



HAL
open science

Implantation de mélanges floraux en bord de champ : activité-densité des communautés de syrphes et étude de l'accessibilité du nectar des espèces florales semées

Claire Zucchetto

► **To cite this version:**

Claire Zucchetto. Implantation de mélanges floraux en bord de champ : activité-densité des communautés de syrphes et étude de l'accessibilité du nectar des espèces florales semées. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-01874546

HAL Id: dumas-01874546

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01874546>

Submitted on 14 Sep 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGROCAMPUS
OUEST

- CFR Angers
 CFR Rennes



Année universitaire : 2017-2018

Spécialité : Horticulture

Spécialisation (et option éventuelle) :

Protection des Plantes et de
l'Environnement (PPEH)

Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
 de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
 d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

**Implantation de mélanges floraux en bord de champ :
Activité-densité des communautés de syrphes et étude de
l'accessibilité du nectar des espèces florales semées**

Par : Claire ZUCCHETTA

Soutenu à Angers, le 7 Septembre 2018

Devant le jury composé de :

Président : *JALOUX Bruno*

Maître de stage : *GARDARIN Antoine*

Enseignant référent : *TRICAULT Yann*

Autres membres du jury

ROULLOIS Vincent – Chargé R&D NovaFlora

LUQUET Martin - Doctorant

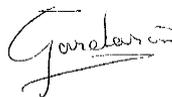
Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité

Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible.

Date et signature du maître de stage : le 28 aout 2018



A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur **Zucchetto Claire**

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si oui, il autorise

- la diffusion papier du mémoire uniquement(4)
- la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé
- la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur :

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

- la diffusion papier du mémoire uniquement(4)
- la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé
- la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

REMERCIEMENTS

Merci à **Antoine Gardarin** pour m'avoir choisie pour ce stage pendant lequel j'ai pu apprendre beaucoup, autant en botanique et en entomologie qu'en cuisine (j'attends toujours la recette du gâteau aux tourteaux de noix !). Merci à **Dominique** pour avoir réussi à être le meilleur copilote sur le terrain même en dormant par intermittence ! Et merci à l'**UMR Agronomie** pour leur accueil chaleureux.

Merci à **Yann Tricault** d'avoir été mon tuteur de stage et pour m'avoir permis de prendre du recul sur mon travail et d'avoir eu des conseils toujours pertinents. Merci à **Bruno Jaloux**, **Martin Luquet** et **Vincent Roulois** pour avoir accepté d'être mes jurés. J'espère que la lecture de mon mémoire suscitera chez vous de nombreuses questions et alimentera la discussion lors de la soutenance.

Merci à mes copains du Pavillon de l'Horloge, **Matias**, **Dylan** et **Corentin**, pour avoir partagé avec moi de folles soirées de Shadow Hunter, poker, KVO et films. Merci à **Nicolas** pour avoir été le meilleur partenaire de double au badminton. Merci **Alexandre** pour m'avoir permise de jouer à tes jeux-vidéos (surtout Zelda !) pour décompresser.

Merci à **Julia** et **Rapou** d'avoir réussi à partager votre bureau avec les stagiaires (fous et bruyants) d'Antoine. Merci à **Eléonore** et **Céline** pour avoir été là quand j'avais besoin de parler, pour le baobab que j'ai fait mourir (pardon !) et pour tous les autres moments qu'on a partagés. Merci à **Claudine** pour avoir participé à la résurrection des mots fléchés à l'INRA. Merci à **Arthur** de m'avoir accueillie quand je cherchais du calme pour travailler sur mon mémoire et surtout, pour m'avoir alimentée en pâtisseries.

Merci à **Cassandra** pour avoir été avant tout une rencontre ! Merci à toi pour avoir été ma partenaire de piscine, de lecture, de films et séries. Merci pour tous tes conseils et ces pauses cafés. Rappelle-toi toutes nos aventures (#ClefDeVoiture) ! Merci à **Guillaume** pour ta joie de vivre, tes conseils en statistique, ton calme communicatif vis-à-vis de la rédaction et des deadlines, mais aussi pour avoir partagé avec moi le fardeau d'avoir une stagiaire AgroParisTech dans nos rangs.

Merci à **Souzanah** pour m'avoir accueillie dans le 93, histoire de changer d'air, pour que je me concentre sur mon mémoire tout en étant en bonne compagnie. Merci à **Kevin** et **Tiliana** pour m'avoir ramenée les pieds sur terre quand je dramatisais. Merci à ma Dream Team, **Chouk**, **Zyan** et **Laura**, pour m'avoir raconté toutes vos aventures de stage et de vacance, votre bonne humeur était communicative ! Merci à mes **petits PPEH** pour avoir été aussi réactifs et présents dans la dernière ligne droite.

Et enfin, un grand Merci à ma **famille** de s'être intéressée à mon travail, d'avoir été là dans les moments difficiles, de m'avoir donnée des conseils, des retours critiques et surtout de m'avoir aidée pour les fautes d'orthographe ! **Papa, Maman, je vous aime !**

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ANNEXES	1
LISTE DES FIGURES	2
LISTE DES TABLEAUX.....	4
INTRODUCTION.....	5
I. Les grandes cultures et leur cortège de bioagresseurs : impasses techniques et défis à venir.....	5
1. Le blé tendre d’hiver : herbicides, fongicides et néonicotinoïdes	5
2. Le colza: enjeux économiques, résistance aux pyrétrinoïdes et impasses techniques	5
3. Les protéagineux : diversification des rotations, développement de filière et freins actuels..	6
II. Changement de paradigme : vers des agrosystèmes productifs optimisant les services écosystémiques.....	7
1. Lutte biologique par conservation, une méthode alternative et supplémentaire à combiner aux leviers actuels	7
2. Régulation des populations de ravageurs en grandes cultures : quels sont les auxiliaires concernés ?.....	7
a. Les syrphes, auxiliaires prédateurs.....	7
b. Les guêpes parasitoïdes, auxiliaires spécialisés	8
III. Favoriser les auxiliaires de culture par des aménagements semi-naturels	9
1. Le paysage, échelle mobilisable mais souvent peu accessible	9
2. Les bandes fleuries, aménagements à concevoir soigneusement	10
IV. Concevoir des bandes fleuries en adoptant une approche fonctionnelle	11
1. Etude des traits fonctionnels	11
2. Application à la conception de bandes fleuries	11
V. Présentation du projet de stage.....	12
1. Présentation du dispositif.....	12
2. Présentation des objectifs de stage, problématique et hypothèses de travail	14
 MATERIEL ET METHODES.....	 16
I. Analyse de la faune volante : pièges cornets	16
1. Mise en place des pièges en 2017	16
2. Description globale et activité-densité par grandes familles	16
3. Identification et activité-densité des syrphes.....	16
II. Relevés botaniques et recouvrement des espèces végétales.....	16

III.	Description des communautés d'arthropodes et végétales	17
IV.	Accessibilité du nectar : une approche géométrique.....	17
1.	Représentation géométrique de la fleur et de l'insecte	17
2.	Distance entre le fond de la corolle et l'extrémité de la tête de l'insecte, rentrée à son maximum dans la fleur (appareil buccal non pris en compte).....	18
▪	Cas n°1 : Le diamètre de la tête est plus grand que le diamètre de la corolle.....	18
▪	Cas n°2 : Le diamètre de la tête est inférieur à celui de la corolle	19
3.	Prise en compte de l'appareil buccal de l'insecte (longueur et largeur)	19
4.	Arbre de décision et assouplissement des conditions d'accessibilité	20
V.	Mesure des traits.....	21
1.	Traits morphologiques des arthropodes	21
2.	Traits floraux : profondeur de nectar et attractivité	21
a.	Profondeur du nectar	22
b.	Traits d'attractivité	22
VI.	Traitement des données et analyses statistiques	22
	RESULTATS	23
I.	Description de la composition générale de la faune volante piégée mi-juin 2017.....	23
1.	Evaluation de la biodiversité et activité-densité totale des différents mélanges	23
2.	Effet des mélanges fleuris sur les auxiliaires de culture	24
II.	Description des communautés de syrphes et effet des bandes fleuries sur leur activité-densité	25
1.	Espèces principales de syrphes et dynamique des populations au cours de 2017	25
2.	Description des communautés de syrphes des différents mélanges	27
c.	Description globale des communautés : activité-densité, richesse spécifique, équitabilité	27
d.	Description taxonomique	28
3.	Effet des mélanges sur l'activité-densité totale des syrphes dans les bandes sur la totalité de la campagne de piégeage 2017	30
III.	Une approche géométrique pour l'accessibilité du nectar : sur quelles espèces végétales les syrphes peuvent-ils se procurer du nectar ?	33
1.	Mesures sur les insectes	33
2.	Mesures sur les espèces végétales	33
3.	Application de l'arbre de décision	35
IV.	Description des communautés végétales et prise en compte de l'accessibilité du nectar pour l'analyse fonctionnelle des bandes fleuries	37

1.	Evolution des mélanges : richesse spécifique et équitabilité	37
2.	Recouvrement des espèces au nectar accessible	37
3.	Dispersion fonctionnelle en considérant les profondeurs de nectar	38
4.	Une première étape vers la compréhension de l'attractivité visuelle des mélanges : tailles des fleurs et unités florales	39
	DISCUSSION	41
I.	Effet des mélanges sur les communautés d'arthropodes volants	41
1.	Activité-densité des arthropodes volants piégés à la date 3	41
2.	Activité-densité, richesse spécifique et équitabilité des communautés de syrphes sur la totalité de la campagne de piégeage 2017	41
II.	Regard sur les communautés de syrphes piégées	42
III.	Approche fonctionnelle : apports et limites de l'étude de l'accessibilité du nectar	43
1.	Mesures de profondeurs de nectar	43
2.	Mesures des traits morphologiques des insectes.....	44
3.	Accessibilité du nectar	44
a.	Différence d'accessibilité entre les espèces de syrphes	44
b.	Différences d'accessibilité des espèces florales	44
c.	Critiques du modèle et pistes d'amélioration	45
d.	D'autres critères à intégrer : attractivité, pollen et compétition pour la ressource	46
4.	Recouvrement des espèces au nectar accessible	47
	CONCLUSION	48
	BIBLIOGRAPHIE	50
	SITOGRAFIE	54

LISTE DES ANNEXES

Annexe I – Description taxonomique des mélanges	I
Annexe II – Détails du dispositif expérimental.....	III
Annexe III – Arbre de décision pour l'accessibilité du nectar – Conditions mathématiques	IV
Annexe IV – Photos, commentaires et détails des mesures réalisées sur les fleurs pour l'accessibilité du nectar	V
IV – 1 <i>Alliaria petiolata</i>	VI
IV – 2 <i>Anagallis arvensis</i>	VII
IV – 3 <i>Anthemis tinctoria</i>	VIII
IV – 4 <i>Anthriscus sylvestris</i>	IX
IV – 5 <i>Barbarea vulgaris</i>	X
IV – 6 <i>Bellis perennis</i>	XI
IV – 7 <i>Brassica napus</i>	XII
IV – 8 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	XIII
IV – 9 <i>Centaurea cyanus</i>	XIV
IV – 10 <i>Centaurea scabiosa</i>	XV
IV – 11 <i>Cirsium arvense</i>	XVI
IV – 12 <i>Convolvulus arvensis</i>	XVII
IV – 13 <i>Cynoglossum officinale</i> ...	XVIII
IV – 14 <i>Daucus carota</i>	XIX
IV – 15 <i>Echium vulgare</i>	XX
IV – 16 <i>Euphorbia cyparissias</i>	XXI
IV – 17 <i>Euphorbia helioscopia</i>	XXII
IV – 18 <i>Galium aparine</i>	XXIII
IV – 19 <i>Galium mollugo</i>	XXIV
IV – 20 <i>Geranium dissectum</i>	XXV
IV – 21 <i>Geum urbanum</i>	XXVI
IV – 22 <i>Glechoma hederacea</i>	XXVII
IV – 23 <i>Heracleum sphondylium</i>	XXVIII
IV – 24 <i>Hesperis matronalis</i>	XXIX
IV – 25 <i>Lamium album</i>	XXX
IV – 26 <i>Lepidium draba</i>	XXXI
IV – 27 <i>Leucanthemum vulgare</i>	XXXII
IV – 28 <i>Lotus corniculatus</i>	XXXIII
IV – 29 <i>Malva sylvestris</i>	XXXIV
IV – 30 <i>Medicago lupulina</i>	XXXV
IV – 31 <i>Medicago sativa</i>	XXXVI
IV – 32 <i>Melilotus officinalis</i>	XXXVII
IV – 33 <i>Myosotis arvensis</i>	XXXVIII
IV – 34 <i>Onobrychis viciifolia</i>	XXXIX
IV – 35 <i>Pastinaca sativa</i>	XL
IV – 36 <i>Picris echioides</i>	XLI
IV – 37 <i>Securigera varia</i>	XLII
IV – 38 <i>Senecio jacobaea</i>	XLIII
IV – 39 <i>Senecio vulgaris</i>	XLIV
IV – 40 <i>Silene dioica</i>	XLV
IV – 41 <i>Sonchus asper</i>	XLVI
IV – 42 <i>Stellaria media</i>	XLVII
IV – 43 <i>Taraxacum officinale</i>	XLVIII
IV – 44 <i>Trifolium pratense</i>	XLIX
IV – 45 <i>Trifolium repens</i>	L
IV – 46 <i>Veronica hederifolia</i>	LI
IV – 47 <i>Veronica persica</i>	LII
IV – 48 <i>Vicia sativa</i>	LIII

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Vue satellite de la parcelle expérimentale Orme Est, Ferme expérimentale d'AgroParisTech. Les 6 lignes de bandes fleuries longues de 44m et larges de 6m sont représentées en vert sur la parcelle Est. La disposition en carré latin (3x6) des 9 mélanges est visible sur la parcelle Ouest (rectangles de couleur). Les bandes témoins sont semées avec la culture : blé à l'Est (vert clair), colza à l'Ouest (orange clair). (Google Earth, modifiée par A. Gardarin (2017) et C. Zucchetta(2018))	13
Figure 2 – Classification des mélanges selon les gradients de diversité fonctionnelle et de richesse spécifique.....	14
Figure 3 – Catégories pour l'analyse fonctionnelle des recouvrements	17
Figure 4 – Schéma de la corolle : w le diamètre, s la longueur, h la hauteur, N et M représentent la position du nectar et p la distance entre le nectar et le fond de la corolle.	18
Figure 5 – Schéma d'une tête d'insecte : r le rayon de la tête, Z et X respectivement la longueur et la largeur de l'appareil buccal.....	18
Figure 6 – Schéma de la tête de l'insecte de rayon r et de diamètre $2r \geq w$, avec w le diamètre de la corolle. La tête de l'insecte s'enfonce dans la corolle d'une distance Ωl et a représente la distance entre la tête et le fond de la corolle.	18
Figure 7 - Tête de l'insecte de rayon et de diamètre $2r < w$, avec w le diamètre de la corolle. Le cercle est tangent aux parois de la corolle. La distance entre la tête et le fond de la corolle est notée a	19
Figure 8 – Schéma de l'appareil buccal d'un insecte tentant de consommer le nectar (mêmes notations que sur les schémas précédents). A droite, l'appareil buccal est trop court ($Z > d$) ; au centre, l'appareil buccal est assez long ($Z \leq d$) ; à gauche, l'appareil buccal est trop large ($X > NM$). 19	
Figure 9 – Schéma d'un insecte avec un appareil buccal très long ($Z > h$) mais suffisamment étroit ($X \leq NM$).	20
Figure 10 – Arbre de décision pour l'accessibilité du nectar (version avec formules mathématiques Annexe III). Chaque branche est codée pour pouvoir retracer les 6 chemins de décision possibles. Encadrés rouges : conditions pouvant être ôtées en cas de données manquantes sur la largeur au niveau du nectar ; chemins Aa et Ab fusionnés en un unique chemin noté A encadré (encadré vert). 21	
Figure 11 – Activité-densité totale d'arthropodes volants dans les bandes fleuries en fonction des types de mélange. Les barres d'erreur représentent les écarts types.	24

Figure 12 – Activité-densité des arthropodes volants prédateurs dans les bandes fleuries en fonction des types de mélange. Les barres d'erreur représentent les écarts types.	25
Figure 13 – Activité-densité des cinq principales espèces de syrphe piégées au cours de 2017 (F : individus femelles ; M : individus mâles)	26
Figure 14 – Activités-densités relatives des six principaux taxons au cours des cinq dates de 2017 et activité-densité totale des syrphes au cours de 2017 (losange noir).	26
Figure 15 – Activité-densité des syrphes à 0m en fonction de l'activité densité à 20m pour les 54 bandes, regroupées selon le type de mélange.	27
Figure 16 – Richesse spécifique et équitabilité des communautés de syrphes piégées à 0m. Les barres d'erreur représentent les écarts types.....	28
Figure 17 – Résultats de l'ACP pour les genres principaux de syrphes pour les composantes 1 et 2.	29
Figure 18 - Résultats de l'ACP pour les genres principaux de syrphe. 70% des individus sont contenus dans les ellipses, colorées selon les mélanges (A1 à E2 et témoin). Les blocs Est et Ouest sont eux aussi représentés.	30
Figure 19 – Activité-densité totale moyenne des syrphes dans les mélanges à 0m et comparaison des modèles (1) et (2) $AD_{\text{syrphe_tot}} \sim \text{Mélange} + \text{Ligne}$. Les barres d'erreur représentent les écarts types. .	32
Figure 20 – Accessibilité du nectar de 37 espèces de plantes à fleurs pour 6 espèces de syrphes. NEF : Nectar Extra-Floral	36
Figure 21 – Richesse spécifique réelle, nombre d'espèces semées en 2014 (barres horizontales noires) et équitabilité (losanges oranges) des différents mélanges en 2017. Les barres d'erreur représentent les écarts types.	37
Figure 22 – Détails des recouvrements (en proportion du recouvrement total) des différentes espèces végétales regroupées en 4 catégories pour les neuf mélanges en 2017.	38
Figure 23 – Dispersion fonctionnelle des mélanges en considérant les profondeurs de nectar. Les barres d'erreur représentent les écarts types.....	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Répartition des différents taxons dans les deux catégories : prédateurs et parasitoïdes.	16
Tableau 2 – Activité-densité totale : présentation des différents modèles testés, de leur p-value et R ² respectifs. Le meilleur modèle est encadré en gras.....	23
Tableau 3 – Présentation des différents modèles testés, de leur p-value et AIC respectives (ANOVA de type 2). Le meilleur modèle est encadré en gras et numéroté.....	31
Tableau 4 – Présentation des deux modèles testés, de leur p-value et AIC respectives (ANOVA de type 2). Le meilleur modèle est encadré en gras et numéroté.....	31
Tableau 5 – Mesures des caractéristiques morphologiques de 6 espèces de syrphes (en mm, N : nombre d'individus mesurés).....	33
Tableau 6 – Mesures des caractéristiques morphologiques et des profondeurs de nectar pour les 26 et 36 espèces végétales.....	34
Tableau 7 – Résultats de l'arbre de décision pour les 6 espèces de syrphes et les 26 espèces de plantes à fleur. Chaque case contient le code du chemin parcouru sur l'arbre de décision. En gris foncé : nectar non accessible.....	35
Tableau 8 – Tailles des fleurs et des unités florales des 51 espèces végétales observées pendant le stage.....	40

INTRODUCTION

I. Les grandes cultures et leur cortège de bioagresseurs : impasses techniques et défis à venir

Les grandes cultures, céréales, oléagineux et protéagineux, occupent la majorité des surfaces agricoles en France. Le blé tendre d'hiver occupe une surface de 4 949 milliers d'hectares, 1406 milliers d'hectares sont occupés par des cultures de colza, 216 milliers d'hectares par du pois protéagineux et 77 milliers d'hectares par des cultures de féverole (et fèves) (**Agreste, 2017**). Les grandes cultures sont aujourd'hui encore dépendantes des produits phytosanitaires pour répondre aux problématiques de bioagresseurs.

1. Le blé tendre d'hiver : herbicides, fongicides et néonicotinoïdes

Le blé tendre avec un IFT moyen de 4,9 (**Agreste, 2016**), présente surtout une dépendance aux herbicides et fongicides. Toutefois, certains insectes sont nuisibles car vecteurs de virus comme la jaunisse nanisante de l'orge (puceron *Rhopalosiphum padi*) ou la maladie des pieds chétifs (transmise par une cicadelle). Grâce aux traitements de semences aux néonicotinoïdes, les pucerons étaient jusqu'alors contrôlés. Cependant, depuis la décision d'interdiction de mise sur le marché de ces matières actives à compter de septembre 2018, les traitements insecticides contre les pucerons se reporteront probablement sur des applications aériennes d'autres molécules (pyréthrynoïdes de synthèse), avec tous les risques de dérive et les impacts négatifs sur la biodiversité que cela entraîne. En semant le blé plus tardivement il est toutefois possible d'éviter les colonisations de pucerons et de se passer de traitement, comme cela se fait en agriculture biologique.

2. Le colza: enjeux économiques, résistance aux pyrétrinoïdes et impasses techniques

Le colza quant à lui présente une forte dépendance aux insecticides avec un IFT national moyen de 6,5 (**Agreste, 2016**). Les insecticides représentent 30% des traitements administrés en culture de colza (**Agreste, 2016**). On compte parmi les ravageurs du colza les limaces, des altises (*Psylliodes chrysocephala* et *Phyllotreta spp.*), des charançons (*Ceutorhynchus assimilis*, *Ceutorhynchus pallidactylus*, *Ceutorhynchus napi*), une méligèthe (*Meligethes aeneus*), la cécidomyie des siliques des crucifères (*Dasineura brassicae*) mais aussi des pucerons vecteurs de viroses (*Myzus persicae*, *Brevicoryne brassicae*). La lutte chimique repose sur une unique famille de molécules (les pyréthrynoïdes), ce qui a entraîné une forte pression de sélection sur les populations jusqu'à l'apparition de résistances. Ces résistances sont de deux types, soit d'origine métabolique, *i.e.* l'insecte est capable de dégrader la substance active, soit liées à une mutation de cible, *i.e.* l'insecte présente des mutations de cible de type « kdr » et « super kdr » (**Arvalis et Terres Inovia, 2016**). Les produits utilisés en systématique ont perdu de leur efficacité jusqu'à devenir totalement inefficaces dans certaines zones du territoire français (département de l'Yonne et alentours) (**Terres Inovia, 2017**) Face à ces résistances d'origine génétique, l'institut technique Terres Inovia, préconise des

suivis par piégeage et des seuils d'intervention plus stricts, ainsi que l'utilisation d'autres familles de produits quand cela est possible (notamment contre les méligèthes) ou des mélanges de produits avec des organophosphorés (contre le charançon du bourgeon terminal par exemple). De nombreux leviers agronomiques ont déjà été mobilisés, présentés dans un dossier de **Valentin-Morison (2012)**. Elle y parle entre autre de l'efficacité de l'association avec une variété haute à floraison très précoce (5-10%) afin que les méligèthes s'attaquent à ce colza précoce et non à celui d'intérêt, fleurissant plus tard. Il est aussi possible de combiner le colza à une légumineuse gélive, souvent féverole, pour étouffer les adventices en début de saison et assurer un couvert plurispécifique moins détectable par les ravageurs (**Valentin-Morison, 2012**). Il est aussi possible d'atténuer l'impact des bioagresseurs en jouant notamment avec la fertilisation azotée afin d'assurer une bonne croissance et vigueur du colza pour favoriser sa capacité de compensation en cas de dégâts (**Valentin-Morison, 2012**).

3. Les protéagineux : diversification des rotations, développement de filière et freins actuels

Bien qu'ayant une surface moins importante, les protéagineux, comme le pois ou la féverole, représentent une opportunité de diversification des rotations actuellement à dominance céréalière. De plus, leur culture permettrait de pallier à l'importation de soja OGM en provenance de pays tiers. Sur un IFT moyen de 4,6 pour le pois protéagineux, les insecticides représentent un tiers des traitements (**Agreste, 2016**). Cette dépendance aux insecticides s'explique par le cortège de bioagresseurs au champ mais aussi en stockage de ces cultures. Parmi ces ravageurs, on compte des pucerons (*Aphis fabae*, *Acyrtosiphon pisum*), mais aussi des bruches (*Bruchus pisorum*, *Bruchus rufimanus*) particulièrement dommageables. Les adultes pondent dans les graines, dans lesquelles se développent les larves. Les adultes émergent des graines en creusant un trou, ce qui détériore la qualité esthétique et sanitaire de celles-ci. Les critères de qualité exigent un taux de graines bruchées inférieur à 10% pour l'alimentation animale et inférieur à 3% pour celle humaine, aucun insecte vivant n'étant toléré dans les lots. Cette perte esthétique provoque le déclassement de certains lots en alimentation animale alors que la valorisation à l'export de la féverole est très prometteuse, notamment à destination de l'Égypte, où elle est la base de plats traditionnels. (**FranceAgriMer, 2015**) Les individus émergents des graines encore non-récoltées ou déjà stockées sont responsables de la recolonisation des parcelles alentours. Les traitements sont donc faits le plus tôt possible après la récolte en utilisant des insecticides de contact à base de deltaméthrine, des fumigants à base de phosphore d'aluminium, ou en réalisant un séchage à températures élevées afin de limiter cette recolonisation. Chacune des solutions précédentes ont leurs inconvénients en termes de maintien de la qualité esthétique des graines, présence de résidus, efficacité, nécessité d'infrastructures coûteuses (silos étanches) et personnel habilité (**Henrion et Terres Univia, 2015 ; Terres Univia, 2017**).

