (Leroy, 2006).



**Fig 1.** Exemple de relations tritrophiques entre le Diptère *Episyrphus balteatus*, les pucerons *Acyrthosiphon pisum* et *Aphis fabae* et les plantes dicotylédones *Vicia faba*, *Camelina sativa* et *Fagopyrum esculentum* (Schéma réalisé avec BioRender).

D'un point de vue pratique, c'est le troisième niveau trophique, c'est-à-dire les ennemis naturels, que les agriculteurs cherchent à attirer dans le but de conserver leurs cultures qui constituent le premier niveau.

### 3.1) Premier niveau : Plantes dicotylédones

#### 3.1.1) *Camelina sativa* (L.) Crantz, 1762

##### Description morphologique et phénologie



Pl. 36. *Camelina* cultivée. *Camelina sativa* Fries

**Fig 2.** Illustration de *Camelina sativa* (Masclef, 1891).

La cameline est une plante herbacée annuelle qui fait partie de la famille des Brassicaceae. Sa tige, de 30 à 120 centimètres, dressée, simple mais ramifiée en partie haute, et ses feuilles lancéolées sont jaunâtres (Fig 2). Les fleurs sont jaunes, symétriques, avec de longs pédicelles et s'organisent en une grappe fructifère. Les pétales sont au nombre de quatre et sont tubulés et non soudés. Les graines réniformes, longues d'environ deux millimètres, se trouvent dans des silicules oblongues et ventrues. La période de floraison se déroule durant les mois de juin et juillet (Coste, 1937a; A. Francis & Warwick, 2009). Lorsque le semis est réalisé au printemps sous un climat frais, la plante atteint la

maturité en 85 à 100 jours (M. Campbell, 2018).

##### Ecologie

Cette espèce est robuste et s'accommode facilement aux différents climats et types de sol. Malgré sa grande capacité d'adaptation à toute une série d'habitats, elle préfère les zones climatiques semi-arides froides et fournit moins de rendements lors de fortes sécheresses et lors de périodes de chaleurs élevées (M. Campbell, 2018; A. Francis & Warwick, 2009; Grady & Nleya, 2010; Plessers, McGregor, Carson, & Nakoneshny, 1962; Robinson, 1987). Elle est également résistante face à de nombreux insectes ravageurs et maladies attaquant généralement les crucifères (Agence Canadienne d'Inspection des Aliments, 2017).

Les fleurs de cameline s'autopollinisent mais de par leur couleur jaune et leur nectar, elles attirent aussi les insectes pollinisateurs comme les abeilles domestiques ou sauvages et les Diptères de la famille des Syrphidae, dont les visites améliorent la production de graines (Eberle et al., 2015; Groeneveld & Klein, 2014; Thom, Eberle, Forcella, Gesch, & Weyers, 2018).

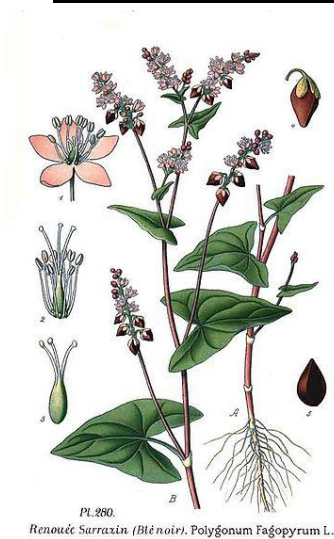


## Origine et utilisation

Probablement originaire de Russie, la cameline est cultivée depuis plusieurs milliers d'années (M. Campbell, 2018; Ghamkhar et al., 2010). Elle a été cultivée anciennement pour l'alimentation, le fourrage et pour son huile contenue dans ses graines. De nos jours, elle est exploitée dans de nombreux pays sous forme de culture commerciale. L'huile extraite peut être utilisée pour l'alimentation, les cosmétiques, les peintures et colorants ou encore pour le biocarburant (Campbell, 2018). La quantité et les caractéristiques de cette huile varient selon plusieurs critères comme les conditions de croissance et d'extraction mais aussi en fonction du génotype (Budin, Breene, & Putnam, 1995). Les graines peuvent contenir entre 22,2 et 49,6% d'huile (Campbell, 2018). En Belgique, la société *Land, Farm & Men* cultive de la cameline selon un mode d'agriculture biologique pour en faire de l'huile. Pour cause de manque de matériel, certaines étapes de la fabrication se réalisent tout de même à l'étranger ("Céréales alimentaires - Plan de développement stratégique 2019-2028," n.d.).

### **3.1.2) *Fagopyrum esculentum* Moench, 1794**

#### Description morphologique et phénologie



**Fig 3.** Illustration de *Fagopyrum esculentum* (Masclef, 1891).

Le sarrasin commun appartenant à la famille des Polygonaceae est une plante annuelle pouvant atteindre une hauteur de 30 à 80 centimètres. Ses tiges sont rougeâtres et ses feuilles, en forme de cœur (Fig 3). Ses petites fleurs blanches ou légèrement rosées n'atteignent que quelques millimètres et sont regroupées en grappes pour ensuite former des corymbes. Les fruits du sarrasin sont des akènes trigones, saillants et lisses et renferment une seule graine. La période de floraison s'étend généralement de juillet à septembre (Coste, 1937b).

#### Ecologie

Considéré comme une pseudo-céréale polyvalente, le sarrasin s'adapte facilement aux conditions défavorables et a la capacité de pousser sur des sols pauvres (Arendt & Zannini, 2013; Zhou et al., 2018). Cependant, le rendement est tout de même impacté par la température lors de la période de floraison. Le gel et les chaleurs excessives sont aussi défavorables à cette espèce (Cawoy, Ledent, Kinet, & Jacquemart, 2009). La pollinisation se fait principalement par les insectes et plus particulièrement par les

abeilles sauvages et domestiques, les bourdons, les guêpes, les Diptères mais aussi les Lépidoptères et les Hémiptères (Danel, 2020). Cette diversité de pollinisateurs peut être utile aux cultures. L'ajout de sarrasin comme culture de couverture pourrait aider à lutter contre les ravageurs et fournir plus de ressources aux pollinisateurs (J. W. Campbell, Irvin, Irvin, Stanley-Stahr, & Ellis, 2016). Pourtant, il existe certains inconvénients qui ralentissent la culture de sarrasin. En effet, les graines sont peu nombreuses par plant et n'arrivent pas à maturité toutes en même temps ce qui rend plus difficile l'estimation du moment idéal de récolte (Halbrech, Romedenne, & Ledent, 2005).

### Origine et utilisation

Originaire d'Asie et cultivé depuis plus de mille ans en Chine, le sarrasin est aujourd'hui produit principalement en Russie, en Ukraine et au Kazakhstan bien qu'il soit présent dans de nombreux pays du monde. Riches en protéines et en lysine, les graines sont exploitées pour nourrir les animaux et les humains. De la rutine, un flavonoïde possédant des propriétés pharmacologiques intéressantes, est également extraite des fleurs et des feuilles (Arendt & Zannini, 2013).

Durant ce dernier siècle, son auto-incompatibilité et sa faible réponse aux engrais ont amené le sarrasin à être de moins en moins cultivé (Arendt & Zannini, 2013). Cependant, depuis quelques années, il a de nouveau du succès dans l'agriculture biologique pour ses effets bénéfiques sur la santé (Li & Howard Zhang, 2001). En Belgique, malgré une production réduite, le sarrasin est tout de même cultivé par plusieurs agriculteurs en Wallonie. C'est le cas par exemple de la coopérative agricole AGRIBIO à Havelange ou encore de la Ferme de la Roussellerie à Herseau ("Céréales alimentaires - Plan de développement stratégique 2019-2028," n.d.).



### **3.1.3) *Vicia faba* L., 1753 (*Vicia faba* var. *minor* Beck)**

#### Description morphologique et phénologie

*Vicia faba* L. est une légumineuse annuelle appartenant à la famille des Fabaceae pouvant atteindre une hauteur de 30 à 80 centimètres (Coste, 1937a; Karkanis et al., 2018). Les feuilles ovales, succulentes, alternes et pennées sont subdivisées en une à six folioles de grandes tailles (Fig 4). Les fleurs sont généralement

**Fig 4.** Illustration de *Vicia faba* blanches avec des pétales latéraux de var. *minor* (Tela Botanica).

couleur noire. Les fruits sont des gousses charnues et ridées d'une longueur de 10 à 20 centimètres (Coste, 1937a; Karkanis et al., 2018). Les graines de cette espèce sont oblongues à ovales et de tailles différentes selon la variété. Une particularité des légumineuses comme *Vicia faba* est le fait qu'elles possèdent des nodules fixateurs d'azote sur leurs racines (Karkanis et al., 2018). La floraison dépend du moment du semis mais elle se situe généralement durant les mois de mai à juillet dans nos régions (Coste, 1937a).

### Ecologie

Les tolérances aux stress abiotiques diffèrent selon les variétés de féverole. La plupart supporte mal la sécheresse et la chaleur (Girma & Haile, 2014; Katerji, Mastrorilli, Lahmer, Maalouf, & Oweis, 2011). Celles qui tolèrent ces facteurs de stress accumulent de la proline (Migdadi, El-Harty, Salamh, & Khan, 2016) et possèdent un système racinaire différent des autres variétés (Zhao, Sykacek, Bodner, & Rewald, 2018). En hiver, c'est une sensibilité au gel qui est constatée chez *Vicia faba* durant les stades de reproduction (Maqbool, Shafiq, & Lake, 2010). A nouveau, certains géotypes y résistent mieux que d'autres (Sallam, Martsch, & Moursi, 2015; Stoddard et al., 2006). Le facteur qui favorise le plus la floraison est le nombre de degrés jours avec un optimal à plus ou moins 830 à 1000 degrés jours au-dessus de 0°C. La plante a également besoin d'une vernalisation (Patrick & Stoddard, 2010). Enfin, cette espèce a tendance à mieux se développer dans un sol où le pH n'est pas trop faible avec une fixation d'azote par les *Rhizobium* qui est meilleure à des valeurs de pH comprises entre 6,5 et 9 (Jensen, Peoples, & Hauggaard-Nielsen, 2010). En effet, les *Rhizobium* sont des bactéries aérobies symbiotiques fixatrices d'azote qui permettent aux plantes de la famille des Fabaceae d'utiliser directement l'ammonium synthétisé à partir d'azote par ces bactéries (Giraud, 2007). Considérée comme une culture à faible intrant, *Vicia faba* ne demande pas nécessairement d'ajout d'engrais soufrés ou potassiques pour se cultiver. Elle n'a pas non plus besoin d'azote mais son application rend meilleur le processus de nodulation dans les racines (Karkanis et al., 2018). Comme la fixation d'azote demande beaucoup d'énergie, l'addition de phosphore est bénéfique et permet d'augmenter les rendements (Adak & Kibritci, 2016; Bolland, Siddique, & Brennan, 2000).

La féverole est capable de s'autoféconder mais une part importante de la pollinisation croisée se fait via les insectes comme les abeilles et les bourdons. Cette

pollinisation entomogame améliore les rendements (Bishop, Jones, Lukac, & Potts, 2016; Chen, 2009; Stoddard, 1991).

### Origine et utilisation

C'est probablement du Proche-Orient que provient la fève *Vicia faba* (Cubero *in* Karkanis et al., 2018) et il semblerait qu'une diversité génétique se soit créée en Chine (Zong et al., 2009, 2010). Cultivée depuis des milliers d'années, cette plante fait partie des premières espèces à avoir été domestiquées (Duc et al., 2015). Les trois variétés principales sont *V. faba* var. *major*, *V. faba* var. *equina* et *V. faba* var. *minor* qui ont des tailles de graines différentes (Cubero, 1974). De plus, elles peuvent aussi appartenir au type printanier ou hivernal selon leurs tolérances aux différents stress (Flores et al., 2013; Link, Balko, & Stoddard, 2010).

Très cultivée dans le monde, *Vicia faba* produit au total environ quatre millions de tonnes de grains en un an (Karkanis et al., 2018). Les graines fraîches ou sèches sont consommées par les humains mais également par les animaux. Elles sont bénéfiques pour la santé car elles contiennent de nombreux nutriments, des acides aminés et une teneur en protéines qui peut atteindre les 35% dans les graines sèches (Lizarazo et al., 2015; Longobardi, Sacco, Casiello, Ventrella, & Sacco, 2015; Neme, Bultosa, & Bussa, 2015).

Il existe en Belgique une asbl nommée CePiCOP (Centre Pilote Céréales Oléo-Protéagineux) qui encadre les agriculteurs au niveau des céréales, oléagineux et protéagineux. Parmi ses partenaires, l'asbl A.P.P.O cultive notamment de la féverole (Verhaeghe-Cartrysse, 2019). D'une manière générale, la production de protéagineux en Belgique a diminué ces dernières années. Plusieurs réformes au niveau européen peuvent expliquer ce phénomène mais également le rendement réduit de ces cultures, la compétition face aux céréales et les aléas climatiques ("Céréales alimentaires - Plan de développement stratégique 2019-2028," n.d.).

## **3.2) Deuxième niveau : Pucerons**

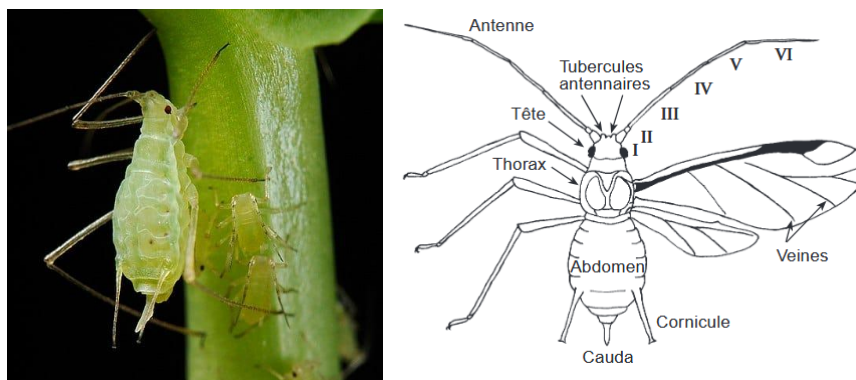
### **3.2.1) Taxonomie**

Avec une diversité de 4000 espèces répertoriées (Dixon *in* Leroy, 2006), les pucerons sont des insectes Hémiptères appartenant à la superfamille Aphidoidea composée des trois familles suivantes : Adelgidae, Phylloxeridae et Aphididae. La sous-familles Aphidinae,

séparée en deux tribus (Macrosiphini et Aphidini) et plus récente du point de vue évolutif, est importante au niveau agricole (Sorensen, 2009).

### 3.2.2) Morphologie

Le corps des pucerons est mou, ovale et leur taille varie entre deux et quatre millimètres (Fig 5) (Fraval, 2006). Il existe toute une série de morphologies différentes suivant les groupes. Ces insectes possèdent des cornicules au niveau de l'abdomen qui leur permettent d'émettre des phéromones, telles que le (E)- $\beta$ -farnésène qui sert de signal d'alarme en cas de danger, et des antennes pour capter celles-ci ainsi que d'autres odeurs (Pickett *et al.* ; Herrbach *in* Leroy, 2006). Ces cornicules produisent également des petites gouttes collantes qui servent à engluier les pièces buccales des prédateurs (Herrbach *in* Leroy, 2006; Vandermoten, Mescher, Francis, Haubruge, & Verheggen, 2012). Un appendice situé à l'extrémité de l'abdomen, appelé cauda, sert à diriger le miellat qui est émis par l'insecte (Sorensen, 2009; Vandermoten *et al.*, 2012). Les pucerons peuvent être ailés ou aptères (Schmidtberg & Vilcinskas, 2016). Ils possèdent aussi un rostre qui leur permet de se nourrir de la sève des plantes (Vilcinskas, 2016).

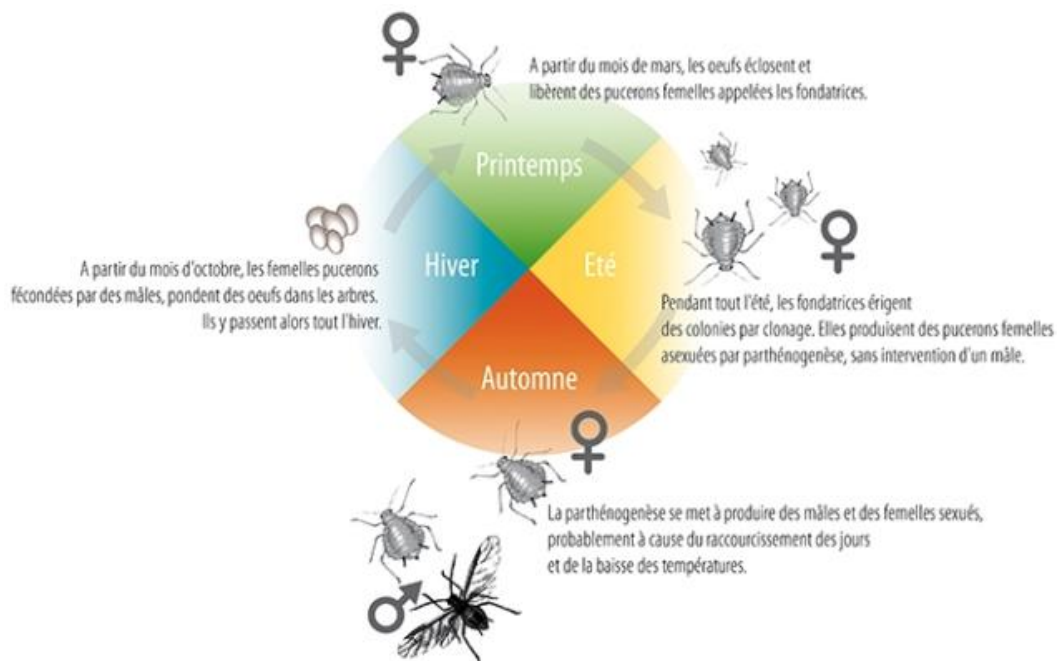


**Fig 5. Morphologie des pucerons** - **A gauche** : *Acyrtosiphon pisum* adulte aptère et quelques juvéniles (Shipper Wu et Gee-way Lin, National Taiwan University). **A droite** : morphologie générale schématisée d'un puceron adulte ailé (Godin & Boivin, 2002).

### 3.2.3) Reproduction et cycle de vie

Les cycles de vie des pucerons sont souvent complexes car il peut y avoir des successions de pucerons ailés ou aptères, sexués ou parthénogénétiques, vivipares ou ovipares, etc. Le cycle complet appelé holocyclique est le plus fréquent chez les Aphididae. Les individus réalisant ce cycle se multiplient à la fois sexuellement en plus de la parthénogénèse. Les pucerons qui se reproduisent uniquement de manière asexuée sont dit anholocycliques. Ces insectes peuvent aussi être monoïques, c'est-à-dire qu'une seule

espèce de plante hôte est exploitée, ou dioïques, avec l'utilisation de deux espèces hôtes (Sorensen, 2009). Souvent, les mâles sont moins nombreux que les femelles et les générations se succèdent rapidement. Les femelles nées en été par parthénogénèse peuvent enfermer en elles les embryons de leurs filles qui, elles, détiennent les embryons de leurs filles également. Ce qui fait que la femelle de départ a déjà dans son corps sa fille et sa petite-fille (Richards et al., 2010; Singh & Singh, 2016). Les nymphes qui sont nées par parthénogénèse muent plusieurs fois et terminent de se développer en une dizaine de jours. Les œufs qui ont été fécondés par des mâles donnent toujours naissance à des femelles (Singh & Singh, 2016). Des aptères sont uniquement formés lorsque la quantité de nutriments dans les plantes hôtes est suffisamment élevée, tandis que la production d'individus ailés se réalise lorsque le nombre d'individus sur l'hôte est trop élevé et commence à faire diminuer les taux de nutriments de celui-ci. Les pucerons peuvent ainsi se disperser et attaquer une autre plante (Sorensen, 2009). Le cycle de vie d'un puceron holocyclique monoïque en fonction des saisons est illustré à la figure 6.



**Fig 6.** Cycle de vie d'un puceron holocyclique monoïque (Hullé, 2019).

Le polyphénisme est rencontré chez les pucerons, c'est-à-dire qu'à partir du même génotype, plusieurs phénotypes se développent en fonction des conditions écologiques du milieu (Vilcinskas, 2016). Comme les autres Hémiptères, la métamorphose des pucerons est incomplète, c'est-à-dire que les juvéniles ressemblent aux adultes et il n'y a pas de stade

nymphal lors du passage au stade adulte. De ce fait, ils portent le nom d'insectes hétérométaboles (Gilles, 2014; Richards et al., 2010).

#### **3.2.4) Régime alimentaire**

Ces insectes phytophages se nourrissent de la sève des plantes grâce à leurs stylets situés dans leur rostre qu'ils insèrent entre les cellules végétales pour atteindre les vaisseaux du phloème. Les intestins des pucerons sont adaptés pour digérer la sève. En effet, ils possèdent des groupes de cellules spécialisées qui contiennent des bactéries symbiotiques afin de synthétiser les nutriments. Il existe une co-évolution avec ces bactéries qui sont transgénérationnelles (Sorensen, 2009).

La sève des plantes contient beaucoup de sucres simples, des acides aminés, organiques et inorganiques ainsi que des vitamines. Cependant, le mélange est déséquilibré en acides aminés et le puceron doit extraire de grands volumes de sève afin d'en avoir en quantité suffisante. Le puceron est aussi aidé par des bactéries intracellulaires (*Buchnera aphidicola*) qui lui procurent des acides aminés essentiels difficiles à trouver dans la sève du phloème (Richards et al., 2010). Le sucre en excès est excrété sous forme de gouttelettes de miellat.

#### **3.2.5) Statut de ravageur**

Les pucerons occupent un statut de ravageur car ils envahissent les cultures et causent de nombreux dégâts ce qui diminue les rendements. Cela peut se faire de différentes manières. En se nourrissant de sève, ils peuvent endommager les plantes et leur enlever leurs nutriments, ce qui provoque le flétrissement, le recourbement, la torsion des jeunes pousses, des malformations au niveau de l'inflorescence et des fruits, le jaunissement des feuilles ainsi qu'un retard de croissance et dans les cas extrêmes, la mort des végétaux. Le miellat des pucerons peut aussi être un substrat de croissance pour les champignons comme les moisissures qui affectent la photosynthèse des plantes et amènent à d'autres maladies fongiques. Certaines espèces de pucerons ont une salive qui est phytotoxique. Cette toxicité peut provoquer une déformation des feuilles ou encore l'apparition de galles qui servent de résidences aux pucerons. Les équilibres hormonaux des plantes peuvent aussi être perturbés lors de l'alimentation des pucerons car ces derniers affectent le métabolisme du végétal en le détournant de ses fonctions physiologiques lors de l'attaque. Enfin, le problème le plus important est sans doute la capacité des pucerons à être vecteurs de virus

(Sorensen, 2009; Singh & Singh, 2016). Par exemple, la transmission du virus Y de la pomme de terre (PVY) peut se faire via plus de 70 espèces de pucerons. D'autres virus importants sont le virus de la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV), le virus de l'enroulement de la pomme de terre (PLRV) ou encore le virus de la mosaïque du pois (PEMV) (Turpeau-Ait Ighil, Dedryver, Chaubet, & Hullé, 2011).

### **3.2.6) Prédateurs et parasitoïdes**

Il existe toute une série d'insectes prédateurs de pucerons qui sont regroupés dans les quatre ordres suivants : Coléoptères, Diptères, Hémiptères et Neuroptères. Parmi les Coléoptères, tant les larves que les adultes de la famille des Carabidae mais également de la famille des Coccinellidae sont les prédateurs les plus communs. En ce qui concerne les Diptères, ce sont les larves des familles de Chamaemyiidae, Syrphidae et Cecidomyiidae qui se servent des pucerons comme nourriture. Ensuite, les prédateurs faisant partie des Hémiptères appartiennent aux familles Anthocoridae et Geocoridae. Enfin, ce sont les larves de Chrysopidae qui jouent ce rôle dans l'ordre des Neuroptères (Wolfgang Völkl, Mackauer, Pell, & Brodeur, 2007).

Les parasitoïdes des pucerons font principalement partie de l'ordre des Hyménoptères, des familles Braconidae et Aphelinidae. Les autres sont des Diptères de la famille des Cecidomyiidae.

### **3.2.7) Contrôle**

Avec leur évolution, leur cycle de vie et leur polymorphisme complexes ainsi que leur grand taux de reproduction, les pucerons se sont bien adaptés et sont considérés comme des concurrents depuis que l'être humain pratique l'agriculture (Sorensen, 2009). Ce sont principalement les légumes, les légumineuses, les céréales et les oléagineux qui sont touchés par un grand nombre d'espèces de pucerons (Singh & Singh, 2016).

Tout d'abord, pour lutter contre ces ravageurs, il est important de planter des variétés de cultures qui y sont résistantes. Une surveillance peut être réalisée à l'aide de différents dispositifs comme des bacs jaunes, des pièges collants ou encore des pièges aériens qui permettent d'anticiper la gestion de ces insectes. Ensuite, plusieurs méthodes peuvent être utiles comme l'installation de plantes contenant du pollen et du nectar qui attirent les ennemis naturels ou la libération de prédateurs sur les champs. Il existe



également des régulateurs de croissances qui sont pulvérisés et qui bloquent ainsi les pucerons dans leur processus de maturation (Sorensen, 2009).