II. Changement de paradigme : vers des agrosystèmes productifs optimisant les services écosystémiques

1. Lutte biologique par conservation, une méthode alternative et supplémentaire à combiner aux leviers actuels

En plus de cette dépendance aux produits phytosanitaires, la modification du paysage et l'intensification des pratiques agricoles entraînent un déclin de la biodiversité et des services écosystémiques qui en découlent (**Bianchi et al., 2006**). On assiste actuellement à un changement de paradigme visant à quitter ces systèmes, certes productifs, mais basés sur une utilisation intensive d'intrants, l'homogénéisation et l'artificialisation, pour aller vers des systèmes ancrés dans leur environnement, basés sur l'optimisation des services écosystémiques. Les leviers agronomiques mobilisés jusqu'alors ne répondent plus à eux-seuls aux problématiques de ravageurs rencontrés en grandes cultures. Face à ces impasses techniques, il semble primordial de proposer des solutions alternatives aux filières. C'est dans ce contexte de remise en question des agrosystèmes qu'émerge l'agroécologie, définie comme l'application de concepts et principes écologiques afin de concevoir et gérer durablement les agrosystèmes (**Altieri et al., 2005**). Un des leviers mobilisables pour contrôler les problématiques de ravageurs est la lutte biologique par gestion et conservation des habitats, définie comme l'utilisation de tactiques et approches visant à favoriser la survie et les performances physiques et comportementales des auxiliaires en manipulant l'environnement, *i.e.* leur habitat, afin d'augmenter leur efficacité de régulation des ravageurs (**Barbosa, 1998**).

2. Régulation des populations de ravageurs en grandes cultures : quels sont les auxiliaires concernés ?

Dans le cadre de la lutte biologique par conservation, il est nécessaire d'identifier les auxiliaires susceptibles de réguler les populations de ravageurs précédemment listés. L'étude de leur biologie et de leur écologie permet de comprendre leurs besoins car il a notamment été montré que le manque de ressources nutritives représente un frein pour le bon fonctionnement du contrôle biologique (**Wolcott 1942**). Parmi les auxiliaires on peut distinguer des arthropodes épigés tels les carabes, araignées ou staphylins, mais aussi des auxiliaires volants tels les coccinelles, guêpes parasitoïdes ou syrphes.

a. Les syrphes, auxiliaires prédateurs

Les syrphes sont des Diptères dont le régime alimentaire des stades juvéniles diffère de celui des adultes (**Sarthou, 1996**). Ils sont donc considérés comme prédateurs ou pollinisateurs potentiels selon le stade de développement considéré. Le projet CASDAR « Entomophages en grandes cultures : diversité, service-rendu et potentialités des habitats » a permis de recenser les espèces de syrphes les plus abondantes en grandes cultures dans les régions Picardie, Centre/Ile de France et Rhône-Alpes : *Episyrphus balteatus*, *Eupeodes corollae*, *Melanostoma mellinum*, *Melanostoma scalare*, *Scaeva pyrastris* et *Sphaerophoria scripta* (**Arvalis, 2011**).

Les larves de certaines espèces sont zoophages (souvent polyaphidiphages). La voracité d'une larve de syrphe dépend des conditions environnementales, de son stade de développement mais aussi du stade de développement des pucerons de la colonie dans laquelle elle est installée (**Tenhumberg et Poehling, 1995**). **Tenhumberg et Poehling (1995)** ont montré que la voracité maximale des larves d'*E. balteatus* s'élève à environ 400 pucerons par larves durant la totalité de leur développement (larves nourries *ad libitum* et prise en compte du temps de manipulation des proies). **Chambers et Adam (1986)** ont étudié la prédation exercée par *E. balteatus* sur les populations de pucerons des céréales (*Sitobion avenae* et *Metopolophium dirhodum*) et ont pu montrer un taux de prédation maintenant les populations de pucerons en dessous des seuils de traitement imposés au Royaume-Uni.

Les syrphes adultes se nourrissent, plus ou moins selon les espèces, de pollen et de nectar, tous deux nécessaires à la maturation sexuelle (**Schneider, 1948 in Sarthou, 1996**). Certaines espèces de petite taille peuvent n'utiliser que du pollen car elles sont capables d'en extraire assez d'énergie (*Melanostoma spp.*, *Platycheirus spp.*) (**Wäckers et van Rijn, 2012**). **Laubertie et al. (2012)** ont étudié l'impact de la consommation de pollen et de nectar sur la performance d'*E. balteatus* (longévité, nombre d'œufs pondus, durée de l'oviposition). Ils ont pu montrer que les six fleurs testées (*Fagopyrum esculentum*, *Phacelia tanacetifolia*, *Coriandrum sativum*, *Sinapsis arvensis*) influençaient différemment la performance des femelles. Ils en concluent que la phacélie présente un fort potentiel pour augmenter le succès reproductif d'*E. balteatus* (**Laubertie et al. 2012**). Toutefois, ces résultats ne sont que partiellement validés par une étude de **van Rijn et Wäckers (2010)** qui ont criblé 33 espèces selon leur impact sur la survie d'*E. balteatus*. Les syrphes mis en présence de phacélie survivent moins longtemps que ceux mis en présence d'Apiacées (*P. sativa*, *D. carota*, etc), de *Vicia sativa* (utilisation du nectar extrafloral) ou encore de certaines Astéracées. Ils ont pu montrer par la suite, une corrélation négative entre la profondeur de la corolle et la survie des insectes : au-dessus d'une profondeur seuil de 2mm, la durée de survie ne permet pas d'atteindre le début de l'oviposition (**van Rijn et Wäckers, 2016**).

b. Les guêpes parasitoïdes, auxiliaires spécialisés

Les guêpes parasitoïdes sont des Hyménoptères qui parasitent différents stades d'autres arthropodes (œufs, larves...). Les larves se développent au détriment de l'hôte, jusqu'à le tuer, ce qui entraîne une mortalité larvaire conduisant à une baisse de la population des adultes l'année suivante. Les populations peuvent ainsi être maintenues en dessous des seuils économiquement dommageables (**Ulber et al., 2010**).

Le stade adulte est floricole et nécessite des ressources en sucre, ressources énergétiques indispensables à la survie (**Wäckers, 2001**). L'utilisation de ces ressources impacte aussi la fécondité, soit en agissant sur la maturation des œufs soit en allongeant la durée de vie permettant aux femelles de pondre pendant une plus longue période (**Wäckers, 2004**). Ces études montrent que la présence et l'accessibilité de ressources en sucre sont déterminantes pour un contrôle biologique efficace par

les guêpes parasitoïdes. Parfois l'hôte est associé à une source de sucre: soit il en produit (miellat, en sachant que la valeur nutritive du miellat est souvent plus faible que celle du nectar), soit l'hôte se nourrit sur une source de sucre (fruit...). Ainsi, pour l'insecte, chercher l'hôte revient à trouver aussi la source de sucre, *i.e.* d'énergie. Ceux dont l'hôte n'est pas associé à une source de sucre doivent faire un compromis entre la reproduction, *i.e.* rechercher l'hôte, et l'énergie, *i.e.* rechercher une source de sucre (**Wäckers et van Rijn, 2012**). **Wäckers (2004)** a réalisé une étude afin de savoir quelles fleurs étaient attractives et si leur nectar est accessible. Il a pu montrer que les parasitoïdes ne sont pas tout le temps attirés par des fleurs produisant du nectar accessible. Sur les onze plantes testées, seules deux se sont révélées optimales : *Aegopodium podagraria* (Apiacée) et *Origanum vulgare* (Lamiacée). Transposer ces résultats en champ reste toutefois complexe. Les études de terrains sont possibles mais ne sont pas faites pour quantifier la quantité de nourriture prélevée et ses effets sur la fitness de ces insectes. Il manque beaucoup d'éléments de compréhension sur les mécanismes qui guident un parasitoïde vers une source de nectar donnée. (**Wäckers, 2004**).

Les guêpes parasitoïdes sont des auxiliaires spécialisés. Le projet européen MASTER (Management Strategies for European Rape pests) a permis d'identifier 12 espèces d'Hyménoptères parasitoïdes suffisamment répandues et abondantes pour avoir une importance potentielle pour une régulation biologique des six ravageurs majeurs de colza. On retrouve entre autres *Tersilochus heterocerus* parasitant la méligèthe (*M. aeneus*), *Platygaster subuliformis* pour la cécidomie (*D. brassicae*), *Tersilochus obscurator* pour le charançon de la tige (*C. pallidactylus*), *Tersilochus fulvipes* pour le charançon de la tige (*C. napi*) ou encore *Trichomalus perfectus* pour le charançon des siliques (*C. assimilis*). Les émergences et les périodes d'activités de ces espèces sont synchronisées avec ceux des stades juvéniles des ravageurs. Lors de ce projet, les taux de parasitismes étaient forts, pouvant aller de 10 à 50%, parfois même de 70 à 90% (charançon de la silique et méligèthe en Suède, Allemagne et au Royaume Uni). Toutefois, il restait très variable selon les pays et l'année (**Ulber et al., 2010**). Parmi les guêpes parasitoïdes de ravageurs, on trouve aussi *Tersilochus microgaster* contre la grosse altise (*P. chrysocephala*), ainsi que *Triaspis spp.* connus pour parasiter les bruches des pois et féverole. Comme les parasitoïdes pondent généralement dans les stades juvéniles, leur impact se ressent dans la génération suivante. Ainsi, certains dégâts peuvent être observés, même en cas de régulation biologique efficace. C'est le cas pour *Triaspis spp.* qui n'intervient qu'après que la larve soit déjà dans la graine de pois ou de féverole. Lors de leur sortie, ils réalisent un orifice, certes plus petit que celui des bruches, mais qui détériore tout de même la qualité des graines au stockage.

III. Favoriser les auxiliaires de culture par des aménagements semi-naturels

1. Le paysage, échelle mobilisable mais souvent peu accessible

Dans un paysage agricole, les espèces cultivées prédominent l'espace. Ce sont des habitats éphémères et sujets à des perturbations fréquentes. La biodiversité se concentre donc dans des habitats plus stables tels les bordures de champ (**Bianchi et al., 2006**). Cependant, l'échelle du

paysage est un levier difficilement mobilisable par les agriculteurs. Il est donc nécessaire de trouver des solutions complémentaires à l'échelle de la parcelle. La prise en compte et l'aménagement des espaces non-cultivés adjacents aux cultures semblent être prometteurs. En effet, bordures de champ, jachères, haies, et bosquets sont des habitats peu perturbés et plus ou moins pérennes. Ils sont des réservoirs de biodiversité connus pour les syrphes (**Cowgill et al., 1993**) ou encore les guêpes parasitoïdes (**Nicholls et al., 2001**). Ces milieux semi-naturels peuvent abriter des hôtes et proies alternatives lorsque les hôtes et proies classiques sont absents de la culture ou que leur densité y est trop faible (**Rusch, 2010**). Ils offrent aussi des conditions favorables pour l'hivernation de certains auxiliaires, ce qui impacte la distribution de ceux-ci au printemps suivant, comme c'est le cas pour *E. balteatus* (**Sarthou et al., 2005**). Enfin, ils peuvent assurer des ressources en nectar et pollen, nécessaires pour de nombreuses espèces mais souvent manquantes en paysage agricole (**Haaland et al., 2011**).

2. Les bandes fleuries, aménagements à concevoir soigneusement

Les bandes fleuries sont un de ces aménagements visant à favoriser la régulation biologique. Les auxiliaires les visitent non seulement pour y trouver un habitat physique favorable (température, humidité, microclimat...) et des ressources trophiques (nectar, pollen, proies alternatives), mais ce sont aussi des zones refuges, moins perturbées que la culture adjacente (**Wäckers et van Rijn, 2012**).

La compréhension de l'attractivité de ces aménagements permet d'adapter leur composition. Une première approche fréquemment mise en œuvre se focalise sur un couple auxiliaire-ravageur, et prône l'utilisation de l'espèce de fleur la plus intéressante pour l'insecte visé, en se basant sur des tests en laboratoire et en champ. Mais cibler une seule espèce d'auxiliaire n'est pas optimal si on cherche à favoriser la lutte biologique. Une approche multispécifique permet la combinaison d'espèces florales complémentaires et proposer des ressources à des groupes variés d'insectes (**Pontin et al., 2005**). Au début, la réflexion reposait sur une méthode « shotgun », reposant sur l'hypothèse que le simple fait d'augmenter la diversité spécifique suffirait à favoriser une diversité d'auxiliaires. Cette approche a cependant été par la suite qualifiée de « Hit and Miss » par **Wäckers et van Rijn (2012)** car il est possible de passer à côté d'effets bénéfiques voire d'entraîner des effets négatifs lorsque les espèces du mélange sont plus ou moins choisies arbitrairement. Réaliser un criblage pour adapter les fleurs aux insectes ciblés est donc indispensable car la simple présence de fleurs dans les agrosystèmes ne suffit pas (**Wäckers, 2004**). De plus, il existe une différence entre les pollinisateurs et les agents de contrôle, *i.e.* les insectes assurant différents services écosystémiques différent dans leur association aux espèces florales. Ainsi, les mélanges floraux ciblant un groupe d'insecte particulier (les pollinisateurs par exemple) ne seront pas nécessairement efficaces pour d'autres groupes d'arthropodes (les micro-guêpes parasitoïdes par exemple). Il existe une forte variation des réponses des différents groupes d'arthropodes, même en ne considérant que les auxiliaires (**Wäckers et van Rijn, 2012**). **Wäckers et van Rijn (2012)** ont alors proposé une approche, dite « Pick and Mix », reposant sur les étapes suivantes : identifier les ravageurs majeurs

de la culture et les ennemis ; identifier les attentes que doivent remplir les ressources florales pour favoriser ces ennemis : de quelles ressources ont-ils besoin mais aussi à quel moment ? ; identifier les espèces végétales remplissant ces critères, en évitant qu'elles favorisent également des ravageurs. Toutefois, cette approche est laborieuse car il faut tester chaque espèce florale en labo et au champ. De plus, les études sont réalisées sur des espèces d'auxiliaires bien précises, ce qui rend les mélanges hautement adaptés à un couple auxiliaire-ravageur et difficilement transférables à d'autres situations. Enfin, d'autres critères sont aussi à prendre en compte comme le climat, le sol, la périodicité (annuelle/bisannuelle/pérenne), la provenance (native/naturalisée/exotique), le potentiel envahissant ainsi que la disponibilité, le prix et la qualité des semences, ajoutant un niveau de complexité supplémentaire.

IV. Concevoir des bandes fleuries en adoptant une approche fonctionnelle

1. Etude des traits fonctionnels

L'approche « Pick and Mix » présente ses limites : une culture, un ravageur, un parasitoïde, une espèce florale. Or cette démarche ne permet pas de tirer des conclusions générales, ce qui la rend inappropriée quand on doit lutter contre un cortège de ravageur en essayant de favoriser une communauté d'auxiliaires divers. Une approche dite fonctionnelle permet de palier à ce défaut, en proposant une étude des traits fonctionnels plutôt que de s'intéresser à la taxonomie des espèces végétales des mélanges. D'après **Violle et al. (2007)**, les traits sont toutes les caractéristiques morphologiques, physiologiques ou phénologiques, mesurables à l'échelle de l'individu, de la cellule à l'organisme entier, sans aucune référence à l'environnement ou tout autre niveau d'organisation. Ils sont qualifiés de fonctionnels lorsqu'ils influent indirectement la fitness de l'individu. Parmi les traits fonctionnels des plantes, on peut lister entre autres l'odeur, la couleur de l'inflorescence, la taille, la qualité du nectar, etc. (**Gardarin et al., 2018**). Comme ces traits floraux sont mesurables chez toutes les espèces, il est ainsi possible de tirer des généralités quant à l'importance de certains d'entre eux pour le choix des insectes. Par exemple, on constate que les traits relatifs au nectar et au pollen (accessibilité, composition, quantité...) jouent un rôle majeur, tout comme les éléments olfactifs et visuels (molécules volatiles attractives, couleur, réflectance aux UVs...).

2. Application à la conception de bandes fleuries

Les bandes fleuries peuvent être conçues d'un point de vue fonctionnel, *i.e.* choisir des espèces végétales en tenant compte de leurs traits (taille de la plante, la morphologie des fleurs, la période de floraison, etc). Sachant que les différentes espèces d'insecte ne réagissent pas de la même manière à un même trait floral (**Hatt et al., 2017**), il est possible de concevoir les bandes fleuries en associant des espèces végétales aux traits contrastés dans l'espoir de combler les attentes des espèces auxiliaires cibles. Certaines espèces présentent des traits similaires, ainsi adopter une approche fonctionnelle permet de prendre en compte la redondance et de pondérer l'utilité fonctionnelle de chaque espèce florale, sa taxonomie mise à part (**Storkey et al., 2013**) pour comprendre l'effet sur ces communautés d'arthropodes.

Uyttenbroeck et al. (2015) ont proposé d'adopter cette approche pour choisir les espèces florales à intégrer dans les mélanges. En se basant sur des traits comme la couleur, la réflexion dans l'UV, la présence de motif sous UV, le mois de début de floraison et sa durée ainsi que la hauteur maximale du végétal, ils ont réussi à concevoir quatre mélanges de diversité fonctionnelle différents (utilisation de l'entropie de Rao pour les comparer). Dans la suite de leurs travaux, ils ont essayé de comprendre le lien entre la richesse spécifique de leurs mélanges et leur diversité fonctionnelle (**Uyttenbroeck et al., 2017**) avec pour hypothèse que chaque espèce ajoutée au mélange apporte un trait complémentaire ou redondant et que cette augmentation de la richesse spécifique permettrait de débloquent des niches et ainsi assurer à diverses espèces d'arthropodes la présence de ressources trophiques qui leur sont nécessaires. Ainsi, pour une richesse spécifique égale, remplacer une plante par une autre présentant des traits plus appropriés permet d'augmenter la diversité fonctionnelle. Il en résulterait une augmentation de niches mais avec moins de redondance dans celles-ci car un même nombre de plantes doit fournir différentes valeurs de traits fonctionnels. Le risque serait donc que les arthropodes spécialisés (pollinisateurs dans l'étude) ne trouvent que quelques plantes qui leur fournissent une niche convenable. Ainsi, dans une communauté végétale avec une haute diversité fonctionnelle, ils visiteraient moins d'espèces de plante (**Uyttenbroeck et al., 2017**). La disparition d'une unique espèce végétale pourrait conduire à la disparition totale d'une niche et donc nuire aux utilisateurs de cette niche, comme l'explique théoriquement **Diaz et Cabido (2001)**. Ainsi, l'important ne serait pas de chercher à maximiser la diversité fonctionnelle mais de garder un minimum de redondance pour s'assurer que les niches soient bien fournies (**Uyttenbroeck et al., 2017**).

V. Présentation du projet de stage

Notre étude s'intègre dans le cadre du projet GARGAMEL (Gestion Agroécologique des ravageurs de Grandes cultures à l'Aide de MELanges floraux), mis en place à l'automne 2013 par l'UMR Agronomie regroupant AgroParisTech et l'INRA de Versailles-Grignon. Ce projet tente d'évaluer la contribution des bandes fleuries dans la gestion des communautés de ravageurs tout au long d'une rotation de grandes cultures mais aussi de savoir quelle diversité doivent présenter les bandes fleuries pour répondre à ces objectifs de régulation biologique.

1. Présentation du dispositif

La parcelle expérimentale de 13ha est cultivée avec des cultures sensibles aux dégâts causés par les insectes, selon une rotation de 4 ans (légumineuse–colza–blé–maïs). Chaque année, la parcelle est divisée en deux cultures différentes (*e.g. en 2017* : blé semé en direct/colza semé après un travail du sol superficiel). Les cultures ont été conduites avec un faible niveau de traitement (aucun insecticide). En automne 2013, huit mélanges fleuris ont été semés dans la parcelle dans des bandes de 6x44m, espacées de 50 m, afin de comparer leur effet sur la régulation des ravageurs (Figure 1, détails en Annexe II).

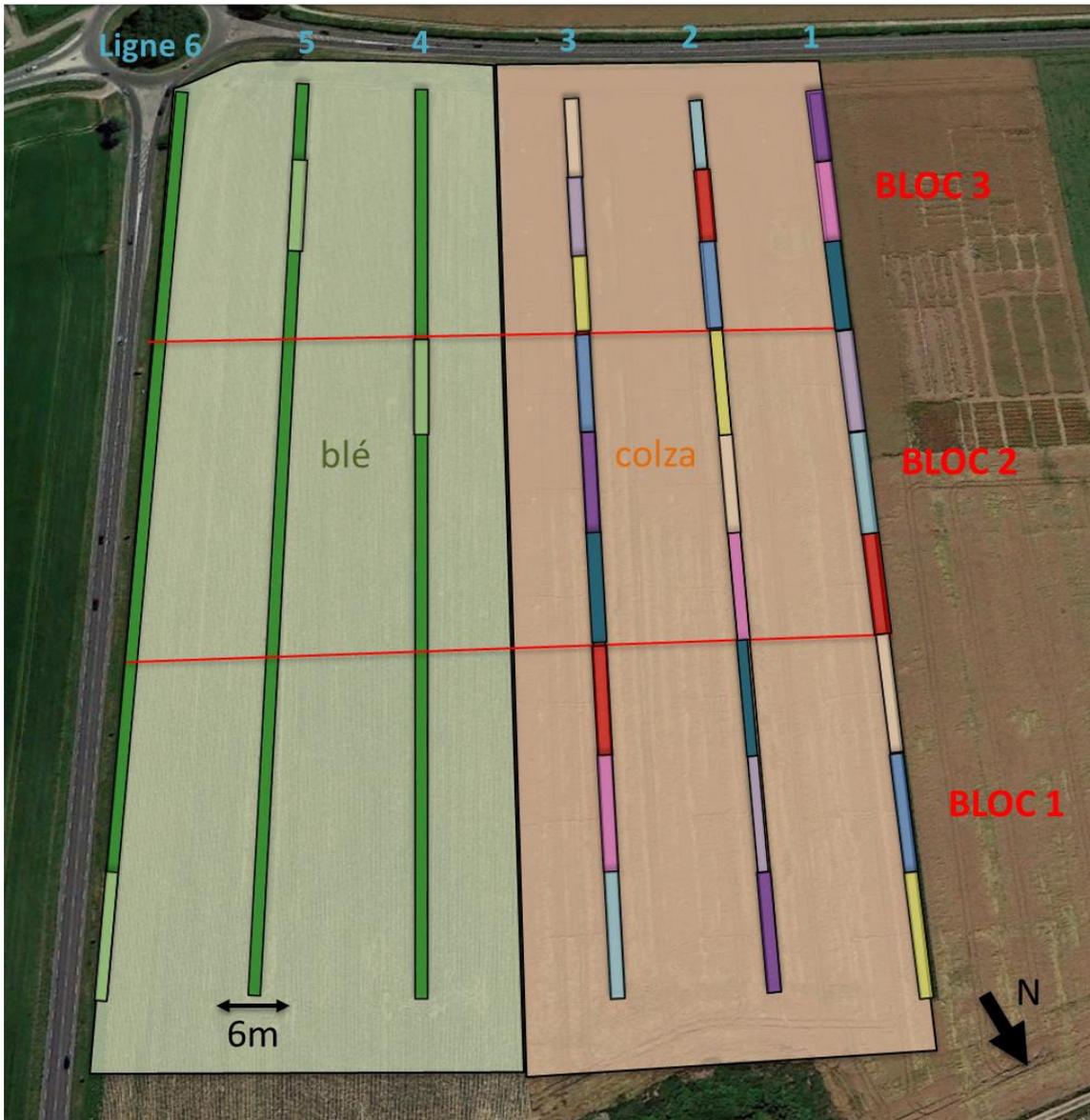


Figure 1 – Vue satellite de la parcelle expérimentale Orme Est, Ferme expérimentale d'AgroParisTech. Les 6 lignes de bandes fleuries longues de 44m et larges de 6m sont représentées en vert sur la parcelle Est. La disposition en carré latin (3x6) des 9 mélanges est visible sur la parcelle Ouest (rectangles de couleur). Les bandes témoins sont semées avec la culture : blé à l'Est (vert clair), colza à l'Ouest (orange clair). (Google Earth, modifiée par A. Gardarin (2017) et C. Zucchetta(2018))

Les mélanges ont été conçus par expertise et à l'aide de la littérature (base de donnée BioFlor) pour être favorables aux auxiliaires (fourniture de ressources, habitat...). Ils sont tous plurispécifiques et ne diffèrent que par leur composition en dicotylédones (trois graminées semées en même abondance). Les espèces végétales sont indigènes, majoritairement pérennes et celles potentiellement considérées comme « nuisibles » n'ont pas été incluses dans les mélanges afin de ne pas risquer qu'elles « contaminent » la culture. Les mélanges sont testés en fonction de leur richesse spécifique, leur diversité fonctionnelle et l'identité des espèces végétales qui les composent. Huit mélanges sont ainsi proposés suivant deux gradients (diversité fonctionnelle et richesse spécifique) (Figure 2). Pour chaque type de mélange (A, C, D et E), deux compositions végétales *a priori* équivalentes sont

testées (e.g. A1 et A2) (compositions détaillées des mélanges présentées en Annexe I). Ces mélanges fleuris sont comparés à des bandes témoins où est semée uniquement l'espèce cultivée dans la parcelle (blé, colza, ...).

		Gradient de diversité des ressources alimentaires fournies = diversité fonctionnelle		
		Faible	Intermédiaire	Élevée
Gradient de nombre d'espèces	Faible		<--D-->	
	Intermédiaire	A		C
	Élevé			E

Caractéristiques des espèces implantées :

- majoritairement pérennes
- indigènes
- selon les mélanges choix selon la morphologie florale, le type et la quantité de ressources fournies aux insectes auxiliaires (nectar floral, extrafloral, pollen) et les dates de floraison

Figure 2 – Classification des mélanges selon les gradients de diversité fonctionnelle et de richesse spécifique.

Des relevés botaniques ont été réalisés tout au long de l'expérimentation et permettent de suivre l'évolution des mélanges et d'évaluer leur caractère envahissant. Différents pièges permettent de suivre la faune dans les bandes et dans la culture, notamment des pièges cornets unidirectionnels pour les arthropodes volants.

2. Présentation des objectifs de stage, **problématique** et **hypothèses de travail**

L'objectif de ce stage est d'évaluer l'effet des différents mélanges fleuris sur les communautés d'arthropodes volants et principalement sur les communautés de syrphes. Les mélanges ayant été conçus selon un gradient de diversité fonctionnelle, on cherche ici à passer outre la taxonomie et évaluer le potentiel des mélanges à fournir des ressources trophiques aux auxiliaires. Cette approche fonctionnelle repose sur l'étude de la fourniture de nectar par les espèces végétales des mélanges (semées ou adventices) grâce à des observations en labo et l'analyse de l'accessibilité de ce nectar à certaines espèces de syrphes. Les syrphes ayant besoin de nectar, on suppose que des mélanges fournissant cette ressource favorisent leur présence et que la prise en compte des recouvrements réels de ces espèces végétales dans les mélanges apporte des éléments de compréhension supplémentaires et complémentaires de ceux issus de l'étude taxonomique.

La lecture des articles des différentes recherches déjà effectuées sur le thème nous ont amenés à nous intéresser plus spécialement à la question de l'accessibilité du nectar et à définir notre problématique avec la question suivante :

Dans quelle mesure la prise en compte de l'accessibilité du nectar permet de mieux expliquer la fréquentation des bandes fleuries par les syrphes ?

Nous faisons l'hypothèse que **(1) la morphologie de la fleur influe sur l'accessibilité du nectar par les syrphes**, que **(2) certaines espèces végétales sont accessibles à plus ou moins d'espèces de syrphes en fonction des différences morphologiques de celles-ci**, et enfin, que **(3) le recouvrement en espèces produisant du nectar accessible a une influence sur les communautés de syrphes**.

Dans un premier temps, une description générale de la faune volante piégée mi-juin 2017 permettra de visualiser l'effet des bandes fleuries sur l'activité-densité de différents taxons puis sur les auxiliaires de culture. L'effet des bandes fleuries sera ensuite analysé plus en détails pour les communautés de syrphes et plus particulièrement sur leur activité-densité. La troisième partie sera consacrée à l'application de la nouvelle méthode de mesure d'accessibilité du nectar afin d'identifier les espèces végétales capables de fournir cette ressource trophique. Enfin, les mélanges fleuris seront décrits en prenant en compte cette accessibilité du nectar afin de fournir des éléments de compréhension sur leur effet.

MATERIEL ET METHODES

I. Analyse de la faune volante : pièges cornets

1. Mise en place des pièges en 2017

En 2017, 108 pièges cornets ont été placés à 5m et à 20m des bandes fleuries à cinq dates différentes : 17 et 30 mai, 12 et 19 juin, et 3 juillet (conditions climatiques favorables, jusqu'à la sénescence de la culture). Les pièges ont été laissés une semaine après leur pose. Leur contenu a ensuite été nettoyé puis stocké dans de l'alcool en chambre froide en attendant d'être analysé et identifié.

2. Description globale et activité-densité par grandes familles

En 2018, les 27 pièges cornets à 0m de la date 3 de la série de 2017 (12/06) ont été triés par grandes familles, avec une attention particulière pour les Hyménoptères parasitoïdes et les Diptères. Les individus ont été identifiés et comptés à différentes échelles taxonomiques, allant de l'ordre à l'espèce, suivant le niveau de complexité (*Oedemera nobilis* facilement identifiable par exemple). Pour chaque taxon d'arthropode, les individus comptés dans les pièges ont été assimilés à une activité-densité. Les Hyménoptères parasitoïdes ont été regroupés en fonction des nervures de leurs ailes. Les Brachycères prédateurs (autres que les syrphes) ont été identifiés par comparaison avec une collection, l'utilisation d'une clef étant trop complexe. Pour l'analyse descriptive fonctionnelle focalisées sur les auxiliaires, les taxons correspondants ont été classés en deux catégories : prédateurs et parasitoïdes (Tableau 1). On obtient ainsi trois types d'activité-densité : l'activité-densité totale (AD_{tot}), correspondant à la somme des activités-densités de tous les taxons ; l'activité densité des parasitoïdes (AD_1) ; et l'activité-densité des prédateurs (AD_2). En cas de fortes différences d'ordre de grandeurs, une transformation logarithmique est faite pour analyser les activités-densités.

Tableau 1 – Répartition des différents taxons dans les deux catégories : prédateurs et parasitoïdes

Parasitoïdes	Prédateurs
Braconidés, Chalcidoidés, Ichneumonidés, autres Térébrants	Arachnides, Coleoptères, Dermaptères, Syrphes, autres Brachycères prédateurs, Hémiptères

3. Identification et activité-densité des syrphes

En 2018, pour les 540 pièges de 2017 (54 bandes x 5 dates x 2 distances), les syrphes ont été comptés, mis à part puis identifiés à l'espèce sous loupe binoculaire (LEICA M80). Certaines identifications à l'espèce attendent confirmation par une experte (V. Sarthou), en particulier pour les espèces de *Platycheirus*. Dans les cas échéants, seul le genre a été retenu pour l'analyse. L'activité-densité totale (AD_{syrphe_tot}) correspond à la somme de l'activité-densité de chaque taxon pour les cinq dates de 2017 (trop peu d'individus par date). L'activité-densité relative correspond à l'activité-densité du taxon rapportée à l'activité-densité totale.

II. Relevés botaniques et recouvrement des espèces végétales

En 2017, l'évaluation du recouvrement et du stade phénologique de chaque espèce dans les bandes a été réalisé sur 45m² à deux dates : en avril pour les espèces en fleurs uniquement, et un relevé

complet entre fin-mai et fin-juin. Les données ont été regroupées dans un document excel en attendant d'être analysé. En 2018, seuls les relevés botaniques de la période estivale ont été utilisés pour l'analyse afin d'être en adéquation avec la période de piégeage de la faune volante.

En 2018, lors de l'analyse fonctionnelle, les espèces végétales ont été classées en 4 catégories (Figure 3) : espèces entomophiles/nectar non accessible (3), espèces entomophiles en fleur/nectar accessible (4), autres espèces entomophiles (2) et graminées (1).

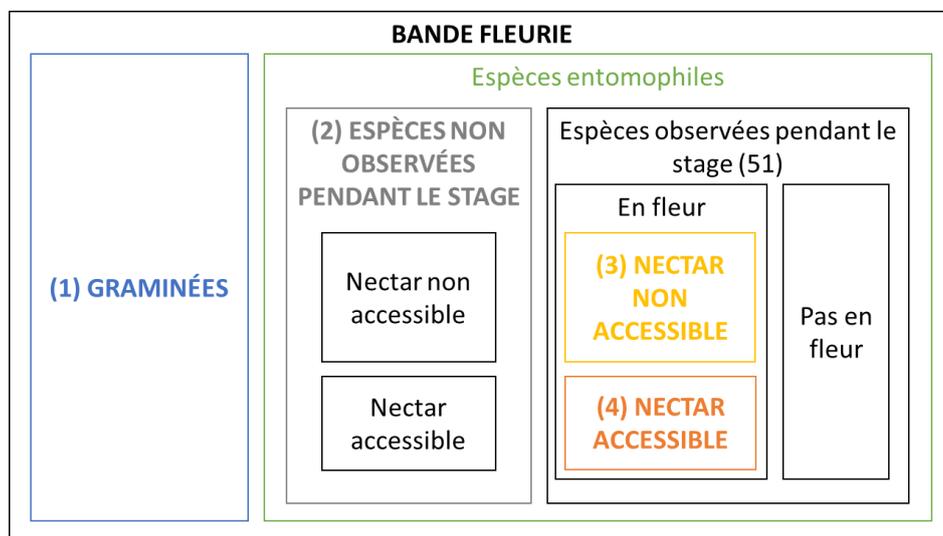


Figure 3 – Catégories pour l'analyse fonctionnelle des recouvrements

La non accessibilité du nectar correspond soit au fait que l'espèce considérée n'était pas en fleur lors du relevé (pas de production de nectar possible) soit que le nectar n'est pas accessible d'après le modèle présenté par la suite. La catégorie « autres espèces entomophiles » correspond aux espèces végétales non observées lors du stage mais potentiellement avec du nectar accessible. Pour chaque bande, le recouvrement des espèces a été sommé par catégories.

III. Description des communautés d'arthropodes et végétales

La richesse spécifique et l'indice Shannon ont été calculés à l'aide du package vegan sur R en utilisant les activités-densités (arthropodes) ou les relevés botanique (plantes). L'équitabilité est

obtenue via la formule : $Equitabilité = \frac{\text{indice de Shannon}}{\ln(\text{richesse spécifique})}$.

IV. Accessibilité du nectar : une approche géométrique

La méthode présentée s'inspire des travaux de **Van Rijn et Wäckers (2016)**.

1. Représentation géométrique de la fleur et de l'insecte

La fleur est modélisée comme un cône de hauteur **h**, de sommet **C** et de diamètre **w** (vue en coupe sur Figure 4). Les nectaires sont représentés sur les parois du cône (points **N** et **M**) et la distance entre le nectar et le fond de la corolle est noté **p**. Un insecte accède au nectar s'il dispose d'une morphologie adaptée, *i.e* d'une tête et d'un appareil buccal de largeur et longueur telles qu'elles lui permettent d'atteindre la source de nectar et de le consommer. La Figure 5 schématise la tête d'un insecte et de son appareil buccal, modélisés respectivement comme une sphère et un cylindre.

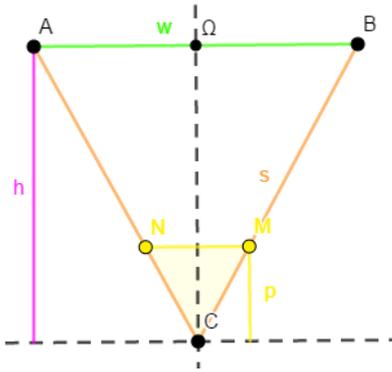


Figure 4 – Schéma de la corolle : w le diamètre, s la longueur, h la hauteur, N et M représentent la position du nectar et p la distance entre le nectar et le fond de la corolle.

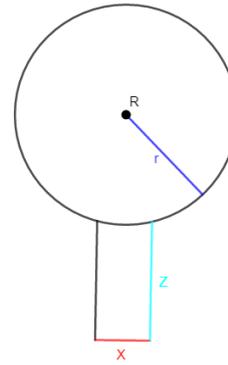


Figure 5 – Schéma d'une tête d'insecte : r le rayon de la tête, Z et X respectivement la longueur et la largeur de l'appareil buccal.

2. Distance entre le fond de la corolle et l'extrémité de la tête de l'insecte, rentrée à son maximum dans la fleur (appareil buccal non pris en compte)

- Cas n°1 : Le diamètre de la tête est plus grand que le diamètre de la corolle

L'insecte peut enfoncer une partie de sa tête dans la corolle mais va rester bloqué à une certaine distance du fond de la corolle, notée a (Figure 6).

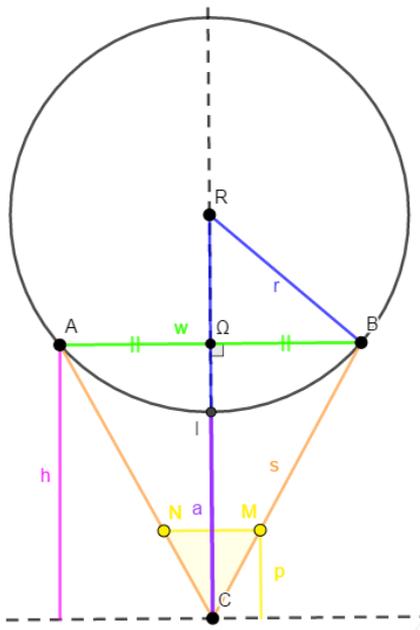


Figure 6 – Schéma de la tête de l'insecte de rayon r et de diamètre $2r \geq w$, avec w le diamètre de la corolle. La tête de l'insecte s'enfoncé dans la corolle d'une distance ΩI et a représente la distance entre la tête et le fond de la corolle.

Sachant $2r > w$, on a :

$$a(r) = h - \Omega I$$

On cherche donc ΩI .

Le théorème de Pythagore dans le triangle

$RB\Omega$ nous donne :

$$r^2 = \Omega R^2 + \Omega B^2$$

$$\text{Donc } \Omega R = \sqrt{r^2 - \Omega B^2}$$

$$\text{Or } RI = r = \Omega R + \Omega I$$

Ainsi on obtient :

$$\Omega I = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{w}{2}\right)^2}$$

Donc on obtient :

$$a(r) = h - \Omega I$$

$$\text{soit } a(r) = h - \left(r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{w}{2}\right)^2} \right)$$

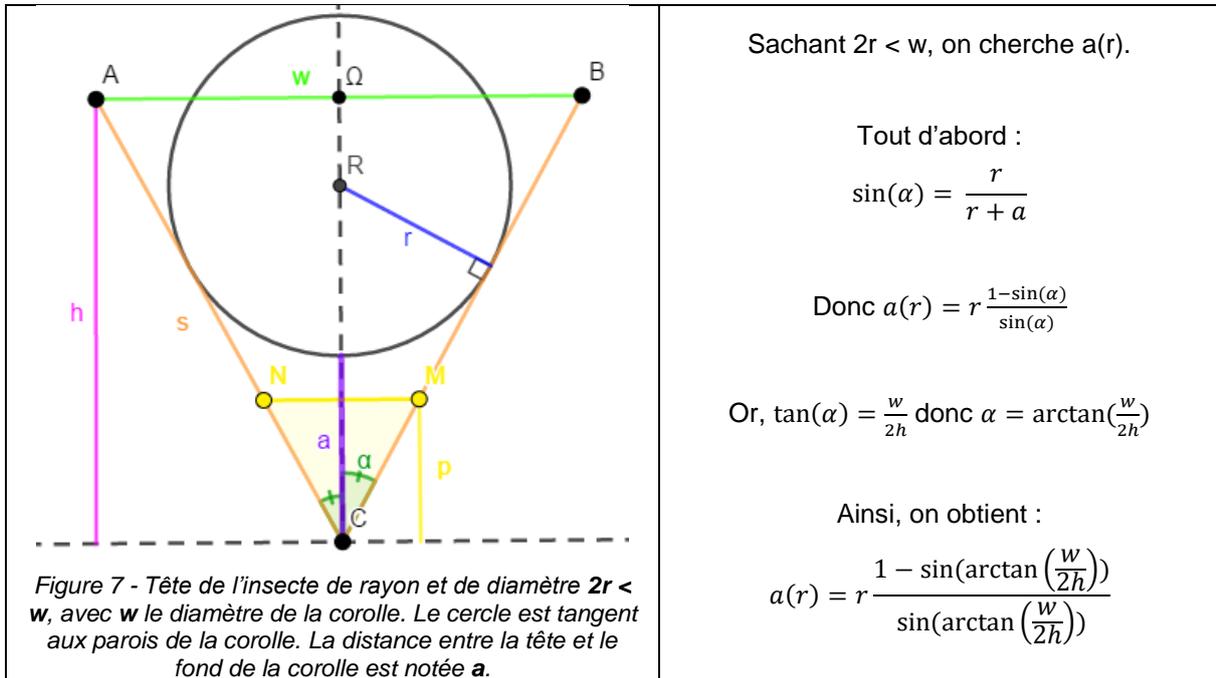
Pour le cas particulier où $2r = w$, la relation précédente reste valable et on obtient :

$$a(r) = h - r$$

- Cas n°2 : Le diamètre de la tête est inférieur à celui de la corolle

L'insecte peut rentrer sa tête dans la corolle avant de bloquer lorsque la corolle devient trop étroite.

L'extrémité de la tête se situe alors à une distance notée a du fond de la corolle (Figure 7).



3. Prise en compte de l'appareil buccal de l'insecte (longueur et largeur)

On s'intéresse à la distance entre l'extrémité du proboscis et du fond de la corolle, notée $d(r)$:

$$\text{On a } d(r) = a(r) - Z$$

Ainsi, le nectar est accessible, si $d(r) \leq p$ et $X \leq NM$, comme illustré sur les schémas ci-dessous (Figure 8). Ces relations restent valables dans le cas où la tête de l'insecte pénètre dans la corolle.

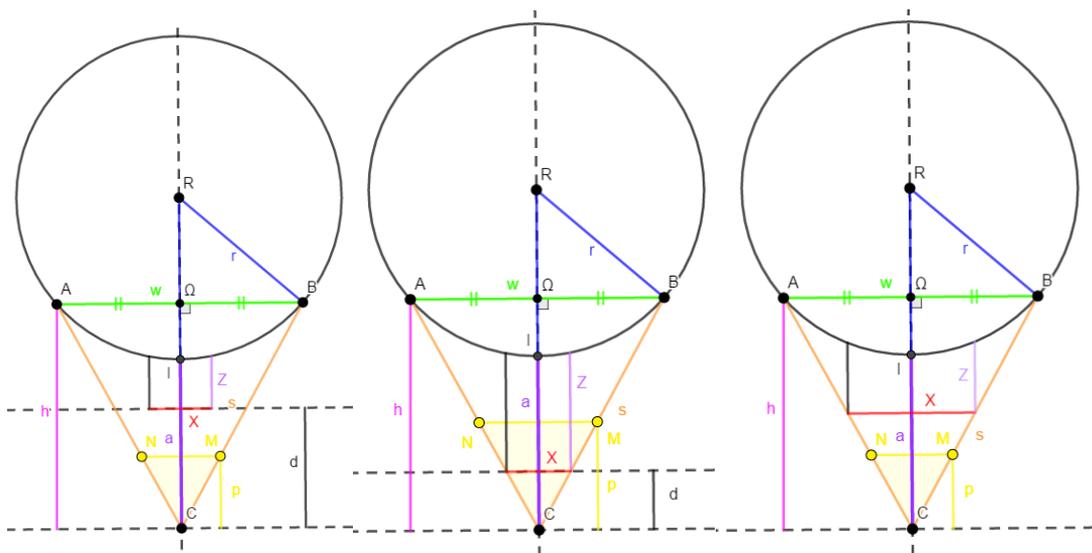


Figure 8 – Schéma de l'appareil buccal d'un insecte tentant de consommer le nectar (mêmes notations que sur les schémas précédents). A droite, l'appareil buccal est trop court ($Z > d$) ; au centre, l'appareil buccal est assez long ($Z \leq d$) ; à gauche, l'appareil buccal est trop large ($X > NM$).

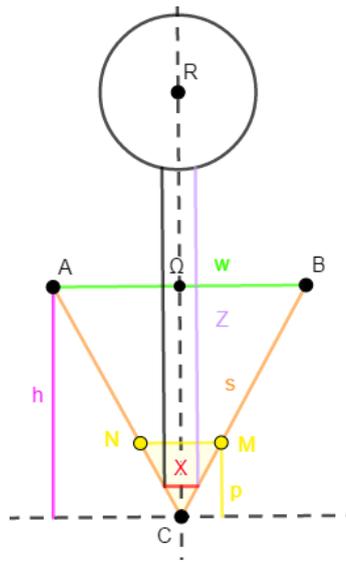


Figure 9 – Schéma d'un insecte avec un appareil buccal très long ($Z > h$) mais suffisamment étroit ($X \leq NM$).

Au vu de la diversité des appareils buccaux, il faut aussi considérer le cas où l'appareil buccal de l'insecte est tel que la tête n'atteint même pas l'entrée de la corolle, à l'image des trompes des papillons, *i.e* lorsque $Z \geq h$. Dans ce cas-là, la condition limitante est celle sur la largeur de l'appareil buccal : $X \leq NM$ (Figure 9).

4. Arbre de décision et assouplissement des conditions d'accessibilité

Les conditions géométriques précédentes peuvent être testées dans un arbre de décision (Figure 10, Annexe III). L'accessibilité du nectar s'obtient en entrant dans un fichier excel les caractéristiques morphologiques de l'espèce végétale et de l'espèce de syrphé concernées. Dans les cas où certaines mesures morphologiques n'étaient pas disponibles (largeur au niveau du nectar NM), l'arbre de décision a été assoupli et les conditions limitantes ôtées (encadrées sur la Figure 10).

Pour le chemin Bc2 (Figure 10), il a été considéré que le nectar était tout de même accessible pour différents cas, en raison de l'incertitude des mesures sur les largeurs des proboscis et leurs possibles capacités contractiles :

- Si la distance $d(r) - p$ est négative : un appareil buccal suffisamment long mais apparemment trop large.
- Si la distance $d(r) - p$ est très proche de zéro : un appareil buccal trop court mais d'une taille quasi suffisante pour atteindre le nectar (seuil fixé à $d(r) - p \leq 0,1$).

Le nectar extrafloral et le nectar présent en surface (Ombellifères majoritairement) ont été considérés comme accessibles, sans recours à l'arbre de décision.

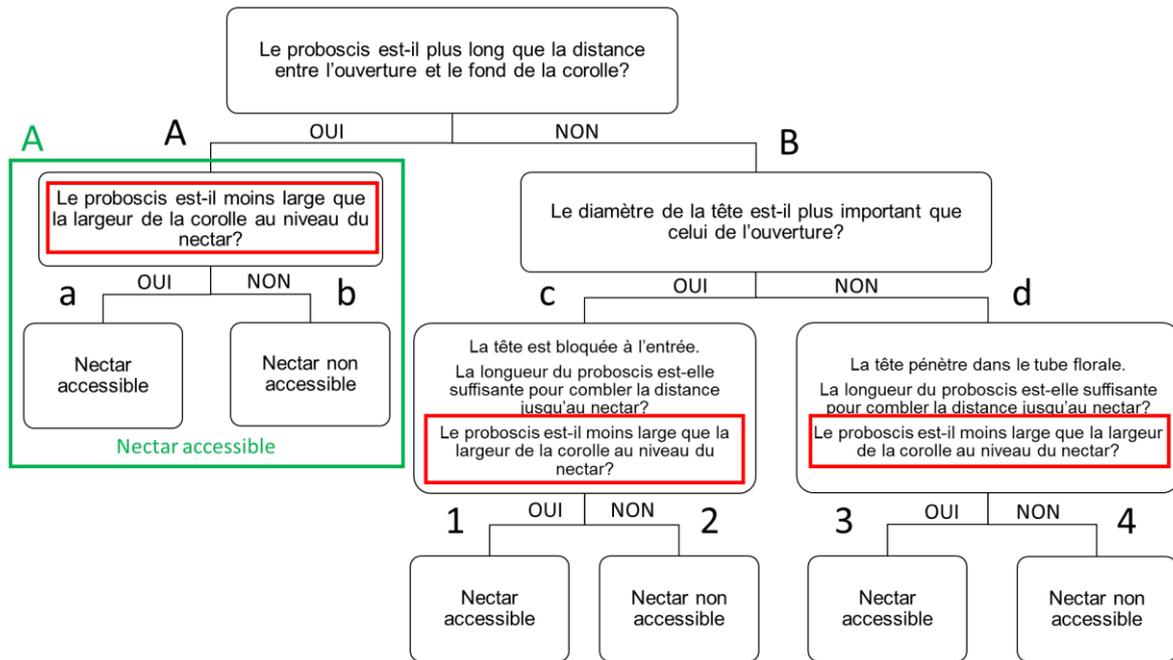


Figure 10 – Arbre de décision pour l'accessibilité du nectar (version avec formules mathématiques Annexe III). Chaque branche est codée pour pouvoir retracer les 6 chemins de décision possibles. Encadrés rouges : conditions pouvant être ôtées en cas de données manquantes sur la largeur au niveau du nectar ; chemins Aa et Ab fusionnés en un unique chemin noté A encadré vert.