Les organophosphates, les carbamates, les pyréthroïdes, les néonicotinoïdes, la pymétozine et le trizamate sont tous des insecticides qui servent à réduire les populations d'insectes ravageurs mais il existe une toxicité faible à élevée selon la substance pour les autres insectes voire aussi pour les mammifères, les oiseaux et les poissons (Plapp Jr, 1981; Tomizawa & Casida, 2003; van Emden & Harrington, 2007). Une résistance à ces insecticides est de plus en plus constatée au fur et à mesure des années. De plus grandes quantités de pesticides sont alors utilisées mais ont des impacts importants sur l'environnement et sur l'être humain. Pourtant, les pucerons ravagent toujours les cultures. Il est impossible de contrer cette résistance en augmentant à chaque fois les doses de produits et il serait trop long et trop coûteux de développer de nouveaux insecticides avec de nouvelles molécules qui surpasseraient la résistance des nuisibles (Pimentel et al., 1992; van Emden & Harrington, 2007).

De ce fait, des solutions sont étudiées actuellement et la lutte biologique en fait partie pour diminuer les ravages que causent les pucerons dans les cultures. Dans les programmes de lutte biologique et intégrée, ce sont les ennemis naturels qui sont utilisés et plus souvent les parasitoïdes (van Emden & Harrington, 2007). Les coccinelles sont des prédateurs de pucerons importants malgré leur faible efficacité qui est due à la différence de taux de développement, de stratégie de ponte ou encore de mobilité et de dispersion entre les deux groupes (A. F. G. Dixon, Hemptinne, & Kindlmann, 1997; Hemptinne, Doumbia, & Gaspar, 1995; Iperti, 1999; Obrycki & Kring, 1998). Des relâchés d'œufs et de larves de chrysopes ont également été testés et ces insectes se sont avérés utiles, notamment grâce à leur capacité à résister à certains produits chimiques (Bartlett, 1964; Grafton-Cardwell & Hoy, 1985; Senior, McEwen, McEwen, New, & Whittington, 2001). Des larves de Diptères, comme les syrphes, sont aussi des prédateurs qui peuvent jouer un rôle dans le contrôle des ravageurs. Les études les concernant se sont surtout penchées sur des stratégies pour les attirer et les maintenir à proximité des champs cultivés en leur apportant un habitat et des ressources de pollen et de nectar qui servent à la survie des adultes (van Emden & Harrington, 2007).

### **3.2.8) Espèces étudiées**

#### **3.2.8.1) *Acyrtosiphon pisum* (Harris, 1778)**

*Acyrtosiphon pisum* (Harris), aussi appelé puceron du pois, fait partie de la famille des Aphididae. Le corps de ce puceron adulte mesure environ quatre millimètres et possède des appendices longs et fins. Ils peuvent être retrouvés partout dans le monde excepté dans les zones où les températures sont extrêmes. Cette espèce monoécique se multiplie par parthénogénèse au printemps et en automne. Sous les températures estivales, les individus sont matures en +/- 10 jours après être passés par quatre stades larvaires. Suite au raccourcissement des jours durant les mois d'octobre à novembre, les femelles donnent naissance à des mâles et des femelles sexués qui pondront des œufs. Ces œufs hivernent et éclosent au début du printemps. Le puceron du pois se nourrit principalement de Fabaceae et le plus souvent des plantes des tribus Genistae, Trifoliae, Fabeae et Hedysareae. Il peut aussi se retrouver sur des hôtes de la sous-famille des Cesalpinoideae ou encore sur des Brassicaceae. *A. pisum* est un ravageur de culture qui cause de nombreux dégâts et véhicule des virus. Cette espèce est constituée de populations sympatriques qui se nourrissent d'hôtes différents (Peccoud, 2009; van Emden & Harrington, 2007).

#### **3.2.8.2) *Aphis fabae* Scop., 1763**

Le puceron noir de la fève, *A. fabae*, fait aussi partie de la famille des Aphididae. Il mesure plus ou moins deux millimètres à l'âge adulte (Hanane, 2016) et son corps est noir ou vert olive foncé (Leclant, 1999). Les individus des plus vieilles colonies peuvent être recouverts d'une cire blanchâtre. Ce petit puceron est dioïque, il a donc des hôtes primaires comme *Euonymus europaeus*, *Viburnum opulus* ou *Philadelphus coronarius* et des hôtes secondaires appartenant à différentes familles de plante. Il est polyphage et considéré comme un ravageur de culture. Il est porteur de nombreux virus qu'il transporte de plante en plante en se déplaçant (Hanane, 2016; van Emden & Harrington, 2007).

### **3.3) Miellat des pucerons**

Le miellat est composé de nombreux sucres (Wäckers, 2000; Yao & Akimoto, 2001) et acides aminés mais également de minéraux, de vitamines, de lipides et d'acides organiques (Buckley, 1987; Way, 1963). Les principaux sucres proviennent du phloème des plantes mais le miellat contient aussi des sucres complexes qui sont synthétisés par le puceron (Wäckers, 2000). Les acides aminés les plus présents sont l'asparagine, la glutamine, le glutamate et la

sérine qui sont des acides aminés non-essentiels (Woodring, Wiedemann, Fischer, Hoffmann, & Völkl, 2004). Plusieurs facteurs font varier la composition du miellat mais aussi la quantité produite. Ainsi, l'espèce et l'âge des pucerons modifient les caractéristiques du miellat mais aussi la plante hôte (Hendrix, Wei, & Leggett, 1992; W. Völkl, Woodring, Fischer, Lorenz, & Hoffmann, 1999), les bactéries symbiotiques (Wilkinson, Ashford, Pritchard, & Douglas, 1997), les parasites (Cloutier, 1986), les prédateurs et parasitoïdes ou encore le mutualisme avec les fourmis (Yao & Akimoto, 2001, 2002). Les composantes du miellat changent et l'activité kairomonale de celui-ci, opérant seulement sur de courtes distances, diminue au cours du temps (Scholz & Poehling, 2000; Shaltiel & Ayal, 1998). Des composés volatils sont émis par le miellat et attirent les insectes prédateurs et parasitoïdes (Choi, Roitberg, Shani, Raworth, & Lee, 2004). Ces composés seraient issus de l'altération des sucres et acides aminés composants le miellat mais aussi des bactéries et champignons présents dans celui-ci (P. D. Leroy, 2011). Chez les syrphes femelles, les signaux olfactifs stimuleraient le comportement d'oviposition. Cependant, le contact avec le miellat serait nécessaire pour induire la ponte (P. D. Leroy, 2011). Les insectes attirés se nourrissent directement du miellat et/ou des pucerons.

Des chercheurs ont étudié le développement de miellat artificiel dans le cadre de la lutte biologique. Ces miellats contiennent du sucrose, des levures et de l'eau. Ils attirent avec succès les prédateurs. Pourtant, ils ne sont pas utilisés actuellement en lutte biologique car ils constituent un substrat idéal pour les maladies fongiques ou bactériennes qui affectent les plantes. De plus, la durée de vie de ce miellat est assez courte et l'application doit être répétée plusieurs fois. Il y a également un risque d'attirer d'autres insectes nuisibles qui endommageraient encore plus les cultures (Leroy, 2011).

Des études sur les sémiochimiques issus du miellat sont en cours afin de trouver une solution plus efficace que la pulvérisation de miellat artificiel. En effet, si des sémiochimiques efficaces pour attirer les auxiliaires sont synthétisés, ils pourraient être placés dans des diffuseurs en plein champ et cela permettrait d'éviter tous les problèmes liés au miellat lui-même mentionnés plus tôt (Leroy, 2011).

La bactérie *Staphylococcus sciuri* est présente dans le miellat du puceron *Acyrtosiphon pisum* (Harris) et serait la source de plusieurs composés volatils. Parmi ceux-ci, Leroy et al. (2011) ont démontré que le 3-méthyl-2-buténal et l'acide 3-méthyl-2-

buténoïque induiraient la ponte chez le syrphe *Episyrphus balteatus* (De Geer). Une étude récente a confirmé l'efficacité de *S. sciuri* en montrant que l'application d'une suspension de bactéries vivantes sur un champ de pommes de terre diminuait de 28% le nombre de pucerons par rapport à des plantes non traitées. Par contre, dans cette même étude, la même opération menée avec un mixte des deux sémiocimiques (3-méthyl-2-buténal et acide 3-méthyl-2-buténoïque) n'a pas donné de résultats concluants (Alabi et al., 2014).

### 3.4) Troisième niveau : Prédateurs *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776) (Diptère : Syrphidae)

#### 3.4.1) Généralités

La famille des Syrphidae, appartenant à l'ordre des Diptères, compte environ 6000 espèces (P. D. Leroy, 2006). *Episyrphus balteatus* fait partie de la sous-famille Syrphinae et les adultes, mesurant entre sept et treize millimètres, ressemblent morphologiquement aux Hyménoptères (Fig 7). En effet, ils imitent les motifs colorés des abeilles afin d'éviter la prédation. Cette stratégie est appelée mimétisme batésien (Figueiredo Caetano, 2019; P. D. Leroy, 2006). Les larves sont carnivores alors que les adultes sont des pollinisateurs qui se nourrissent d'aliments floraux. Les femelles consomment plus de pollen que de nectar car elles en ont besoin pour le bon développement de leurs œufs. Par contre, les mâles consomment plus de nectar que de pollen car c'est une source d'énergie importante dont ils ont besoin pour se déplacer à la recherche de partenaires (Figueiredo Caetano, 2019). Les adultes peuvent également se nourrir du miellat des pucerons. *E. balteatus* est surtout connu pour son statut de prédateur aphidiphage au stade larvaire. Cet insecte peut consommer jusqu'à 100 espèces différentes de pucerons avec des variations d'efficacité (Figueiredo Caetano, 2019; Geetanjali Mishra, 2016; P. D. Leroy, 2006).



Fig 7. Photos de syrphes (*E. balteatus*) - A : Adulte femelle en train de pondre. B : Larve. C : Puce.

Les syrphes jouent un rôle majeur dans la régulation des populations de pucerons et sont considérés comme des agents de lutte biologique efficaces dans les cultures de céréales infestées (Geetanjali Mishra, 2016; Smith, Chaney, & Bensen, 2008; Winder, Hirst, Carter, Wratten, & Sopp, 1994).

### 3.4.2) Cycle de vie

Les œufs blanchâtres et oblongs des syrphes (Fig 7) éclosent généralement deux à trois jours après la ponte. Cette durée varie en fonction de la température et de l'humidité du milieu. Les trois stades larvaires ont, à nouveau, des durées variant entre trois et quatre jours en fonction des conditions de vie. La nymphe se développe ensuite dans la peau durcie de la larve qui prend la forme d'une goutte. Les adultes émergent ensuite après une à deux semaines (Fig 8). Ils s'accouplent en vol, mais pour pondre, les ovaires de la femelle doivent être matures et cette maturation nécessite du pollen. La femelle recherche donc d'abord un site pour se nourrir et puis seulement un site de ponte (Geetanjali Mishra, 2016; P. D. Leroy, 2006).

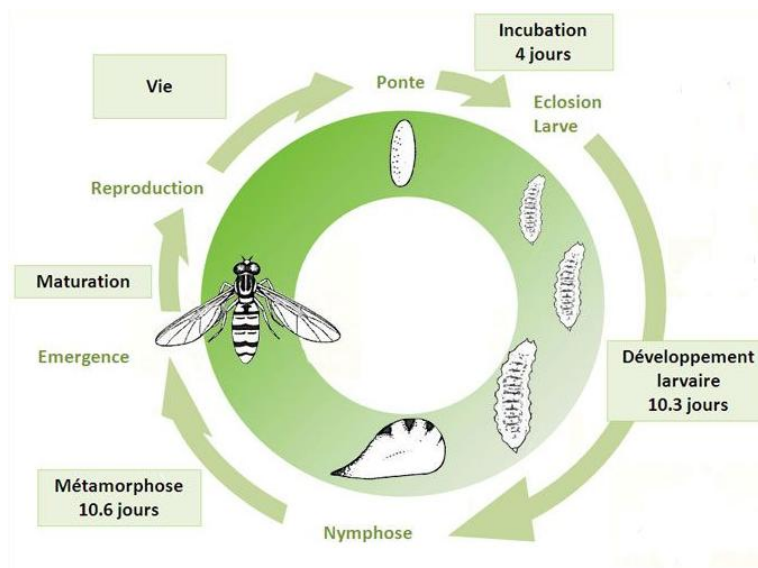


Fig 8. Cycle de vie d'*Episyrphus balteatus* à 17 °C. Source : J. Poidatz (Koppert).

### 3.4.3) Stimuli de ponte

Il est important pour les syrphes de déposer leurs œufs dans un endroit approprié pour la survie de leur descendance (Verheggen, Arnaud, Bartram, Gohy, & Haubruge, 2008). En effet, il existe des différences dans les durées de développement, le taux de survie et la masse des syrphes immatures en fonction des plantes hôtes (Hindayana, 2001; Vanhaelen, Gaspar, & Francis, 2002) et des espèces de pucerons présentes comme nourriture

(Geetanjali Mishra, 2016). Si aucun site ne convient, les femelles s'abstiennent de pondre et peuvent même résorber leurs œufs (Branquart & Hemptinne, 2000b; Sadeghi & Gilbert, 2000).

Elles repèrent un site de ponte sur base de plusieurs critères. Elles détectent les signaux optiques comme la taille, la couleur et la densité des plantes (Almohamad, Verheggen, & Haubruge, 2009; Geetanjali Mishra, 2016) mais aussi, quand elles se rapprochent d'une zone, elles tiennent compte de la taille de la colonie de pucerons (T. J. Dixon, 1959; Kan & Sasakawa, 1986). Elles utilisent également leurs sensilles pour évaluer les stimuli olfactifs et gustatifs qui proviennent des plantes, des pucerons ou encore de leur miellat (Almohamad et al., 2009; Geetanjali Mishra, 2016; Shonouda, Bombosch, Shalaby, & Osman, 1998b).

Il a été démontré que la quantité d'œufs pondus dépend de la densité de pucerons présents sur la plante, les grands nombres de proies étant préférés par rapport aux petits (Scholz & Poehling, 2000; Sutherland, Sullivan, & Poppy, 2001). Cependant, des études montrent que trop de pucerons peut amener à l'effet inverse, c'est-à-dire que les syrphes vont éviter de pondre près d'une colonie trop vieille où les individus ailés risqueraient de s'éparpiller, ce qui ne permettrait pas d'assurer une quantité de ressources suffisante pour le bon développement des larves (Kan & Sasakawa, 1986). L'espèce de pucerons présente est aussi importante dans le choix de la femelle d'*E. balteatus* (Sadeghi & Gilbert, 2000). Les substances volatiles du miellat influencent la décision du syrphe même en l'absence de pucerons (Geetanjali Mishra, 2016; P. D. Leroy, 2011). En vieillissant, les syrphes pondent de plus en plus loin des colonies de pucerons et finissent par déposer leurs œufs sur des plantes non infestées quand ils atteignent une durée de vie de plus de quatre semaines (P. D. Leroy, 2006).

#### **4) Objectifs**

Les objectifs de ce travail sont de déterminer l'impact de différents facteurs sur l'oviposition des syrphes (*Episyrphus balteatus* (De Geer)). Ces facteurs sont la présence sur quatre espèces de plantes différentes (*Camelina sativa* (L.) Crantz, *Fagopyrum esculentum* Moench, *Vicia faba* var. *minor* Beck et *Pisum sativum* L.) de miellat de deux espèces de pucerons (*Acyrtosiphon pisum* (Harris) et *Aphis fabae* Scop.), d'une solution filtrée de

bactéries *S. sciuri* et des composés chimiques 3-méthyl-2-buténal et acide 3-diméthyl- 3,3 acrylique.

Ensuite, il s'agit de déterminer si l'âge du miellat d'*A. pisum* influence la ponte de ces syrphes.

Enfin, ce travail a pour but de mesurer sur le terrain l'impact des bandes fleuries monoflorales composées de féverole, de cameline et de sarrasin sur les auxiliaires de cultures et plus particulièrement sur les syrphes (Diptère : Syrphidae). Pour cela, il s'agit d'identifier et de quantifier les espèces d'insectes présentes à l'intérieur et à différentes distances des bandes fleuries. Enfin, le dernier objectif est d'évaluer les effets de l'application du mélange de composés chimiques et de la solution filtrée de bactéries sur l'abondance des syrphes visitant les parcelles.

Les résultats de ces tests ont pour but de poursuivre les travaux réalisés par P. Leroy et plus particulièrement les expériences effectuées dans son brevet (Patent No. EP2608665 A2, 2012).

## **5) Matériel et méthodes**

### **5.1) Tests comportementaux en laboratoire**

#### **5.1.1) Préparation et gestion du matériel et des élevages**

##### **5.1.1.1) Gestion des plantes**

Une culture de *Vicia faba* (L.) a été effectuée afin d'avoir une quantité suffisante de plantes pour nourrir les pucerons. Les semis pour cette espèce ont été réalisés deux fois par semaine dans des bacs en plastique (32 x 22 x 6 cm). Les quatre autres espèces, *C. sativa*, *V. faba var minor*, *F. esculentum* et *Pisum sativum* ont été semées dans des pots individuels en serre une fois par semaine, dans le but de les utiliser pour effectuer différentes expériences en laboratoire. Cependant, seul la féverole, le sarrasin et le pois ont pu être testés car la cameline n'a pas bien poussé en serre.

##### **5.1.1.2) Gestion des élevages**

###### **5.1.1.2.1) Elevage de pucerons**

Les pucerons *A. pisum* et *A. fabae* provenaient d'un élevage déjà en cours au laboratoire d'Entomologie fonctionnelle et évolutive de la faculté Gembloux Agro-Bio Tech. Ils ont été élevés dans des cages (92 x 47,5 x 47,5 cm) et des pièces différentes, avec pour

nourriture des plants de fèves (*V. faba*). La température des pièces était de  $23 \pm 2$  °C, la photopériode de 16 : 8 heures et l'humidité relative de  $50 \pm 10\%$ . Lorsque les plants de fèves sains atteignaient une taille d'environ 5-6 cm, une nouvelle infestation était réalisée à l'aide d'une feuille remplie de pucerons provenant d'une autre plante infestée. Cette manipulation a été réalisée toutes les une à deux semaines selon l'évolution de l'élevage. Les pucerons se reproduisaient par parthénogénèse.

#### **5.1.1.2.2) Elevage de syrphes**

Des larves de syrphes (*E. balteatus*) du premier stade provenant du Centre de Recherches Agronomiques Wallon de Gembloux (CRA-W) ont été fournies au laboratoire sur des plants de fèves infestés de pucerons (*A. pisum*). Elles ont été nourries dans des cages (92 x 47,5 x 47,5 cm) avec des pucerons pendant tout leur développement et au bout d'environ deux semaines, elles sont rentrées en métamorphose pour devenir adultes une semaine plus tard. Des pupes ont également été commandées sur le site néerlandais "Biopol Natural" et les individus ont été mélangés avec ceux provenant du CRA-W. Les adultes ont été transférés dans des cages de vol (109 x 63 x 82 cm) et nourris avec du pollen broyé déposé dans des boîtes de Petri recouvertes d'une fine couche de miel. Une éponge trempée dans un récipient contenant de l'eau était également mise à leur disposition. Les femelles devaient être fécondes et gravides avant d'être utilisées dans les différentes expériences. Les larves et les pupes se trouvaient dans les chambres conditionnées réservées à l'élevage des pucerons *A. pisum*, tandis que les cages des adultes étaient placées dans une autre pièce où la température variait de 22°C à 26°C avec une photopériode de 16 : 8 heures et où l'humidité relative était comprise entre 60% et 80%.

Des nouveaux plants de fèves infestés de pucerons (*A. pisum*) ont été introduits régulièrement dans les cages de vol afin que les femelles de syrpe puissent pondre dessus. Après 24h, une fois que les œufs étaient pondus, le bac de fèves était déplacé dans une autre cage d'élevage et les mêmes étapes de maintien que précédemment étaient suivies.

#### **5.1.1.3) Récolte de miellat**

Les bacs contenant les plants de fève chargés en pucerons étaient placés sur un dispositif qui permettait de récolter les gouttes de miellat qui tombaient dans des grandes boîtes de Petri en verre (20 cm de diamètre) (Fig 9). Un volume de 10 ml d'eau milli-Q a été utilisé pour rincer les boîtes après une attente de 24h.





**Fig 9.** *V. faba* infesté de *A. fabae* placée sur le dispositif de récolte de miellat.

Sachant qu'un puceron *A. fabae* produit environ 133  $\mu\text{g}$  de miellat par heure (P. Leroy, Capella, & Haubruge, 2009) et que l'espèce *A. pisum* en produit entre 35 et 106  $\mu\text{g}$  par heure selon la plante hôte (Auclair, 1959), une estimation de la quantité de miellat récoltée pouvait être établie. Les solutions obtenues ont été placées dans des tubes Falcon® de 15 ml et congelées à  $-80^{\circ}\text{C}$  après leur utilisation dans les différentes expériences (voir section 5.1.2).

#### **5.1.1.4) Culture de bactéries *Staphylococcus sciuri***

Les bactéries *S. sciuri* provenaient d'une souche congelée à  $-80^{\circ}\text{C}$  de l'ULiège. Elles ont été cultivées en suivant le protocole utilisé par Pascal Leroy et al. dans son brevet (Patent No. EP2608665 A2, 2012). C'est-à-dire qu'elles ont été repiquées sur un milieu solide 868 composé de 10g de glucose, 10g de peptone de caséine, 10g d'extrait de levure et 17g d'agar par litre d'eau distillée, et incubées à  $25^{\circ}\text{C}$  pendant 48h. Ensuite, à partir d'un échantillon du milieu 868, les bactéries ont été cultivées dans un milieu liquide 863 contenant les mêmes composants que le milieu gélosé mais sans agar. Les échantillons obtenus ont ensuite été centrifugés à 4000 rpm pendant 30 min à  $14^{\circ}\text{C}$  et filtrés sur 0,2  $\mu\text{m}$ .

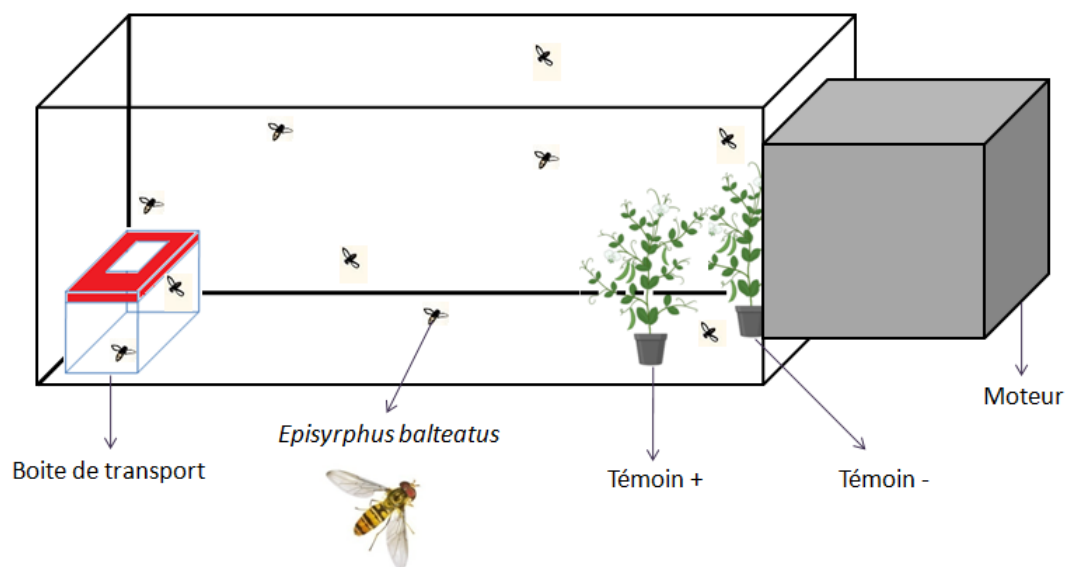
#### **5.1.2) Protocoles expérimentaux**

##### **5.1.2.1) Tests de choix**

Pour déterminer les préférences d'oviposition des syrphes *E. balteatus*, des tests de choix ont été réalisés. Pour ce faire, dix femelles ont été placées à une extrémité d'un tunnel de vol (205 x 85 x 60 cm) tandis que deux plantes étaient mises à l'autre extrémité (Fig 10). Sur l'une de ces plantes, 0.5 ml de solution a été appliqué à l'aide d'une micropipette

(témoin positif) tandis que sur l'autre rien n'y a été déposé (témoin négatif). Cette expérience a été effectuée avec les quatre solutions suivantes :

- miellat frais (24h) d'*A. pisum*
- miellat frais (24h) d'*A. fabae*
- culture liquide de bactéries *S. sciuri* filtrée
- mélange des composés chimiques 3-méthyl-2-buténal (200 µg/ml)(Alfa Aesar®, CAS 107-86-8) et acide 3-diméthyl- 3,3 acrylique (50 µg/ml)(Alfa aesar®, CAS 541-47-9)



**Fig 10.** Dispositif expérimental mis en place pour la réalisation des tests de choix en tunnel de vol.

Ces tests ont également été menés sur trois plantes différentes : *V. faba* var. *minor*, *F. esculentum* et *P. sativum*. *C. sativa* devait normalement aussi être évaluée mais n'ayant pas poussé comme prévu, nous n'avons pas pu l'utiliser. Le pois est une légumineuse et fait partie des plantes hôtes des pucerons *A. pisum*. Son utilisation dans les expériences a permis de tester deux espèces de Fabaceae différentes. Des observations comportementales ont été réalisées toutes les minutes durant les 5 premières minutes d'expérience, ensuite toutes les 5 minutes durant les 30 premières minutes et enfin toutes les 30 minutes jusqu'à la fin du test qui se déroulait sur une durée totale de 2 heures. Ainsi, à chaque instant relevé, les comportements repris dans le tableau 1 se voient chacun attribuer un certain nombre de syrphes les réalisant. De plus, à la fin de chaque expérience, les œufs pondus par les insectes ont été comptés. Trois réplicas ont été comptabilisés pour chaque solution différente et cela pour chaque espèce de plante (Fig 22 en annexe). Seul le miellat d'*A. pisum* n'a pas été testé sur le sarrasin car dans la nature, cette espèce végétale ne sert pas de plante hôte à ce puceron.