V. Mesure des traits

En 2018, les observations ont été faites sous loupe binoculaire (LEICA M80), les photos prises par caméra (Moticam10 10.0MP) et le logiciel associé (MoticImagePlus 2.0), et les mesures réalisées avec le logiciel ImageJ.

1. Traits morphologiques des arthropodes

Les mesures ont été réalisées sur six espèces de syrphes *E. balteatus*, *S. scripta*, *E. tenax*, *M. mellinum*, *P. peltatus*, *E. corollae*. Les traits morphologiques ont été mesurés sur un unique individu par espèce. La mise en évidence de l'appareil buccal a été faite à l'aide de pinces souples et parfois il a été nécessaire de l'étirer délicatement pour l'observer à sa taille maximale (l'appareil buccal des syrphes est contractile). Le diamètre de la tête est la distance entre les deux yeux, insecte vu de dessus. La longueur de l'appareil buccal correspond à la longueur maximale entre son insertion sur la tête et son extrémité. La largeur de l'appareil buccal a été mesurée, selon l'angle de prise des photos, comme la largeur maximale du proboscis.

2. Traits floraux : profondeur de nectar et attractivité

Dix individus de 51 espèces (semées ou adventices) ont été prélevés en début de matinée dans les bandes fleuries et bords de champs alentours (seulement 5 individus pour les espèces d'adventices), en privilégiant les espèces dont le recouvrement était important en 2017. Certains traits floraux ont été mesurés à la règle.

a. Profondeur du nectar

La profondeur du nectar correspond à la distance entre la source de nectar et la « contrainte » qui en limite l'accès et repose donc sur le modèle géométrique présenté précédemment. Cette « contrainte » peut être l'entrée de la corolle, la soudure en tube des pétales ou encore la présence d'une rangée de poils en amont des nectaires (voir *NB* sur Tableau 6).

b. Traits d'attractivité

Les mesures d'attractivité ont été réalisées sur les fleurs des différentes espèces ainsi que sur les unités florales pour les espèces présentant des regroupements de fleurs (ombelles, ombellules, capitules...). Pour les mesures sur photo, le nombre d'individus étudiés varie en fonction de la qualité des photos ainsi que du temps nécessaire pour les exploitées.

Pour la majorité des cas, le diamètre a été choisi comme trait mesuré (fleurs actinomorphes, capitules, ombelles, ombellules et certaines fleurs zygomorphes (véroniques, vipérine)). Pour les Ombellifères, l'unité florale a été définie comme le premier niveau de regroupement, *i.e* l'ombellule, car il existe une continuité entre les fleurs qui le composent. Certaines espèces d'Ombellifères présentent des regroupements floraux d'échelle supérieure, *i.e* ombelles d'ombellules, mais les ombelles ne sont souvent pas assez rapprochées les unes des autres pour former une continuité florale (ex. *Daucus carota*). Pour les espèces zygomorphes, principalement Fabacées et Lamiées, le choix de la mesure à faire a été fait au cas par cas, en fonction de la morphologie de la fleur (voir *NB* Tableau 8).

VI. Traitement des données et analyses statistiques

Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel R et des packages lme4, nlme, MASS, car, FactoMineR et emmeans. Certains traitements ont dû être réalisés afin d'analyser les données brutes : passage en loi binomiale négative pour corriger la sur-dispersion des lois de Poisson et quasi-Poisson ; passage en log ou log + 1 pour les activités-densités. Les modèles utilisés sont soit des modèles linéaires soit des modèles linéaires généralisés. Les p-values sont obtenues par ANOVA de type 2 avec un seuil de significativité de 5%. Le degré de significativité de la p-value (p) est codé comme suit : '****' si $p < 0,0001$; '***' si $p < 0,001$; '**' si $p < 0,01$; et '.' si $p < 0,1$. Les R^2 ajustés permettent d'évaluer la qualité des modèles linéaires. L'AIC est utilisée pour comparer les modèles linéaires généralisés (choix de l'AIC la plus faible). Les comparaisons multiples ont été réalisées à l'aide du package emmeans avec un seuil de significativité de 5% (différences indiquées par des lettres différentes sur les figures).

RESULTATS

I. Description de la composition générale de la faune volante piégée mi-juin 2017

1. Evaluation de la biodiversité et activité-densité totale des différents mélanges

Une première analyse des pièges de la date 3 (12/06) de 2017 permet de décrire la diversité piégée dans les 27 bandes du bloc Ouest à 0m. On essaye ici de visualiser si des mélanges ressortent de par leur composition spécifique et par l'activité-densité des individus piégés (AD_{tot}) avec comme hypothèse que le témoin présentera la plus faible abondance et diversité en arthropodes volants (Tableau 2).

Le témoin, avec ses 297 individus piégés en moyenne, ne présente que trois ordres principaux (Coléoptères, Diptères et Hyménoptères) avec 3 autres ordres représentés par des individus uniques. Pour les mélanges fleuris, les ordres principaux restent les mêmes mais d'autres ordres sont représentés avec des effectifs dépassant l'unique individu piégé (Hemiptères, Dermaptères, ...).

Tableau 2 – Activité-densité totale : présentation des différents modèles testés, de leur p-value et R^2 respectifs. Le meilleur modèle est encadré en gras.

Question posée	Modèle proposé (loi normale)	p-value	R^2 ajusté
Le type de mélange a-t-il un effet sur l'activité-densité totale ?	$\log(AD_{tot}) \sim \text{Mélange}$	0,07 .	0,29
	$\log(AD_{tot}) \sim \text{Mélange} + \text{Bloc}$	Mélange 0,03 *	0,48
		Bloc 0,03 *	

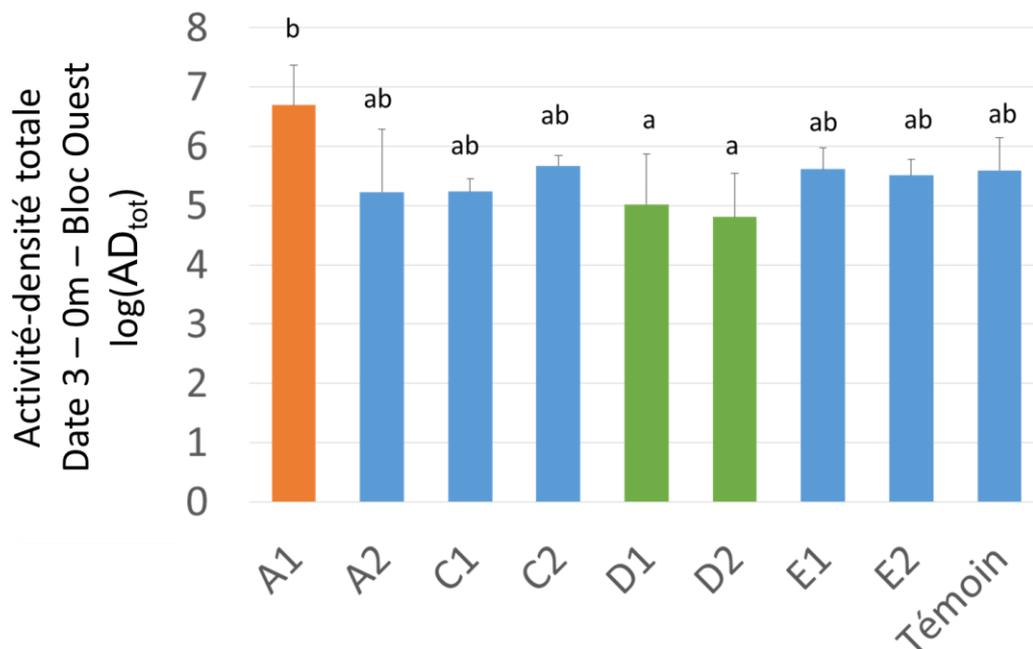


Figure 11 – Activité-densité totale d'arthropodes volants dans les bandes fleuries en fonction des types de mélange. Les barres d'erreur représentent les écarts types.

On constate que le mélange A1 se détache des autres (Figure 11) avec en moyenne 928 individus piégés comparés aux 315 individus piégés en moyenne sur la totalité des mélanges. Il présente une forte abondance en Diptères, Coléoptères et Hyménoptères, avec en moyenne respectivement 256, 206 et 452 individus piégés. En regardant plus dans le détail, beaucoup de melligèthes et d'altises ont été piégées dans ces mélanges A1 ainsi que de nombreux tipules, moustiques et Braconidés. Les trois bandes de ce mélange sont contrastées de par leur composition en opilions et Homoptères. Les mélanges D1 et D2 sont ceux avec les plus faibles activités-densités d'individus piégés avec en moyenne respectivement 196 et 145 individus, significativement plus faibles que celle du mélange A1 (Figure 11).

Quelques individus de l'ordre des Orthoptères ont été piégés uniquement dans les mélanges D2 et E1 et seul le mélange D1 ne présente pas de Lépidoptères.

2. Effet des mélanges fleuris sur les auxiliaires de culture

Pour tous les mélanges, la majorité des auxiliaires piégés appartient à l'ordre des Hyménoptères parasitoïdes et des Diptères prédateurs. Une coccinelle, des forficules, quelques carabes et staphylins ainsi que des punaises prédatrices ont été piégés dans certains mélanges, toujours en faible quantité.

On constate qu'il n'y a pas d'effet mélange sur l'activité-densité (AD_1) des parasitoïdes ($\log(AD_1+1)\sim$ Mélange ; p-value = 0,41). L'activité-densité des prédateurs (AD_2) est quant à elle influencée par les mélanges ($\log(AD_2+1)\sim$ Mélange ; p-value = $4.4 \cdot 10^{-3}$ ***). L'activité-densité des prédateurs piégés dans le mélange A1 est plus forte de celle des prédateurs des mélanges A2 et D2 (Figure 12).

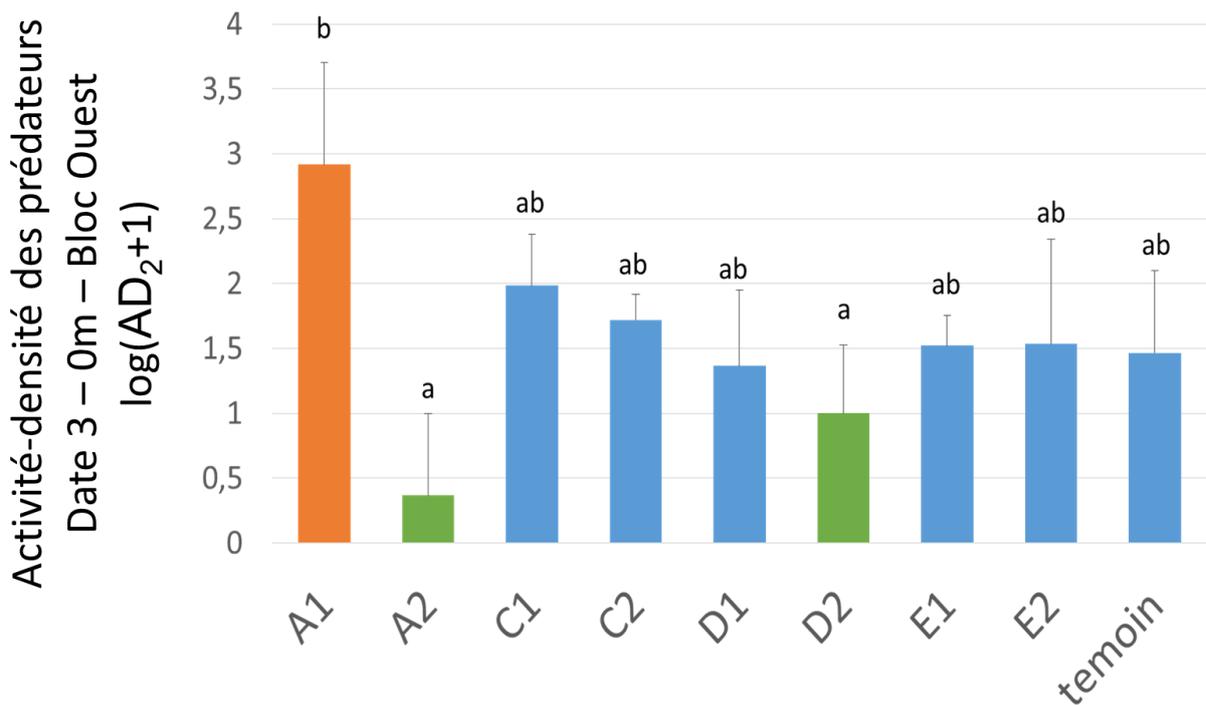


Figure 12 – Activité-densité des arthropodes volants prédateurs dans les bandes fleuries en fonction des types de mélange. Les barres d'erreur représentent les écarts types.

En regardant le détail, 67% des auxiliaires prédateurs piégés dans le mélange A1 sont des syrphes. En sachant que ces données sont issues des piégeages à 0m de la date 3 de 2017 pour seulement la moitié des bandes (27 sur 54), on peut supposer que l'analyse plus approfondie des communautés de syrphes sur l'ensemble de l'année 2017 pour les 54 bandes aux deux distances pourra mettre en évidence d'éventuels effets des bandes fleuries. De plus, les syrphes sont facilement identifiables à l'espèce, ce qui permettra une analyse taxonomique plus précise qu'à l'échelle de l'ordre dans l'objectif d'analyser l'effet de communautés végétales contrastées sur un groupe d'arthropodes.

II. Description des communautés de syrphes et effet des bandes fleuries sur leur activité-densité

1. Espèces principales de syrphes et dynamique des populations au cours de 2017

Sur toute la période de piégeage 2017, 590 individus ont été piégés au total dans les 540 échantillons (5 dates x 54 bandes x 2 distances) desquels ressortent cinq espèces principales : *S. scripta*, *E. balteatus*, *E. corollae*, *M. mellinum* et *S. ribesii*. D'autres espèces et d'autres genres ont pu être identifiés (*Platycheirus*, *Eristalis*, *Scaeva*, *Meliscaeva*) en abondance moindre. On observe globalement une très forte abondance de *S. scripta* dans les pièges (Figure 13) et la répartition des sexes varie en fonction des espèces.

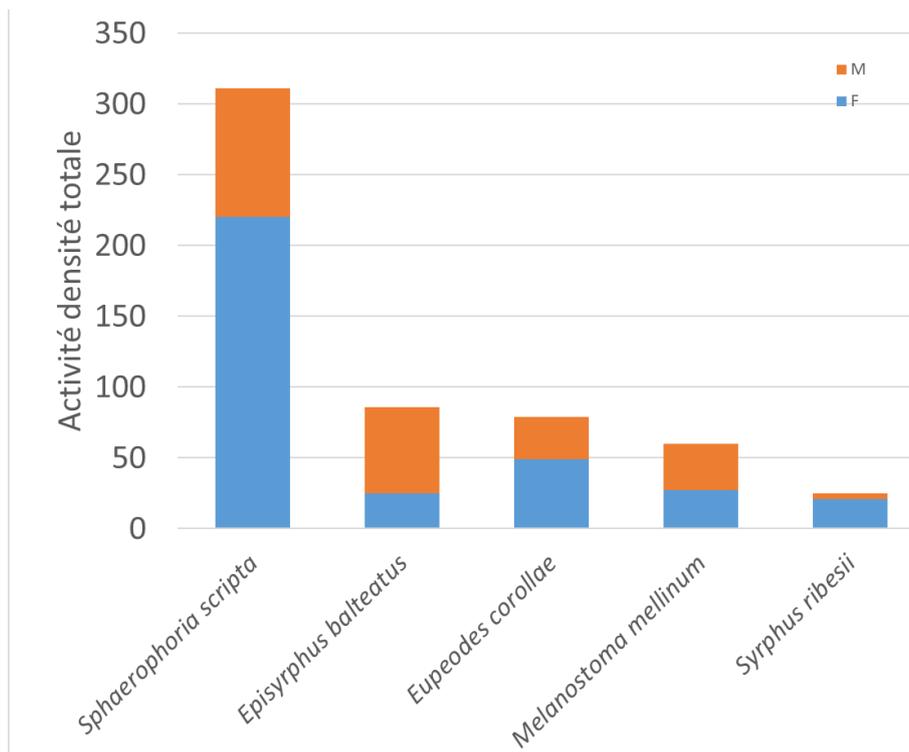


Figure 13 – Activité-densité des cinq principales espèces de syrphe piégées au cours de 2017 (F : individus femelles ; M : individus mâles)

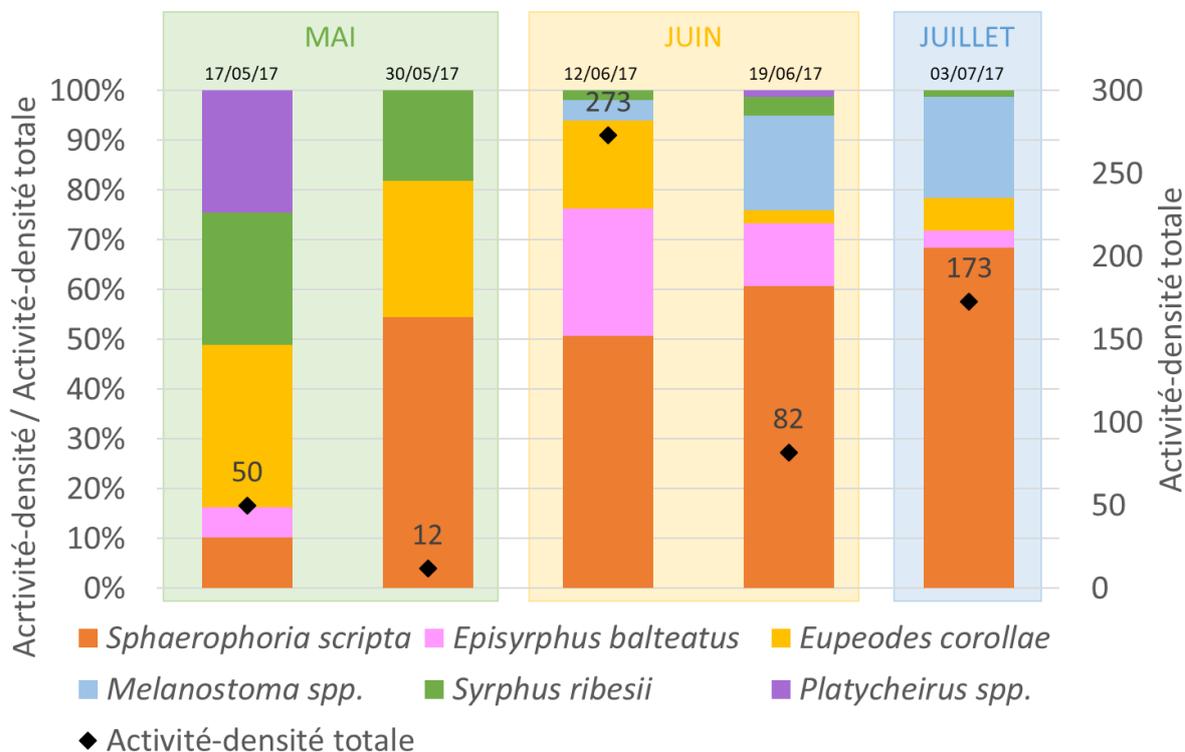


Figure 14 – Activités-densités relatives des six principaux taxons au cours des cinq dates de 2017 et activité-densité totale des syrphes au cours de 2017 (losange noir).

Les activités-densités des différentes espèces ont des évolutions différentes dans le temps mais suivent globalement le même schéma : les premiers individus piégés, le pic de vol puis une diminution de l'activité-densité. Début juin semble être la période où les syrphes sont les plus abondants avec 273 individus piégés (Figure 14). On constate que certains taxons sont associés à une période donnée. Par exemple, les *Platycheirus* sont principalement piégés mi-mai (17/05/17) puis plus du tout alors que les *Melanostoma* commencent à être piégés mi-juin (12/06/2017).

2. Description des communautés de syrphes des différents mélanges

c. Description globale des communautés : activité-densité, richesse spécifique, équitabilité

Globalement, pour une bande donnée, les syrphes ont été piégés en faible quantité (de 0 à 59 individus après somme sur les 5 dates de 2017) (Figure 15). On n'observe aucune corrélation entre les syrphes piégés à 0m et ceux piégés à 20m. Au vu de la proximité des mélanges entre eux et de la capacité de vol des syrphes (capables de parcourir des milliers de km), on se focalisera par la suite sur l'activité-densité dans les bandes, *i.e.* à 0m.

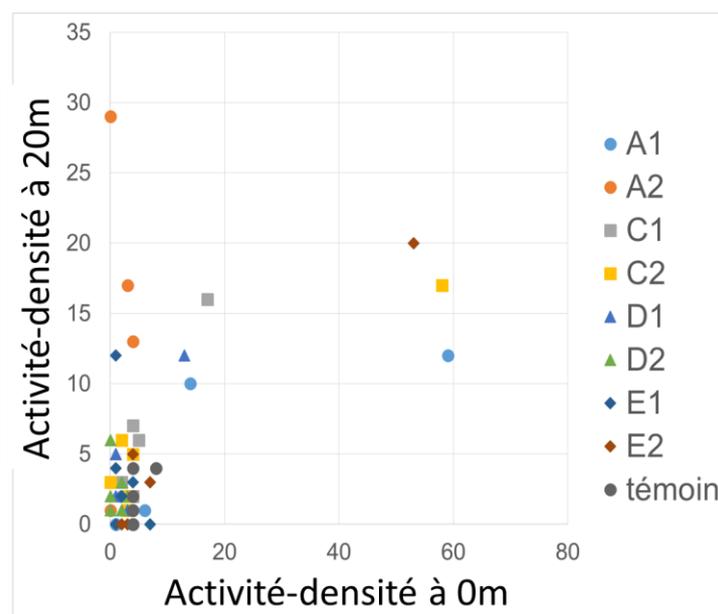


Figure 15 – Activité-densité des syrphes à 0m en fonction de l'activité densité à 20m pour les 54 bandes, regroupées selon le type de mélange.

Pour mieux décrire les communautés de syrphes piégées dans les bandes fleuries, la richesse spécifique, l'indice de Shannon et l'équitabilité ont été calculées pour chaque mélange (Figure 16 Figure 16). A 0m, les mélanges A2 et D2 présentent une richesse spécifique de 1, la plus faible des neuf modalités. Les mélanges A1, E2 et le témoin ont quant à eux des richesses spécifiques de l'ordre de 3. On observe des équitabilités globalement comprises entre 0,3 et 1. Les mélanges C2, E2 et le témoin possèdent des communautés dans lesquelles les espèces de syrpe sont plutôt équiréparties comparés aux mélanges A2 et D1 dans lesquels certaines espèces dominant (principalement *S scripta*).

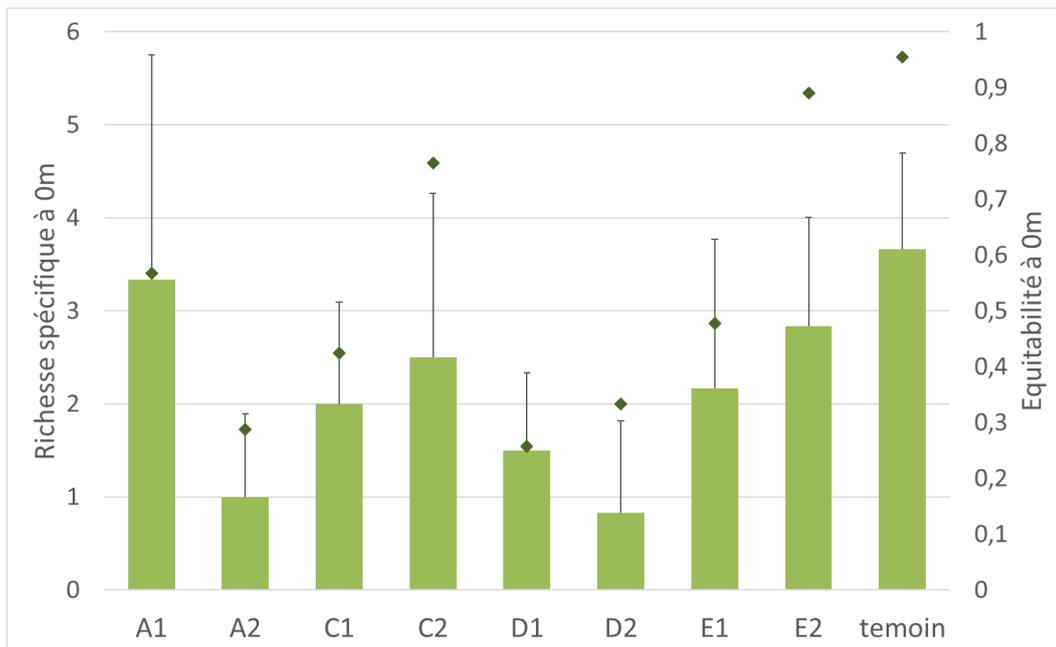


Figure 16 – Richesse spécifique et équitabilité des communautés de syrphes piégées à 0m. Les barres d'erreur représentent les écarts types.