**Tableau 1.** Description des comportements réalisés par les syrphes *E. balteatus* lors des tests de choix dans le tunnel de vol.

Catégorie comportementale	Comportement	Abréviation	Définition
Déplacement	Dedans	DD	Le syrpe se trouve dans la boite où il était placé en début d'expérience
	En vol	V	Le syrpe vole dans le tunnel de vol, ailleurs que dans la zone délimitée autour des plantes
	Posé	P	Le syrpe est posé quelque part dans le tunnel, ailleurs que sur les plantes et dans la boite du début de l'expérience
Recherche	A proximité	PX	Le syrpe vole dans la direction des plantes et dans la zone délimitée autour de ces plantes
	Sur témoin -	T-	Le syrpe est posé sur le témoin négatif et fait autre chose que le mouvement d'oviposition
	Sur témoin +	T+	Le syrpe est posé sur le témoin positif et fait autre chose que le mouvement d'oviposition
Oviposition	Ponte sur témoin -	PT-	Après s'être posé sur le témoin négatif, le syrpe courbe son abdomen et/ou réalise l'oviposition
	Ponte sur témoin +	PT+	Après s'être posé sur le témoin positif, le syrpe courbe son abdomen et/ou réalise l'oviposition

Avant de réaliser ces opérations, des tests préliminaires ont été conduits. Pour cela, deux plantes (*V. faba*), soit saines soit infestées de pucerons, ont été déposées dans le tunnel de vol avant de relâcher les syrphes. Le nombre d'œufs sur les plantes en fin d'expérience a ensuite été compté.

#### 5.1.2.2) Tests de durée de vie du miellat

Les mêmes étapes que les tests de choix ont été suivies à la différence qu'il n'y avait pas de plantes dans le tunnel de vol, mais deux boites de Petri (20 cm de diamètre) à la place. Une de ces boites contenait du miellat vieux de 72 heures ou de 96 heures (témoin

positif) tandis que l'autre était vide (témoin négatif). Ces expériences ont été menées avec du miellat d'A. *pisum*. Pour faire "vieillir" ce dernier, les boîtes de Petri du dispositif de récolte de miellat ont simplement été récupérées et disposées pendant 72 heures et 96 heures dans une pièce conditionnée à  $24 \pm 2$  °C.

### 5.1.3) Analyses statistiques

Des modèles linéaires mixtes (LMM) ont été utilisés afin d'estimer les préférences des syrphes pour la ponte (package "lmerTest", fonction "lmer" (Kuznetsova, Brockhoff, Christensen, & Jensen, 2020)). En effet, les données en ce qui concerne à la fois le nombre d'œufs pondus sur les plantes ou dans les boîtes de Petri lors des tests de choix ont été traitées via ces modèles. Ces derniers sont des extensions des modèles linéaires classiques et permettent en plus d'obtenir des indications sur la variance des effets aléatoires. L'estimation des paramètres se fait via la méthode du maximum de vraisemblance restreint (REML) (Stefaniak, n.d.). Dans ce cas-ci, le facteur temps (en jour) a été pris en compte comme facteur aléatoire car les expériences se sont déroulées durant des jours différents qui ne se suivaient pas forcément et les syrphes utilisés étaient donc également différents. Les plantes et les différents traitements étaient considérés comme des facteurs fixes car ceux-ci étaient contrôlés par l'expérimentateur.

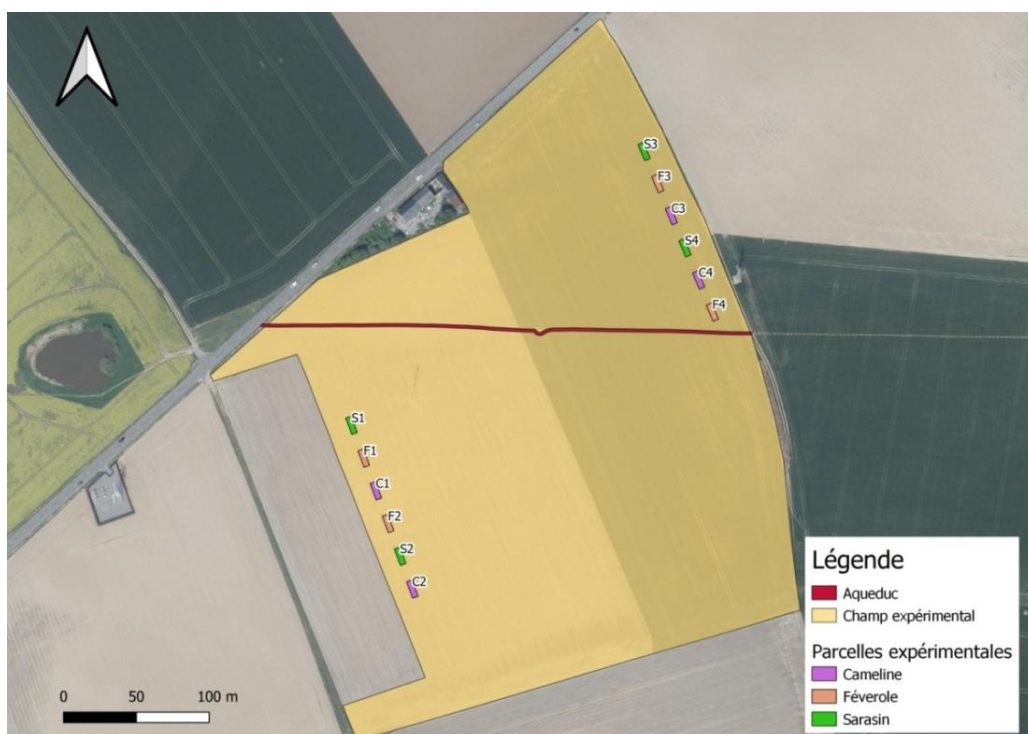
Lors de l'étude des comportements, une première analyse graphique a été réalisée en différenciant deux grands groupes : répondant (R) et non-répondant (NR). Ainsi, les comportements DD, V et P ont été considérés comme une réponse "non-répondant" et les autres, c'est-à-dire PX, T-, T+, PT- et PT+, comme "répondant" (Tableau 1). Ensuite, des tests Chi2 de type *Goodness Of Fit* ont été réalisés en considérant uniquement les différents comportements rentrant dans la catégorie "répondant" et en ignorant la zone "non-répondant". Ainsi, l'addition du nombre de syrphes réalisant les comportements T+ et PT+ a été comparée à la somme obtenue en T- et PT- et cela pour chaque modalité. Ces Chi2 sont des tests non-paramétriques qui permettent de comparer la distribution d'un échantillon observé avec la distribution théorique attendue et de voir si la différence entre les deux est significative. Dans le cas de nos expériences, la probabilité théorique attendue était de 50% et une différence significative permettait de dire si les comportements des syrphes étaient dû au hasard ou non. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R (RStudio, version 4.0.2).

## 5.2) Applications sur le terrain

### 5.2.1) Description du site d'étude

Le champ dans lequel se sont réalisés les échantillonnages se situe dans la commune de Gembloux, en province de Namur, le long de la route d'Eghezée (50°29'57.2"N 4°44'13.2"E). La parcelle utilisée appartient à l'université de Liège et plus précisément à la faculté de Gembloux Agro-Bio Tech et s'étend sur un total d'environ 11 ha. Le blé (*Triticum aestivum* L.) est la culture principale et les champs aux alentours comportent notamment du colza et de l'avoine (Fig 23 en annexe). Les bandes fleuries ont été semées à la mi-mai.

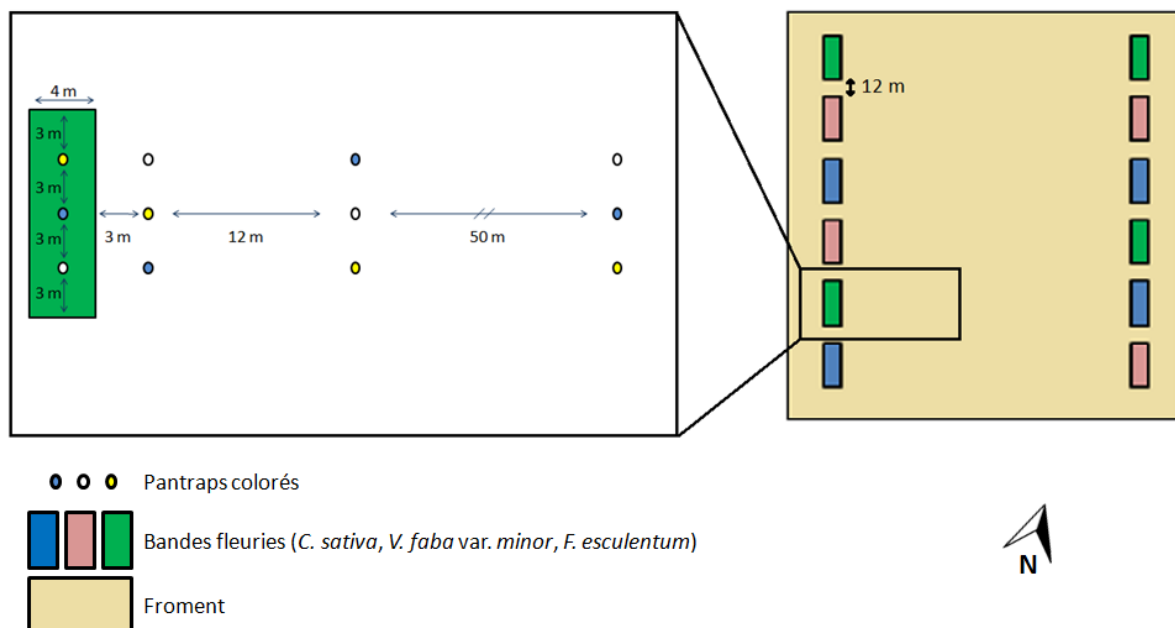
Trois espèces de plantes différentes, à savoir la cameline (*Camelina sativa*), le sarrasin (*Fagopyrum esculentum*) et la féverole (*Vicia faba* var. *minor*), ont été semées chacune dans des bandes différentes (Fig 11). Les densités des semis suivaient les doses recommandées et sont reprises dans le tableau 5 en annexe. Six bandes fleuries ont été semées de chaque côté du champ en alternant les différentes espèces pour obtenir un total de douze bandes. Leur largeur était de 4 mètres, leur longueur de 12 mètres et la séparation entre chacune d'elles était de 12 mètres également. De plus, dans le cadre d'un autre sujet de mémoire réalisé cette même année, des ruches d'abeilles domestiques ont été placées à l'intérieur du champ durant les deuxièmes et troisièmes semaines d'expérimentation.



**Fig 11. Dispositif expérimental** - Gembloux, route d'Eghezée (50°29'57.2"N 4°44'13.2"E). Source : G. Delneuve, Géoportail de la Wallonie.

### 5.2.2) Pièges

Des pièges colorés, appelés également Pantraps (26,5 cm de diamètre et 15 cm de hauteur, Flora de Ringot France©), ont été placés à la fois au sein des bandes fleuries mais aussi à 3 mètres, à 12 mètres et à 50 mètres de celles-ci (Fig 12, Fig 24 en annexe) afin d'estimer la distance d'efficacité des bandes mais aussi de détecter les éventuelles différences entre les trois types de bandes monoflorales en comparant le nombre et la diversité d'insectes dans les différents pièges. Ces derniers ont été posés durant une journée entière par semaine, c'est-à-dire de 8h à 16h, au niveau de deux bandes de chaque espèce florale. Ces tranches horaires choisies correspondent aux périodes de recherches de nourriture par les pollinisateurs (Amy et al., 2018; Calderan, 2018). Un autre jour de la semaine était alors consacré aux deux autres bandes de la même espèce non encore testées. Cette alternance dans les bandes permettait de réaliser d'autres types de captures et d'expériences (voir section 5.2.3 et 5.2.4) dans les parcelles non occupées par des Pantraps afin de ne pas avoir de répercussion sur la diversité d'insectes retrouvée dans ces pièges.



**Fig 12.** Disposition des Pantraps à l'intérieur et à l'extérieur des bandes fleuries semées dans un champ de blé.

Cette technique de piégeage consistait à remplir avec de l'eau des coupelles colorées à l'aide de bombes de peinture réfléchissant les rayonnements ultra-violets (Rocol TOP traceur de chantier) jaune (801802), blanche (801801) et bleue (801806) (26,5 cm de diamètre et de 15 cm de hauteur, Flora de Ringot France©). Du savon (Ecover Zero©) y a été ajouté afin de diminuer la tension superficielle de l'eau pour que les insectes qui se posent à

la surface ne sachent plus en sortir. Ces couleurs ont été ciblées car elles sont majoritaires dans la flore d'Europe (Westphal et al., 2008) et permettent d'attirer les pollinisateurs. Les coupelles ont été placées en ligne par groupes de trois à hauteur des ressources florales (Westphal et al., 2008). Dans chaque trio, les pièges étaient éloignés d'environ 3 mètres afin que la compétition d'attractivité entre les bols soit réduite. Les insectes récoltés dans les Pantraps en fin de journée ont été placés dans des piluliers remplis d'éthanol 70% afin d'être épinglés, séchés et identifiés au laboratoire par la suite. Les clés d'identification suivantes ont été utilisées : Hoverflies (Gilbert & Falk, 2015), Syrphides (Syrphidae) (Verlinden, 1994) et Syrphes de Belgique et des Pays-Bas (Schulten, 2020). Lorsque l'identification à l'espèce n'était pas assez évidente, des regroupements par genre ont été effectués.

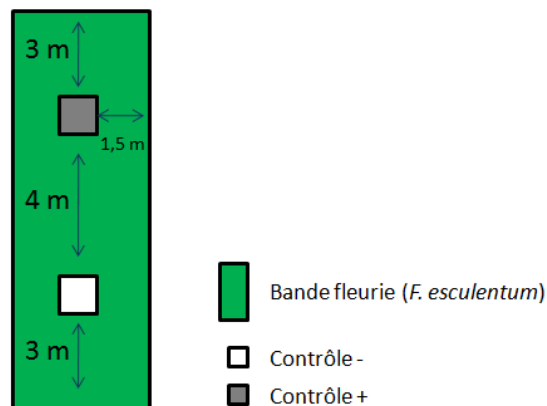
### **5.2.3) Captures au filet**

En plus de la méthode des Pantraps, des captures au filet ont été réalisées pendant trente minutes (Westphal et al., 2008) dans chaque bande non occupée par des pièges colorés deux fois par jour. Cette technique est complémentaire à la première méthode car elle permet de capturer des insectes moins susceptibles de se retrouver dans les pièges colorés (Danel, 2020). Ces captures se sont déroulées également deux jours par semaine. La technique consistait à se déplacer le long des bandes fleuries en attrapant à l'aide d'un filet tous les insectes visitant la végétation. Une fois capturés, ces derniers ont été transférés dans des piluliers remplis d'éthanol 70% et identifiés plus tard au laboratoire, exactement comme les insectes récupérés dans les Pantraps.

### **5.2.4) Observations florales après application de produits**

Après la séance de capture au filet, des observations florales ont été réalisées. Dans chaque bande fleurie non occupée par des Pantraps, une solution était pulvérisée sur une parcelle d'un mètre carré tandis qu'une autre parcelle située dans la même bande restait intacte afin de servir de témoin négatif (Fig 13). Les observations florales commençaient 30 minutes après l'application d'un mélange de composés chimiques testé en laboratoire (3-méthyl-2-buténal (200 µg/ml) et acide 3-diméthyl- 3,3 acrylique (50 µg/ml)). Un relevé de tous les insectes réalisant des visites florales était alors effectué également durant une période de 30 minutes en classant ceux-ci dans les grands groupes suivants, sans les identifier jusqu'à l'espèce : abeilles domestiques, grandes abeilles sauvages, petites abeilles sauvages, bourdons, autres Hyménoptères, syrphes, autres Diptères, coccinelles, chrysopes,

autres Coléoptères, Hémiptères et Lépidoptères. L'application de la solution de *S. sciuri* n'a pas pu être réalisée car elle n'a pas été produite dans les temps.



**Fig 13. Dispositif expérimental appliqué à une bande de *F. esculentum*.** Le "Contrôle +" correspondant à la parcelle d'1 m<sup>2</sup> sur laquelle est pulvérisée une solution, le "Contrôle -" correspondant à la parcelle sur laquelle rien n'est déposé.

Tous les échantillonnages sur le terrain se sont donc déroulés sur deux jours par semaine pendant une durée totale de trois semaines. Durant ces journées, le temps devait être favorable. C'est-à-dire qu'il fallait qu'il fasse sec, de préférence ensoleillé, avec un vent faible, inférieur à 15 km/h et des températures supérieures à 15°C (Amy et al., 2018; Westphal et al., 2008). Cette volonté de choisir les jours de collecte en fonction des conditions météorologiques permettait de garder la plus grande similarité possible entre les répliques. Seules les bandes de cameline et de sarrasin ont pu être exploitées dans le cadre de ce travail car les bandes de féverole n'étaient pas homogènes et n'ont pas fleuri à temps à cause d'un semis réalisé tardivement dans la saison en raison des conditions sanitaires particulières mises en place cette année.

### 5.2.5) Analyses statistiques

En ce qui concerne l'application des composés chimiques au niveau des parcelles situées dans les bandes fleuries, des modèles linéaires mixtes (LMM) ont été utilisés à l'aide du logiciel R (version 4.0.2, package "lmerTest", fonction "lmer" (Kuznetsova et al., 2020)). Ces modèles ont permis de voir si les solutions appliquées ont eu un effet sur l'abondance des syrphes effectuant des visites florales dans les différentes parcelles. Le fait qu'ils soient "mixtes" permet d'y inclure des facteurs aléatoires en plus des facteurs fixes. Dans ce cas-ci, le facteur "Jour" était considéré comme facteur aléatoire tandis que les facteurs "Bande" et "Traitement" étaient pris en compte comme des facteurs fixes.



La biodiversité permet de décrire la diversité des espèces vivant dans un espace et un temps donnés. Pour l'étudier, il faut tenir compte du nombre d'espèces différentes présentes dans le milieu qui fait référence à la richesse spécifique mais également de l'abondance relative de ces espèces, c'est-à-dire du nombre d'individus comptabilisé pour chaque espèce recensée (Magurran, 2004).

Différents niveaux ont été établis pour étudier cette biodiversité :

- Diversité  $\alpha$  : représente la diversité dans un même habitat, donc au niveau local
- Diversité  $\beta$  : correspond à la diversité inter-habitats, donc les différences qu'il peut y avoir entre deux types d'habitats distincts
- Diversité  $\gamma$  : mesure la diversité totale des habitats, donc au niveau régional; elle regroupe les diversités  $\alpha$  et  $\beta$  (Bonnet, 2020; Jamoneau, 2010).

Il existe plusieurs indices qui permettent d'évaluer la diversité  $\alpha$ . Le premier qui a été utilisé dans cette étude est l'indice de diversité de Simpson. Il tient compte de l'abondance relative de la communauté, c'est-à-dire qu'un poids plus important est attribué aux espèces plus nombreuses par rapport aux espèces plus rares. En calculant cet indice, une mesure de la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce est obtenue. Une valeur proche de 1 traduit une richesse en espèces dans la zone étudiée alors qu'une valeur proche de 0 signifie que le milieu est moins diversifié. Le deuxième indice qui a été abordé est l'indice de Shannon-Weaver. Cet indice est comparable à celui de Simpson mais cette fois, une transformation logarithmique dans l'équation permet de diminuer l'effet de dominance-rareté. Une valeur plus élevée met en évidence une plus grande diversité avec une distribution des espèces plus équilibrée qu'un milieu prenant un indice de valeur plus faible (Grosjean & Engels, 2020).

La diversité  $\beta$  qui représente les différences de diversité entre plusieurs communautés peut être évaluée grâce à des analyses multivariées et plus précisément via des Analyses en Coordonnées Principales (PCoA) (Borcard, Gillet, & Legendre, 2018). Celles-ci permettent de calculer graphiquement une matrice de distance entre plusieurs éléments. Dans le cas des relevés menés dans les bandes de cameline et de sarrasin, c'est la matrice de dissimilarité de Bray-Curtis qui a été utilisée. Ainsi, deux points proches sur le graphique à

deux dimensions sont des éléments dont l'indice de dissimilarité est faible et dont les espèces de syrphes dans ce cas-ci sont semblables.

## 6) Résultats

### 6.1) Impacts de différents traitements sur la ponte d'*E. balteatus* en tunnel de vol

#### 6.1.1) Effets des pucerons :

Lors des tests préliminaires réalisés avec des féveroles recouvertes ou non de pucerons, le tunnel de vol a pu être testé une première fois. Le bon fonctionnement de celui-ci a été confirmé par les résultats obtenus. En effet, lors du premier essai, un total de 81 œufs a été pondus par les dix syrphes femelles relâchés dans le tunnel sur les deux plantes recouvertes de pucerons *A. pisum*, tandis qu'aucun n'a été retrouvé lors du deuxième essai réalisé avec les deux plantes saines. A priori, le tunnel de vol ainsi que les conditions de température, de luminosité et d'humidité de la pièce étaient adaptés au comportement d'oviposition des femelles *E. balteatus*. Ces tests ont pu également confirmer que ces syrphes sont capables de pondre sur de la féverole en présence de pucerons *A. pisum*.

#### 6.1.2) Effets des différents traitements appliqués sur trois espèces de plantes :

- Nombres d'œufs pondus par les syrphes:

Les tests qui ont suivi les expériences préliminaires consistaient à placer à nouveau dix syrphes femelles dans le tunnel de vol qui contenait deux plantes. Une des plantes était saine et l'autre était traitée. Après un délai de deux heures, les œufs ont été comptés sur chacune des plantes. Ces tests ont été réalisés à trois reprises pour chaque espèce de plante et pour chaque traitement. Suite à l'analyse des résultats obtenus suivant les différentes modalités à l'aide de modèles linéaires mixtes, des différences, déjà visibles sur des graphiques comportant des boîtes à moustaches (Fig 25 en annexe), ont pu être mises en avant quant au nombre d'œufs pondus sur les différentes plantes. En effet, en ce qui concerne la féverole, le pois et le sarrasin, un nombre d'œufs significativement plus important a été compté sur les plantes traitées avec du miellat d'*A. fabae* face à la quantité retrouvée sur les témoins négatifs. En revanche, la différence n'était pas significative entre les féveroles recouvertes de miellat d'*A. pisum* et les féveroles saines, au contraire du pois qui a obtenu un nombre significativement plus élevé sur les plantes traitées par cette même substance (Tableau 2). Les p-valeurs des facteurs aléatoires calculées via des tests de rapport

de vraisemblance (Chi2) étaient toutes supérieures à 0.05. Aucun effet du jour n'est donc constaté.

**Tableau 2.** P-valeurs obtenues pour les facteurs fixes calculées à partir du test F basé sur l'approximation de Satterthwaite (fonction "step", library "lmerTest") après modélisation (LMM) pour les différents traitements et espèces de plantes.

Plantes	Traitements	Nombre de ddl au numérateur	Nombre de ddl au dénominateur	Valeurs test F	P-valeurs facteurs fixes
<b>Féverole</b>	Miellat d'A. <i>fabae</i> vs NT	1	3	19.418	0.022 *
	Miellat d'A. <i>pisum</i> vs NT	1	3	3.734	0.149
<b>Pois</b>	Miellat d'A. <i>fabae</i> vs NT	1	4	12.029	0.026 *
	Miellat d'A. <i>pisum</i> vs NT	1	3	19.418	0.022 *
<b>Sarrasin</b>	Miellat d'A. <i>fabae</i> vs NT	1	3	16.177	0.028 *

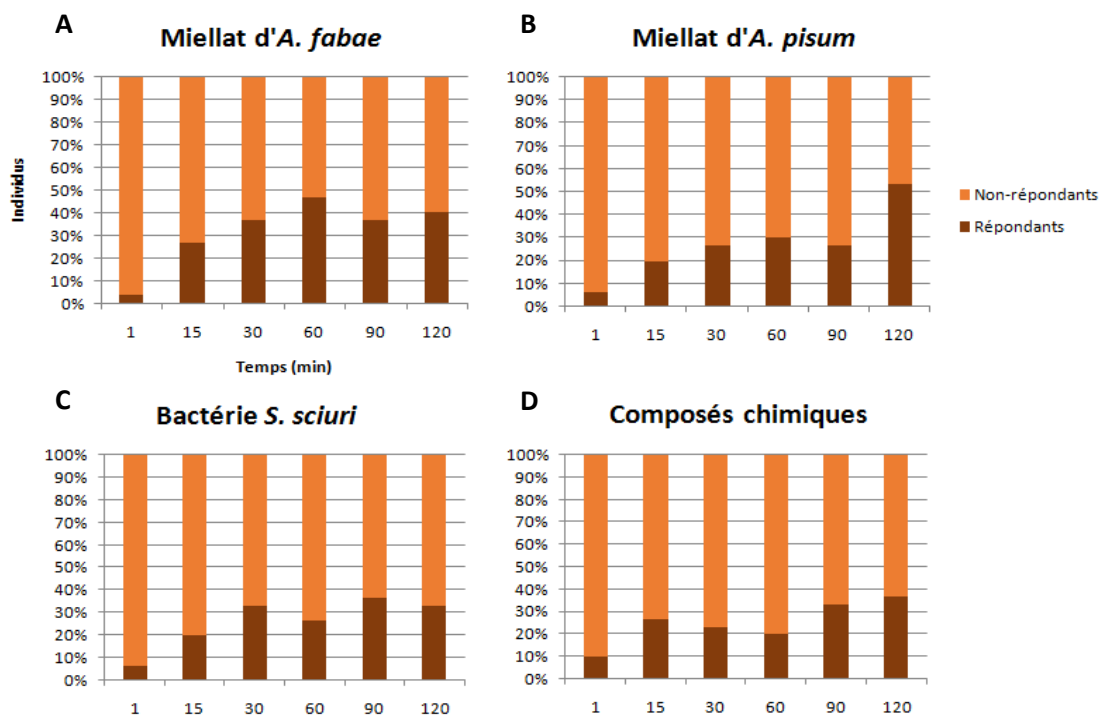
Différence significative = (\*) si  $p < 0.05$ , (\*\*) si  $p < 0.001$  et (\*\*\*) si  $p < 0.0001$ ; NT = plantes non traitées; ddl = degrés de liberté

Pour ces trois espèces de plantes utilisées, aucun test statistique n'a été nécessaire pour comparer les plantes traitées avec des bactéries ou des composés chimiques face aux témoins négatifs car les syrphes n'ont presque pas pondus lors de ces expériences, peut importe l'espèce végétale utilisée. Effectivement, un maximum de trois œufs ont été aperçus sur une féverole traitée avec des composés chimiques.

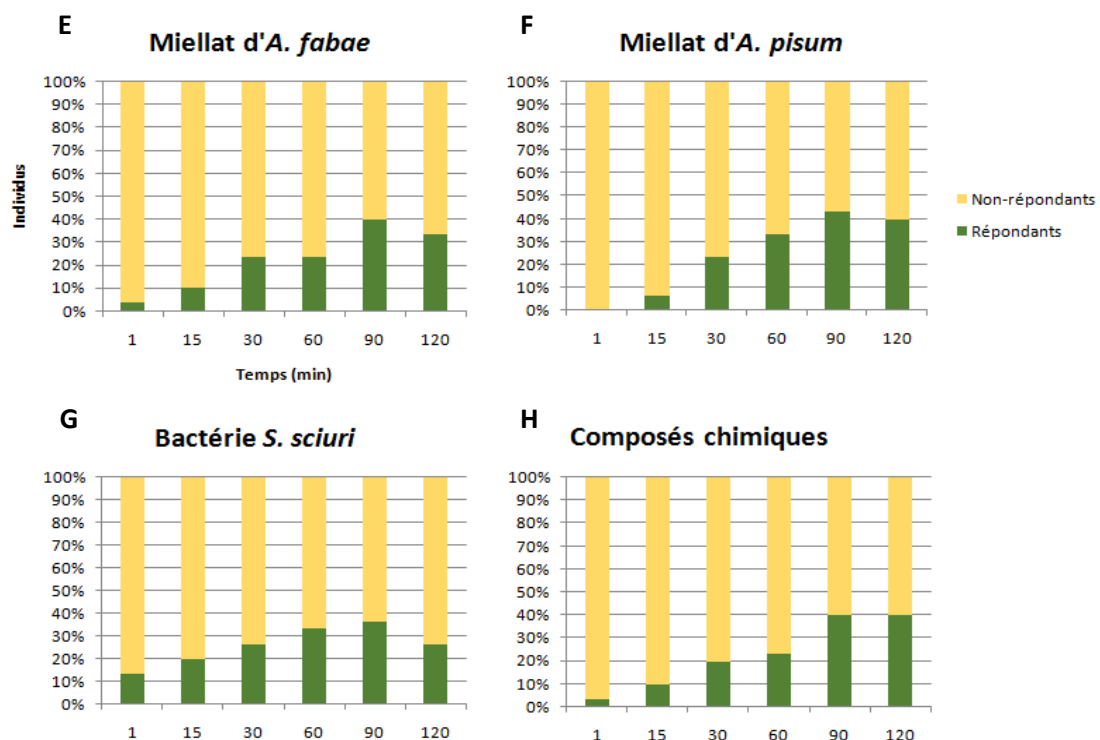
#### - Comportement d'oviposition :

Pour analyser le comportement des insectes lors de ces mêmes expériences en tunnel de vol, seuls 6 temps ont été conservés (1, 15, 30, 60, 90 et 120 minutes). Tout d'abord, les graphiques de la proportion d'individus "répondants" et "non-répondants" réalisés pour chaque modalité montrent globalement un nombre plus élevé de "non-répondants" pendant toute la durée des tests (Fig 14). Seul le taux de "répondants" dans le cas de l'application de miellat d'A. *pisum* sur la féverole dépasse les 50%. Pour réaliser ces graphiques, les données des trois réplicas effectués par plante et par traitement ont été additionnées. Visuellement, d'une manière générale, la quantité d'individus "répondants" augmente au fur et à mesure du temps. Il n'existe pas de grandes différences entre les quatre traitements ni entre les espèces de plantes testées en ce qui concerne le comportement des syrphes lors de ces expériences en tunnel de vol. Cependant, dans le cas du sarrasin, une moins grande quantité de syrphes semble être attirée par les plantes traitées avec la solution de composés chimiques.

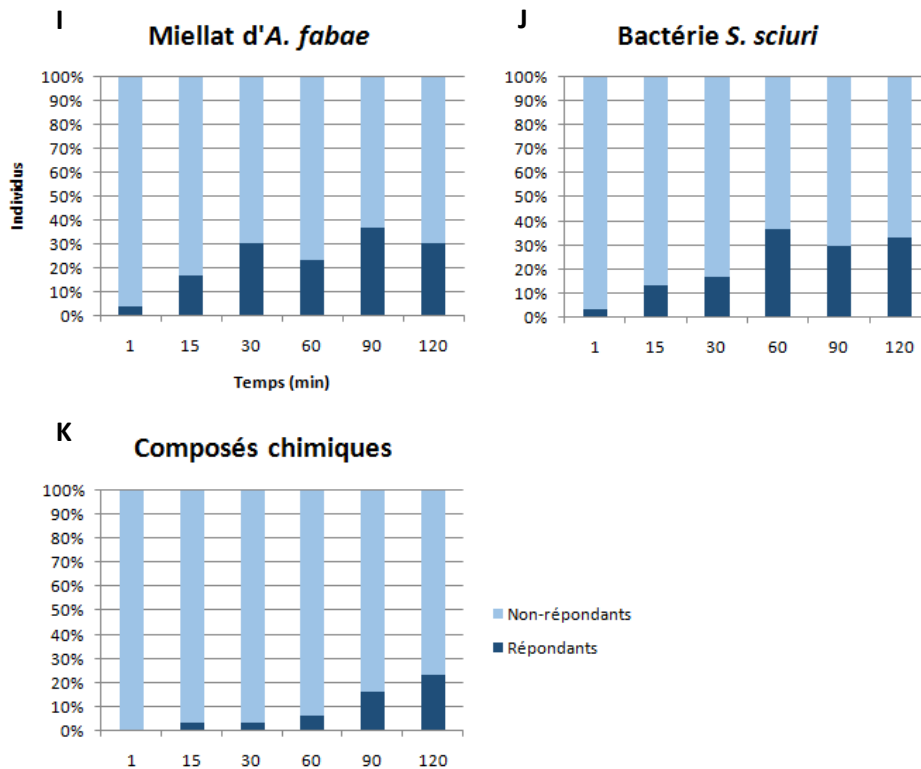
## Féverole



## Pois



## Sarrasin



**Fig 14. Effet de différents traitements sur le comportement des syrphes *E. balteatus* en tunnel de vol.** A à D : Pourcentage d'individus répondants ou non à la présence de miellat d'*A. fabae* (A, E, I), de miellat d'*A. pisum* (B, F), d'une solution de bactéries *S. sciuri* (C, G, J) et du mélange de composés chimiques (D, H, K) appliqué sur la féverole (A à D), sur le pois (E à H) et sur le sarrasin (I à K).

Ensuite, en traitant uniquement les comportements "répondants", en ce qui concerne la féverole, aucune différence significative entre le nombre de syrphes se posant ou pondant sur le témoin négatif et sur la plante traitée avec du miellat du puceron *A. fabae* n'est obtenue à l'aide des tests Chi2 (*Goodness Of Fit*). En revanche, une différence significative est constatée lors du traitement avec du miellat d'*A. pisum* aux temps T3 (30 min) et T6 (120 min) avec des p-valeurs respectivement de 0.025 (Chi2 = 5; ddl = 1) et 0.019 (Chi2 = 5.4; ddl = 1), donc inférieures au seuil alpha fixé à 0.05. Pour ce qui est de l'application des composés chimiques et de la solution de bactéries *S. sciuri*, les deux tests Chi2 révélant une p-valeur indiquant une différence significative avec le témoin négatif ( $p = 0.046$ ; Chi2 = 4; ddl = 1) sont ceux réalisés en T5 (90 min). Les autres tests correspondant aux autres temps (T1 à T4 et T6) n'ont, quant à eux, pas pu montrer de différence significative entre les comportements des syrphes face aux deux plantes.

Pour le pois, de la même manière que pour la féverole, il n'existe pas de différence significative entre les témoins négatifs et les plantes traitées avec du miellat d'*A. fabae*. Il en

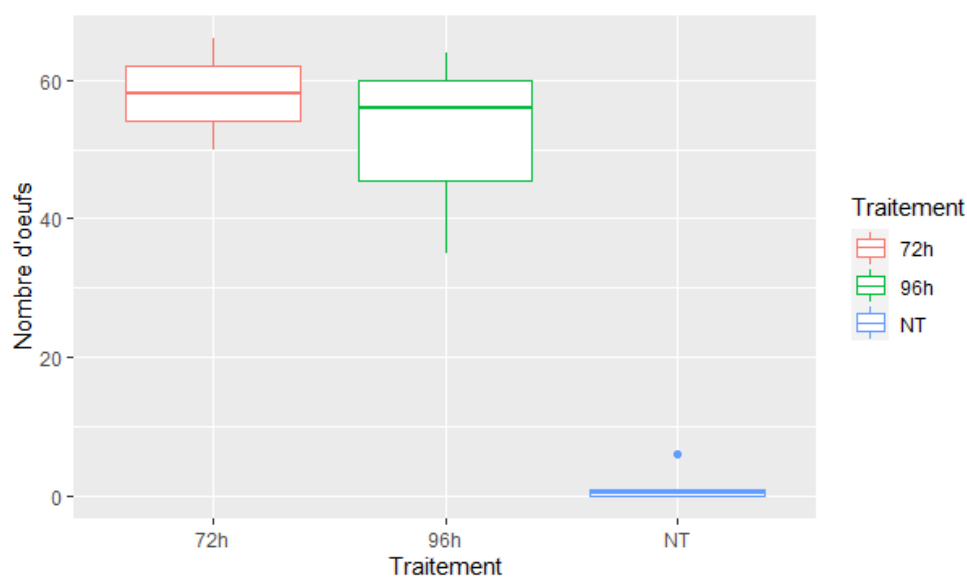
est de même pour les expériences réalisées avec les plantes ayant reçu la solution de bactéries ou encore les composés chimiques. Par contre, lors du traitement au miellat d'*A. pisum*, des différences significatives entre les témoins négatifs et positifs ont été obtenues à 90 et 120 minutes (T5 et T6) avec des p-valeurs respectivement de 0.014 ( $\text{Chi}^2 = 6$ ;  $\text{ddl} = 1$ ) et 0.046 ( $\text{Chi}^2 = 4$ ;  $\text{ddl} = 1$ ). Cependant, le nombre d'individus en T6 (120 min) était plus élevé sur le témoin négatif contrairement à ce qui était attendu.

Enfin, lors des tests réalisés avec le sarrasin, aucune différence significative n'a été relevée entre les plantes traitées et non traitées, peu importe la solution déposée sur les plantes.

### **6.1.3) Effets de deux miellats vieilliss d'*A. pisum***

- *Nombre d'œufs pondus par les syrphes :*

Les expériences suivantes consistaient à placer à nouveau dix syrphes dans le tunnel de vol mais cette fois-ci en présence de boîtes de Petri à la place des plantes. Dans ces boîtes se trouvaient du miellat vieilli soit de 72h, soit de 96h. Ces tests ont été réalisés à trois reprises pour chaque modalité. L'analyse statistique du nombre d'œufs pondus par les syrphes dans les différentes boîtes de Petri réalisée à l'aide de modèles linéaires permet de montrer une différence significative entre les témoins négatifs et les miellats d'une durée de vie de 72h et 96h (Tableau 3, Fig 15). Il faut préciser que dans le cas des "72h vs NT", c'est un modèle linéaire classique (LM) qui a été utilisé car toutes les expériences ont été réalisées le même jour. Toutes les autres modalités ont été traitées avec des modèles linéaires mixtes (LMM). Le nombre d'œufs pondus dans les boîtes contenant du miellat de 72h n'est pas significativement différent du nombre pondus dans celles couvertes de miellat de 96h mais ces deux types de boîtes n'ont pas été placées ensemble dans le tunnel (Tableau 3).



**Fig 15.** Effet du miellat d'*A. pisum* de 72h (en rouge), du miellat d'*A. pisum* de 96h (en vert) et d'un témoin négatif (en bleu) sur la ponte de *E. balteatus* en tunnel de vol. NT = boîte de Petri non traitée.

**Tableau 3.** P-valeurs obtenues pour les facteurs fixes calculées à partir du test F basé sur l'approximation de Satterthwaite (fonction "step", library "lmerTest") après modélisation (LMM) pour les différents traitements (miellat d'*A. pisum* de 72h et 96h). Seul la modalité 72h vs NT a été traitée avec une régression linéaire classique (LM).

Traitements	Valeurs test F	Nombre de ddl au numérateur	Nombre de ddl au dénominateur	P-valeurs
72h vs NT	153.28	1	/	0.0002 **
96h vs NT	16.177	1	3	0.028 *
72h vs 96h	0.356	1	0.64	0.697
24h vs 72h	0.001	1	0.959	0.979
24h vs 96h	2e-04	1	1.993	0.99

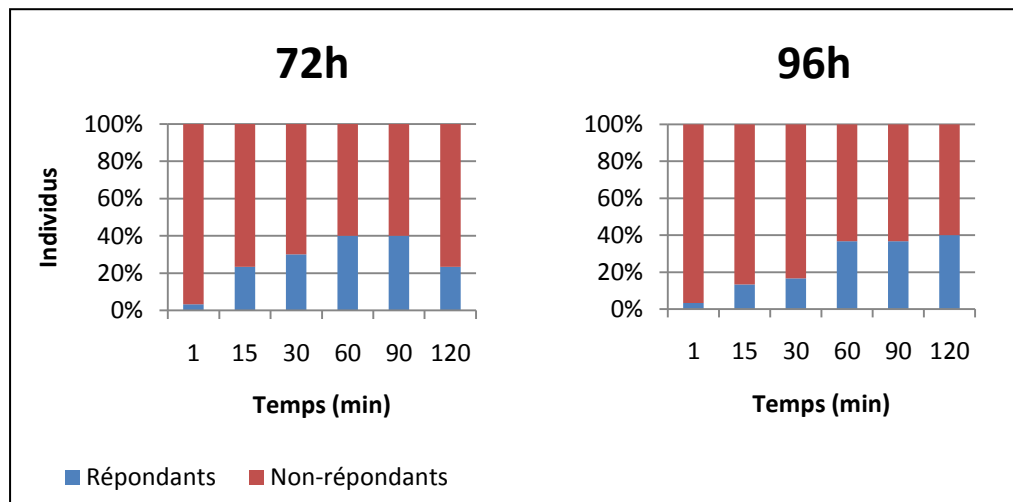
Différence significative = (\*) si  $p < 0.05$ , (\*\*) si  $p < 0.001$  et (\*\*\*) si  $p < 0.0001$ ; NT = boîtes non traitées; ddl = degrés de liberté

Une comparaison avec du miellat frais (24h) peut éventuellement être faite mais il faut prendre en compte que ce miellat a été dilué dans de l'eau et posé sur un plant de féverole. Les conditions des tests ne sont donc pas les mêmes. Les résultats des LMM réalisés à la fois pour comparer le miellat de 24h face au miellat de 72h et face à celui de 96h ne montrent aucune différence significative (p-valeur respectivement de 0.9787 et 0.9903 > 0.05), bien qu'ils soient purement théoriques (Tableau 3).

#### - Comportement d'oviposition :

L'analyse du comportement des dix syrphes lors de ces expériences s'est à nouveau réalisée sur 6 temps (1, 15, 30, 60, 90 et 120 minutes). Pour commencer, le graphique de la proportion d'individus "répondants" et "non-répondants" (Fig 16) réalisé pour chaque

modalité montre qu'à n'importe quel moment du test, qu'il soit réalisé avec du miellat de 72h ou de 96h, une plus grande proportion de syrphes sont dits "non-répondants". Le maximum de "répondants" est de 40% et est obtenu après 60 et 90 minutes pour le miellat de 72h et après seulement deux heures pour celui de 96h. Pour réaliser ces graphiques, les données des trois réplicas effectués par traitement ont été additionnées. Visuellement, il n'y a pas de forte différence entre les deux expériences menées avec les deux âges de miellat.



**Fig 16.** Effet de deux traitements sur le comportement des syrphes *E. balteatus* en tunnel de vol. A gauche : Pourcentage d'individus répondants ou non à la présence de miellat d'*A. pisum* de 72h (à gauche) et de 96h (à droite).

Ensuite, chaque temps a été testé indépendamment à l'aide d'un Chi2 afin de comparer uniquement les comportements "répondants" (Tableau 1). En T3 (30 min), T4 (60 min) et T5 (90 min), une différence significative est obtenue entre le nombre de syrphes se posant ou pondant dans la boîte de Petri contenant du miellat vieilli de 72h (T+ et PT+) et le nombre de syrphes sur le témoin négatif (T- et PT-), avec une p-valeur équivalente en T3 et T5 ( $p = 0.045$ ;  $\text{Chi}^2 = 4$ ;  $\text{ddl} = 1$ ) et encore plus faible en T4 ( $p = 0.014$ ;  $\text{Chi}^2 = 6$ ;  $\text{ddl} = 1$ ). En revanche, en T1 (1 min), T2 (15 min) et T6 (120 min), aucune différence significative n'est obtenue dans ces mêmes conditions. Lors du test comportant du miellat âgé de 96h, une différence significative avec le témoin négatif est observée uniquement en T5 (90 min) avec une p-valeur égale à 0.045 ( $\text{Chi}^2 = 4$ ;  $\text{ddl} = 1$ ).

## 6.2) Impacts de l'application de composés chimiques sur les populations de syrphes visitant les bandes fleuries

Les observations florales se sont déroulées sur des parcelles d'1 m<sup>2</sup> sur lesquelles avait été appliqué le mélange de composés chimiques. Après douze heures d'observations florales toutes parcelles confondues, un total de 1031 syrphes a été échantillonné. Le

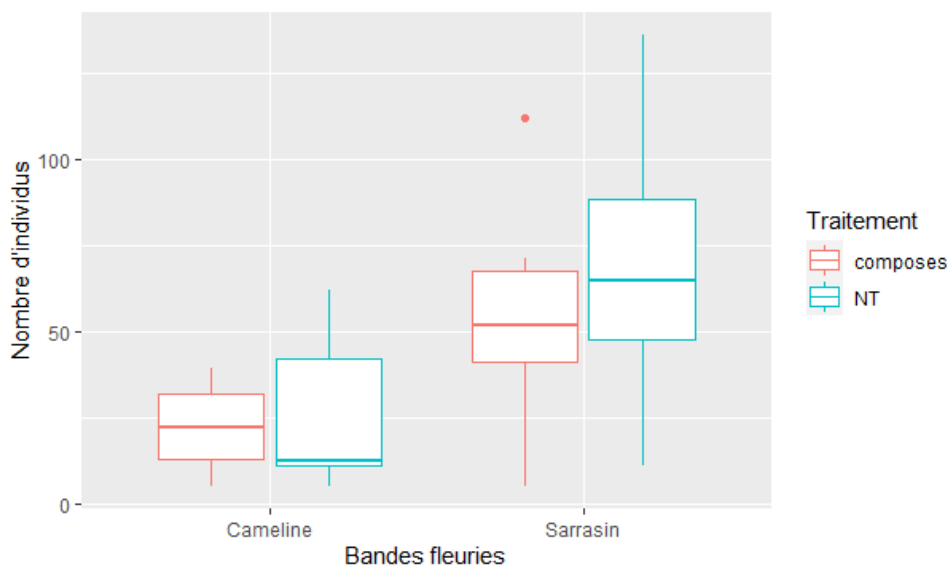


premier LMM réalisé sur les bandes de cameline montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les parcelles traitées avec le mélange de composés chimiques et les parcelles non traitées (Tableau 4). Ce résultat était déjà prévisible grâce aux statistiques descriptives réalisées avant la modélisation (LMM) et plus précisément à l'aide des boîtes à moustaches visibles à la figure 17. Contrairement à la cameline, une différence significative est constatée dans les bandes de sarrasin (Tableau 4) mais le graphique (Fig 17) montre que les syrphes sont plus abondants sur les parcelles non traitées. De plus, l'effet aléatoire "Date" présente également dans cette situation une différence significative avec une p-valeur inférieure à 0.001 (Tableau 4).

**Tableau 4.** P-valeurs obtenues pour les facteurs fixes calculées à partir du test F basé sur l'approximation de Satterthwaite et pour les facteurs aléatoires calculées via des tests de rapport de vraisemblance (Chi2) (fonction "step", library "lmerTest") après modélisation (LMM) pour les différents traitements (Composés ou NT) dans les deux types de bandes fleuries (cameline ou sarrasin).

Bandes	Traitements	Valeurs du test F	Nombre de ddl au numérateur	Nombre de ddl au dénominateur	P-valeurs facteurs fixes	P-valeurs facteurs aléatoires
Cameline	Composés vs NT	0.036	1	5	0.857	0.082
Sarrasin	Composés vs NT	9.844	1	5	0.026 *	0.0008 ***

Différence significative = (\*) si  $p < 0.05$ , (\*\*) si  $p < 0.001$  et (\*\*\*) si  $p < 0.0001$ ; NT = parcelles non traitées; ddl = degrés de liberté



**Fig 17.** Effet d'un mélange de composés chimiques appliqué dans des bandes fleuries de Cameline (à gauche) et de sarrasin (à droite) sur le nombre de syrphes effectuant des visites florales. NT = bandes non traitées.

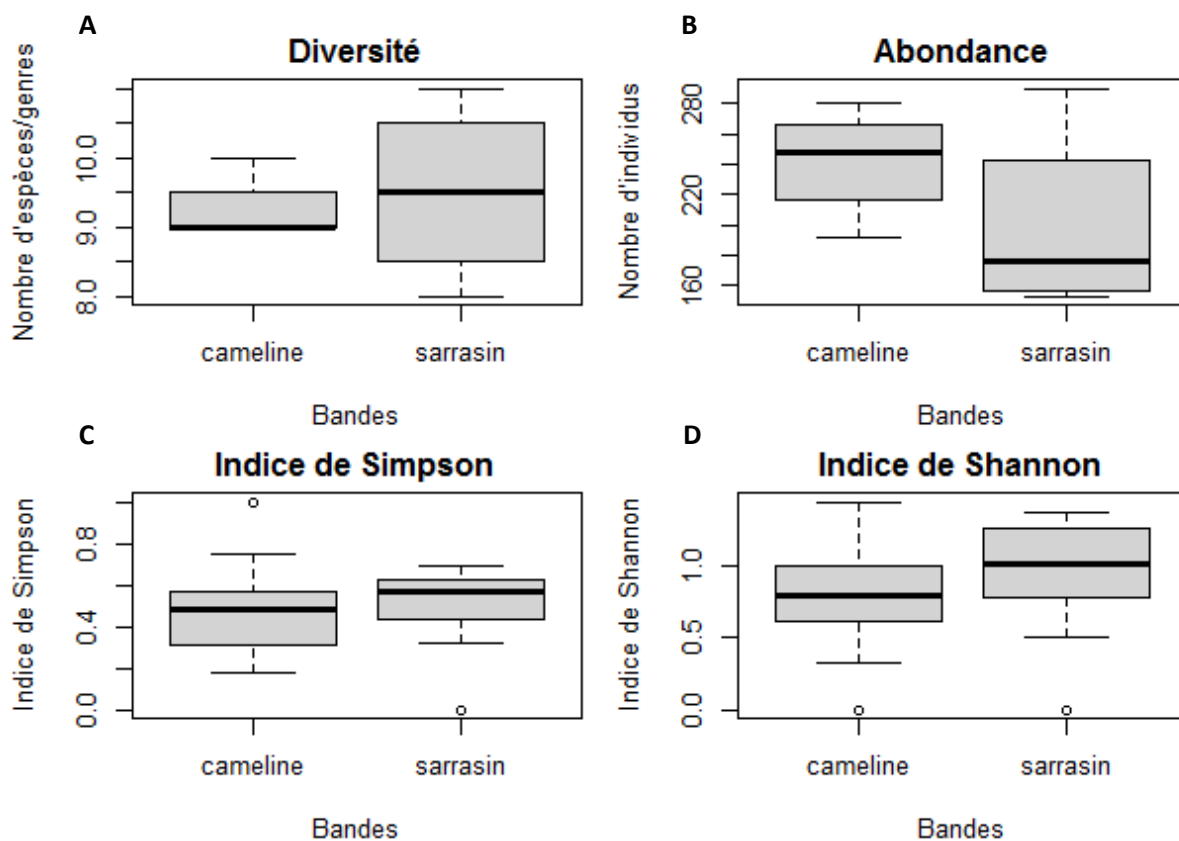
### 6.3) Impacts des bandes de cameline et de sarrasin sur la diversité en syrphes

#### 6.3.1) Evaluation de la diversité alpha

Un total de 2013 spécimens de syrphes a été récolté, toutes méthodes confondues (filet et Pantraps), représentant 13 espèces (ou genre, voir section "Matériel et méthodes") (Tableau 6 et 7 en annexe). Des coccinelles, des chrysopes et des Hyménoptères ont également été récoltés et identifiés mais ces données ne rentrent pas dans le cadre de ce travail. L'espèce la plus abondante, que ce soit au niveau des bandes de cameline ou de sarrasin, était *Sphaerophoria scripta* (Fig 26 en annexe) avec un total de 1109 spécimens récoltés. Elle est suivie d'*Eristalis tenax* pour un total de 288 individus capturés dans les parcelles.