Un premier modèle appliquant une loi binomiale négative, montre une influence du mélange sur la richesse spécifique des populations de syrphes (p -value = 0,004 **). Un autre modèle appliquant une loi normale, montre que les mélanges influent sur l'indice de Shannon des communautés de syrphes (p -value = 0,003 **, R^2 ajusté = 0,27). Les mélanges A1, D1 et D2 présentent des indices de Shannon plus faible que le témoin.

d. Description taxonomique

Afin de décrire la composition en syrphes des mélanges, on réalise une Analyse en Composantes Principales (ACP). Au vu des activités-densités et notamment du nombre important de valeurs nulles dans le tableau de données, les espèces ont été regroupées par genres. On s'intéresse ici aux pièges dans les bandes car on fait l'hypothèse qu'à 20m il est difficile d'être sûr que les syrphes piégés ne viennent pas d'un mélange adjacent.

Une première ACP nous permet de constater que les individus G25 (A1), G32 (C2) et G34 (E2) ont une importance telle, que l'analyse pour les autres individus s'avère impossible. Pour la suite, ces individus ont été ôtés du jeu de données. L'étude du pourcentage de variance des différentes composantes permet de choisir les composantes 1, 2 et 3 pour la suite de l'analyse (71% de variance en cumulé) ce qui donne trois plans à analyser.

L'activité-densité du genre *Eupeodes* est corrélée positivement à celle du genre *Syrphus* (Figure 17). La représentation des variables sur les deux autres plans (non présentés ici) permet de voir que l'activité-densité du genre *Platycheirus* est fortement corrélée positivement à celle du genre *Melanostoma* (plan 1,3) et négativement à celle du genre *Episyrphus* (plan 2,3).

On constate que les blocs Est et Ouest ne semblent pas présenter de différences de composition (Figure 18). Seules les ellipses des mélanges D2 et A2 ont une surface faible, suggérant une composition similaire pour les différentes répétitions. Les autres ellipses sont étalées montrant une certaine hétérogénéité dans les répétitions. On constate toutefois que les bandes témoins présentent une composition riche en *Eupeodes* et en *Syrphus*.

Cette ACP permet de voir qu'à première vue, aucune différence nette de composition à l'échelle du genre ne ressort entre les mélanges pour les six genres de syrphes étudiés. On peut donc supposer que si différence entre mélanges il y a, elle ne s'exprimera pas sur les genres de syrphes mais peut être sur leur activité-densité. Par la suite, on s'intéressera donc à l'activité-densité totale, tous syrphes confondus.

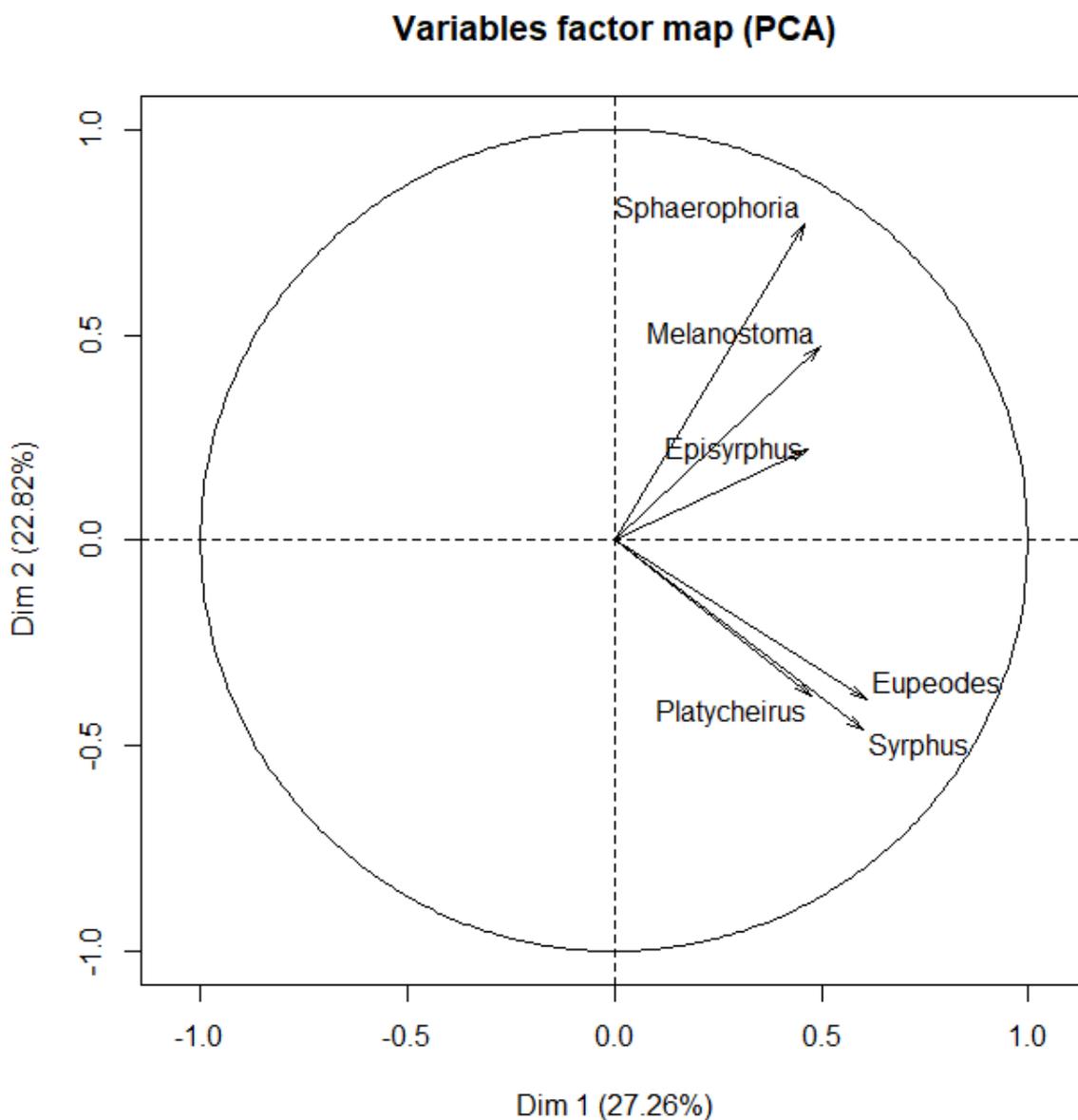


Figure 17 – Résultats de l'ACP pour les genres principaux de syrphes pour les composantes 1 et 2.

Individuals factor map (PCA)

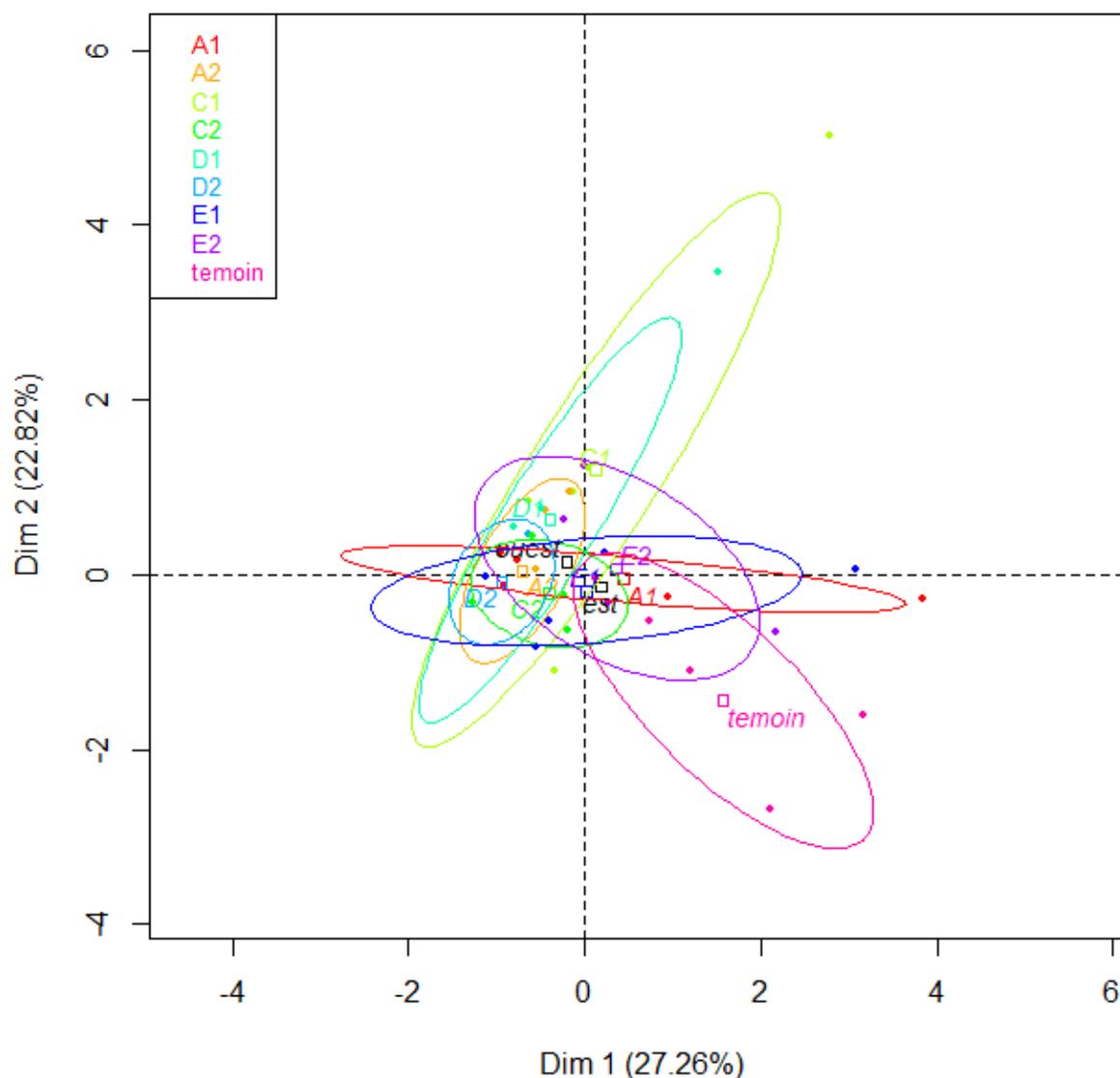


Figure 18 - Résultats de l'ACP pour les genres principaux de syrphes. 70% des individus sont contenus dans les ellipses, colorées selon les mélanges (A1 à E2 et témoin). Les blocs Est et Ouest sont eux aussi représentés.

3. Effet des mélanges sur l'activité-densité totale des syrphes dans les bandes sur la totalité de la campagne de piégeage 2017

Afin de comprendre les éventuels effets des mélanges sur l'activité-densité totale des syrphes ($AD_{\text{syrphe_tot}}$) dans les bandes, on applique différents modèles linéaires généralisés. Le Tableau 3 récapitule les différentes questions posées et les modèles appliqués. Les individus G25 (A1), G32 (C2) et G34 (E2) ayant des activités-densités très importantes comparés aux autres (>50), ils ont été ôtés du jeu de données, utilisé pour faire tourner les mêmes modèles. Le Tableau 4 présente les deux meilleurs modèles obtenus après cette manipulation. La Figure 19 permet de voir l'effet qu'a eu cette exclusion sur les différences significatives entre les mélanges.

Tableau 3 – Présentation des différents modèles testés, de leur p-value et AIC respectives (ANOVA de type 2). Le meilleur modèle est encadré en gras et numéroté.

Question posée	Modèle proposé	p-value	AIC
A 0m, il y a-t-il un effet du mélange sur l'activité-densité des syrphes piégés ?	$AD_{\text{syrphe_tot}} \sim \text{Mélange}$	$3,61 \cdot 10^{-4} \text{ ***}$	308
L'hétérogénéité Nord/Sud doit-elle être prise en compte ?	$AD_{\text{syrphe_tot}} \sim \text{Mélange} + \text{Bloc}$	Mélange $1,28 \cdot 10^{-3} \text{ ***}$	308
		Bloc 0,12	
L'hétérogénéité Est/Ouest doit-elle être prise en compte ?	$AD_{\text{syrphe_tot}} \sim \text{Mélange} + \text{Moitié}$	Mélange $3,82 \cdot 10^{-4} \text{ ***}$	310
		Moitié 0.61	
L'hétérogénéité Est/Ouest doit-elle être prise en compte ligne par ligne ?	(1) $AD_{\text{syrphe_tot}} \sim \text{Mélange} + \text{Ligne}$	Mélange $2,56 \cdot 10^{-4} \text{ ***}$	291
		Ligne $9,53 \cdot 10^{-7} \text{ ***}$	

Tableau 4 – Présentation des deux modèles testés, de leur p-value et AIC respectives (ANOVA de type 2). Le meilleur modèle est encadré en gras et numéroté.

Question posée	Modèle proposé	p-value	AIC
A 0m, il y a-t-il un effet du mélange sur l'activité-densité de syrphes piégés ?	$AD_{\text{syrphe_tot}} \sim \text{Mélange}$	0,3 *	241
L'hétérogénéité Est/Ouest doit-elle être prise en compte ligne par ligne ?	(2) $AD_{\text{syrphe_tot}} \sim \text{Mélange} + \text{Ligne}$	Mélange $5,76 \cdot 10^{-3} \text{ ***}$	235
		Ligne $1,77 \cdot 10^{-3} \text{ **}$	

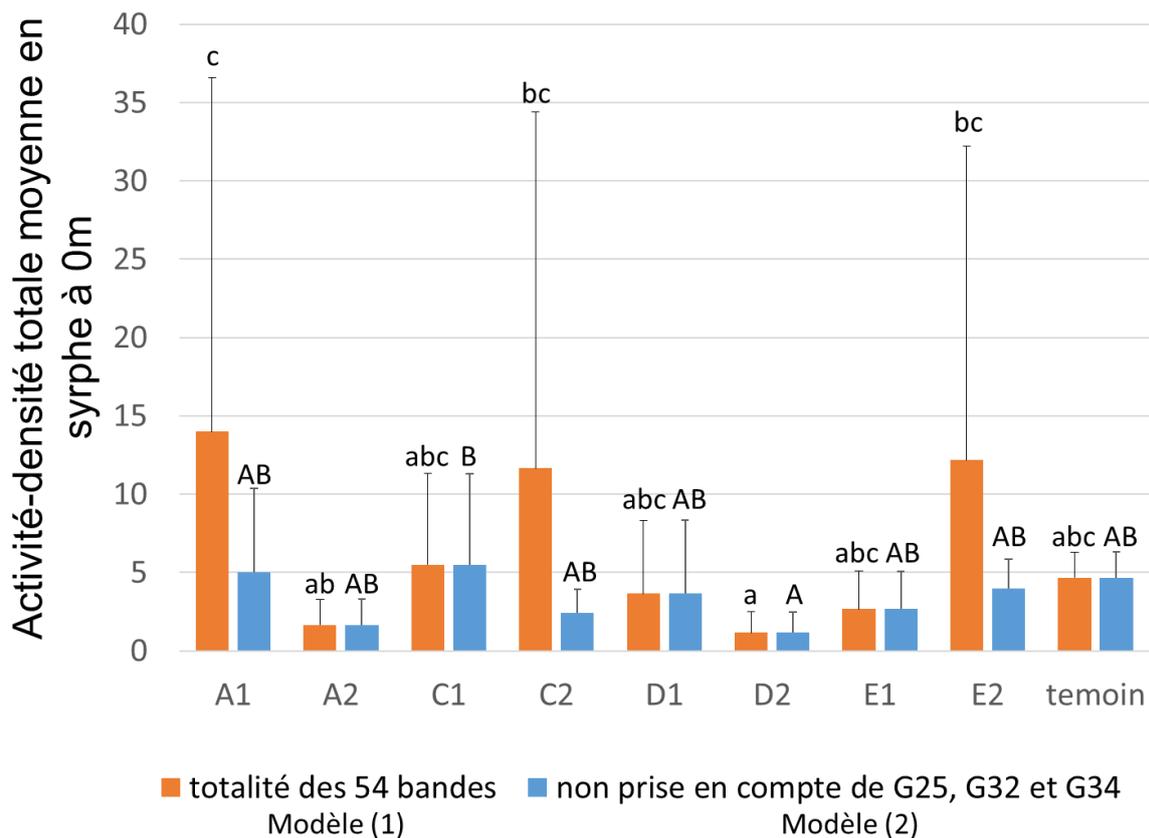


Figure 19 – Activité-densité totale moyenne des syrphes dans les mélanges à 0m et comparaison des modèles (1) et (2) $AD_{syrphe_tot} \sim \text{Mélange} + \text{Ligne}$. Les barres d'erreur représentent les écarts types.

On constate dans le modèle (1) que le mélange A1 a un effectif total supérieur à ceux des mélanges A2 et D2 ; que le mélange C2 présente un effectif total supérieur à celui du mélange D2 ; et que le mélange D2 présente également un effectif total inférieur à celui de E2.

Dans le modèle (2), seuls les mélanges C1 et D2 se démarquent avec C1 présentant l'effectif le plus élevé et D2 le plus faible.

En comparant les résultats des deux modèles, on constate qu'enlever les 3 bandes ayant eu des activités-densités de syrphes très supérieures, permet de faire baisser l'AIC et donc d'avoir un modèle de meilleure qualité (Tableau 4) tout en conservant l'effet significatif du mélange. On peut voir que les écarts types des mélanges correspondants (A1, C2 et E2) s'en trouvent nettement diminués. On peut voir que le mélange A1 présente une activité-densité supérieure dans le modèle (1), ce qui n'est pas le cas dans le modèle (2), prouvant que l'individu G25 avait une forte importance dans le modèle (1). Dans les deux modèles, le mélange D2 sort du lot avec une activité-densité en syrphes inférieure aux autres mélanges. En revanche, le témoin ne présente pas une activité-densité différente des mélanges fleuris restants.

Dans le bloc Est, l'effet ligne se traduit par des activités-densités globalement plus faibles dans la ligne 4 (G28 à G36) et des activités-densités globalement plus élevées dans la ligne 6 (G46 à G54).

III. Une approche géométrique pour l'accessibilité du nectar : sur quelles espèces végétales les syrphes peuvent-ils se procurer du nectar ?

Van Rijn et Wäckers ont proposé une approche géométrique pour comprendre l'accessibilité du nectar mais n'ont testé leur méthode que sur *E. balteatus* (2016). Nous proposons ici de l'étendre à une gamme plus contrastée de plantes et à plusieurs espèces de syrphes.

1. Mesures sur les insectes

On constate qu'*E. tenax* se distingue par une tête proéminente comparée aux autres espèces, un proboscis plus long et plus fin. *S. scripta* possède le proboscis le plus fin. Du fait du manque de mesures répétées sur plusieurs individus, il est difficile d'analyser plus finement les résultats, mais cela suffit à donner des ordres de grandeur des dimensions de l'appareil buccal de quelques espèces syrphes (Tableau 5).

Tableau 5 – Mesures des caractéristiques morphologiques de 6 espèces de syrphes (en mm, N : nombre d'individus mesurés)

espèce	diamètre tête	longueur proboscis	largeur proboscis	N	Sexe
<i>Episyrphus balteatus</i>	2,515	1,656	0,897	1	F
<i>Eristalis tenax</i>	4,781	4,254	0,616	1	M
<i>Eupeodes corollae</i>	2,931	1,92	0,774	1	F
<i>Melanostoma mellinum</i>	3	1,2	0,68	1	F
<i>Platycheirus peltatus</i>	2,573	1,333	0,504	1	F
<i>Sphaerophoria scripta</i>	1,859	1,929	0,278	1	F

2. Mesures sur les espèces végétales

Au vu de la diversité morphologique des fleurs, la modélisation en cône a dû être quelque peu adaptée au cas par cas, notamment pour la mesure du diamètre de la corolle (**w**). En effet, il a été décidé par la suite de prendre en compte le diamètre de la « contrainte » (**w'**), niveau à partir duquel il est estimé arbitrairement qu'il y a difficulté pour un arthropode venant par le haut et atterrissant sur la fleur de pénétrer dans celle-ci. Cette « contrainte » a souvent été identifiée comme la soudure des pétales en un tube ou une ouverture plus étroite que l'arthropode doit traverser pour atteindre les nectaires. Pour certaines espèces florales, aucune contrainte n'a été repérée car le nectar était en surface. De plus, il a été impossible d'appliquer le modèle sur les fleurs de Fabacées, dont la morphologie diffère totalement du cône. Le Tableau 6 récapitule les différentes mesures faites sur les espèces végétales (pour 12 espèces, il n'a pas été possible de mesurer sur les photos la largeur **NM** au niveau du nectar).

Tableau 6 – Mesures des caractéristiques morphologiques et des profondeurs de nectar pour les 26 et 36 espèces végétales.

espèce	w' (mm)	h (mm)	p (mm)	NM (mm)	prof nectar (h-p) (mm)	NB	N
<i>Alliaria petiolata</i>	0,638	2,202	0	NA	2,202	2	1
<i>Anthriscus sylvestris</i>					0		1
<i>Anthemis tinctoria</i>	0,845	1,964	0,908	0,695	1,056		1
<i>Barbarea vulgaris</i>	1,33	4,027	0,719	NA	3,308	2	1
<i>Bellis perennis</i>	0,753	1,468	0,439	0,504	1,029		1
<i>Brassica napus</i>	1,406	5,204	1,143	NA	4,061	2	1
<i>Capsella bursa-pastoris</i>					0	1	1
<i>Centaurea cyanus</i>	1,477	10,332	8,425	1,12	1,907	5	1
<i>Centaurea scabiosa</i>	1,531	12,909	8,957	1,351	3,952		1
<i>Cirsium arvense</i>	0,774	9,776	9,416	0,419	0,36		1
<i>Convolvulus arvensis</i>	0,479	1,753	0	NA	1,753		1
<i>Cynoglossum officinale</i>	0,91	4,445	2,666	NA	1,779		1
<i>Daucus carota</i>					0		1
<i>Echium vulgare</i>	0,957	6,561	1,351	NA	5,21		1
<i>Euphorbia cyparissias</i>					0		1
<i>Euphorbia helioscopia</i>					0		1
<i>Galium aparine</i>					0		1
<i>Geranium dissectum</i>	1,309	1,703	0,505	NA	1,198	2	1
<i>Geum urbanum</i>	2,951	3,003	0	NA	3,003	2	1
<i>Glechoma hederacea</i>	3,008	11,296	2,823	1,047	8,473		1
<i>Heracleum sphondylium</i>					0		1
<i>Hesperis matronalis</i>	0,538	9,974	3,27	NA	6,704		1
<i>Lamium album</i>	3,176	6,906	1,048	1,026	5,858		1
<i>Lepidium draba</i>	0,448	1,336	0	NA	1,336	2	1
<i>Leucanthemum vulgare</i>	0,869	2,346	1,442	0,671	0,904		1
<i>Malva sylvestris</i>	0,996	1,788	0,855	NA	0,933	3	1
<i>Myosotis arvensis</i>	0,448	1,385	1,237	NA	0,148		1
<i>Pastinaca sativa</i>					0		1
<i>Picris echioides</i>	0,853	6,8935	6,058	0,661	0,8355		2
<i>Senecio jacobaea</i>	1,357	5,679	2,956	0,455	2,723		1
<i>Senecio vulgaris</i>	0,46	5,667	4,021	0,188	1,646		1
<i>Sonchus asper</i>	0,398	9,1	8,917	0,345	0,183		1
<i>Stellaria media</i>					0	1	1
<i>Taraxacum officinale</i>	0,62	4,204	4,154	0,584	0,05		1
<i>Veronica hederifolia</i>	1,258	0,559	0,332	0,848	0,227		1
<i>Veronica persica</i>					0	4	1

N : nombre d'individus mesurés
 NB – 1 : pétales libres et espacés - pas de contrainte ; 2 : contrainte mesurée : espace étamine/pétale ; 3 : depuis le haut de la rangée de poils entre les pétales ; 4 : poils mais pas de contrainte ; 5 : présence nectar extrafloral

3. Application de l'arbre de décision

Les résultats obtenus par l'arbre de décision sont synthétisés dans le Tableau 7, chaque case contenant le chemin parcouru sur l'arbre (Figure 10, p.21). On constate que le nectar n'est pas accessible pour certaines espèces de syrphes car leur tête se bloque à l'entrée et leur proboscis n'est pas assez long pour atteindre le nectar (chemin Bc2). La Figure 20 synthétise les espèces végétales ayant théoriquement du nectar accessible, *i.e* en ajoutant aux 26 espèces précédentes les neuf espèces ayant du nectar en surface ou extrafloral (*C. scabiosa* et *V. sativa*).

E. tenax est l'espèce capable d'atteindre théoriquement le nectar de 75 % des espèces végétales testées ; viennent ensuite *E. balteatus*, *S. scripta* et *E. corollae* (61%), *P. peltatus* (50%) et *M. mellinum* (47%) (Figure 20). D'un point de vue botanique, toutes les Apiacées testées ont du nectar accessible, ce qui n'est pas le cas pour les Brassicacées, les Astéracées et les Boraginacées.

Tableau 7 – Résultats de l'arbre de décision pour les 6 espèces de syrphes et les 26 espèces de plantes à fleur. Chaque case contient le code du chemin parcouru sur l'arbre de décision. En gris foncé : nectar non accessible

	<i>Episyrphus balteatus</i>	<i>Eristalis tenax</i>	<i>Eupeodes corollae</i>	<i>Melanostoma mellinum</i>	<i>Platycheirus peltatus</i>	<i>Sphaerophoria scripta</i>					
* <i>Alliaria petiolata</i>	Bc2	A	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2					
<i>Anthemis tinctoria</i>	Bc2	1)	Aa	Bc2	1)	Bc1	Bc1	Bc1			
* <i>Barbarea vulgaris</i>	Bc2	A	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2				
<i>Bellis perennis</i>	Ab	1)	Ab	1)	Ab	1)	Bc2	1)	Bc1	Aa	
* <i>Brassica napus</i>	Bc2	Bc1	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2				
<i>Centaurea cyanus</i>	Bc2	2)	Bc1	Bc1	Bc2	Bc2	Bc2	Bc1			
<i>Centaurea scabiosa</i>	Bc2	Bc1	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2				
<i>Cirsium arvense</i>	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc1
* <i>Convolvulus arvensis</i>	Bc2	2)	A	A	Bc2	Bc2	A				
* <i>Cynoglossum officinale</i>	Bc2	2)	Bc1	Bc1	Bc2	Bc2	Bc1				
* <i>Echium vulgare</i>	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2				
* <i>Geranium dissectum</i>	Bc1	A	A	Bc1	Bc1	Bc1					
<i>Geum urbanum</i>	Bd3	A	Bd3	Bc2	Bd3	Bd3					
<i>Glechoma hederacea</i>	Bd3	Bc2	Bd3	Bd3	Bd3	Bd3					
* <i>Hesperis matronalis</i>	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2					
<i>Lamium album</i>	Bd3	Bc2	Bd3	Bd3	Bd3	Bd3					
* <i>Lepidium draba</i>	A	A	A	Bc2	Bc1	A					
<i>Leucanthemum vulgare</i>	Bc2	1)	Aa	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc1	Bc1		
* <i>Malva sylvestris</i>	Bc1	A	A	Bc1	Bc1	A					
* <i>Myosotis arvensis</i>	A	A	A	Bc1	Bc1	A					
<i>Picris echioides</i>	Bc2	1)	Bc1	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc1	Bc1		
<i>Senecio jacobaea</i>	Bc2	Bc2	1)	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2	Bc2			
<i>Senecio vulgaris</i>	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc2	Bc2	1)		
<i>Sonchus asper</i>	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc1		
<i>Taraxacum officinale</i>	Bc2	1)	Ab	1)	Bc2	1)	Bc2	1)	Bc1		
<i>Veronica hederifolia</i>	Ab	1)	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa				
* largeur au niveau du nectar non disponible											
1) nectar accessible si non prise en compte de la largeur ($d(r)-p \leq 0$)											
2) nectar accessible ($d(r)-p$ très faible)											

		<i>Eristalis tenax</i>	<i>Episyrphus balteatus</i>	<i>Sphaerophoria scripta</i>	<i>Eupeodes corollae</i>	<i>Platycheirus peltatus</i>	<i>Melanostoma mellinum</i>
APIACÉE	<i>Anthriscus sylvestris</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Daucus carota</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Heracleum sphondylium</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Pastinaca sativa</i>	X	X	X	X	X	X
ASTÉRACÉE	<i>Anthemis tinctoria</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Bellis perennis</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Leucanthemum vulgare</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Picris echioides</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Senecio jacobaea</i>	X					
	<i>Senecio vulgaris</i>	X	X	X	X		
	<i>Sonchus asper</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Taraxacum officinale</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Centaurea cyanus</i>	X	X	X	X		
	<i>Centaurea scabiosa</i>	X	NEF	NEF	NEF	NEF	NEF
<i>Cirsium arvense</i>	X	X	X	X	X	X	
BORAGINACÉE	<i>Cynoglossum officinale</i>	X	X	X	X		
	<i>Echium vulgare</i>						
	<i>Myosotis arvensis</i>	X	X	X	X	X	X
BRASSICACÉE	<i>Alliaria petiolata</i>	X					
	<i>Barbarea vulgaris</i>	X					
	<i>Brassica napus</i>	X					
	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Hesperis matronalis</i>						
	<i>Lepidium draba</i>	X	X	X	X	X	
CARYOPHYLLACÉE	<i>Stellaria media</i>	X	X	X	X	X	X
CONVOLVULACÉE	<i>Convolvulus arvensis</i>	X	X	X	X		
EUPHORBIACÉE	<i>Euphorbia cyparissias</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Euphorbia helioscopia</i>	X	X	X	X	X	X
FABACÉE	<i>Vicia sativa</i>	NEF	NEF	NEF	NEF	NEF	NEF
GÉRANIACÉE	<i>Geranium dissectum</i>	X	X	X	X	X	X
LAMIACÉE	<i>Glechoma hederacea</i>		X	X	X	X	X
	<i>Lamium album</i>		X	X	X	X	X
MALVACÉE	<i>Malva sylvestris</i>	X	X	X	X	X	X
PLANTAGINACÉE	<i>Veronica hederifolia</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Veronica persica</i>	X	X	X	X	X	X
ROSACÉE	<i>Geum urbanum</i>	X	X	X	X	X	
RUBIACÉE	<i>Galium aparine</i>	X	X	X	X	X	X
TOTAL		28	23	23	23	19	18

Figure 20 – Accessibilité du nectar de 37 espèces de plantes à fleurs pour 6 espèces de syrphes. NEF : Nectar Extra-Floral

IV. Description des communautés végétales et prise en compte de l'accessibilité du nectar pour l'analyse fonctionnelle des bandes fleuries

1. Evolution des mélanges : richesse spécifique et équitabilité

On constate que globalement toutes les bandes se sont enrichies par rapport au nombre d'espèces semées, traduisant la réussite de leur implantation mais aussi de l'évolution temporelle des mélanges. Les espèces adventices venues coloniser les bandes sont des espèces rares dont le recouvrement était souvent de moins de 1%. La plus faible équitabilité du témoin et du mélange A1 correspond à la dominance du colza pour le premier et de la coronille pour le second (Figure 21).

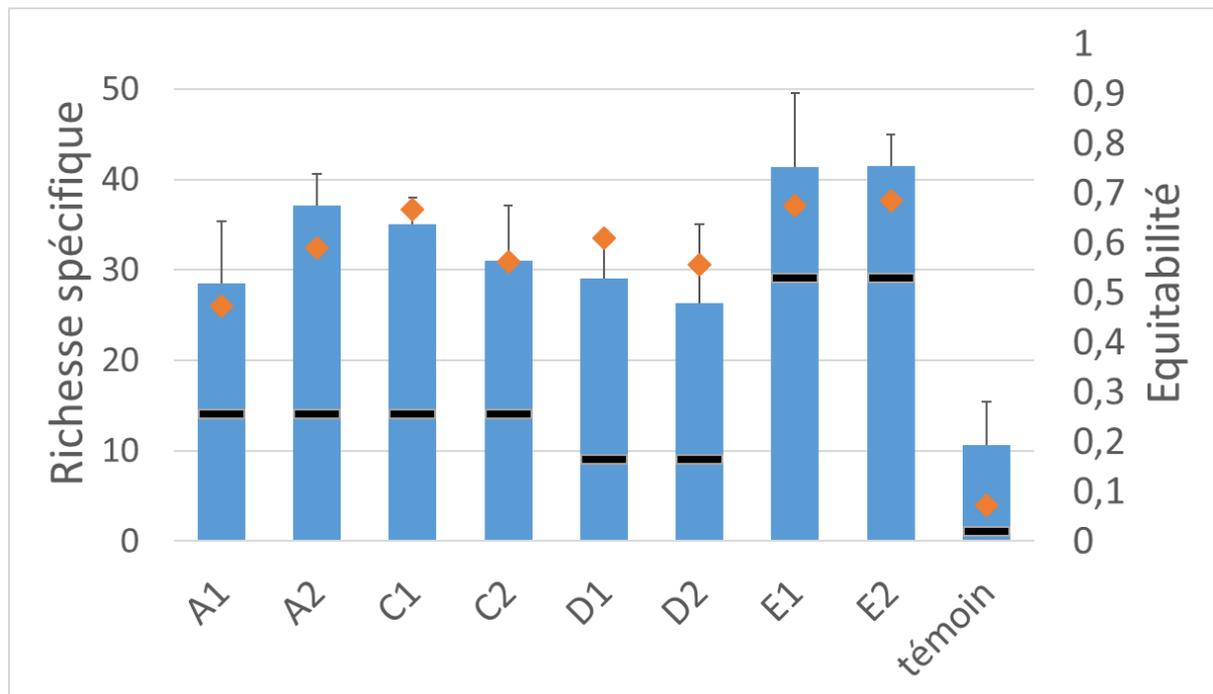


Figure 21 – Richesse spécifique réelle, nombre d'espèces semées en 2014 (barres horizontales noires) et équitabilité (losanges oranges) des différents mélanges en 2017. Les barres d'erreur représentent les écarts types.

2. Recouvrement des espèces au nectar accessible

Les recouvrements des espèces identifiées précédemment comme ayant du nectar accessible est un indicateur du potentiel des bandes à fournir des ressources en nectar pour les six espèces de syrphes étudiées. Parmi les 51 plantes observées pendant le stage, certaines ont été considérées comme n'ayant pas de nectar accessible : les fleurs sans nectar, *H. matronalis* et *E. vulgare* car non accessible d'après le modèle (Figure 20) ainsi que les espèces de Fabacées (difficultés pour mesurer une accessibilité de nectar et *a priori* jugées non accessibles pour les espèces de syrphes considérées). Les espèces ayant du nectar extrafloral ont été ajoutée à la liste (*V. sativa*, *C. scabiosa*). On obtient ainsi une liste de 35 espèces accessibles à au moins une espèce de syrphes dont les recouvrements sont présentés sur la Figure 22.

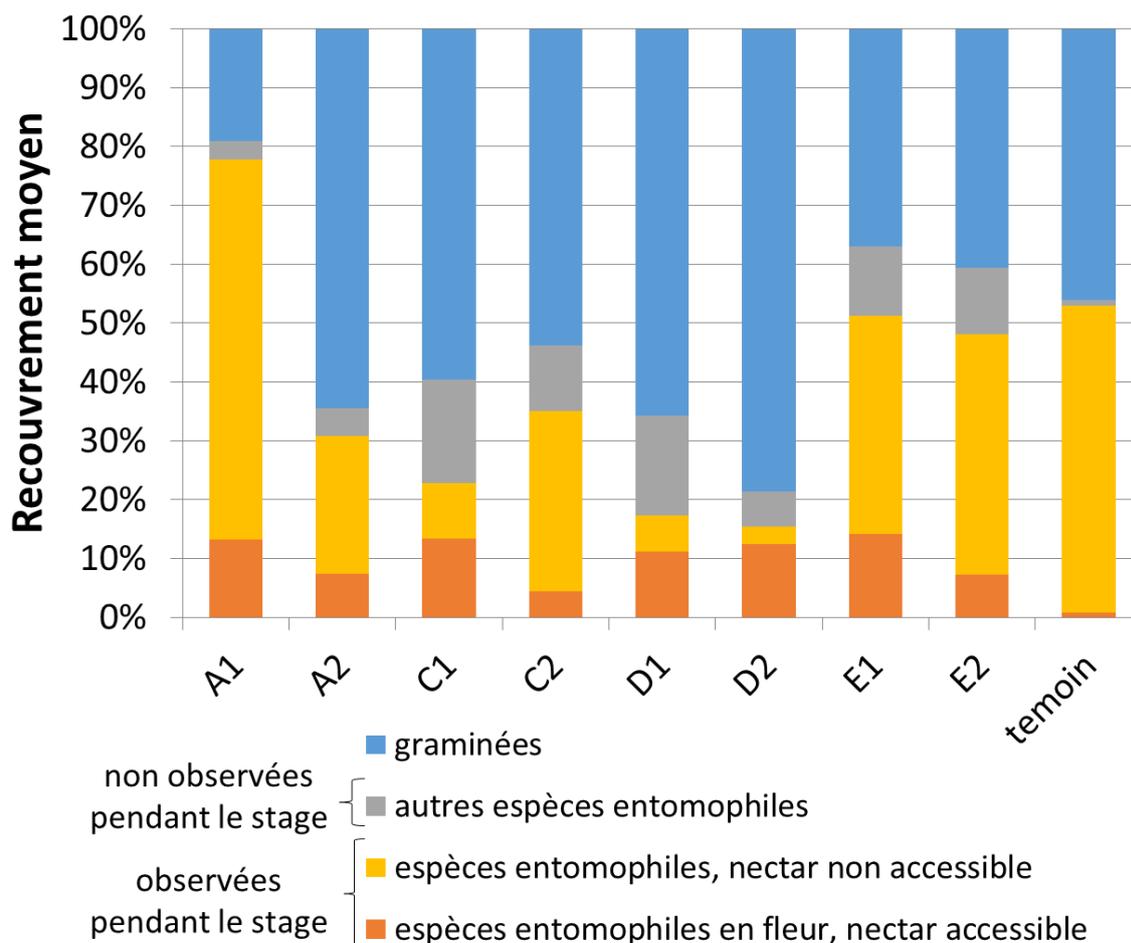


Figure 22 – Détails des recouvrements (en proportion du recouvrement total) des différentes espèces végétales regroupées en 4 catégories pour les neuf mélanges en 2017.

On constate qu'en 2017, les différents mélanges ont été plus ou moins fortement colonisés par des graminées, dont les fleurs ne sont pas entomophiles. Pour tous les mélanges, les 51 espèces étudiées lors du stage sont les espèces principales, représentant la majorité du recouvrement, exception faite du mélange D1. On peut voir que certains mélanges sont certes fleuris, mais que le nectar des espèces végétales (principalement des Fabacées) n'est d'après le modèle pas accessible pour les six espèces de syrphes étudiées. Le fort recouvrement en plantes au nectar non accessible pour les mélanges A1, E1 et E2 est dû à la forte présence de coronille (*S. varia*), au gaillet mou (*G. mollugo*) pour le mélange C2 et au colza des bandes témoins n'étant plus en fleur.

3. Dispersion fonctionnelle en considérant les profondeurs de nectar

Une des hypothèses de départ pour la création des mélanges était qu'ils présentaient un gradient de diversité fonctionnelle, *i.e.* présentant une diversité de ressources trophiques fournies par les espèces semées. En croisant les recouvrements des différentes espèces végétales présentes dans les bandes et les profondeurs de nectar mesurées, on obtient des valeurs de dispersion fonctionnelle allant de moins de 0,2 (témoin) à 1,2 (E2) (Figure 23). Il y a bien un effet mélange sur cette dispersion fonctionnelle ($p\text{-value} = 1,68.10^{-10} ***$, $R^2=0,68$).

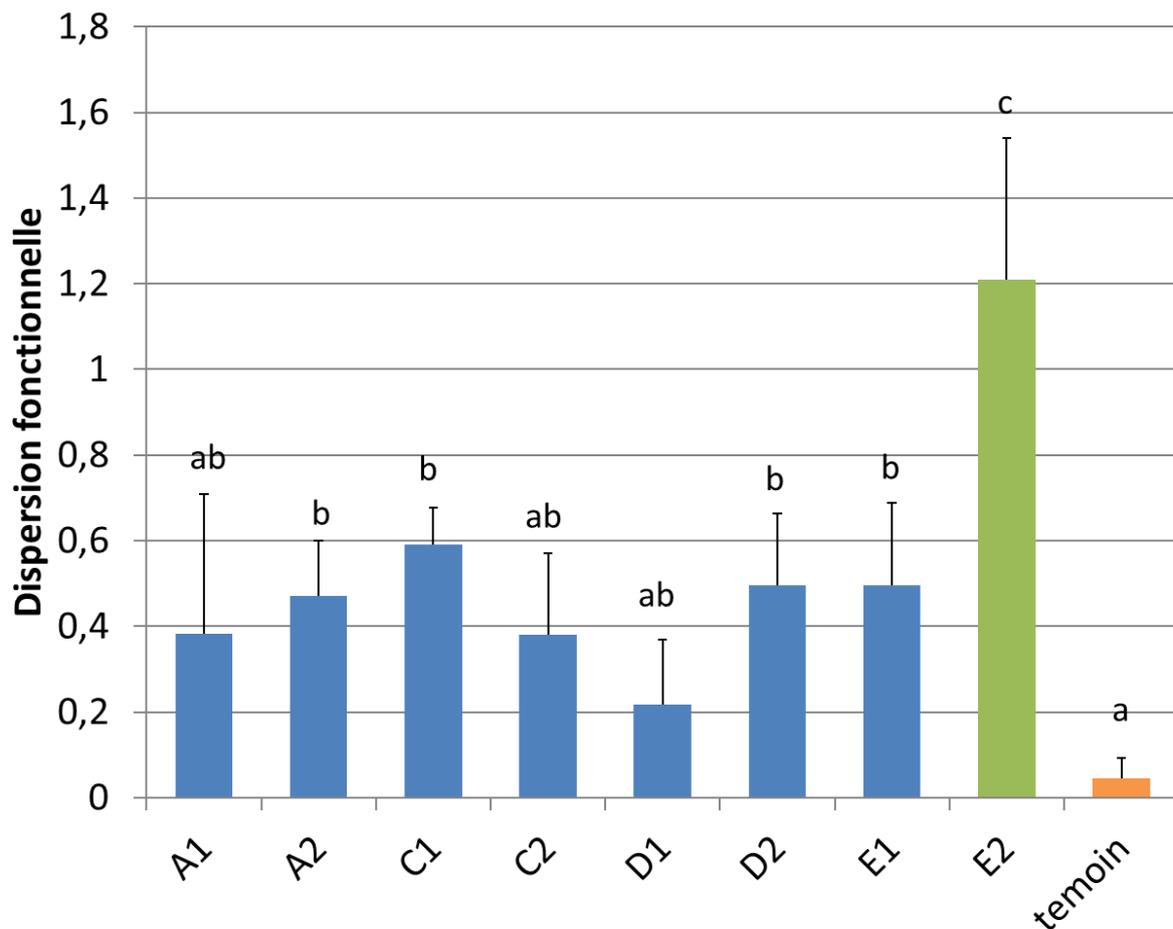


Figure 23 – Dispersion fonctionnelle des mélanges en considérant les profondeurs de nectar. Les barres d'erreur représentent les écarts types.

4. Une première étape vers la compréhension de l'attractivité visuelle des mélanges : tailles des fleurs et unités florales

Les syrphes répondent à des stimuli visuels agissant sur de longues distances. La tailles des fleurs et unités florales de 51 espèces végétales ont été synthétisées dans le Tableau 8 afin de servir pour estimer l'attractivité des mélanges.

Tableau 8 – Tailles des fleurs et des unités florales des 51 espèces végétales observées pendant le stage

espèce	taille fleur (mm)	taille unité florale (mm)	N	NB
<i>Alliaria petiolata</i>	6,27	6,27	5	
<i>Anagallis arvensis</i>	6,77	6,77	10	
<i>Anthriscus sylvestris</i>	3,02	14,40	5	
<i>Anthemis tinctoria</i>	1,49	34,70	5	
<i>Barbarea vulgaris</i>	7,76	7,76	5	
<i>Bellis perennis</i>	1,29	24,23	10	
<i>Brassica napus</i>	18,35	18,35	10	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	3,14	3,14	5	
<i>Centaurea cyanus</i>	NA	35,40	10	
<i>Centaurea scabiosa</i>	4,53	32,90	10	
<i>Cirsium arvense</i>	1,41	11,80	5	
<i>Convolvulus arvensis</i>	29,30	14,90	10	
<i>Cynoglossum officinale</i>	7,26	8,26	4	
<i>Daucus carota</i>	3,68	17,40	10	
<i>Echium vulgare</i>	10,22	10,22	10	
<i>Euphorbia cyparissias</i>	3,08	3,08	10	
<i>Euphorbia helioscopia</i>	1,78	23,29	10	
<i>Galium aparine</i>	2,12	2,12	10	
<i>Galium mollugo</i>	3,85	3,85	10	
<i>Geranium dissectum</i>	7,38	7,38	10	
<i>Geum urbanum</i>	13,60	0,00	10	
<i>Glechoma hederacea</i>	7,42	8,42	5	
<i>Heracleum sphondylium</i>	5,51	24,22	5	
<i>Hesperis matronalis</i>	21,40	21,40	10	
<i>Hypericum perforatum</i>	18,90	18,90	10	
<i>Lamium album</i>	9,73	9,73	3	
<i>Lepidium draba</i>	5,84	5,84	10	
<i>Leucanthemum vulgare</i>	1,03	37,70	10	
<i>Lotus corniculatus</i>	11,08	11,08	10	
<i>Malva sylvestris</i>	36,00	36,00	10	
<i>Medicago lupulina</i>	1,80	6,84	3	1
<i>Medicago sativa</i>	7,21	7,21	3	2
<i>Melilotus officinalis</i>	4,37	4,37	10	4
<i>Myosotis arvensis</i>	3,26	3,26	10	
<i>Onobrychis viciifolia</i>	9,28	9,28	10	3
<i>Papaver rhoeas</i>	65,50	65,50	10	
<i>Pastinaca sativa</i>	2,41	17,60	10	
<i>Picris echioides</i>	0,88	12,00	5	
<i>Plantago lanceolata</i>	32,40	32,40	10	3
<i>Securigera varia</i>	10,43	35,60	10	
<i>Senecio jacobaea</i>	1,33	21,90	10	
<i>Senecio vulgaris</i>	6,27	6,27	5	
<i>Silene dioica</i>	6,77	6,77	8	
<i>Sonchus asper</i>	3,02	14,40	5	
<i>Stellaria media</i>	1,49	34,70	10	
<i>Taraxacum officinale</i>	7,76	7,76	10	
<i>Trifolium pratense</i>	6,27	6,27	3	
<i>Trifolium repens</i>	6,77	6,77	10	4
<i>Veronica hederifolia</i>	3,02	14,40	5	
<i>Veronica persica</i>	1,49	34,70	5	
<i>Vicia sativa</i>	7,76	7,76	5	

N : nombre d'individus mesurés
NB – choix particuliers de mesures : 1 : largeur ; 2 : hauteur ; 3 : longueur ; 4 : longueur/hauteur similaires

DISCUSSION

I. Effet des mélanges sur les communautés d'arthropodes volants

1. Activité-densité des arthropodes volants piégés à la date 3

Les activités-densités des taxons étaient très variables, allant de l'unique individu (coccinelle) au millier d'individus piégés (Hyménoptères parasitoïdes). Ainsi les taxons sont plus ou moins mobiles dans l'air, les Hyménoptères étant les plus actifs, suivis par les Diptères et les méligèthes et altises. Ainsi, l'évaluation de l'effet mélange sur les communautés est à nuancer car une partie des individus n'a pas été piégé.

On n'observe aucun effet mélange sur l'activité-densité des Hyménoptères parasitoïdes peut-être due à la forte proximité des mélanges entre eux. En revanche, l'activité-densité totale des arthropodes volants est plus importantes dans le mélange A1 que dans les mélanges de type D. On retrouve cette forte activité-densité dans le mélange A1 pour les prédateurs. Les mélanges D1 et D2 se sont très vite appauvris, les espèces semées remplacées par des graminées adventices. La berce, ombellifère très attractive, s'est quant à elle maintenue dans le mélange A1, ce qui pourrait expliquer la forte activité-densité des arthropodes volants de ce mélange.