Dans le cas des insectes récoltés avec les filets et dans les Pantraps situés à l'intérieur des bandes, les richesses spécifiques sont plus ou moins équivalentes entre les deux types de bandes avec une variabilité plus élevée dans le cas du sarrasin (Fig 18a). En ce qui concerne les abondances des syrphes, le nombre de spécimens capturés est plus élevé dans les bandes de cameline mais la variabilité au sein des différentes parcelles est plus grande au niveau du sarrasin (Fig 18b). Concernant les *Sphaerophoria scripta*, 703 individus sont retrouvés dans la cameline contre 406 dans le sarrasin (Tableaux 8 et 9 en annexe). Enfin, en ce qui concerne les syrphes aphidiphages, ce sont à nouveau les bandes de cameline qui regroupent le plus grand nombre de spécimens avec un total de 81,9% contre 57,9% dans le sarrasin.

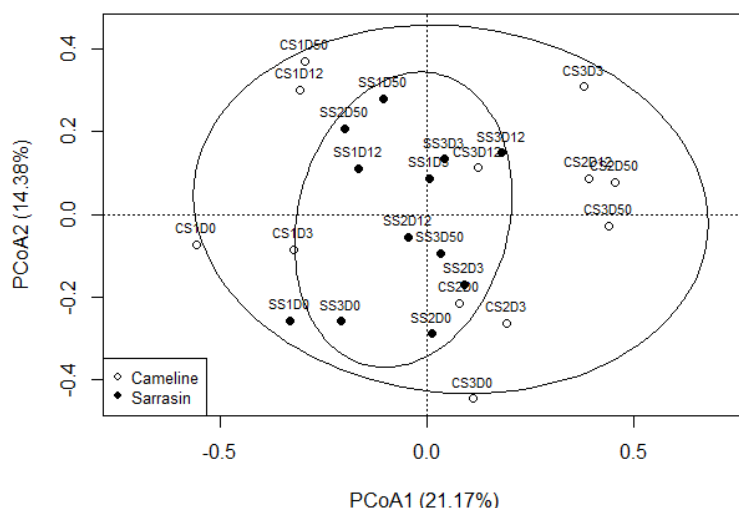
Pour ce qui est de l'évaluation de la diversité alpha, les indices de Simpson et de Shannon ont également été calculés et représentés sur des graphiques de type *boxplot* (Fig 18c,d). L'indice de diversité de Simpson est plus élevé dans les cultures de sarrasin (indice moyen = 0.51) que dans celles de cameline (indice moyen = 0.47), ce qui veut dire que la diversité des espèces au sein de ces bandes est supérieure. Cependant, lorsqu'une analyse de la variance (ANOVA) est réalisée sur ces indices, cette différence entre la cameline et le sarrasin n'est pas significative ( $p = 0.437$ ; F test = 0.614; ddl = 1). De la même manière, les indices de Shannon suivent la même tendance avec des valeurs globalement plus élevées dans le sarrasin (indice moyen = 0.94) que dans la cameline (indice moyen = 0.81) ce qui traduit à nouveau une plus grande diversité dans ces bandes, mais à nouveau, après une ANOVA, les différences ne sont pas significatives ( $p = 0.238$ ; F test = 1.431, ddl = 1).



**Fig 18.** Représentation graphique de la richesse spécifique (A), de l'abondance (B), des indices de Simpson (C) et de Shannon (D) au sein de deux types de bandes fleuries (Cameline à gauche et sarrasin à droite) semées dans un champ de froment à Gembloux en 2020.

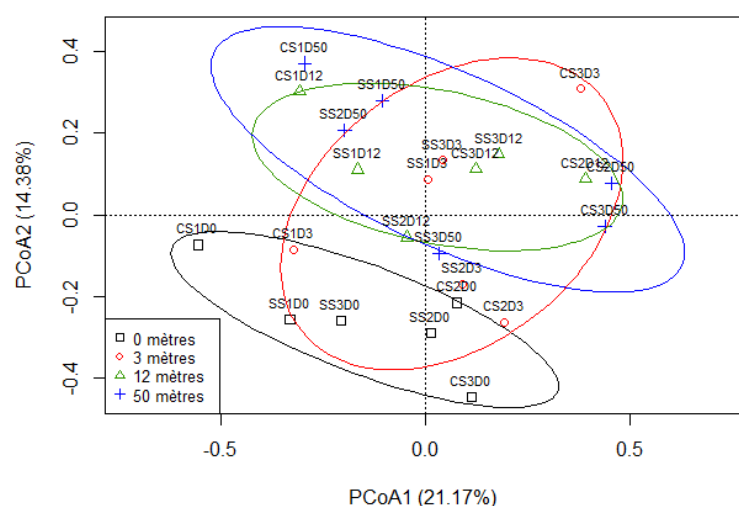
### 6.3.2) Evaluation de la diversité beta

Les analyses en coordonnées principales (PCoA) permettent une visualisation graphique des différents patterns au sein des bandes fleuries. L'analyse des piégeages aux Pantraps, ne montre pas de nette différenciation entre les bandes de cameline et de sarrasin (Fig 19). L'étalement de l'ellipse pour la cameline s'explique par la grande variabilité au sein des Pantraps placés à différentes distances des bandes. Cette variabilité est moins élevée en ce qui concerne les cultures de sarrasin. En effet, la surface de l'ellipse est plus petite. Elle est également comprise dans l'ellipse de la cameline ce qui veut dire que les espèces de syrphes retrouvées à différentes distances des bandes de sarrasin sont similaires à celles récoltées au niveau de la cameline mais avec une variabilité plus faible pour le sarrasin.



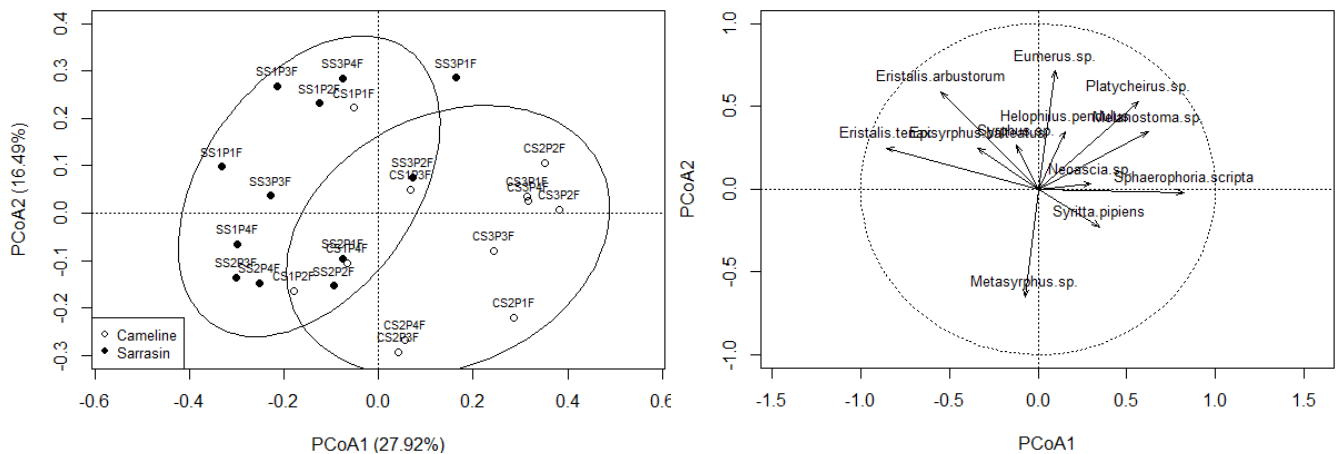
**Fig 19.** Représentation graphique (PCoA) des espèces et des genres de syrphes retrouvés dans les Pantraps à l'intérieur et à différentes distances des bandes fleuries de cameline (C) et de sarrasin (S) à Gembloux en 2020. S1 = semaine 1; S2 = semaine 2; S3 = semaine 3; D0 = 0 mètres; D3 = 3 mètres; D12 = 12 mètres; D50 = 50 mètres.

Lorsque les pièges placés à différentes distances des bandes sont traités séparément, quatre ellipses apparaissent sur le graphique. Les pièges situés au sein même des bandes montrent une variabilité au sein des Pantraps moins élevée que dans les trois autres groupes et l'ellipse plus à l'écart de ceux-ci (Fig 20). Cela traduit une diversité en espèces différente de celle retrouvée aux autres distances. Un recouvrement partiel est cependant constaté avec les pièges situés à 3 mètres des bandes. Le chevauchement des ellipses correspondant aux pièges placés à 3 mètres, 12 mètres et 50 mètres permet de dire que les espèces de syrphes retrouvées à ces endroits sont similaires.



**Fig 20.** Représentation graphique (PCoA) des espèces et des genres de syrphes retrouvés dans les Pantraps à l'intérieur (D0, en noir) et à 3 (D3, en rouge), 12 (D12, en vert) et 50 mètres (D50, en bleu) des bandes fleuries de cameline (C) et de sarrasin (S) à Gembloux en 2020. S1 = semaine 1; S2 = semaine 2; S3 = semaine 3.

Pour l'analyse de la diversité retrouvée au sein même des bandes, une PCoA a également été réalisée en exploitant les captures au filet (Fig 21). Dans ce cas-ci, les deux bandes sont globalement distinctes avec un recouvrement partiel des deux ellipses. Une partie seulement des espèces de syrphes récoltées au sein des bandes de cameline est donc similaire aux espèces retrouvées au niveau des bandes de sarrasin. La variabilité au sein des bandes est tout de même assez élevée que ce soit pour la cameline ou pour le sarrasin.



**Fig 21.** Représentations graphiques (PCoA) des espèces et des genres de syrphes capturés au filet (F) au sein des bandes fleuries de cameline (C) et de sarrasin (S) à Gembloux en 2020. S1 = semaine 1; S2 = semaine 2; S3 = semaine 3.

Selon la figure 21 (à droite), les individus retrouvés en majorité au niveau de la cameline semblent appartenir aux espèces *Sphaerophoria scripta* et *Syrirta pipiens* tandis que les deux espèces d'*Eristalis* ainsi que les *Episyrphus balteatus* représentent au mieux les bandes de sarrasin.

## 7) Discussion

### 7.1) Influence de différents traitements sur la ponte d'*E. balteatus* en tunnel de vol

#### 7.1.1) Application de miellats, bactéries et composés chimiques sur différentes plantes

D'une manière générale, des différences significatives ont été obtenues entre les témoins positifs et négatifs pour le nombre d'œufs pondus lors des expériences en tunnel de vol réalisées avec les miellats de deux espèces de pucerons mais pas lors de celles menées avec la solution filtrée de bactéries *S. sciuri* ni avec le mélange de composés chimiques (3-méthyl-2-buténal et acide 3-diméthyl- 3,3 acrylique). Seul le miellat d'*A. pisum* placé sur la féverole ne suit pas cette généralité mais cela est probablement dû à la forte différence obtenue entre les répliques. Les résultats obtenus pour les miellats confirment que ceux-ci induisent la ponte des syrphes comme déjà suggéré dans d'autres études que ce soit pour le

miellat d'*A. pisum* (Budenberg & Powell, 1992; P. D. Leroy et al., 2014) ou d'*A. fabae* (Shonouda, Bombosch, Shalaby, & Osman, 1998a).

Pour ce qui est des bactéries *S. sciuri*, une mauvaise conservation de la solution a probablement causé une perte en composés volatils. En effet, cette dernière a été conservée au frigo pendant plusieurs semaines alors qu'un placement au congélateur à -80°C (Shaltiel & Ayal, 1998) aurait permis de préserver d'une manière plus efficace les composés volatils qui en étaient émis. Cette perte de composés peut éventuellement expliquer le fait que l'application de la solution sur les plantes n'ait pas induit la ponte chez les femelle d'*E. balteatus*.

En ce qui concerne les composés chimiques, nos expériences se sont basées sur un brevet réalisé par P. Leroy (Patent No. EP2608665 A2, 2012) dans lequel il est démontré que l'application en tunnel de vol, en serre ou en champ de fève (*Vicia faba*) ou de pomme de terre de ce mélange a un impact sur l'attraction et le comportement d'oviposition des syrphes. Les expériences du travail ici présent n'ont pas pu montrer de différence entre les plantes traitées avec ces produits et les plantes saines. Les concentrations utilisées étaient pourtant les mêmes que celles donnant les meilleurs résultats dans le brevet. Dans un autre article (Alabi et al., 2014), le même mélange de composés sémiocchimiques a été utilisé dans un champ de pomme de terre afin d'évaluer son impact, via l'attraction des ennemis naturels, sur la population de pucerons mais les résultats n'ont pas montré de diminution significative de ces insectes dans les parcelles où le mélange a été appliqué. Dans cette étude, l'analyse GC-MS prouve bien que ces deux composés chimiques sont produits par la bactérie *S. sciuri*. De plus, P. Leroy a montré que le 3-méthyl-2-buténal provoquait bien la ponte des syrphes, le nombre d'œufs étant identique à celui retrouvé sur les plantes recouvertes de pucerons (P. D. Leroy et al., 2011). Par contre, il n'a pas été démontré que le deuxième composé chimique seul contenu dans le mélange testé dans ce travail (acide 3-diméthyl- 3,3 acrylique, CAS 541-47-9) induisait la ponte des syrphes. Les résultats obtenus seraient probablement dû à cet acide 3-diméthyl- 3,3 acrylique qui n'attire peut-être pas assez ces Diptères. Selon nos résultats obtenus sur le terrain, lors de l'application du mélange sur les bandes fleuries, celui-ci aurait éventuellement un effet répulsif sur les syrphes plutôt qu'attractif comme supposé dans les hypothèses de ce travail.

### **7.1.2) Influence du vieillissement du miellat sur la ponte du syrphe *E. balteatus***

Ensuite, les résultats des tests statistiques comparant les miellats "vieillis" ne montraient pas de différence significative en nombre d'œufs entre les miellats de 72 heures et de 96 heures. La seule chose démontrée par ces expériences est que le miellat d'*A. pisum* provoque bien la ponte des syrphes *E. balteatus* même après avoir été déposé sur des boîtes de Petri par les pucerons 72 heures et 96 heures plus tôt. A partir de ces expériences, aucune différence quant au déclenchement de la ponte n'existe entre des miellats frais ou plus anciens. A priori, le développement de microorganismes au fur et à mesure du temps n'a pas d'influence sur les syrphes et les composés volatils induisant l'oviposition seraient toujours présents après 96 heures. Pourtant, dans une expérience menée sur des guêpes parasitoïdes, le temps de recherche de celles-ci diminuait au fur et à mesure du vieillissement du miellat, c'est-à-dire que les guêpes quittaient plus tôt la feuille traitée avec du miellat plus âgé. Il était donc suggéré que l'activité kairomonale du miellat diminuait au cours du temps (Shaltiel & Ayal, 1998).

### **7.1.3) Influence de différents traitements sur le comportement d'oviposition du syrphe *E. balteatus***

Les résultats obtenus en ce qui concerne le comportement des syrphes en tunnel de vol ne permettent pas de tirer des conclusions, que ce soit au niveau des tests réalisés avec les plantes ou avec le miellat dans des boîtes de Petri. En effet, ces résultats ne peuvent pas être pris au sérieux car les chiffres obtenus pour réaliser les tests Chi2 n'étaient pas assez élevés même après avoir additionné les données des répliques. Des comparaisons sont parfois faites avec des chiffres ne dépassant pas les uns ou deux individus posés sur une plante contre zéro posé sur l'autre ce qui ne permet pas de faire des statistiques correctes. Une solution à ce problème serait d'augmenter le nombre de répliques pour avoir un set de données plus élevé, ainsi nous pourrions sortir des limites du bruit du test Chi2. Cependant, les faibles chiffres obtenus proviennent peut-être de la méthode employée pour réaliser les expériences. En effet, le comportement était relevé de manière instantanée et non continue. Avec cette méthode de travail, des comportements peuvent avoir eu lieu au moment où l'observateur ne les relève pas et peuvent ne jamais apparaître à l'instant de la prise de note. Cela a pu être le cas lors de nos expériences. Ainsi, pour des comportements assez rapides, il est plutôt conseillé d'utiliser des méthodes d'enregistrement continu ou alors de l'échantillonnage 1-0 (*one-zero sampling*) qui consiste à découper la période d'observation

en plusieurs parties et à préciser si les comportements d'intérêts ont eu lieu durant chaque intervalle (Martin & Bateson, 2007). Des systèmes plus perfectionnés comme, par exemple, le programme The Observer 5.0 (Noldus Technology, The Netherlands) utilisé notamment par P. Leroy (P. D. Leroy et al., 2014), ou encore le programme EthoVision XT (Noldus Technology), peuvent aussi être empruntés afin d'observer les comportements d'une manière plus optimale.

Il est important de mentionner que plusieurs difficultés ont été rencontrées lors de la réalisation de ce travail. En effet, il y a eu des complications au niveau du maintien des élevages de syrphes. La mortalité était plus élevée que la moyenne normalement atteinte. Cela a pu être causé par des variations de températures parfois trop élevées et un taux d'humidité peut-être trop faible ou encore par la présence de champignons non visibles à l'œil nu qui auraient pu se développer au niveau de la source d'eau. Une autre hypothèse serait l'utilisation intensive des syrphes femelles lors des semaines d'expériences, ce qui a pu les fatiguer et les faire mourir plus rapidement que si elles n'avaient pas été soumises au tunnel de vol. La situation sanitaire particulière dans laquelle le pays s'est retrouvé cette année a également été un autre frein à la réalisation des expériences. L'accès restreint aux laboratoires a ainsi retardé la réalisation des tests, d'où le faible nombre de réplicas effectués.

#### **7.1.4) Perspectives et améliorations à apporter dans les expériences en tunnel de vol**

Une suite possible à ce travail serait de continuer les expériences pour augmenter le nombre de réplicas afin de pouvoir faire des tests statistiques plus solides. Dans ce cas, la méthodologie devrait être adaptée. C'est-à-dire que pour l'analyse du comportement, un programme adapté comme mentionné plus tôt permettrait de voir s'il y a vraiment des différences de comportement entre les témoins positifs et négatifs. En effet, des différences auraient dû normalement apparaître au niveau du comportement des syrphes face aux miellats car les insectes ont pondu un nombre plus important d'œufs sur les témoins positifs mais le comportement "ponte" n'a pas été mis en évidence, au contraire des expériences similaires réalisées par P. Leroy (P. D. Leroy et al., 2014). Il serait préférable de modifier également soit le nombre d'individus placés dans le tunnel de vol soit l'espace disponible pour ceux-ci.



Pour être plus complet, il serait intéressant de procéder à une analyse GC-MS (Chromatographie en phase Gazeuse - Spectrométrie de Masse) afin de connaître les composés organiques volatils émis à la fois par le miellat d'*A. pisum* mais aussi par la solution filtrée de bactéries *S. sciuri* produite en laboratoire. Des analyses microbiologiques du miellat, comme de l'extraction d'ADN du microbiote suivie d'une amplification PCR, pourraient s'avérer utiles afin de confirmer la présence de la bactérie *S. sciuri*. Si tel est le cas, une comparaison entre cette souche et celle conservée et produite au laboratoire pourrait être faite afin de voir si les différences entre les deux est importante ou négligeable. Une analyse GC-MS pourrait se faire également avec le miellat d'*A. fabae* afin d'identifier les composés organiques volatils émis par celui-ci. Des tests de choix en tunnel de vol semblables à ceux réalisés dans ce travail pourraient alors être effectués avec chacun de ces composés pour voir lesquels attirent ou provoquent l'oviposition chez les syrphes.

## **7.2) Effet de composés chimiques sur l'attractivité des syrphes en bandes fleuries**

Dans la deuxième partie de ce travail, les différences significatives obtenues dans le cas de l'application sur les cultures de sarrasin des composés chimiques montrent que ceux-ci ont un effet sur l'attraction des syrphes dans ces bandes fleuries. Cependant, le fait que le nombre de syrphes soit plus élevé dans les témoins négatifs révèle, comme mentionné plus tôt, que le mélange est peut-être répulsif. De plus, il faut prendre en compte que la date a joué un rôle dans le cas du sarrasin. En effet, selon le jour, la température, l'humidité et la vitesse du vent étaient différentes malgré des expérimentations qui se sont déroulées uniquement dans les conditions favorables mentionnées dans la section "Matériel et méthode". Pour diminuer cet effet du facteur aléatoire, un plus grand nombre de réplicas serait nécessaire. La différence n'étant pas significative en ce qui concerne la cameline, rien ne peut affirmer que les composés chimiques testés ont une influence sur l'attraction des syrphes. Un lien peut donc être fait avec les expériences réalisées en laboratoire qui révélaient également l'inefficacité de ces produits. Une analyse des autres guildes d'insectes pourrait également être réalisée avec nos données récoltées afin de savoir si l'effet est identique sur celles-ci.

Quelques remarques sont tout de même à faire quant au déroulement des expériences sur le terrain. En effet, un premier point est la présence de l'observateur qui peut éventuellement influencer la venue des syrphes sur les parcelles (Darmaillacq & Lévy,

2019). Un autre point est la prise de notes lors des relevés qui n'est peut-être pas optimale. L'observateur ne voit pas forcément toutes les syrphes qui visitent les fleurs ou peut parfois compter un individu deux fois car le regard de l'être humain ne peut pas être partout à la fois. La parcelle d'1 m<sup>2</sup> était peut-être un peu trop grande et la prise de note pourrait être améliorée sur une parcelle plus petite.

A cela, il faut ajouter que le semis tardif dû à la situation sanitaire et les conditions météorologiques de cette année 2020 ont impacté les cultures en elles-mêmes. Aucun puceron n'a été détecté dans le blé car celui-ci était déjà trop avancé dans sa maturation et donc déjà sec au début de nos expériences. La féverole n'a pas pu être exploitée car la densité en plantes sur les parcelles n'était pas assez élevée. Cela a pu être causé par une mauvaise levée due aux chaleurs et à la sécheresse. Le stress hydrique a également amené la cameline à être très vite en graines. Les feuilles de certains plants étaient aussi d'une couleur anormale, tirant sur le rose et le jaune ce qui a pu être provoqué par un virus ou encore un choc de température. Toutes ces conditions ont pu éventuellement impacter l'ensemble des expériences et des récoltes d'insectes.