2. Activité-densité, richesse spécifique et équitabilité des communautés de syrphes sur la totalité de la campagne de piégeage 2017

L'analyse sur la totalité des bandes et sur toute la période de piégeage permet d'avoir une vision plus précise de l'activité-densité des syrphes. Des deux modèles proposés, avec ou sans les individus G25, G32 et G34, le modèle (2) a l'AIC le plus faible. Ce modèle explique donc mieux l'activité-densité des syrphes. On constate que d'après ce modèle, le mélange C1 présente l'activité densité la plus forte. Cela peut s'expliquer par le fort recouvrement de l'achillée millefeuille (*Achillea millefolium*), plante mellifère de la famille des Astéracées. Le mélange D2 présente ici aussi l'activité-densité la plus faible ce qui s'explique de la même façon que précédemment (fort recouvrement en espèces de graminées adventices).

D'après ce modèle, l'activité-densité de la ligne 4 (Bloc Est, intérieur de parcelle) est plus faible que celle de la ligne 6 (Bloc 6, bordure de parcelle). Cela paraît *a priori* étonnant car la ligne 6 a été abondamment colonisées par des espèces d'adventices qui ont fortement gêné le développement des espèces semées. Toutefois, la comparaison des relevés botaniques montre des recouvrements en espèces susceptibles de fournir des ressources trophiques plus importants sur la ligne 6 : *A. millefolium*, *P. sativa*, *P. echioïdes*, *G. dissectum*, *T. officinale*, *H. perforatum*. La bordure de champs a aussi été colonisée par de la vesce (*V. sativa*) en provenance des champs voisins, alors que celle semée ne s'était pas maintenue. La présence de nectar extrafloral de cette espèce pourrait aussi avoir favorisé l'activité-densité des syrphes de cette ligne.

Les activités-densités bien supérieures des individus G25, G32, et G34 peut aussi s'expliquer par des recouvrements botaniques particuliers. Ils présentent un fort recouvrement en *Heracleum spondylium* et *Tordylium maximum*, deux Ombellifères attractives, mais aussi en espèces sur lesquelles les syrphes sont fréquemment observés telles *Convolvulus arvensis*, ou *Plantago lanceolata*. Cette composition botanique pourrait aussi expliquer la forte activité-densité d'arthropodes volants déjà observée à la date 3 pour la bande G25 (1477 individus piégés contre 315 en moyenne). La dominance de *S. scripta*, espèces larvohivernante, pourrait s'expliquer par des émergences de larves ayant passé l'hiver dans ces bandes.

Dans les deux modèles l'activité-densité des syrphes des bandes témoins n'était pas différente de celle des mélanges fleuris. Avec un sex-ratio de 70% dans les pièges de ces bandes (contre 68% dans les pièges à 20m, toutes modalités confondues), on peut supposer que les syrphes vont dans la culture pour chercher des colonies de pucerons afin d'y pondre. Les bandes témoins présentaient une forte richesse spécifique et une équitabilité supérieure à 0,9. La grande majorité des syrphes piégés dans les bandes témoins sont zoophages. On peut donc supposer qu'au moins une femelle de chacune de ces espèces est allée dans la culture pour y trouver des colonies d'aphides dans lesquelles pondre. Ces résultats montrent aussi la limite du dispositif pour étudier des organismes très mobiles comme les syrphes. En effet, un témoin plus approprié aurait été une autre parcelle, conduite de la même façon, mais sans aucune bande fleurie.

Les communautés de syrphes des mélanges A2 et D2 présentaient des richesses spécifiques plus faibles que les mélanges A1, E2 et le témoin, pour lesquels l'activité-densité était forte. Plus la taille d'un échantillon, ici assimilée à l'activité-densité, est importante, plus il est probable d'avoir des individus d'espèces différentes. Un calcul de raréfaction permet de pallier à ce biais. Après avoir ré-échantillonné de nombreuses fois l'ensemble de l'échantillon en sous-échantillons de taille choisie, la richesse spécifique de l'échantillon globale correspond à la moyenne des richesses spécifiques de chaque sous-échantillons obtenus aléatoirement. Ce calcul permettrait de nuancer les résultats quant à l'apparente richesse spécifique supérieure des mélanges concernés.

II. Regard sur les communautés de syrphes piégées

Les cinq espèces principales de syrphes piégées au cours de l'année 2017 correspondent aux espèces communément présentes dans les agrosystèmes (**Sarthou, 1996**). Début juin et début juillet sont les périodes où les syrphes étaient les plus abondants dans les pièges. Ces périodes correspondent aux pics de vols de certaines des espèces piégées pouvant passer l'hiver sous forme de larve (*S. scripta*, *M. mellinum*, *P. peltatus*, *S. ribesii*) ou de nymphe (*E. corollae*). Il peut s'agir aussi du retour migratoire estivale d'espèces remontant du Sud (**Sarthou, 1996**), les *Syrphidae* peuvent migrer sur de longues distances à la recherche de ressources nutritives (pollen, nectar, proies, eau...) ou d'un habitat (**Sarthou, 1996**).

S. scripta est une espèce plurivoltine pouvant faire jusqu'à quatre générations par an (**Sarthou, 1996**). Au vu de la diversité observée des tailles des individus de cette espèce dans les pièges, on peut supposer que la forte abondance de *S. scripta* est le résultat d'un chevauchement de deux générations ou la présence d'une population native émergente et d'une autre migratrice.

Les dynamiques particulières du genre *Melanostoma* et *Platycheirus* pourraient s'expliquer par leur écologie. Ces deux genres sont phytotrophes, *i.e.* les femelles pondent plusieurs œufs sur la plante hôte susceptible d'avoir des pucerons mais sans vérifier la présence préalable de colonies d'aphides. Si les proies se révèlent être absentes, les larves adoptent un régime alimentaire cannibale (**Sarthou, 1996**). On peut donc supposer que la pression de puceron en début du mois de mai était faible et que les larves se sont mangées entre elles, expliquant la présence plus tardive du genre *Melanostoma*. Les *Platycheirus* capturés mi-mai étant principalement des mâles, on peut supposer qu'ils sont partis à la recherche d'un partenaire, d'où leur absence dans les pièges par la suite. Les bandes fleuries n'auraient été dans ce cas qu'une étape lors de laquelle ils auraient consommé des ressources florales pour faire le plein d'énergie avant de reprendre leur recherche active.

Certains vols sont censés commencer en avril, notamment pour le genre *Platycheirus* ou pour *E. balteatus*, espèce gynohivernante active dès la sortie d'hiver. Débuter les piégeages en mai limite ainsi l'acquisition de données sur ces espèces. La période de piégeage s'arrête début juillet, à la senescence de la culture mais les vols continuent. Il manque donc aussi une partie de l'information sur les communautés d'automne, car les syrphes sont reportés comme actifs jusqu'en novembre (**Sarthou, 1996**). La période de piégeage choisie n'offre donc qu'une vision partielle de la dynamique des populations, à un moment donné de leur cycle. Cette vision partielle ne permet donc pas d'évaluer le potentiel des bandes fleuries pour la mise en place d'une stratégie de conservation, visant à favoriser et maintenir les populations d'auxiliaires, puisque seules des données sur les individus adultes sont disponibles.

III. Approche fonctionnelle : apports et limites de l'étude de l'accessibilité du nectar

1. Mesures de profondeurs de nectar

Ce stage a permis d'apporter des mesures encore absentes dans la littérature pour des espèces communes de bords de champs de la région d'Ile de France. **Stang (2006)** a travaillé sur le lien entre l'appareil buccal d'arthropodes et la morphologie des fleurs mais pour des espèces végétales différentes que celles dans nos mélanges. En comparant avec les données d'**Ibanez (2012)**, on constate que les profondeurs de nectar sont similaires pour la centaurée scabieuse et les Apiacées. En revanche, elles diffèrent pour *L. vulgare* et *T. officinale*. La méthode de mesure utilisée lors de ce stage a été inspirée de celle de **van Rijn et Wäckers (2016)**. En comparant avec leurs résultats on constate que les profondeurs de nectar diffèrent plus ou moins (*A. tintoria*, *C. arvensis*, *L. vulgare*, *C. cyanus*, *M. sylvestris*).

Lors de ce stage, les mesures des traits floraux n'ont été faites que sur un unique individu, ce qui reste la première explication de ces différences. Elles peuvent aussi résulter de méthodes de mesures différentes (e.g. prise en compte du capitule et pas simplement des fleurs tubulaires dans le cas des Astéracées) ou à des erreurs d'observation (mauvais placement de l'insertion des étamines où s'accumule le nectar chez les Astéracées). Les graines des espèces végétales semées dans les bandes ont été produites à l'étranger, et les espèces une fois en fleur, présentaient des morphologies différentes de leurs homologues sauvages des bords de champ alentours (e.g. bleuets ayant plus ou moins de fleurs ligulées), ce qui peut être une autre explication des différences entre les valeurs obtenues et celles des autres études.

NB – Certaines profondeurs de nectar étaient disponibles pour cinq espèces de Fabacées semées dans nos bandes (**van Rijn et Wäckers, 2016**) mais n'ont volontairement pas été utilisées par souci d'homogénéité des données.

2. Mesures des traits morphologiques des insectes

Les mesures de largeur et de longueur d'appareils buccaux réalisées par **Ibanez (2012)** sur 5 individus par taxons, permettent d'avoir un regard critique sur celles réalisées lors du stage sur un unique individu. On constate des mesures similaires pour *E. balteatus*, *M. mellinum* et *S. scripta*. En revanche, elles diffèrent pour *E. tenax*, et les genres *Platycheirus* (*P. peltatus* comparée à *P. albimanus* et *P. manicatus*), et *Eupeodes*. Il est possible que lors de la manipulation de l'appareil buccal contractile, celui-ci n'est pas été tiré jusqu'à sa longueur maximale. Les mesures de largeurs ont été plus approximatives et non homogènes (orientation des photos différentes) ce qui explique aussi les différences observées.

3. Accessibilité du nectar

a. Différence d'accessibilité entre les espèces de syrphes

Eristalis tenax est certes imposante, la rendant *a priori* incapable d'accéder à certaines fleurs trop étroites, mais la longueur de son proboscis lui permet d'atteindre des profondeurs de nectar plus importantes que les autres espèces de syrphes étudiées. Les syrphes de grosse taille ont besoin de plus d'énergie, énergie qu'ils puisent dans le nectar. Ainsi, on peut supposer qu'*E. tenax* a développé un appareil buccal lui permettant d'accéder à un grand nombre de potentielle source de nectar comparé à des espèces de syrphes plus petites, souvent consommatrice de pollen (*E. balteatus*, *Melanostoma*, *Platycheirus*) (**Sarthou, 1996**).

b. Différences d'accessibilité des espèces florales

La famille des Brassicacées est très diverse d'un point de vue morphologique (Annexes IV-8 et IV-24) de même pour la famille des Astéracées (Annexes IV-6 et IV-41), ce qui explique l'hétérogénéité de l'accessibilité de leur nectar. Certes, les espèces de ces familles produisent du nectar mais cela n'est

pas un critère suffisant pour les considérer comme réelle source de nectar pour les syrphes car peu d'entre elles sont capables de l'atteindre pour le consommer.

Certaines espèces n'avaient pas été supposées accessibles (e.g. *G. hederacea*, *L. album*) et se sont révélées l'être théoriquement. D'autres avaient été considérées comme accessibles sans l'ombre d'un doute car à corolle très ouverte (*C. arvensis*) ou à pétales libres (*G. urbanum*), ou supposées intéressantes car des syrphes avaient été souvent observés les visitant (*B. vulgaris*) mais l'application du modèle a permis de nuancer ces hypothèses.

c. Critiques du modèle et pistes d'amélioration

Le modèle donne une accessibilité théorique du nectar ne prenant pas en compte des facteurs pourtant essentiels.

La production de nectar dépend de nombreux facteurs (état hydrique de la plante, conditions météo, période de la journée, ...). Pour une même espèce végétale, il existe donc une profondeur de nectar minimum, maximum et moyenne. Par exemple, dans le cas de *C. scabiosa*, cueillie en début de matinée, les individus observés directement après la cueillette n'avaient que peu de nectar au fond du tube floral mais ceux observés quelques heures après (conservés au labo dans un vase rempli d'eau pendant ce laps de temps), se sont révélés remplis de nectar. En ne mesurant les caractéristiques morphologiques nécessaires à l'application du modèle que sur un unique individu on ne prend pas en compte cette variabilité. Il serait donc judicieux de proposer différents scénarios d'accessibilité en fonction de la quantité de nectar et de le mettre en regard avec la production de nectar au cours de la journée des espèces végétales par exemple.

Le modèle ne prend pas en compte la dimension mécanique : un insecte pourrait être capable de « pousser » les obstacles pour se frayer un chemin jusqu'au nectar, ou son simple poids sur des pétales libres pourraient permettre une ouverture plus large de la fleur et un accès aux nectaires. Cette vision de la fleur comme un cône rigide et fixe est réductrice et met sur un plan d'égalité des espèces aux morphologies très diverses : il est difficile d'imaginer un syrphe forcer l'entrée du tube floral d'une Lamiacée (Annexe IV-22) car c'est physiquement impossible (les parois du tube ne peuvent pas s'écarter ou s'élargir, car soudées) mais il n'est pas aberrant de supposer ce syrphe capable de faire bouger un pétale libre lui faisant obstacle, comme pour *G. urbanum* (Annexe IV-21).

Du fait des incertitudes sur les mesures de largeur de proboscis, les conditions ont été enlevées de l'arbre de décision. Ce choix peut être critiqué en vérifiant que la différence entre la largeur du proboscis et celle au niveau du nectar était faible. Les différences (**X-NM**) sont de l'ordre de 0,01mm (*L. vulgare*/*M. mellinum*) mais peuvent aller jusqu'à 0,5 mm (*C. arvensis*/*E. balteatus*). Il est donc préférable de réintégrer cette condition d'accessibilité et de fixer un seuil de tolérance (**X-NM < 0,01mm** par exemple). De plus, le logiciel ImageJ permet d'obtenir des précisions au millième de mm pour les mesures. Il peut être judicieux de ne garder que deux chiffres significatifs pour prendre en compte l'incertitude de mesure sur photo.

Dans le modèle, on suppose que l'insecte repère la fleur en vol et vient la visiter par le haut. Toutefois, des parasitoïdes peuvent venir consommer le nectar par le côté, notamment les fleurs de colza (observations personnelles), ce qui suggère l'éventuelle capacité des syrphes à faire de même. Il est aussi envisageable que ceux-ci soient capables d'aspirer du nectar pourtant trop profond ou encore que le nectar remonte par capillarité et devienne de ce fait accessible.

De ceci ressort que des observations sur le terrain sont nécessaires pour mieux analyser les résultats d'accessibilité théorique du nectar et les confronter aux espèces de syrphes réellement observées consommant le nectar. **Stang** a comparé les espèces potentielles et espèces observées en prenant en compte la compatibilité de la morphologie de l'appareil buccal et celle de la fleur pour différents taxons d'arthropodes et espèces florales. On constate toujours une surestimation théorique du nombre de visiteurs (**Stang, 2006**). **Wäckers** a étudié les préférences d'*E. balteatus* vis-à-vis de quelques espèces florales. Il en ressort que les Ombellifères (accessibles d'après le modèle) sont effectivement visitées, tout comme *C. cyanus*, mais que *A. tintoria* et *M. sylvestris* ne le sont pas (pourtant accessibles théoriquement) (**Wäckers, 2012**).

d. D'autres critères à intégrer : attractivité, pollen et compétition pour la ressource

Les syrphes répondent d'abord à des stimuli visuels basés sur la couleur (souvent jaune et blanc) et agissant sur une longue distance. Les mesures de tailles de fleur et des unités florales réalisées lors de ce stage peuvent être utilisées pour estimer l'attractivité des bandes en considérant par exemple le recouvrement des espèces de couleur jaune et de taille supérieure à une valeur donnée. Il est aussi possible de tester l'effet de la diversité des tailles florales et des couleurs. Les syrphes répondent aussi à des stimuli olfactifs : ils identifient les nectaires à l'odeur qu'ils exhalent (**Sarthou, 1996**). Il serait intéressant d'ajouter à l'analyse fonctionnelle des données sur les composés volatiles émis par les fleurs. Ainsi, la consommation du nectar ne se fait pas uniquement si celui-ci est accessible, l'attractivité des espèces florales importe en amont. Il est possible qu'un syrphe soit attiré par une espèce végétale mais que celle-ci ne lui fournisse pas les ressources trophiques attendues. Croiser les différents critères permet de mieux comparer le potentiel des espèces florales à semer.

Patt (1997) fait part des différents comportements observés des visiteurs de fleur : une alimentation directe sur les nectaires et les anthères ; une prise alimentaire de pollen présent sur les pétales et autres pièces florales ; du « pollen grooming », *i.e* prise alimentaire du pollen accroché au corps de l'insecte ; ou une simple exploration des pièces florales sans prise alimentaire. Il précise la difficulté de faire la différence entre ces comportements. De nombreux syrphes sont observés visitant ces fleurs où le pollen est présent (barbarée, liseron), portant le doute sur la consommation du nectar de ces espèces pourtant productrices (observations personnelles). La simple observation d'une espèce de syrphe sur une fleur ne confirme pas une consommation effective de nectar surtout sachant que les syrphes consomment du pollen, nécessaire pour leur maturation sexuelle et source d'énergie pour certaines espèces (**Sarthou, 1996**).

Les fleurs étant susceptibles d'être visitées par plusieurs insectes de taxonomie différentes, on constate une compétition pour les ressources florales. On observe des interactions physiques directes, comme adopter un comportement agressif envers les autres visiteurs, posséder une taille plus importante ou tout simplement être évité par les autres insectes (si un bourdon est sur une fleur, un syrphe ne viendra pas sur cette fleur). La compétition peut aussi relever d'un appauvrissement en ressource, d'où une compétition très forte pour les nectaires accessibles par tous. On distingue deux types de stratégies : l'« exploitative competition », *i.e.* premier arrivé premier servi, ou le « resource partitioning », *i.e.* éviter toute compétition direct en venant exploiter la ressource en dehors des périodes d'exploitation des autres espèces (**Wäckers and van Rijn, 2012**). Les syrphes semblent apprécier les fleurs produisant un faible volume de nectar, fleur qui n'attirent pas les gros demandeurs de nectar tels les bourdons (**Pott, 2004**). L'étude de la quantité et qualité du nectar produit pourrait ainsi apporter d'autres éléments de choix quant à l'intégration dans un mélange fleuri des espèces au nectar théoriquement accessible.

4. Recouvrement des espèces au nectar accessible

Le lien entre les communautés végétales et de syrphes a été fait en utilisant le recouvrement des espèces en fleurs lors de la campagne de piégeage et dont le nectar a été décrété accessible à au moins une espèce de syrphe. Ainsi des espèces végétales au nectar accessible aux six espèces de syrphes (*e.g.* Ombellifères) ont eu la même importance que celles accessibles à une unique espèce, souvent *E. tenax*. Cette simplification ne pondère pas le potentiel des différentes espèces végétales à fournir du nectar accessible et place sur un pied d'égalité le nectar du colza (accessible uniquement à *E. tenax*) et celui des Ombellifères (accessibles à toutes les espèces de syrphe testées). *E. tenax* est l'espèce capable d'atteindre théoriquement le nectar de 28 des espèces entomophiles testées (dont quatre uniquement accessibles par *E. tenax* : *S. jacobaea*, *A. petiolata*, *B. vulagris*, *B. napus*). Or, les larves du genre *Eristalis* sont saprophages et ne participent donc pas à la régulation biologique des populations de pucerons. De plus, cette espèce ne faisait pas partie des espèces principales piégées en 2017. Pour étudier les syrphes en tant qu'auxiliaires en prenant l'accessibilité du nectar comme critère, il aurait fallu considérer le recouvrement des plantes en fleur et au nectar accessible aux espèces de syrphes zoophages.

CONCLUSION

Mon stage visait à comprendre l'effet de l'accessibilité du nectar sur la fréquentation des bandes fleuries par les syrphes.

Ce stage m'a permis de mettre en place une méthode d'étude de l'accessibilité du nectar d'espèces florales en prenant en compte les dimensions de l'appareil buccal et de la tête des éventuels visiteurs. Nous avons pu voir que la morphologie des fleurs influe bien sur l'accessibilité de leur nectar et que les espèces de syrphes ne peuvent pas accéder aux mêmes fleurs, en fonction des dimensions de leur tête et de leur appareil buccal. Le travail a été réalisé sur un faible nombre d'espèces florales et appliqué uniquement sur des espèces de syrphes. Ainsi il peut être poursuivi pour d'autres espèces végétales mais surtout pour d'autres arthropodes floricoles comme les Hyménoptères parasitoïdes par exemple.

Une des hypothèses de ce stage était que le recouvrement en espèces produisant du nectar accessible a une influence sur les communautés de syrphes. Nous n'avons répondu que partiellement à cette question mais ce stage a tout de même permis de fournir les données utilisables afin de poursuivre l'analyse. L'effet du recouvrement des espèces au nectar accessible sur l'activité-densité des communautés de syrphes peut apporter des éléments de réponses sur la pertinence de sa prise en compte dans la création des mélanges. L'effet de la diversité fonctionnelle de la fourniture de cette ressource trophique sur les communautés de syrphes (richesse spécifique et équitabilité) peut lui aussi alimenter la réflexion sur le choix des espèces végétales à semer et de savoir quel niveau de diversité viser. Les mesures de la taille des fleurs et unités florales peuvent être une première étape vers l'évaluation de l'attractivité des mélanges d'un point de vue visuel. Enfin, une évaluation de la fourniture en pollen consommable pour les syrphes pourrait permettre de compléter l'analyse.

Ce stage a permis de voir que les activités-densités dans les mélanges envahis par les graminées sont plus faibles que celles des mélanges où des espèces productrices de nectar se sont maintenues, attestant de l'importance de la composition botanique des mélanges mais surtout leur évolution dans le temps. La berce (*H. spondylium*) et l'achillée millefeuille (*A. millefolium*) sont les espèces s'étant le mieux maintenues et peuvent expliquer les plus fortes activités-densités dans certains mélanges. Le lien entre ces activités-densités et la prédation exercée sur les ravageurs de culture est manquant et ne permet pas de conclure quant à la préconisation d'un mélange en particulier mais les données sur les populations de ravageurs sont disponibles pour l'année 2017.

Les mélanges ont été conçus pour favoriser une communauté d'auxiliaires afin de pouvoir lutter contre des communautés de ravageurs. Or, les bandes fleuries n'ont pas seulement des effets sur les communautés d'arthropodes volants. Le dispositif GARGAMEL a permis aussi le suivi de la faune épigée par pièges Barber dans les bandes et dans la culture permettant d'apporter d'autres critères d'évaluation des mélanges. Ce stage s'intègre donc dans un projet global et à l'étude des communautés syrphes vient s'ajouter celle des carabes et araignées, réalisées en parallèle. L'analyse de **Cassandra Patt** apporte des éléments de compréhension sur l'effet des communautés végétales dans les bandes, leur âge et la distance à la bande sur les communautés de carabes et d'araignées. **Guillaume Wetzel** a réalisé une analyse du taux de prédation grâce à des proies sentinelles et des caméras, apportant un premier jalon à l'étude de la régulation biologique.

Pour finir, des bandes fleuries vont être semées en automne 2018 chez un groupe d'agriculteurs des départements des Yvelines, Eure et Loir et Essonne. Les mélanges ont été conçus en fonction des échecs et réussites de leur implantation sur la parcelle expérimentale afin d'en adapter la composition. Un premier diagnostic de la faune épigée des parcelles avant implantation a été réalisé par pièges Barber (posés lors du stage, stockés en chambre froide) et un suivi est prévu afin de tester l'effet des bandes fleuries sur des parcelles non expérimentales. Cet essai permettra de confronter la mise en place de bandes fleuries à la réalité et la diversité des pratiques agricoles mais aussi aux attentes et motivations des agriculteurs (coût, entretien, engagement pour la biodiversité et l'agroécologie ...).

BIBLIOGRAPHIE

Agreste, Bureau des Statistiques sur les Productions et les Comptabilités Agricoles, Surfaces, productions, rendements des céréales, oléagineux, protéagineux, résultats 2016 définitifs et 2017 provisoires, 2017, <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/saa2018T2bspca.pdf>

Agreste, Indicateurs de fréquence des traitements (IFT) grandes cultures en 2014, 2014, <http://agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes/pratiques-culturelles/pratiques-culturelles-sur-les-918/>

ALTIERI, M. A, NICHOLLS, C. I, UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME et ENVIRONMENTAL TRAINING NETWORK FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN, 2005. Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture. Mexico, D.F. : United Nations Environmental Programme, Environmental Training Network for Latin America and the Caribbean. ISBN 978-968-7913-35-3.