### **7.3) Analyse de la diversité de syrphes dans les bandes fleuries en champ de blé**

#### **7.3.1) Diversité et traits fonctionnels des syrphes**

Le nombre de spécimens récolté lors de ces trois semaines d'échantillonnage révèle qu'une quantité non négligeable de syrphes visite les parcelles. La diversité n'est cependant pas exceptionnelle au vu des valeurs des indices de Simpson et Shannon, ce qui peut être dû au paysages se trouvant aux alentours du site d'étude. Effectivement, les environs se composent principalement de champs agricoles de types monocultures et il a déjà été démontré que la simplification des paysages avait de réels impacts sur la diversité et l'abondance des insectes et plus particulièrement sur les espèces pollinisatrices (Andersson, Birkhofer, Rundlöf, & Smith, 2013; Senapathi, Goddard, Kunin, & Baldock, 2017). Le nombre élevé d'individus appartenant à l'espèce *Sphaerophoria scripta* peut être expliqué par le caractère anthropophile de cet insecte. Avec sa large répartition, cette espèce est présente dans tous les milieux et est abondante dans les agrosystèmes (Dor, Maillet-Mezeray, & Sarthou, 2017; Sarthou, 2019). Elle fait partie des espèces dominantes des milieux ouverts en Europe de l'ouest (Branquart & Hemptinne, 2000a). L'adulte est floricole et occupe principalement la strate herbacée. Cette espèce est très appréciée par les agriculteurs car

ses larves sont polyaphidiphages, ce qui fait d'elle un auxiliaire de culture (Valeix, 2016) (Andersson et al., 2013; Chabert & Sarthou, 2017). Les syrphes *Eristalis tenax*, aussi retrouvés en grand nombre dans les bandes fleuries, se nourrissent également d'éléments floraux et jouent un rôle de pollinisateur. Par contre, le régime alimentaire des larves est différent des syrphes du genre *Sphaerophoria* car celles-ci consomment de la matière organique en décomposition (Dubois, Durieux, Franchimont, & Hermant, 2004), et ne sont donc pas intéressantes en terme de régulation des pucerons. Une des raisons qui peut expliquer leur présence non négligeable dans les bandes fleuries est le tas de fumier qui se trouvait au bord du champ de blé. De plus, *E. tenax* est une espèce qui migre sur de grandes distances en été (Mueller & Dauber, 2016). Malgré leur plus petite quantité en nombre d'individus, d'autres espèces aphidiphages ont tout de même été recensées. C'est le cas des spécimens appartenant aux genres *Melanostoma*, *Platycheirus*, *Syrphus*, *Episyrphus* et *Metasyrphus* (Chaubet, 1992; Simon, Tinkeu, & Hance, 2001). Toutes ces espèces peuvent donc contribuer à diminuer les populations de ravageurs dans les cultures.

### **7.3.2) Etude de la portée de l'attractivité des bandes fleuries dans le champ**

Suite aux analyses multivariées effectuées pour comparer le contenu des Pantraps situés à différentes distances des bandes, ces dernières ne semblent pas avoir d'effet au-delà de 3 mètres. Cependant, la culture de froment était déjà presque à maturation lors de la floraison des bandes, les syrphes n'avaient donc aucun intérêt à visiter le champ dépourvu de pucerons. Ils sont donc restés dans un endroit plus accueillant pour eux, c'est-à-dire les bandes fleuries qui leur fournissaient un abri et des ressources alimentaires (pollen et nectar).

### **7.3.3) Evaluation de la diversité à l'intérieur des bandes fleuries**

Les résultats de l'analyse en coordonnées principales effectuée sur les données de captures au filet ont montré une différenciation entre les deux types de traitement mais avec un léger recouvrement ce qui suggère que la diversité de syrphes retrouvée dans les deux types de bandes n'est pas exactement identique.

Ensuite, les indices de Shannon et de Simpson n'ont pas montré de différence de diversité significative entre le sarrasin et la cameline. Les deux bandes auraient la même efficacité en terme d'attraction des syrphes. En terme d'abondance, le taux de syrphes aphidiphages est tout de même plus élevé dans les bandes de cameline, ce qui laisse penser

que celles-ci seraient plus utiles pour la lutte contre les pucerons. Ce résultat reflète l'importance des traits floraux dans l'attraction des pollinisateurs (Colley & Luna, 2000; Fornoff et al., 2017; van Rijn & Wäckers, 2016). Les syrphes seraient en effet plus attirés par les fleurs blanches et jaunes que par les fleurs bleues (Colley & Luna, 2000). Ces dernières sont par contre plus efficaces pour attirer les abeilles (McCrary & Ruhoff, 2017). Le type de corolle est également un trait floral déterminant. Celles qui sont larges permettent normalement d'attirer les syrphes (van Rijn & Wäckers, 2016), tandis que les plus étroites sont plus adaptées aux abeilles (Gómez et al., 2008). Le succès des bandes de sarrasin peut donc être expliqué à la fois par la couleur des fleurs qui sont blanches et par la largeur des corolles. Enfin, les bandes fleuries semées dans le cadre de cette étude étaient constituées d'une seule espèce végétale par bande. Or, il a déjà été suggéré qu'une diversité plus élevée était retrouvée dans des bandes multiflorales (Amy et al., 2018).

## **8) Conclusion**

En conclusion, les bandes monoflorales de sarrasin et de cameline attirent plusieurs genres de syrphes aphidiphages qui peuvent contribuer au contrôle biologique des pucerons dans les champs mais également d'autres espèces généralistes non aphidiphages, qui favorisent la pollinisation des cultures environnantes. Il faut préciser qu'un semis plus tôt dans la saison permettrait sans doute d'augmenter l'efficacité des bandes fleuries bien que le bon développement et les bénéfices apportés par celles-ci soient totalement dépendants des paramètres environnementaux qui peuvent être très variables en fonction des régions et des années (Amy et al., 2018; Haaland et al., 2011).

L'objectif de ces recherches encore en cours serait, dans un premier temps, de trouver la composition optimale de bandes fleuries qui permettrait de multiplier les effets bénéfiques de celles-ci (Hatt et al., 2015). Mettre en avant les avantages économiques apportés par ces cultures intercalaires pourrait convaincre les agriculteurs à s'engager plus facilement dans ces mesures Agro-environnementales (Amy et al., 2018). En parallèle, le développement d'une solution efficace applicable dans les parcelles de fleurs ou éventuellement directement sur la culture principale permettrait d'augmenter l'effet attractif de ces bandes, sans que cela soit dommageable pour l'environnement. Une autre alternative serait éventuellement de placer ces sémiachimiques dans des diffuseurs d'odeurs. L'idéal serait que cette solution provoque la ponte des syrphes femelles

aphidiphages. Le contrôle des ravageurs de culture par leurs ennemis naturels pourrait permettre de diminuer les quantités de pesticides répandues sur les champs cultivés voire de les éliminer complètement afin de contribuer à la conservation de la biodiversité qui est de plus en plus impactée par l'activité de l'homme au fur et à mesure des années.

## 9) Références bibliographiques

- Adak, M. S., & Kibritci, M. (2016). Effect of nitrogen and phosphorus levels on nodulation and yield components in faba bean (*Vicia faba* L.). *Legume Research-An International Journal*, 39(6), 991–994.
- Agence canadienne d'inspection des aliments (2017). La biologie du *Camelina sativa* (L.) Crantz (caméline cultivée). Retrieved from : <https://www.inspection.gc.ca/protection-desvegetaux/vegetaux-a-caracteres-nouveaux/demandeurs/directive-94-08/documents-sur-labiologie/camelina-sativa-l-/fra/1330971423348/1330971509470>
- Alabi, T., Brostaux, Y., Agrigorrescu, A., Fischer, C., Thonart, P., Lognay, G., ... Verheggen, F. J. (2014). Microorganism-associated semiochemicals reduce the size of aphid populations in potato fields. *Revue Des Régions Arides*, 35, 1695–1701.
- Almohamad, R., Verheggen, F. J., & Haubruge, É. (2009). Searching and oviposition behavior of aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae): A review. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 13(3), 467–481.
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74(1–3), 19–31. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)
- Amy, C., Noël, G., Hatt, S., Uyttenbroeck, R., Van De Meutter, F., Genoud, D., & Francis, F. (2018). Flower strips in wheat intercropping system: Effect on pollinator abundance and diversity in Belgium. *Insects*, 9(3), 16. <https://doi.org/10.3390/insects9030114>
- Andersson, G. K. S., Birkhofer, K., Rundlöf, M., & Smith, H. G. (2013). Landscape heterogeneity and farming practice alter the species composition and taxonomic breadth of pollinator communities. *Basic and Applied Ecology*, 14(7), 540–546. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2013.08.003>
- Arendt, E. K., & Zannini, E. (2013). Buckwheat. In *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. <https://doi.org/10.1533/9780857098924.369>
- Auclair, J. L. (1959). Feeding and excretion by the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Harr.) (Homoptera : Aphididae), reared on different varieties of peas. *Ent. Exp. & Appl.*, 2(4), 279–286.
- Bartlett, B. R. (1964). Toxicity of some pesticides to eggs, larvae, and adults of the green lacewing, *Chrysopa carnea*. *Journal of Economic Entomology*, 57(3), 366–369.
- Bishop, J., Jones, H. E., Lukac, M., & Potts, S. G. (2016). Insect pollination reduces yield loss following heat stress in faba bean (*Vicia faba* L.). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 220, 89–96.
- Bolland, M. D. A., Siddique, K. H. M., & Brennan, R. F. (2000). Grain yield responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to applications of fertiliser phosphorus and zinc. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40(6), 849–857. Retrieved from <https://doi.org/10.1071/EA99164>
- Bonnet, J. (2020). *Contribution annuelle au suivi de la biodiversité des abeilles sauvages parmi différents habitats à l'échelle d'exploitations agricoles en transition agro-écologique*. Université de Liège.
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2018). Numerical Ecology with R. In R. Gentleman, K. Hornik, & G. Parmigiani (Eds.), *Use R!* (Second Edi). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-71404-2>
- Branquart, E., & Hemptinne, J.-L. (2000a). Selectivity in the exploitation of floral resources by

- hoverflies (Diptera: Syrphinae). *Ecography*, 23(6), 732–742. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2000.tb00316.x>
- Branquart, E., & Hemptinne, J. L. (2000b). Development of ovaries, allometry of reproductive traits and fecundity of *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae). *European Journal of Entomology*, 97, 165–170. <https://doi.org/10.14411/eje.2000.031>
- Brose, U. (2003). Bottom-up control of carabid beetle communities in early successional wetlands: Mediated by vegetation structure or plant diversity? *Oecologia*, 135(3), 407–413. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1222-7>
- Buckley, R. C. (1987). Interactions involving plants, Homoptera, and ants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 18, 111–135. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.18.110187.000551>
- Budenberg, W. J., & Powell, W. (1992). The role of honeydew as an ovipositional stimulant for two species of syrphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 64(1), 57–61.
- Budin, J. T., Breene, W. M., & Putnam, D. H. (1995). Some compositional properties of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) seeds and oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72(3), 309–315. <https://doi.org/10.1007/BF02541088>
- Busson, M., Chetty, J., Robin, M.-H., & Aubertot, J.-N. (2016). Biocontrôle. In *Dico-Agroécologie* (pp. 1–3).
- Calderan, A. (2018). *Contribution au suivi de la biodiversité pluriannuelle des pollinisateurs et évaluation du service de pollinisation au sein de quatre micro-habitats situés en exploitation agricole agro-écologique* (Liège université). Retrieved from <http://hdl.handle.net/2268.2/5152>
- Campbell, J. W., Irvin, A., Irvin, H., Stanley-Stahr, C., & Ellis, J. D. (2016). Insect Visitors to Flowering Buckwheat, *Fagopyrum esculentum* (Polygonales: Polygonaceae), in North-Central Florida. *Florida Entomologist*, 99(2), 264–268. <https://doi.org/10.1653/024.099.0216>
- Campbell, M. (2018). Camelina - An Alternative Oil Crop. In M. Kaltschmitt & U. Neuling (Eds.), *Bioerosene: Status and Prospects* (1st ed., pp. 259–275). <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53065-8>
- Carrié, R., George, D., & Wäckers, F. (2012). Selection of floral resources to optimise conservation of agriculturally-functional insect groups. *Journal of Insect Conservation*, 16. <https://doi.org/10.1007/s10841-012-9508-x>
- Cawoy, V., Ledent, J.-F., Kinet, J.-M., & Jacquemart, A.-L. (2009). Floral biology of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 3(special issue 1), 1–9.
- Céréales alimentaires - Plan de développement stratégique 2019-2028. (n.d.). In *Commission Grandes cultures*.
- Chabert, A., & Sarthou, J. P. (2017). Practices of conservation agriculture prevail over cropping systems and landscape heterogeneity in understanding the ecosystem service of aphid biocontrol. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 249(July), 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.005>
- Chaubet, B. (1992). Diversité écologique, aménagement des agro-écosystèmes et favorisation des ennemis naturels des ravageurs: cas des aphidiphages. *Le Courrier De L'Environnement De L'Inra*, (18), 45–63.

- Chen, W. (2009). Pollination, Fertilization and Floral Traits Co-Segregating with Autofertility in Faba Bean. *Journal of New Seeds*, 10(1), 14–30. <https://doi.org/10.1080/15228860802594615>
- Choi, M. Y., Roitberg, B. D., Shani, A., Raworth, D. A., & Lee, G. H. (2004). Olfactory response by the aphidophagous gall midge, *Aphidoletes aphidimyza* to honeydew from green peach aphid, *Myzus persicae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 111, 37–45. <https://doi.org/10.1111/j.0013-8703.2004.00151.x>
- Cloutier, C. (1986). Amino acid utilization in the aphid *Acyrtosiphon pisum* infected by the parasitoid *Aphidius smithi*. *J. Insect Physiol.*, 32(4), 263–267.
- Colley, M. R., & Luna, J. M. (2000). Relative attractiveness of potential beneficial insectary plants to aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Environmental Entomology*, 29(5), 1054–1059. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-29.5.1054>
- Coste, H. (1937a). *Flore descriptive et illustrée de la France de la Corse et des contrées limitrophes - Tome 1*. Paris.
- Coste, H. (1937b). *Flore descriptive et illustrée de la France de la Corse et des contrées limitrophes - Tome 3*. Paris.
- Cubero, J. I. (1974). On the evolution of *Vicia faba* L. *Theoretical and Applied Genetics*, 45(2), 47–51. <https://doi.org/10.1007/BF00283475>
- Danel, A. (2020). *Etude du potentiel d'utilisation et développement de phytomètres comme indicateurs pour l'évaluation de l'activité de pollinisation entomogame au sein de paysages agricoles en transition agro-écologique (Havelange, Belgique)*. Liège université.
- Darmaillacq, A. S., & Lévy, F. (2019). *Éthologie animale - Une approche biologique* (2e édition). Retrieved from <https://www.furet.com/media/pdf/feuilleter/9/7/8/2/8/0/7/3/9782807320376.pdf>
- Debach P. (1991). *Biological control by natural enemies* (2e éd.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Denys, C., & Tscharrntke, T. (2002). Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows. *Oecologia*, 130, 315–324. <https://doi.org/10.1007/s004420100796>
- Devine, G. J., & Furlong, M. J. (2007). Insecticide use: Contexts and ecological consequences. *Agriculture and Human Values*, 24(3), 281–306. <https://doi.org/10.1007/s10460-007-9067-z>
- Dixon, A. F. G., Hemptinne, J. L., & Kindlmann, P. (1997). Effectiveness of ladybirds as biological control agents: Patterns and processes. *Entomophaga*, 42(1–2), 71–83. <https://doi.org/10.1007/BF02769882>
- Dixon, T. J. (1959). Studies on oviposition behaviour of syrphidae (Diptera). *Transactions of the Royal Entomological Society of London*, 111, 57–80. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1959.tb02276.x>
- Dor, C., Maillet-Mezeray, J., & Sarthou, V. (2017). *Sphaerophoria scripta*. Retrieved August 18, 2020, from Arvalis - Institut du végétal website: <https://www.animateur-nature.com/telechargements/animaux/sphaerophoria-scripta.pdf>
- Dubois, E., Durieux, M., Franchimont, M. M., & Hermant, P. (2004). Un cas exceptionnel en Belgique de myiase intestinale due à *Eristalis tenax*. *Acta Clinica Belgica*, 59(3), 168–170.



<https://doi.org/10.1179/acb.2004.025>

- Duc, G., Aleksić, J. M., Marget, P., Mikic, A., Paull, J., Redden, R. J., ... Torres, A. M. (2015). *Faba Bean BT - Grain Legumes* (A. M. De Ron, Ed.). [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2797-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2797-5_5)
- Eberle, C. A., Thom, M. D., Nemeč, K. T., Forcella, F., Lundgren, J. G., Gesch, R. W., ... Peterson, D. H. (2015). Using pennycress, camelina, and canola cash cover crops to provision pollinators. *Industrial Crops and Products*, 75, 20–25.
- Figueiredo Caetano, J. A. (2019). *Impacts du changement climatique sur le développement et sur la préférence du site d'oviposition du syrpe ceinturé (Episyrphus balteatus (De Geer))*. Liège université.
- Flores, F., Hybl, M., Knudsen, J. C., Marget, P., Muel, F., Nadal, S., ... Solis, I. (2013). Adaptation of spring faba bean types across European climates. *Field Crops Research*, 145, 1–9.
- Fornoff, F., Klein, A. M., Hartig, F., Benadi, G., Venjakob, C., Schaefer, H. M., & Ebeling, A. (2017). Functional flower traits and their diversity drive pollinator visitation. *Oikos*, 126, 1020–1030. <https://doi.org/10.1111/oik.03869>
- Francis, A., & Warwick, S. (2009). The Biology of Canadian Weeds. 142. *Camelina alyssum* (Mill.) Thell.; *C. microcarpa* Andr. ex DC.; *C. sativa* (L.) Crantz. *Canadian Journal of Plant Science - CAN J PLANT SCI*, 89, 791–810. <https://doi.org/10.4141/CJPS08185>
- Francis, F. (2003). *Interactions tritrophiques: étude du modèle Brassicaceae-pucerons-coccinelle prédatrice*. FUSAGx, Gembloux, Belgique.
- Francis, F., Colignon, P., & Haubruge, E. (2003). Evaluation de la présence des Syrphidae (Diptera) en cultures maraîchères et relation avec les populations aphidiennes. *Parasitica*, 59(3–4), 129–139.
- Francis, F., Lognay, G., & Haubruge, E. (2004). Olfactory responses to aphid and host plant volatile releases: (E)- $\beta$ -farnesene an effective kairomone for the predator *Adalia bipunctata*. *Journal of Chemical Ecology*, 30(4), 741–755. <https://doi.org/10.1023/B>
- Fraival, A. (2006). Les pucerons - 1ère partie. *Insectes*, 141(2), 3–8. Retrieved from [www.inra.fr/opie-insectes/i-sommaire.htm](http://www.inra.fr/opie-insectes/i-sommaire.htm)
- Geetanjali Mishra, O. (2016). Syrphid Flies (The Hovering Agents). In Elsevier (Ed.), *Ecofriendly Pest Management for Food Security* (pp. 259–279). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803265-7.00008-7>
- Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B., ... Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001>
- Ghamkhar, K., Croser, J., Aryamanesh, N., Campbell, M., Kon'kova, N., & Francis, C. (2010). Camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) as an alternative oilseed: Molecular and ecogeographic analyses. *Genome*, 53, 558–567. <https://doi.org/10.1139/g10-034>
- Gilbert, F. S., & Falk, S. J. (2015). *Hoverflies* (2nd ed.). Retrieved from <https://books.google.be/books?id=jlr3sgEACAAJ>
- Gilles, B. (2014). La métamorphose chez les insectes. Retrieved May 10, 2020, from Passion Entomologie website: <https://passion-entomologie.fr/metamorphose-chez-les-insectes/>

- Giraud, E. (2007). Symbiose rhizobium / légumineuse : un nouveau sésame. *Medecine/Sciences*, 23, 663–664.
- Girma, F., & Haile, D. (2014). Effects of supplemental irrigation on physiological parameters and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) varieties in the highlands of Bale, Ethiopia. *Journal of Agronomy*, 13(1), 29.
- Godin, C., & Boivin, G. (2002). Guide d'identification des pucerons dans les cultures maraîchères au Québec. In *Agriculture et agroalimentaire Canada. AACCRDH/prisme*,(31). Retrieved from [http://www.agrireseau.qc.ca/legumeschamp/documents/aphidinae\\_f.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/legumeschamp/documents/aphidinae_f.pdf)
- Gómez, J. M., Bosch, J., Perfectti, F., Fernández, J. D., Abdelaziz, M., & Camacho, J. P. M. (2008). Association between floral traits and rewards in *Erysimum mediohispanicum* (Brassicaceae). *Annals of Botany*, 101, 1413–1420. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn053>
- Grady, K., & Nleya, T. (2010). Camelina Production. *Extension Extra 8167, SDSU*, (369), 1–3. Retrieved from [http://openprairie.sdstate.edu/extension\\_extra/369%0AThis](http://openprairie.sdstate.edu/extension_extra/369%0AThis)
- Grafton-Cardwell, E. E., & Hoy, M. A. (1985). Short-term effects of permethrin and fenvalerate on oviposition by *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Journal of Economic Entomology*, 78(4), 955–959.
- Gratton, C., & Denno, R. F. (2003). Seasonal shift from bottom-up to top-down impact in phytophagous insect populations. *Oecologia*, 134(4), 487–495. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1137-8>
- Groeneveld, J. H., & Klein, A. M. (2014). Pollination of two oil-producing plant species: Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) and pennycress (*Thlaspi arvense* L.) double-cropping in Germany. *GCB Bioenergy*, 6(3), 242–251. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12122>
- Grosjean, P., & Engels, G. (2020). Science des données biologiques 2. Retrieved June 6, 2020, from Biodatascience website: <http://biodatascience-course.sciviews.org/sdd-umons2/>
- Haaland, C., Naisbit, R. E., & Bersier, L. F. (2011). Sown wildflower strips for insect conservation: A review. *Insect Conservation and Diversity*, 4(1), 60–80. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2010.00098.x>
- Halbrecq, B., Romedenne, P., & Ledent, J. F. (2005). Evolution of flowering, ripening and seed set in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench): quantitative analysis. *European Journal of Agronomy*, 23(3), 209–224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.11.006>
- Hanane, Z. (2016). *Activité insecticide de l'extrait méthanoïque de Nicotiana glauca sur le puceron noir de la fève (Aphis fabae)*. Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.
- Hatt, S., Uyttenbroeck, R., Bodson, B., Piqueray, J., Monty, A., & Francis, F. (2015). Des bandes fleuries pour la lutte biologique : état des lieux, limites et perspectives en Wallonie – Une synthèse bibliographique. *Entomologie Faunistique - Faunistic Entomology*, 68, 159–168.
- Hemptinne, J. L., Dombia, M., & Gaspar, C. (1995). The reproductive strategy of predators is a major constraint to the implementation of biological control in the field. *Mededelingen-Faculteit Landbouwkundige En Toegepaste Biologische Wetenschappen Universiteit Gent (Belgium)*.
- Hendrix, D. L., Wei, Y., & Leggett, J. E. (1992). Homopteran honeydew sugar composition is determined by both the insect and plant species. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 101(1–2), 23–27.

- Hindayana, D. (2001). *Resource exploitation by Episyrrhus balteatus DeGeer (Diptera: Syrphidae) and intraguild predation*. University of Hanover.
- Hullé, M. (2019). Les pucerons, des insectes passionnants et problématiques (1/2). Retrieved from Passion Entomologie website: <https://passion-entomologie.fr/les-pucerons-insecte-passionnants-et-problematiques/>
- Iperti, G. (1999). Biodiversity of predaceous coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1–3), 323–342.
- Jamoneau, A. (2010). *Relations entre les diversités alpha, bêta et gamma de la flore vasculaire de fragments forestiers inclus dans des paysages agricoles contrastés*. Université de Picardie Jules Verne.
- Jensen, E. S., Peoples, M. B., & Hauggaard-Nielsen, H. (2010). Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research*, 115(3), 203–216.
- Joseph, C., Delattre, D., & Sarthou, J.-P. (2017). Auxiliaires des cultures. In *Dictionnaire d'agroécologie*. Retrieved from [dicoagroecologie.fr/encyclopedie/auxiliaires-des-cultures/%0ANiveau](https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/auxiliaires-des-cultures/%0ANiveau)
- Kan, E., & Sasakawa, M. (1986). Assessment of the maple aphid colony by the hover fly, *Episyrrhus balteatus* (de Geer) (Diptera: Syrphidae) I. *Journal of Ethology*, 4, 121–127. <https://doi.org/10.1007/BF02348114>
- Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernández, J. A., Vågen, I. M., Rewald, B., ... Savvas, D. (2018). Faba bean cultivation – revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. *Frontiers in Plant Science*, 9(August), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01115>
- Katerji, N., Mastrorilli, M., Lahmer, F. Z., Maalouf, F., & Oweis, T. (2011). Faba bean productivity in saline–drought conditions. *European Journal of Agronomy*, 35(1), 2–12.
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., Christensen, R. H. B., & Jensen, S. P. (2020). *Package 'lmerTest' - Tests in Linear Mixed Effects Models*.
- Leclant, F. (1999). *Les pucerons des plantes cultivées. Clefs d'identification: 2. Cultures maraîchères*. Editions Quae.
- Leroy, P., Capella, Q., & Haubruge, É. (2009). L'impact du miellat de puceron au niveau des relations tritrophiques entre les plantes-hôtes, les insectes ravageurs et leurs ennemis naturels. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 13(2), 325–334.
- Leroy, P. D. (2006). *Contribution à l'étude de la perception des métabolites secondaires d'origine végétale et aphidienne et de leurs impacts sur l'induction de la ponte du syrpe prédateur Episyrrhus balteatus (DeGeer) (Diptera, Syrphidae)*. Université de Liège.
- Leroy, P. D. (2011). *Alternative strategies for aphid biological control : special regard on honeydew and bacteria from aphids*. University of Liege.
- Leroy, P. D., Almohamad, R., Attia, S., Capella, Q., Verheggen, F. J., Haubruge, E., & Francis, F. (2014). Aphid honeydew: An arrestant and a contact kairomone for *Episyrrhus balteatus* (Diptera: Syrphidae) larvae and adults. *European Journal of Entomology*, 111(2), 237–242. <https://doi.org/10.14411/eje.2014.028>
- Leroy, P. D., Sabri, A., Heuskin, S., Thonart, P., Lognay, G., Verheggen, F. J., ... Haubruge, E. (2011).

- Microorganisms from aphid honeydew attract and enhance the efficacy of natural enemies. *Nature Communications*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms1347>
- Leroy, P., Sabri, A., Heuskin, S., Thonart, P., & Haubruge, E. (2012). Patent No. EP2608665 A2. Belgique.
- Li, S. Q., & Howard Zhang, Q. (2001). Advances in the development of functional foods from buckwheat. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41(6), 451–464. <https://doi.org/10.1080/20014091091887>
- Link, W., Balko, C., & Stoddard, F. L. (2010). Winter hardiness in faba bean: physiology and breeding. *Field Crops Research*, 115(3), 287–296.
- Lizarazo, C. I., Lampi, A. M., Liu, J., Sontag-Strohm, T., Piironen, V., & Stoddard, F. L. (2015). Nutritive quality and protein production from grain legumes in a boreal climate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(10), 2053–2064. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6920>
- Longobardi, F., Sacco, D., Casiello, G., Ventrella, A., & Sacco, A. (2015). Chemical Profile of the Carpino Broad Bean by Conventional and Innovative Physicochemical Analyses. *Journal of Food Quality*, 38(4), 273–284. <https://doi.org/10.1111/jfq.12143>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Retrieved from <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0632056339.html>
- Maqbool, A., Shafiq, S., & Lake, L. (2010). Radiant frost tolerance in pulse crops-a review. *Euphytica*, 172(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-0031-4>
- Martin, P., & Bateson, P. (2007). Mesuring behaviour - An Introductory Guide. In *Database* (Third edit). Cambridge University Press.
- Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G., & Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277(5325), 504–509. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.504>
- McCravy, K. W., & Ruhoff, J. D. (2017). Bee (Hymenoptera: Apoidea) diversity and sampling methodology in a midwestern USA deciduous forest. *Insects*, 8(3), 8–11. <https://doi.org/10.3390/insects8030081>
- Migdadi, H. M., El-Harty, E. H., Salamh, A., & Khan, M. A. (2016). Yield and proline content of faba bean genotypes under water stress treatments. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 26(6), 1772–1779.
- Moerman, R., Vanderplanck, M., Roger, N., Declèves, S., Wathelet, B., Rasmont, P., ... Michez, D. (2015). Growth Rate of Bumblebee Larvae is Related to Pollen Amino Acids. *Journal of Economic Entomology*, 109(1), 25–30. <https://doi.org/10.1093/jee/tov279>
- Mueller, A. L., & Dauber, J. (2016). Hoverflies (Diptera: Syrphidae) benefit from a cultivation of the bioenergy crop *Silphium perfoliatum* L. (Asteraceae) depending on larval feeding type, landscape composition and crop management. *Agricultural and Forest Entomology*, 18(4), 419–431. <https://doi.org/10.1111/afe.12175>
- Neme, K., Bultosa, G., & Bussa, N. (2015). Nutrient and functional properties of composite flours processed from pregelatinised barley, sprouted faba bean and carrot flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(11), 2375–2382. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12903>
- Obrycki, J. J., & Kring, T. J. (1998). Predaceous coccinellidae in biological control. *Annu. Rev. Entomol.*,

43, 295–321.

- Patrick, J. W., & Stoddard, F. L. (2010). Physiology of flowering and grain filling in faba bean. *Field Crops Research*, 115(3), 234–242.
- Patt, J. M., Hamilton, G. C., & Lashomb, J. H. (1997). Foraging success of parasitoid wasps on flowers: interplay of insect morphology, floral architecture and searching behavior. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 83(1), 21–30. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1997.00153.x>
- Peccoud, J. (2009). *Spéciation écologique et radiation adaptative dans le complexe du puceron du pois*, *Acyrtosiphon pisum*. AGROCAMPUS OUEST.
- Pfiffner, L., & Wyss, E. (2004). Use of sown wildflower strips to enhance natural enemies of agricultural pests. *Ecological Engineering for Pest Management*, 165.
- Pimentel, D., Acquay, H., Biltonen, M., Rice, P., Silva, M., Nelson, J., ... Amore, M. D. (1992). Environmental Costs of Pesticide Use. *American Institute of Biological Sciences*, 42(10), 750–760.
- Plapp Jr, F. W. (1981). The nature, modes of action, and toxicity of insecticides. *CRC Handbook of Pest Management in Agriculture*.
- Plessers, A. G., McGregor, W. G., Carson, R. B., & Nakoneshny, W. (1962). Species trials with oilseed plants: II. Camelina. *Canadian Journal of Plant Science*, 42(3), 452–459.
- Richards, S., Gibbs, R. A., Gerardo, N. M., Moran, N., Nakabachi, A., Stern, D., ... Hunter, W. (2010). Genome sequence of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. *PLoS Biology*, 8(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000313>
- Robinson, R. G. (1987). Camelina: a useful research crop and a potential oilseed crop. *Minnesota Ag. Expt. Stn. Bull.* 579, 2–12.
- Roger, N., Moerman, R., Carvalheiro, L. G., Aguirre-Gutiérrez, J., Jacquemart, A. L., Kleijn, D., ... Michez, D. (2017). Impact of pollen resources drift on common bumblebees in NW Europe. *Global Change Biology*, 23(1), 68–76. <https://doi.org/10.1111/gcb.13373>
- Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M. M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D., ... Bommarco, R. (2016). Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 221, 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>
- Sadeghi, H., & Gilbert, F. (2000). Oviposition preferences of aphidophagous hoverflies. *Ecological Entomology*, 25, 91–100. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2000.00234.x>
- Sallam, A., Martsch, R., & Moursi, Y. S. (2015). Genetic variation in morpho-physiological traits associated with frost tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.). *Euphytica*, 205(2), 395–408. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1395-2>
- Sarthou, V. (2019). L'insecte du mois - Syrphe porte-plume. Retrieved August 18, 2020, from Interreg - SAPOLL website: <http://sapoll.eu/linsecte-du-mois-de-mai-le-syrphe-porte-plume/>
- Schmidtberg, H., & Vilcinskis, A. (2016). The ontogenesis of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. *Biology and Ecology of Aphids*, 14–51.
- Scholz, D., & Poehling, H.-M. (2000). Oviposition site selection of *Episyrphus balteatus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 94, 149–158. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2000.00615.x>

- Schulten, A. (2020). *Syrphes de Belgique et des Pays-Bas*. Natagora et le Conservatoire d'espaces naturels Nord et du Pas-de-Calais.
- Senapathi, D., Goddard, M. A., Kunin, W. E., & Baldock, K. C. R. (2017). Landscape impacts on pollinator communities in temperate systems: evidence and knowledge gaps. *Functional Ecology*, *31*(1), 26–37. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12809>
- Senior, L. J., McEwen, P. K., McEwen, P., New, T., & Whittington, A. (2001). The use of lacewings in biological control. *Lacewings in the Crop Environment*, 296–302.
- Servais, L. (2015). Mesures Agro- Environnementales ( MAE ). *Wallonie Elevages*, 60–62.
- Shaltiel, L., & Ayal, Y. (1998). The use of kairomones for foraging decisions by an aphid parasitoid in small host aggregations. *Ecological Entomology*, *23*(3), 319–329. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.1998.00141.x>
- Shonouda, M. L., Bombosch, S., Shalaby, A. M., & Osman, S. I. (1998a). Biological and chemical characterization of a kairomone excreted by the bean aphids, *Aphis fabae* scop. (Hom., Aphididae), and its effect on the predator *Metasyrphus corollae* Fabr. I. Isolation, identification and bioassay of aphid-kairomone. *Journal of Applied Entomology*, *122*, 15–23. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1998.tb01455.x>
- Shonouda, M. L., Bombosch, S., Shalaby, A. M., & Osman, S. I. (1998b). Biological and chemical characterization of a kairomone excreted by the bean aphids, *Aphis fabae* Scop. (Hom., Aphididae), and its effect on the predator *Metasyrphus corollae* Fabr. I. Isolation, identification and bioassay of aphid-kairomone. *Journal of Applied Entomology*, *122*, 15–23. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1998.tb01455.x>
- Simon, L., Tinkeu, N., & Hance, T. (2001). Diversité faunique des Syrphidae (Insecta Diptera) en cultures de céréales dans le Brabant Wallon en Belgique. *Bulletin S.R.B.E./K.B.V.E.*, *137*, 16–19.
- Singh, R., & Singh, G. (2016). Aphids and Their Biocontrol. In Elsevier (Ed.), *Ecofriendly Pest Management for Food Security* (pp. 63–108). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803265-7.00003-8>
- Smith, H. A., Chaney, W. E., & Bensen, T. A. (2008). Role of Syrphid Larvae and Other Predators in Suppressing Aphid Infestations in Organic Lettuce on California's Central Coast. *Journal of Economic Entomology*, *101*(5), 1526–1532. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2008\)101\[1526:rosiao\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2008)101[1526:rosiao]2.0.co;2)
- Sorensen, J. T. (2009). Aphids. In *Encyclopedia of Insects* (2nd ed., pp. 27–31). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00008-4>
- Stefaniak, N. (n.d.). *Modèles linéaires mixtes*. Retrieved from <https://theeasierproject.files.wordpress.com/2017/05/lme23.pdf>
- Stoddard, F. L. (1991). Pollen vectors and pollination of faba beans in southern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, *42*(7), 1173–1178. Retrieved from <https://doi.org/10.1071/AR9911173>
- Stoddard, F. L., Balko, C., Erskine, W., Khan, H. R., Link, W., & Sarker, A. (2006). Screening techniques and sources of resistance to abiotic stresses in cool-season food legumes. *Euphytica*, *147*(1–2), 167–186. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-4723-8>
- Sutherland, J. P., Sullivan, M. S., & Poppy, G. M. (2001). Oviposition behaviour and host colony size discrimination in *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae). *Bulletin of Entomological Research*,

91, 411–417. <https://doi.org/10.1079/ber2001117>

- Thom, M. D., Eberle, C. A., Forcella, F., Gesch, R., & Weyers, S. (2018). Specialty oilseed crops provide an abundant source of pollen for pollinators and beneficial insects. *Journal of Applied Entomology*, *142*(1–2), 211–222.
- Tomizawa, M., & Casida, J. E. (2003). Selective toxicity of neonicotinoids attributable to specificity of insect and mammalian nicotinic receptors. *Annual Review of Entomology*, *48*(1), 339–364. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112731>
- Tschumi, M., Albrecht, M., Collatz, J., Dubsy, V., Entling, M. H., Najar-Rodriguez, A. J., & Jacot, K. (2016). Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *Journal of Applied Ecology*, *53*(4), 1169–1176. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12653>
- Turpeau-Ait Ighil, E., Dedryver, C.-A., Chaubet, B., & Hullé, M. (2011). *Les pucerons des grandes cultures Cycles biologiques et activités de vol* (E. Turpeau-Ait Ighil, Ed.). Versailles, France: Éditions Quae.
- Uyttenbroeck, R., Piqueray, J., Hatt, S., Mahy, G., & Monty, A. (2017). Increasing plant functional diversity is not the key for supporting pollinators in wildflower strips. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *249*(July), 144–155. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.014>
- Valeix, R. (2016). Le syrphe porte-plume. Retrieved June 17, 2020, from Maraîchage, insectes et compagnie website: [http://www.maraichageinsectes.com/aux\\_/dip/sphaerophoria\\_scripta.html](http://www.maraichageinsectes.com/aux_/dip/sphaerophoria_scripta.html)
- van Emden, H. F., & Harrington, R. (2007). Aphids as Crop Pests. In *CAB International*. <https://doi.org/10.1079/9781780647098.0001>
- van Rijn, P. C. J., & Wäckers, F. L. (2016). Nectar accessibility determines fitness, flower choice and abundance of hoverflies that provide natural pest control. *Journal of Applied Ecology*, *53*(3), 925–933. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12605>
- Vandermoten, S., Mescher, M. C., Francis, F., Haubruge, E., & Verheggen, F. J. (2012). Aphid alarm pheromone: An overview of current knowledge on biosynthesis and functions. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, *42*(3), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2011.11.008>
- Vanderplanck, M., Leroy, B., Wathelet, B., Wattiez, R., & Michez, D. (2014). Standardized protocol to evaluate pollen polypeptides as bee food source. *Apidologie*, *45*(2), 192–204. <https://doi.org/10.1007/s13592-013-0239-0>
- Vanhaelen, N., Gaspar, C., & Francis, F. (2002). Influence of prey host plant on a generalist aphidophagous predator: *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae). *Eur. J. Entomol.*, *99*, 561–564.
- Vauzelle, E. (2018). *Interactions multi trophiques plantes - pucerons - prédateurs : étude du rôle du microbiote du miellat sur le comportement de deux prédateurs et impact de bandes fleuries sur les populations de ravageurs et d'auxiliaires en champ d'escourgeon*. Liège université.
- Verhaeghe-Cartrysse. (2019). Les protéines végétales ont le vent en poupe. Retrieved from Association pour la Promotion des Protéagineux et des Oléagineux (A.P.P.O.) website: [https://www.gembloux.ulg.ac.be/phytotechnie-temperee/appo/Menu/conduite\\_des\\_cultures/Feveroles/INFO/2019/PROTEAGINEUX AUTOMNE 2019 feveroles hiver.pdf](https://www.gembloux.ulg.ac.be/phytotechnie-temperee/appo/Menu/conduite_des_cultures/Feveroles/INFO/2019/PROTEAGINEUX AUTOMNE 2019 feveroles hiver.pdf)

- Verheggen, F. J., Arnaud, L., Bartram, S., Gohy, M., & Haubruge, E. (2008). Aphid and plant volatiles induce oviposition in an aphidophagous hoverfly. *Journal of Chemical Ecology*, *34*, 301–307. <https://doi.org/10.1007/s10886-008-9434-2>
- Verlinden, L. (1994). *Syrphides (Syrphidae)*. Retrieved from <https://books.google.be/books?id=5wZ1tgAACAAJ>
- Vilcinskis, A. (2016). *Biology and Ecology of Aphids*.
- Völkl, W., Woodring, J., Fischer, M., Lorenz, M. W., & Hoffmann, K. H. (1999). Ant-aphid mutualisms: the impact of honeydew production and honeydew sugar composition on ant preferences. *Oecologia*, *118*, 483–491. <https://doi.org/10.1158/1538-7445.sabcs16-ot3-07-03>
- Völkl, Wolfgang, Mackauer, M., Pell, J. K., & Brodeur, J. (2007). Predators, parasitoids and pathogens. *Aphids as Crop Pests*. CABI, Wallingford, 187–233.
- Wäckers, F. L. (2000). Do oligosaccharides reduce the suitability of honeydew for predators and parasitoids? A further facet to the function of insect-synthesized honeydew sugars. *Oikos*, *90*(1), 197–201. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.900124.x>
- Way, M. J. (1963). Mutualism between ants and honeydew-producing Homoptera. *Annu. Rev. Entomol.*, *8*, 307–344.
- Westphal, C., Bommarco, R., Carré, G., Lamborn, E., Petanidou, T., Potts, S. G., ... Settele, J. (2008). Measuring Bee Diversity in Different European Habitats and Biogeographical Regions. *Ecological Monographs*, *78*(4), 653–671. <https://doi.org/10.1890/07-1292.1>
- Wilkinson, T. L., Ashford, D. A., Pritchard, J., & Douglas, A. E. (1997). Honeydew sugars and osmoregulation in the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. *Journal of Experimental Biology*, *200*, 2137–2143.
- Winder, L., Hirst, D. J., Carter, N., Wratten, S. D., & Sopp, P. I. (1994). Estimating predation of the grain aphid *Sitobion avenae* by polyphagous predators. *Journal of Applied Ecology*, *31*(1), 1–12.
- Woodring, J., Wiedemann, R., Fischer, M. K., Hoffmann, K. H., & Völkl, W. (2004). Honeydew amino acids in relation to sugars and their role in the establishment of ant-attendance hierarchy in eight species of aphids feeding on tansy (*Tanacetum vulgare*). *Physiological Entomology*, *29*, 311–319. <https://doi.org/10.1111/j.0307-6962.2004.00386.x>
- Wratten, S. D., Gillespie, M., Decourtye, A., Mader, E., & Desneux, N. (2012). Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *159*, 112–122. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.06.020>
- Yao, I., & Akimoto, S. I. (2001). Ant attendance changes the sugar composition of the honeydew of the drepanosiphid aphid *Tuberculatus quercicola*. *Oecologia*, *128*(1), 36–43. <https://doi.org/10.1007/s004420100633>
- Yao, I., & Akimoto, S. I. (2002). Flexibility in the composition and concentration of amino acids in honeydew of the drepanosiphid aphid *Tuberculatus quercicola*. *Ecological Entomology*, *27*, 745–752. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2002.00455.x>
- Zhao, J., Sykacek, P., Bodner, G., & Rewald, B. (2018). Root traits of European *Vicia faba* cultivars—Using machine learning to explore adaptations to agroclimatic conditions. *Plant Cell and Environment*, *41*(9), 1984–1996. <https://doi.org/10.1111/pce.13062>
- Zhou, M., Tang, Y., Deng, X., Ruan, C., Ding, M., Shao, J., ... Wu, Y. (2018). Description of Cultivated



Common Buckwheat. In *Buckwheat Germplasm in the World* (pp. 53–60). Elsevier.

Zong, X., Liu, X., Guan, J., Wang, S., Liu, Q., Paull, J. G., & Redden, R. (2009). Molecular variation among Chinese and global winter faba bean germplasm. *Theoretical and Applied Genetics*, *118*(5), 971–978. <https://doi.org/10.1007/s00122-008-0954-5>

Zong, X., Ren, J., Guan, J., Wang, S., Liu, Q., Paull, J. G., & Redden, R. (2010). Molecular variation among Chinese and global germplasm in spring faba bean areas. *Plant Breeding*, *129*(5), 508–513. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2009.01718.x>

### Sources des images :

Image de couverture : [https://www.trigobert.net/work\\_genre/nouveautes#a13lightbox-work-6786](https://www.trigobert.net/work_genre/nouveautes#a13lightbox-work-6786)

Figure 4 : Tela Botanica : <https://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-71590-illustrations>

Figure 5 : <https://bestiapolitan.com/puceron-vert-tomate/>

Figure 7 :

A : <https://www.gembloux.ulg.ac.be/entomologie-fonctionnelle-et-evolutive/recherche/episyrrhus-balteatus/>

B :

[https://arthropodafotos.de/dbsp.php?lang=eng&sc=0&ta=t\\_38\\_dipt\\_bra\\_syr&sci=Episyrrhus&scisp=balteatus](https://arthropodafotos.de/dbsp.php?lang=eng&sc=0&ta=t_38_dipt_bra_syr&sci=Episyrrhus&scisp=balteatus)

C : <http://www.entomart.be/DIA-0004-03.html>

Figure 8 : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/19677/Biocontrol-Cycle-conditions-de-developpement>

## 10) Annexes

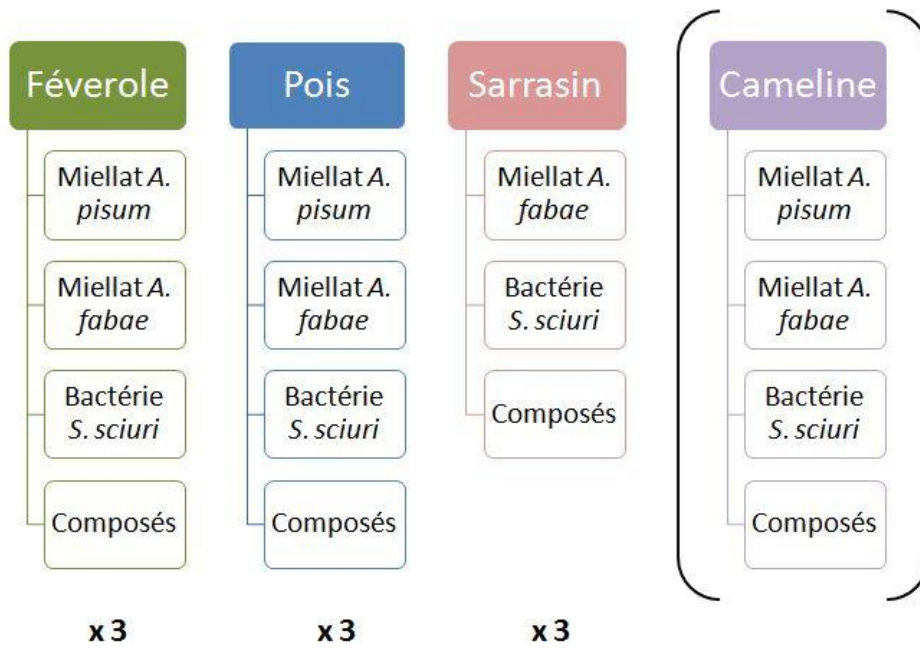
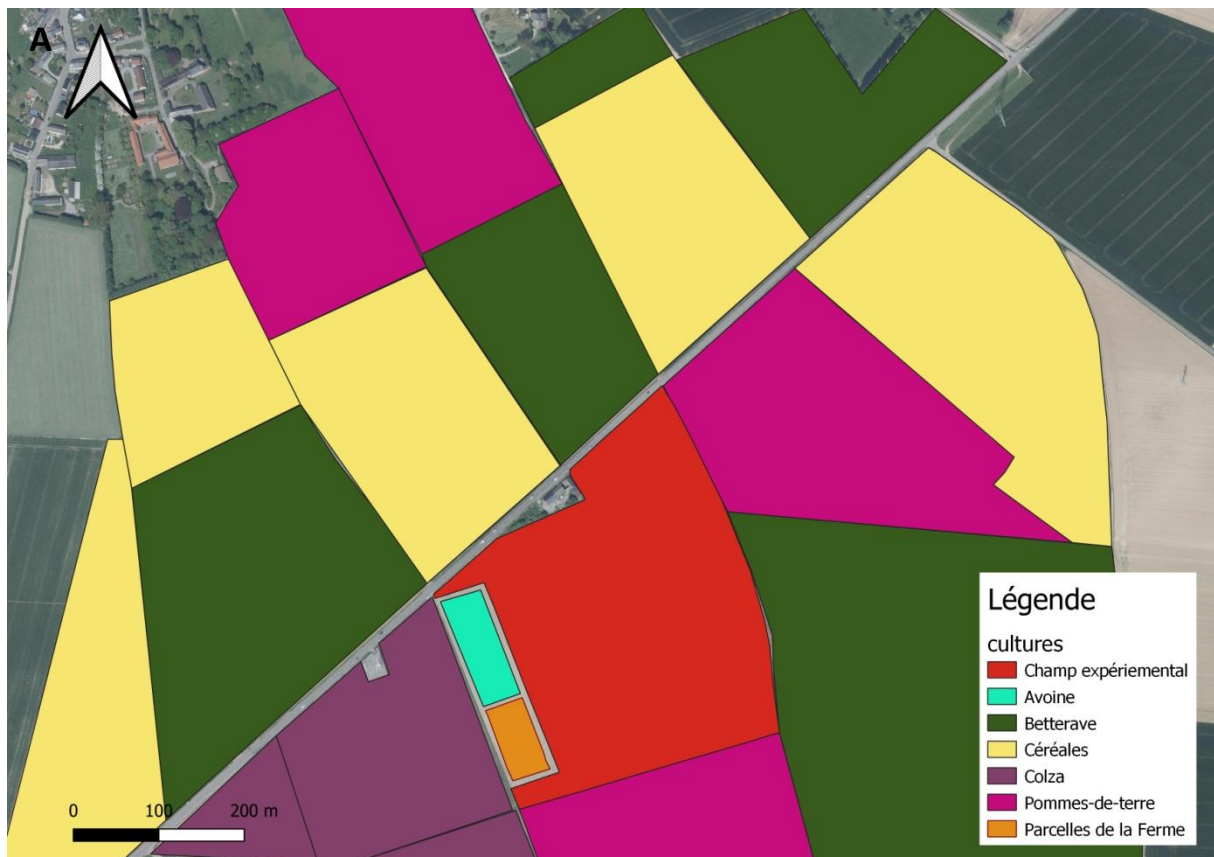
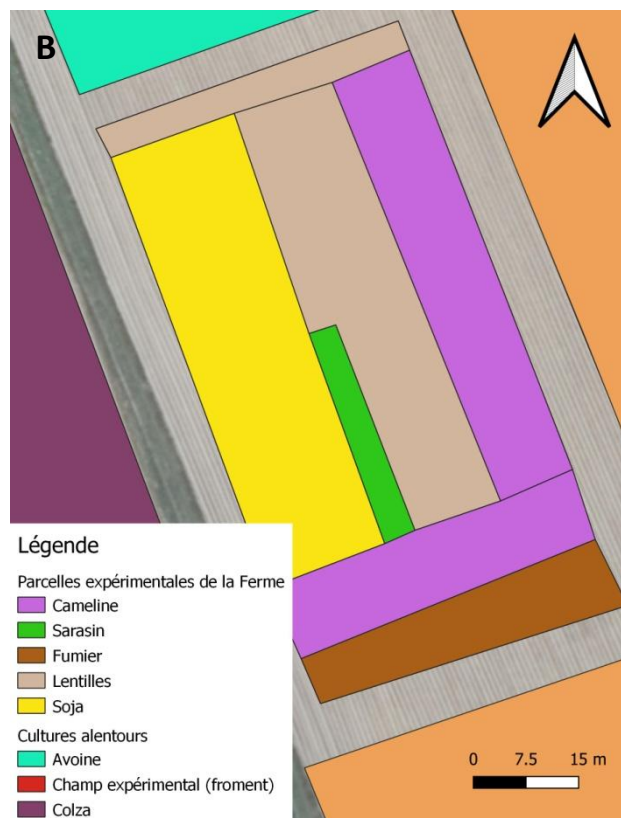


Fig 22. Récapitulatif des produits appliqués sur chaque espèce de plantes semée en serre pour les expériences menées en tunnel de vol.





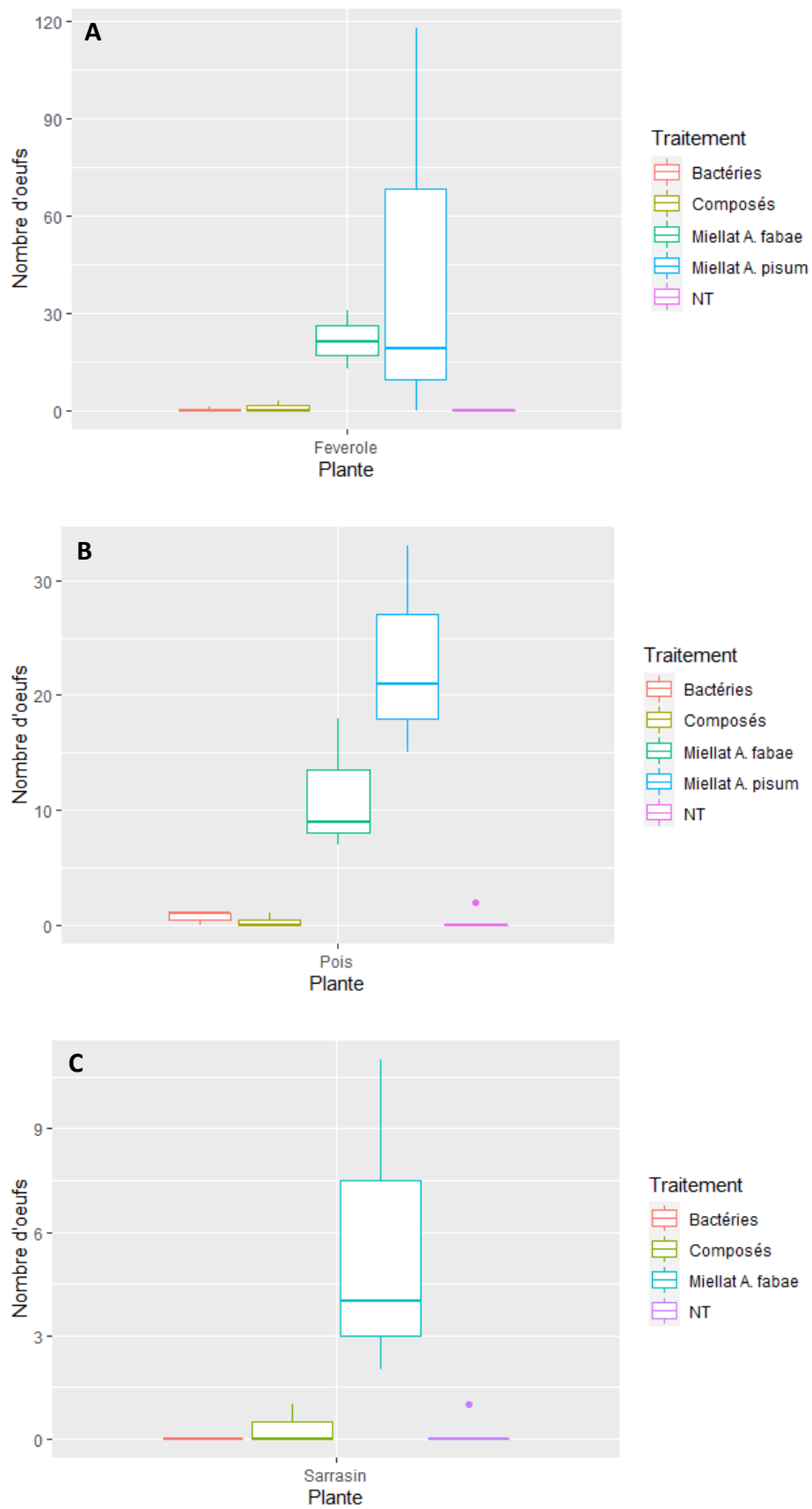
**Fig 23.** Cartographie des cultures situées aux alentours du champ expérimental. Source : G. Delneville, Géoportail de la Wallonie.

**Tableau 5. Composition des bandes fleuries** - Les poids des graines semées correspondent aux doses recommandées.

Espèce	Phénologie	Poids	
		g/ha	g/100m <sup>2</sup>
<i>Camelina sativa</i>	Annuelle	5000	50
<i>Fagopyrum esculentum</i>	Annuelle	50000	500
<i>Vicia faba</i>	Annuelle	225600	2256



**Fig 24.** Photos des pièges colorés placés dans les bandes de sarrasin. Source : G. Delneuveille.



**Fig 25.** Effet de plusieurs traitements appliqués sur la féverole (A), le pois (B) et le sarrasin (C) sur la ponte d'*E. balteatus* en tunnel de vol. NT = boîte de Petri non traitée.

**Tableau 6.** Base de données comportant le nombre de spécimens récolté à l'aide des Pantraps par espèce ou genre dans les différentes parcelles (cameline ou sarrasin) à Gembloux en 2020.

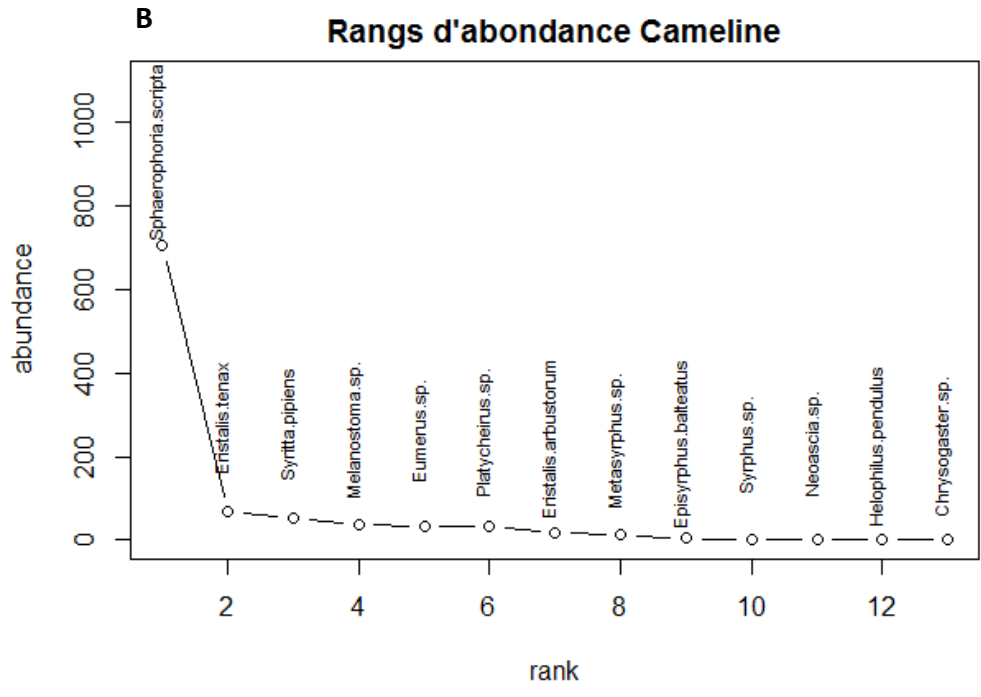
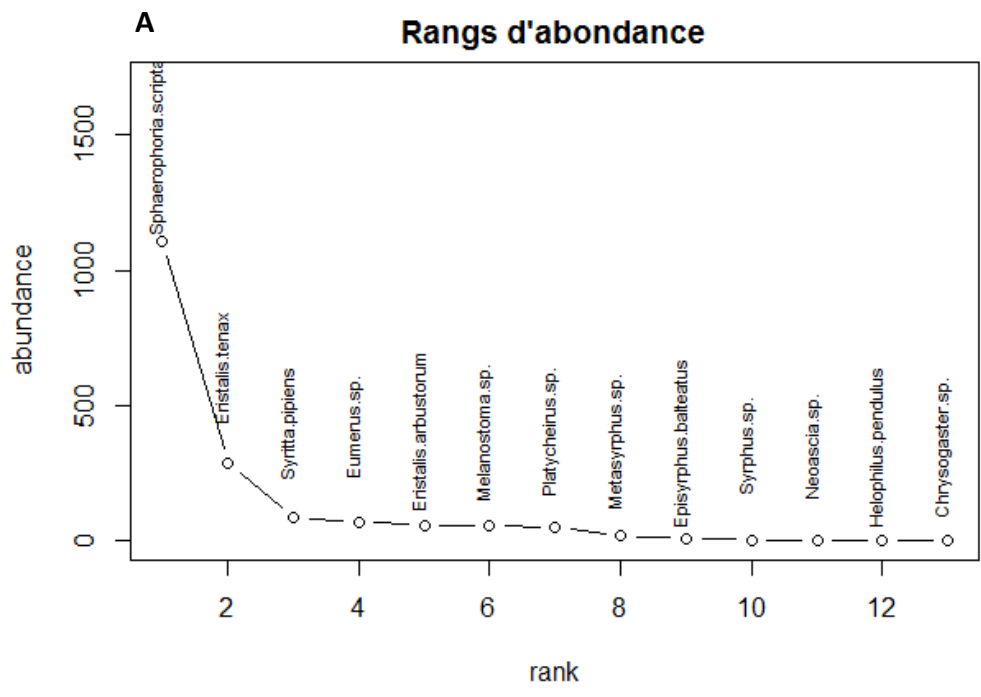
id	Semaine	Jour	Partie du champs	Parcelle	Culture	Distance	Eristalis tenax	Eristalis arbustorum	Episyrphus balteatus	Sphaerophoria scripta	Metasyrphus sp.	Eumerus sp.	Melanostoma sp.	Syrpitta pipiens	Chrysogaster sp.	Syrphus sp.	Platycheirus sp.
CS1P1D0	1	13-07-20	ouest	1	cameline	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS1P1D3	1	13-07-20	ouest	1	cameline	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS1P1D12	1	13-07-20	ouest	1	cameline	12	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CS1P1D50	1	13-07-20	ouest	1	cameline	50	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
CS1P2D0	1	18-07-20	ouest	2	cameline	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
CS1P2D3	1	18-07-20	ouest	2	cameline	3	2	0	0	2	0	3	0	0	0	0	1
CS1P2D12	1	18-07-20	ouest	2	cameline	12	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
CS1P2D50	1	18-07-20	ouest	2	cameline	50	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
CS1P3D0	1	18-07-20	est	3	cameline	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
CS1P3D3	1	18-07-20	est	3	cameline	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
CS1P3D12	1	18-07-20	est	3	cameline	12	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
CS1P3D50	1	18-07-20	est	3	cameline	50	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CS1P4D0	1	13-07-20	est	4	cameline	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
CS1P4D3	1	13-07-20	est	4	cameline	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CS1P4D12	1	13-07-20	est	4	cameline	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS1P4D50	1	13-07-20	est	4	cameline	50	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SS1P1D0	1	18-07-20	ouest	1	sarrasin	0	0	1	0	1	0	7	0	0	0	0	0
SS1P1D3	1	18-07-20	ouest	1	sarrasin	3	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0
SS1P1D12	1	18-07-20	ouest	1	sarrasin	12	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS1P1D50	1	18-07-20	ouest	1	sarrasin	50	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
SS1P2D0	1	13-07-20	ouest	2	sarrasin	0	1	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0
SS1P2D3	1	13-07-20	ouest	2	sarrasin	3	0	0	2	0	3	0	0	1	0	0	0
SS1P2D12	1	13-07-20	ouest	2	sarrasin	12	1	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0
SS1P2D50	1	13-07-20	ouest	2	sarrasin	50	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
SS1P3D0	1	13-07-20	est	3	sarrasin	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS1P3D3	1	13-07-20	est	3	sarrasin	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0
SS1P3D12	1	13-07-20	est	3	sarrasin	12	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SS1P3D50	1	13-07-20	est	3	sarrasin	50	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
SS1P4D0	1	18-07-20	est	4	sarrasin	0	2	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0
SS1P4D3	1	18-07-20	est	4	sarrasin	3	1	0	0	1	0	3	0	0	0	0	1
SS1P4D12	1	18-07-20	est	4	sarrasin	12	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0
SS1P4D50	1	18-07-20	est	4	sarrasin	50	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CS2P1D0	2	24-07-20	ouest	1	cameline	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CS2P1D3	2	24-07-20	ouest	1	cameline	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
CS2P1D12	2	24-07-20	ouest	1	cameline	12	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0
CS2P1D50	2	24-07-20	ouest	1	cameline	50	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
CS2P2D0	2	23-07-20	ouest	2	cameline	0	1	0	1	4	0	9	0	0	0	0	0
CS2P2D3	2	23-07-20	ouest	2	cameline	3	0	0	0	4	0	6	0	0	0	0	0
CS2P2D12	2	23-07-20	ouest	2	cameline	12	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
CS2P2D50	2	23-07-20	ouest	2	cameline	50	0	0	1	4	0	1	0	0	0	0	0
CS2P3D0	2	23-07-20	est	3	cameline	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS2P3D3	2	23-07-20	est	3	cameline	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
CS2P3D12	2	23-07-20	est	3	cameline	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS2P3D50	2	23-07-20	est	3	cameline	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS2P4D0	2	24-07-20	est	4	cameline	0	0	0	0	8	0	3	1	0	0	0	0

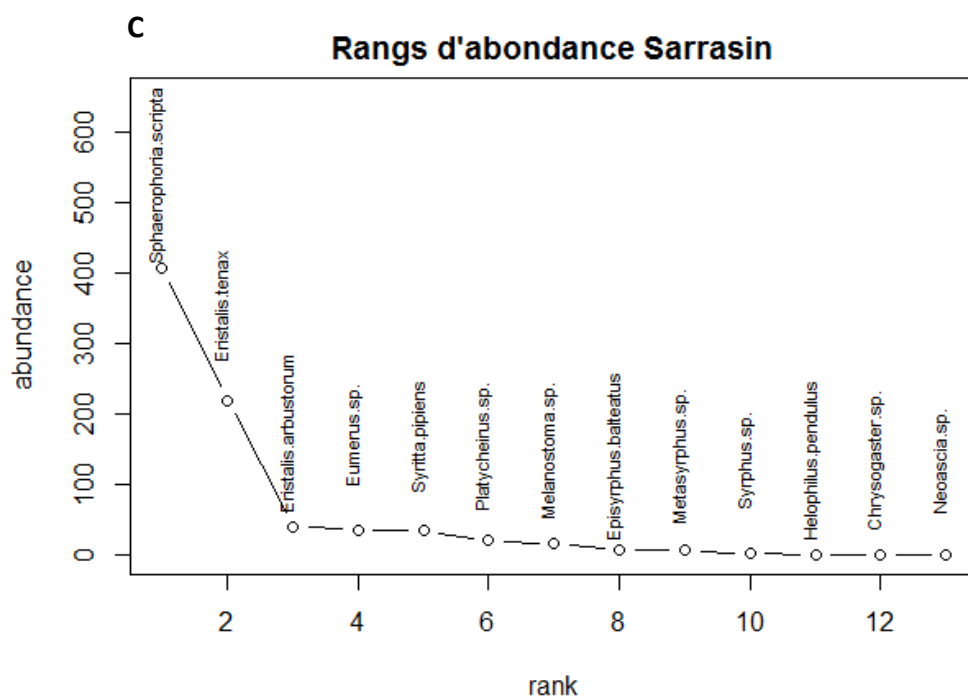
CS2P4D3	2	24-07-20	est	4	cameline	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
CS2P4D12	2	24-07-20	est	4	cameline	12	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
CS2P4D50	2	24-07-20	est	4	cameline	50	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
SS2P1D0	2	23-07-20	ouest	1	sarrasin	0	1	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0
SS2P1D3	2	23-07-20	ouest	1	sarrasin	3	0	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0	0	1
SS2P1D12	2	23-07-20	ouest	1	sarrasin	12	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1
SS2P1D50	2	23-07-20	ouest	1	sarrasin	50	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0
SS2P2D0	2	24-07-20	ouest	2	sarrasin	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	1	0	0
SS2P2D3	2	24-07-20	ouest	2	sarrasin	3	1	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0
SS2P2D12	2	24-07-20	ouest	2	sarrasin	12	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
SS2P2D50	2	24-07-20	ouest	2	sarrasin	50	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0
SS2P3D0	2	24-07-20	est	3	sarrasin	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
SS2P3D3	2	24-07-20	est	3	sarrasin	3	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	1	0	0
SS2P3D12	2	24-07-20	est	3	sarrasin	12	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SS2P3D50	2	24-07-20	est	3	sarrasin	50	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS2P4D0	2	23-07-20	est	4	sarrasin	0	0	0	0	0	6	0	2	0	0	0	0	0	0
SS2P4D3	2	23-07-20	est	4	sarrasin	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS2P4D12	2	23-07-20	est	4	sarrasin	12	1	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0
SS2P4D50	2	23-07-20	est	4	sarrasin	50	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
CS3P1D0	3	29-07-20	ouest	1	cameline	0	0	2	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0	0
CS3P1D3	3	29-07-20	ouest	1	cameline	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CS3P1D12	3	29-07-20	ouest	1	cameline	12	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
CS3P1D50	3	29-07-20	ouest	1	cameline	50	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
CS3P2D0	3	30-07-20	ouest	2	cameline	0	0	0	0	0	9	0	1	0	0	0	0	0	0
CS3P2D3	3	30-07-20	ouest	2	cameline	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
CS3P2D12	3	30-07-20	ouest	2	cameline	12	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
CS3P2D50	3	30-07-20	ouest	2	cameline	50	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CS3P3D0	3	30-07-20	est	3	cameline	0	0	1	0	0	1	0	7	1	0	0	0	0	0
CS3P3D3	3	30-07-20	est	3	cameline	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
CS3P3D12	3	30-07-20	est	3	cameline	12	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
CS3P3D50	3	30-07-20	est	3	cameline	50	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
CS3P4D0	3	29-07-20	est	4	cameline	0	0	1	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0
CS3P4D3	3	29-07-20	est	4	cameline	3	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0
CS3P4D12	3	29-07-20	est	4	cameline	12	1	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0
CS3P4D50	3	29-07-20	est	4	cameline	50	0	0	0	0	18	0	1	0	0	0	0	0	0
SS3P1D0	3	30-07-20	ouest	1	sarrasin	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SS3P1D3	3	30-07-20	ouest	1	sarrasin	3	0	0	0	0	6	0	0	2	0	0	0	2	0
SS3P1D12	3	30-07-20	ouest	1	sarrasin	12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SS3P1D50	3	30-07-20	ouest	1	sarrasin	50	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0
SS3P2D0	3	29-07-20	ouest	2	sarrasin	0	4	0	0	0	1	0	7	0	0	0	0	0	0
SS3P2D3	3	29-07-20	ouest	2	sarrasin	3	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0
SS3P2D12	3	29-07-20	ouest	2	sarrasin	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS3P2D50	3	29-07-20	ouest	2	sarrasin	50	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
SS3P3D0	3	29-07-20	est	3	sarrasin	0	0	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0
SS3P3D3	3	29-07-20	est	3	sarrasin	3	1	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	1
SS3P3D12	3	29-07-20	est	3	sarrasin	12	1	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0
SS3P3D50	3	29-07-20	est	3	sarrasin	50	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
SS3P4D0	3	30-07-20	est	4	sarrasin	0	0	0	0	0	4	0	1	0	1	0	0	0	0
SS3P4D3	3	30-07-20	est	4	sarrasin	3	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0
SS3P4D12	3	30-07-20	est	4	sarrasin	12	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
SS3P4D50	3	30-07-20	est	4	sarrasin	50	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>						<b>44</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>216</b>	<b>1</b>	<b>97</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>409</b>	<b>Total</b>	

**Tableau 7.** Base de données comportant le nombre de spécimens récolté à l'aide des filets par espèce ou genre dans les différentes parcelles (cameline ou sarrasin) à Gembloux en 2020.

id	Semaine	Jour	Partie du champs	Parcelle	Culture	Eristalis tenax	Eristalis arbustorum	Episyrphus balteatus	Sphaerophoria scripta	Metasyrphus sp.	Helophilus pendulus	Eumerus sp.	Melanostoma sp.	Syritta pipiens	Syrphus sp.	Platycheirus sp.	Neosciasia sp.	
CS1P1F	1	18-07-20	ouest	1	cameline	19	5	0	37	0	0	1	4	5	1	2	0	
CS1P2F	1	13-07-20	ouest	2	cameline	10	0	2	28	1	0	0	1	2	0	0	0	
CS1P3F	1	13-07-20	est	3	cameline	13	0	1	46	3	0	3	5	9	0	3	0	
CS1P4F	1	18-07-20	est	4	cameline	4	3	0	37	1	0	0	2	3	0	0	0	
SS1P1F	1	13-07-20	ouest	1	sarrasin	18	3	2	17	0	0	0	1	2	1	0	0	
SS1P2F	1	18-07-20	ouest	2	sarrasin	33	9	3	61	1	0	2	1	2	0	4	0	
SS1P3F	1	18-07-20	est	3	sarrasin	24	11	0	20	0	0	1	1	1	0	2	0	
SS1P4F	1	13-07-20	est	4	sarrasin	13	6	1	25	1	0	0	0	6	0	0	0	
CS2P1F	2	23-07-20	ouest	1	cameline	0	0	0	46	2	0	0	2	6	0	1	0	
CS2P2F	2	24-07-20	ouest	2	cameline	0	0	0	79	0	0	2	4	2	0	1	0	
CS2P3F	2	24-07-20	est	3	cameline	3	0	0	48	2	0	0	1	3	0	0	0	
CS2P4F	2	23-07-20	est	4	cameline	4	0	0	45	2	0	0	2	4	0	0	0	
SS2P1F	2	24-07-20	ouest	1	sarrasin	7	0	0	30	0	0	0	0	1	0	1	0	
SS2P2F	2	23-07-20	ouest	2	sarrasin	12	1	0	43	3	0	0	0	6	0	1	0	
SS2P3F	2	23-07-20	est	3	sarrasin	17	1	0	25	1	0	0	0	2	0	0	0	
SS2P4F	2	24-07-20	est	4	sarrasin	20	0	0	18	1	0	0	1	1	0	0	0	
CS3P1F	3	30-07-20	ouest	1	cameline	0	0	0	37	0	0	0	3	1	0	2	0	
CS3P2F	3	29-07-20	ouest	2	cameline	0	0	0	75	0	0	0	2	6	0	5	0	
CS3P3F	3	29-07-20	est	3	cameline	3	0	0	90	2	0	0	7	7	0	15	0	
CS3P4F	3	30-07-20	est	4	cameline	1	0	0	101	0	0	0	3	3	0	3	2	
SS3P1F	3	29-07-20	ouest	1	sarrasin	1	2	1	36	0	1	2	4	2	0	5	0	
SS3P2F	3	30-07-20	ouest	2	sarrasin	16	0	0	47	0	0	0	4	10	2	4	0	
SS3P3F	3	30-07-20	est	3	sarrasin	17	1	0	22	0	0	0	3	0	0	0	0	
SS3P4F	3	29-07-20	est	4	sarrasin	34	3	0	36	0	0	2	2	1	0	4	0	
<b>Total</b>						269	45	10	1049	20	1	13	53	85	4	53	2	<b>Total</b>
																	1604	







**Fig 26. Rangs d'abondance sur chacune des cultures à Gembloux en 2020 - A :** Rangs d'abondance sur l'ensemble des deux cultures. **B :** Rangs d'abondance sur les bandes de cameline. **C :** Rangs d'abondance sur les bandes de sarrasin.

**Tableau 8.** Abondance et proportion des différentes espèces de syrphes retrouvés dans les bandes de cameline.

Espèces	Abondance	Proportion (%)
<i>Sphaerophoria scripta</i>	703	72.8
<i>Eristalis tenax</i>	68	7
<i>Syritta pipiens</i>	51	5.3
<i>Melanostoma sp.</i>	38	3.9
<i>Eumerus sp.</i>	34	3.5
<i>Platycheirus sp.</i>	32	3.3
<i>Eristalis arbustorum</i>	19	2
<i>Metasyrphus sp.</i>	13	1.3
<i>Episyrphus balteatus</i>	4	0.4
<i>Syrphus sp.</i>	2	0.2
<i>Neoascia sp.</i>	2	0.2
<i>Helophilus pendulus</i>	0	0
<i>Chrysogaster sp.</i>	0	0

**Tableau 9.** Abondance et proportion des différentes espèces de syrphes retrouvés dans les bandes de sarrasin.

<b>Espèces</b>	<b>Abondance</b>	<b>Proportion (%)</b>
<i>Sphaerophoria scripta</i>	406	72.8
<i>Eristalis tenax</i>	220	7
<i>Eristalis arbustorum</i>	41	5.3
<i>Eumerus sp.</i>	37	3.9
<i>Syritta pipiens</i>	35	3.5
<i>Platycheirus sp.</i>	21	3.3
<i>Melanostoma sp.</i>	17	2
<i>Episyrphus balteatus</i>	7	1.3
<i>Metasyrphus sp.</i>	7	0.4
<i>Syrphus sp.</i>	3	0.2
<i>Helophilus pendulus</i>	1	0.2
<i>Chrysogaster sp.</i>	1	0
<i>Neoscia sp.</i>	0	0