Arvalis, DOR, C., MAILLET-Mezeray, J., SARTHOU, V., Dossier Syrphes – Fiches espèces Biologie et Ecologie des principales espèces de syrphes aphidiphages rencontrées en grandes culture, 2011, http://www.rmt-biodiversite-agriculture.fr/moodle/pluginfile.php/343/mod_resource/content/2/les%20syrphes%20vd.pdf

Arvalis, Terres Inovia, Chambre régionale d'agriculture de Bourgogne, BSV Grandes cultures n° 2 du 06 septembre 2016, Résistance des altises d'hiver aux pyréthrinoïdes, 2016, p.8, http://draaf.bourgogne-franche-comte.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/BSV_GC_n_02_du_6_septembre_2016_cle4fcbdd.pdf,

BARBOSA, P., 1998. Conservation biological control., San Diego : Academic Press. ISBN 978-0-12-078147-8. SB975 .C66 1998

BIANCHI, F.J.J.A, BOOIJ, C.J.H., TSCHARNTKE, T., 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control., Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 22 juillet 2006. Vol. 273, n° 1595, p. 1715-1727. DOI 10.1098/rspb.2006.3530.

CHAMBERS, R. J., ADAMS, T. H. L., 1986. Quantification of the Impact of Hoverflies (Diptera: Syrphidae) On Cereal Aphids in Winter Wheat: An Analysis of Field Populations., The Journal of Applied Ecology. décembre 1986. Vol. 23, n° 3, p. 895. DOI 10.2307/2403942.

COWGILL, S. E., WRATTEN, S. D., SOTHERTON, N. W., 1993. The effect of weeds on the numbers of hoverfly (Diptera: Syrphidae) adults and the distribution and composition of their eggs in winter wheat., Annals of applied biology. 1993. Vol. 123, n° 3, p. 499–515.

DIAZ, S., CABIDO, M., 2001. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes., *Trends in ecology & evolution*. 2001. Vol. 16, n° 11, p. 646–655.

FranceAgriMer, Les fiches de FranceAgriMer : Grandes cultures, 2015, <http://www.franceagrimer.fr/content/download/42201/394330/file/Fiche%20fili%C3%A8re%202014%20-%20c%C3%A9r%C3%A9ales%20-%20FR.pdf>

GARDARIN, A., PLANTEGENEST, M., BISCHOFF, A. et VALANTIN-MORISON, M., 2018. Understanding plant–arthropod interactions in multitrophic communities to improve conservation biological control: useful traits and metrics., *Journal of Pest Science*. juin 2018. Vol. 91, n° 3, p. 943-955. DOI 10.1007/s10340-018-0958-0.

GARNIER, E., NAVAS, M.-L. et GRIGULIS, K., 2016. Plant functional diversity: organism traits, community structure, and ecosystem properties, Oxford University Press. ISBN 978-0-19-875736-8. QK46.5.D58 G3713 2016

HAALAND, C., NAISBIT, R. E. et BERSIER, L.-F., 2011. Sown wildflower strips for insect conservation: a review: Wildflower strips for insect conservation., *Insect Conservation and Diversity*. février 2011. Vol. 4, n° 1, p. 60-80. DOI 10.1111/j.1752-4598.2010.00098.x.

HATT, S., UYTENBROECK, R., LOPES, T., MOUCHON, P., CHEN, J., PIQUERAY, J., MONTY, A., FRANCIS, F., 2017. Do flower mixtures with high functional diversity enhance aphid predators in wildflower strips?, *European Journal of Entomology*. 27 janvier 2017. Vol. 114, p. 66-76. DOI 10.14411/eje.2017.010.

HENRION, A., Terres Univia, L'avenir de la filière féverole française, 2015, http://www.terresunivia.fr/sites/default/files/articles/publications/cultures_utilisations/proteagineux/4_pages_filiere_feverole.pdf

IBANEZ, S., 2012. Optimizing size thresholds in a plant–pollinator interaction web: towards a mechanistic understanding of ecological networks., *Oecologia*. septembre 2012. Vol. 170, n° 1, p. 233-242. DOI 10.1007/s00442-012-2290-3.

LAUBERTIE, E. A., WRATTEN, S. D., HEMPTINNE, J.-L., 2012. The contribution of potential beneficial insectary plant species to adult hoverfly (Diptera: Syrphidae) fitness., *Biological Control*. avril 2012. Vol. 61, n° 1, p. 1-6. DOI 10.1016/j.biocontrol.2011.12.010.

NICHOLLS, C. I., PARRELLA, M., ALTIERI, M. A., 2001. The effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern California organic vineyard., *Landscape ecology*. 2001. Vol. 16, n° 2, p. 133–146.

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*. 1997. Vol. 83, n° 1, p. 21–30.

PONTIN, D.R., WADE, M.R., KEHRLI, P., WRATTEN, S.D., 2006. Attractiveness of single and multiple species flower patches to beneficial insects in agroecosystems., *Annals of Applied Biology*. février 2006. Vol. 148, n° 1, p. 39-47. DOI 10.1111/j.1744-7348.2005.00037.x.

RUSCH, A., Analyse des déterminants des attaques de *Meligethes aeneus* (*Coleoptera, Nitidulidae*) et des régulation biologique à l'échelle d'un paysage agricole: contribution à l'amélioration de la protection intégrée du colza, Chapitre 1. Régulation naturelle des ravageurs dans les agroécosystèmes (3.3) p.43 , Thèse de doctorat, AgroParisTech, 2010, 159p., https://pastel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/589802/filename/These_ARusch.pdf

SARTHOU, J.-P., SPEIGHT, M. C. D., 2005. Les Diptères Syrphidés, peuple de tous les espaces., *Insectes*. 2005. Vol. 137, n° 2, p. 3–8.

SARTHOU, J.-P., Contribution à l'étude systématique, biogéographique et agroécocénotique des Syrphidae (Insecta. Diptera) du Sud-Ouest de la France, Thèse de doctorat : Sciences agronomiques Toulouse INPT, 1996, 251p, <http://www.sudoc.fr/008066663>

STANG, M., KLINKHAMER, P. G. L., VAN DER MEIJDEN E., Size constraints and flower abundance determine the number of interactions in a plant–flower visitor web, *OIKOS* 112, 2006, p. 111-121, <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2006.14199.x>

STORKEY, J., BROOKS, D., HAUGHTON, A., HAWES, C., SMITH, B. M., HOLLAND, J. M., 2013. Using functional traits to quantify the value of plant communities to invertebrate ecosystem service providers in arable landscapes, *Journal of Ecology*. janvier 2013. Vol. 101, n° 1, p. 38-46. DOI 10.1111/1365-2745.12020.

TENHUMBERG, B., POEHLING, H.-M., 1995. Syrphids as natural enemies of cereal aphids in Germany: aspects of their biology and efficacy in different years and regions, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 52 (1995), pp. 39-43., <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1205&context=bioscifacpub>

Terres Inovia, Guide de culture colza 2017, 2017, p.28, http://www.terresinovia.fr/fileadmin/cetiom/kiosque/brochures_colza/Guide_colza_2018/guide_culture_colza2018.pdf

Terres Univia, PLAN DE FILIÈRE 2018-2022, 2017,
<http://www.terresunivia.fr/sites/default/files/articles/publications/brochures/TU-Plan%20Filiere-4Pages.pdf>

ULBER, B., WILLIAMS, I. H., KLUKOWSKI, Z., LUIK, A., NILSSON, C., 2010. Parasitoids of Oilseed Rape Pests in Europe: Key Species for Conservation Biocontrol. *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests*, Springer Netherlands. p. 45-76, ISBN 978-90-481-3982-8, http://link.springer.com/10.1007/978-90-481-3983-5_2

UYTTENBROECK, R., HATT, S., PIQUERAY, J., PAUL, A., BODSON, B., FRANCIS, F., MONTY, A., 2015. Creating Perennial Flower Strips: Think Functional!, *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015. Vol. 6, p. 95-101. DOI 10.1016/j.aaspro.2015.08.044

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 & Environment*. novembre 2017. Vol. 249, p. 144-155. DOI 10.1016/j.agee.2017.08.014.

VALANTIN-MORISON, M., 2012, Comment favoriser la régulation biologique des insectes de l'échelle de la parcelle à celle du paysage agricole, pour aboutir à des stratégies de protection intégrée sur le colza d'hiver?, *Oléagineux, Corps gras, Lipides*. 2012. Vol. 19, n° 3, p. 169–183.

VAN RIJN, P. C. J., WÄCKERS, F. L., 2010, The suitability of field margin flowers as food source for zoophagous hoverflies, *IOBC/WPRS Bulletin* Vol. 56, ISBN: 978-92-9067-230-2

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*. juin 2016. Vol. 53, n° 3, p. 925-933. DOI 10.1111/1365-2664.12605.

VIOLLE, C., NAVAS, M.-L., VILE, D., KAZAKOU, E., FORTUNEL, C., HUMMEL, I., GARNIER, E., 2007. Let the concept of trait be functional!, *Oikos*. mai 2007. Vol. 116, n° 5, p. 882-892. DOI 10.1111/j.2007.0030-1299.15559.x.

WÄCKERS, F. L., 2001. A comparison of nectar-and honeydew sugars with respect to their utilization by the hymenopteran parasitoid *Cotesia glomerata*., *Journal of Insect Physiology*. 2001. Vol. 47, n° 9, p. 1077–1084.

WÄCKERS, F.L., 2004. Assessing the suitability of flowering herbs as parasitoid food sources: flower attractiveness and nectar accessibility. *Biological Control*. mars 2004. Vol. 29, n° 3, p. 307-314. DOI 10.1016/j.biocontrol.2003.08.005.

WÄCKERS, F. L. et VAN RIJN, P. C. J., 2012. Pick and Mix: Selecting Flowering Plants to Meet the Requirements of Target Biological Control Insects., Biodiversity and Insect Pests ISBN 978-1-118-23183-8. <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118231838.ch9>.

WILLIAMS, I. H. (éd.), 2010. Biocontrol-based integrated management of oilseed rape pests. Dordrecht ; London : Springer. ISBN 978-90-481-3982-8. SB608.R2 B563 2010

WOLCOTT, G. N., 1942. The requirements of parasites for more than hosts. In : Science. 1942. Vol. 96, n° 2492, p. 317–318.

SITOGRAPHIE

Arvalis, Les Fiches Accidents : Auxiliares. Disponible : http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?type_cul=2&type_acc=3&id_acc=211&mode=fa (date de consultation : 27/08/2018)

ANNEXES

ANNEXE I – DESCRIPTION TAXONOMIQUE DES MELANGES

E2		E1	
Espèce	Nom scientifique	Espèce	Nom scientifique
Anthémis teinturiers	<i>Anthemis tinctoria</i>	Achillée millefeuille	<i>Achillea millefolium</i>
Avoine élevée	<i>Arrhenatherum elatius</i>	Ajuga rampant	<i>Ajuga reptans</i>
Barbarée commune	<i>Barbarea vulgaris</i>	Alliaire pétiolée	<i>Alliaria petiolata</i>
Benoîte commune	<i>Geum urbanum</i>	Anthriscus sauvage	<i>Anthriscus sylvestris</i>
Carotte	<i>Daucus carota</i>	Aspérule odorante	<i>Galium odoratum</i>
Carvi	<i>Carum carvi</i>	Avoine élevée	<i>Arrhenatherum elatius</i>
Chicorée sauvage	<i>Cichorium intybus</i>	Berce sphondyle	<i>Heracleum sphondylium</i>
Cynoglosse officinal	<i>Cynoglossum officinale</i>	Bleuet des champs	<i>Centaurea cyanus</i>
Dactyle aggloméré	<i>Dactylis glomerata</i>	Capselle	<i>Capsella bursa-pastoris</i>
Fétuque élevée	<i>Festuca arundinacea</i>	Centaurée jacée	<i>Centaurea jacea</i>
Gaillet mollugo	<i>Galium mollugo</i>	Coronille bigarée	<i>Securigera varia</i>
Glechoma faux-lierre	<i>Glechoma hederacea</i>	Dactyle aggloméré	<i>Dactylis glomerata</i>
Lamier blanc	<i>Lamium album</i>	Euphorbe petit-cyprès	<i>Euphorbia cyparissias</i>
Lotier corniculé	<i>Lotus corniculatus</i>	Fenouil	<i>Foeniculum vulgare</i>
Luzerne minette	<i>Medicago lupulina</i>	Fétuque élevée	<i>Festuca arundinacea</i>
Mélilot officinal	<i>Melilotus officinalis</i>	Julienne des dames	<i>Hesperis matronalis</i>
Molène lychnite	<i>Verbascum lychnitis</i>	Luzerne cultivée	<i>Medicago sativa</i>
Panais cultivé	<i>Pastinaca sativa</i>	Marguerite	<i>Leucanthemum vulgare</i>
Pissenlit	<i>Taraxacum officinale</i>	Mauve sylvestre	<i>Malva sylvestris</i>
Plantain lancéolé	<i>Plantago lanceolata</i>	Millepertuis perforé	<i>Hypericum perforatum</i>
Porcelle enracinée	<i>Hypochaeris radicata</i>	Molène densiflorum	<i>Verbascum densiflorum</i>
Renoncule rampante	<i>Ranunculus repens</i>	Paquerette	<i>Bellis perennis</i>
Reseda luteola	<i>Reseda luteola</i>	Petite bardane	<i>Arctium minus</i>
Sainfoin	<i>Onobrychis viciifolia</i>	Potentille érigée	<i>Potentilla erecta</i>
Sénéçon jacobée	<i>Senecio jacobaea</i>	Tanaisie	<i>Tanacetum vulgare</i>
Stellaire intermédiaire	<i>Stellaria media</i>	Trèfle des prés	<i>Trifolium pratense</i>
Tanaisie	<i>Tanacetum vulgare</i>	Trèfle rampant	<i>Trifolium repens</i>
Véronique de Perse	<i>Veronica persica</i>	Véronique f. de lierre	<i>Veronica hederifolia</i>
Vesce cultivée	<i>Vicia sativa</i>	Vipérine	<i>Echium vulgare</i>

ANNEXE I (suite)

A1	
Espèce	Nom scientifique
Achillée millefeuille	<i>Achillea millefolium</i>
Alliaire pétiolée	<i>Alliaria petiolata</i>
Anthriscus sauvage	<i>Anthriscus sylvestris</i>
Avoine élevée	<i>Arrhenatherum elatius</i>
Berce sphondyle	<i>Heracleum sphondylium</i>
Coronille bigarée	<i>Securigera varia</i>
Dactyle aggloméré	<i>Dactylis glomerata</i>
Fenouil	<i>Foeniculum vulgare</i>
Fétuque élevée	<i>Festuca arundinacea</i>
Julienne des dames	<i>Hesperis matronalis</i>
Luzerne cultivée	<i>Medicago sativa</i>
Marguerite	<i>Leucanthemum vulgare</i>
Petite bardane	<i>Arctium minus</i>
Trèfle des prés	<i>Trifolium pratense</i>

A2	
Espèce	Nom scientifique
Anthémis teinturiers	<i>Anthemis tinctoria</i>
Avoine élevée	<i>Arrhenatherum elatius</i>
Barbarée commune	<i>Barbarea vulgaris</i>
Carotte	<i>Daucus carota</i>
Carvi	<i>Carum carvi</i>
Cynoglosse officinal	<i>Cynoglossum officinale</i>
Dactyle aggloméré	<i>Dactylis glomerata</i>
Fétuque élevée	<i>Festuca arundinacea</i>
Lotier corniculé	<i>Lotus corniculatus</i>
Mélicot officinal	<i>Melilotus officinalis</i>
Panais cultivé	<i>Pastinaca sativa</i>
Porcelle enracinée	<i>Hypochaeris radicata</i>
Sénéçon jacobée	<i>Senecio jacobaea</i>
Sainfoin	<i>Onobrychis viciifolia</i>

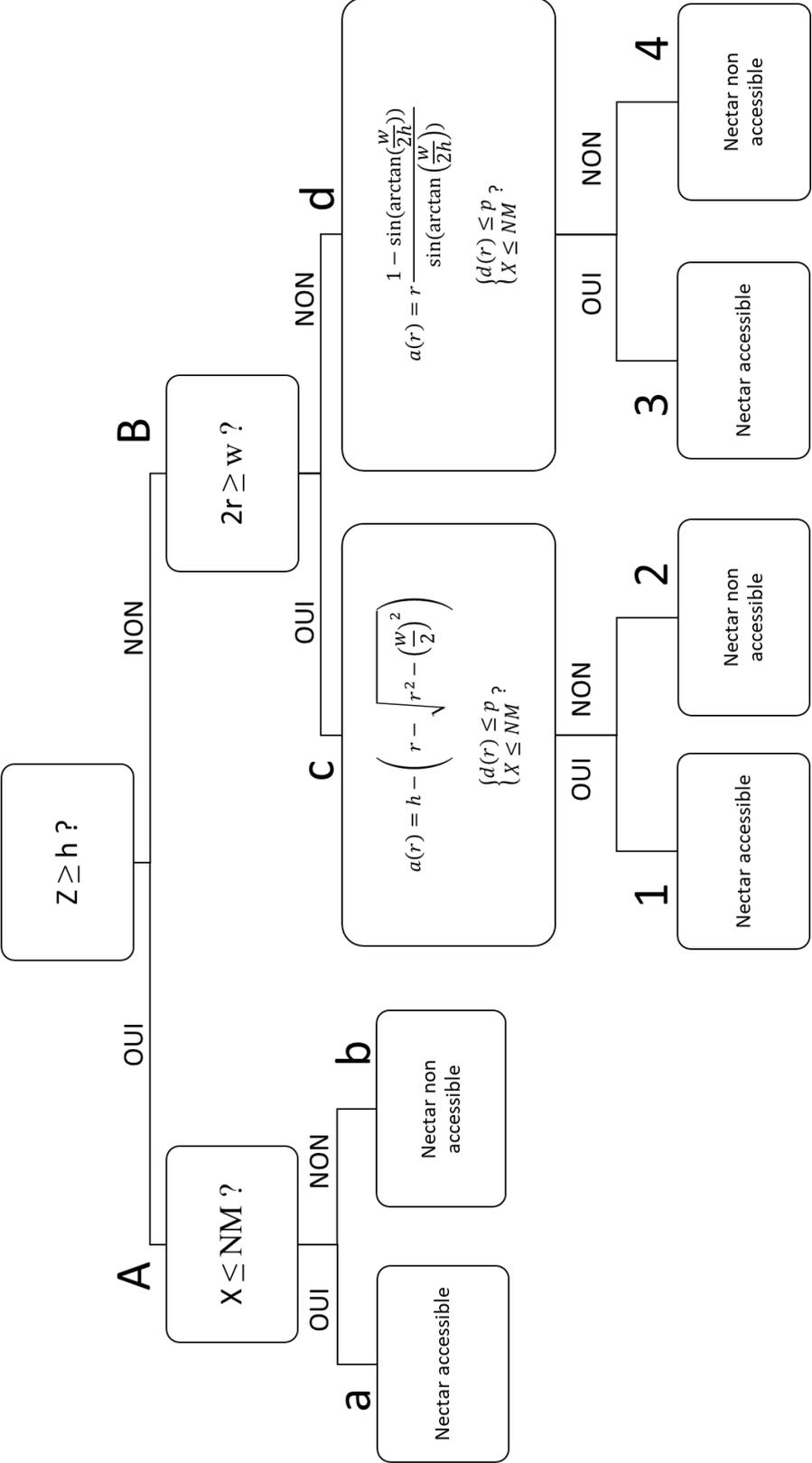
C1	
Espèce	Nom scientifique
Achillée millefeuille	<i>Achillea millefolium</i>
Alliaire pétiolée	<i>Alliaria petiolata</i>
Avoine élevée	<i>Arrhenatherum elatius</i>
Berce sphondyle	<i>Heracleum sphondylium</i>
Bleuet des champs	<i>Centaurea cyanus</i>
Centauree jacée	<i>Centaurea jacea</i>
Dactyle aggloméré	<i>Dactylis glomerata</i>
Euphorbe petit-cyprès	<i>Euphorbia cyparissias</i>
Fétuque élevée	<i>Festuca arundinacea</i>
Millepertuis perforé	<i>Hypericum perforatum</i>
Molène densiflorum	<i>Verbascum densiflorum</i>
Tanaisie	<i>Tanacetum vulgare</i>
Trèfle rampant	<i>Trifolium repens</i>
Véronique f. de lierre	<i>Veronica hederifolia</i>

C2	
Espèce	Nom scientifique
Anthémis teinturiers	<i>Anthemis tinctoria</i>
Avoine élevée	<i>Arrhenatherum elatius</i>
Barbarée commune	<i>Barbarea vulgaris</i>
Chicorée sauvage	<i>Cichorium intybus</i>
Dactyle aggloméré	<i>Dactylis glomerata</i>
Fétuque élevée	<i>Festuca arundinacea</i>
Gaillet mollugo	<i>Galium mollugo</i>
Luzerne minette	<i>Medicago lupulina</i>
Molène lychnite	<i>Verbascum lychnitis</i>
Panais cultivé	<i>Pastinaca sativa</i>
Plantain lancéolé	<i>Plantago lanceolata</i>
Stellaire intermédiaire	<i>Stellaria media</i>
Tanaisie	<i>Tanacetum vulgare</i>
Vesce cultivée	<i>Vicia sativa</i>

D1	
Espèce	Nom scientifique
Achillée millefeuille	<i>Achillea millefolium</i>
Alliaire pétiolée	<i>Alliaria petiolata</i>
Avoine élevée	<i>Arrhenatherum elatius</i>
Berce sphondyle	<i>Heracleum sphondylium</i>
Bleuet des champs	<i>Centaurea cyanus</i>
Dactyle aggloméré	<i>Dactylis glomerata</i>
Fétuque élevée	<i>Festuca arundinacea</i>
Trèfle rampant	<i>Trifolium repens</i>
Véronique f. de lierre	<i>Veronica hederifolia</i>

D2	
Espèce	Nom scientifique
Anthémis teinturiers	<i>Anthemis tinctoria</i>
Avoine élevée	<i>Arrhenatherum elatius</i>
Barbarée commune	<i>Barbarea vulgaris</i>
Dactyle aggloméré	<i>Dactylis glomerata</i>
Fétuque élevée	<i>Festuca arundinacea</i>
Luzerne minette	<i>Medicago lupulina</i>
Panais cultivé	<i>Pastinaca sativa</i>
Stellaire intermédiaire	<i>Stellaria media</i>
Vesce cultivée	<i>Vicia sativa</i>

ANNEXE III – ARBRE DE DECISION POUR L'ACCESSIBILITE DU NECTAR – CONDITIONS MATHEMATIQUES



ANNEXE IV – PHOTOS, COMMENTAIRES ET DETAILS DES MESURES REALISEES SUR LES FLEURS POUR L'ACCESSIBILITE DU NECTAR

Les flèches rouges indiquent le nectar (ex. Figure A). Les mesures nécessaires pour le modèle sont indiquées avec le code couleur suivant : vert pour la contrainte w' , rose pour la hauteur h , jaune pour les distances p et NM (nectar-fond corolle et largeur au niveau du nectar) (ex. Figure B).



Figure A – Nectar en surface de fleurs d'Anthriscus sylvestris



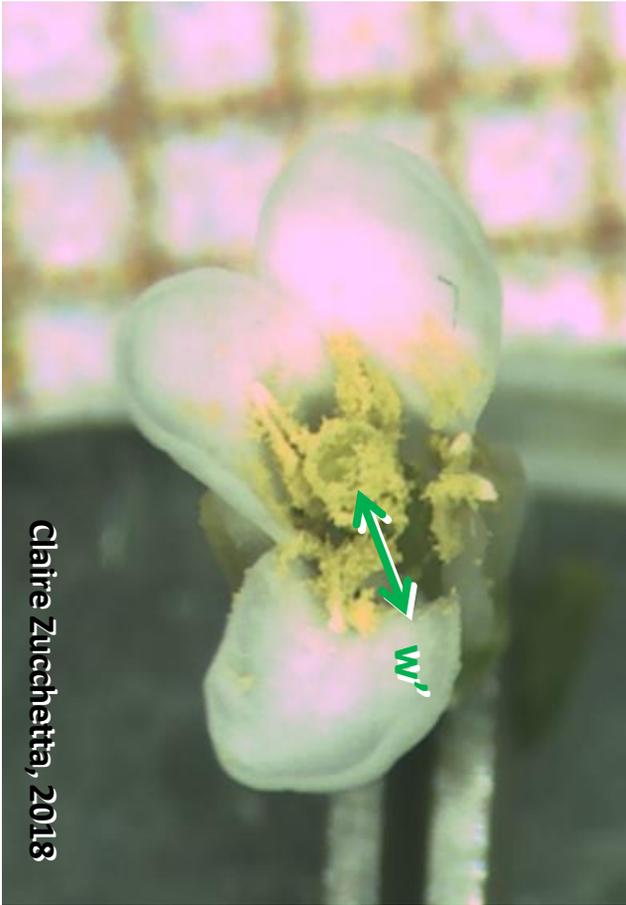
Figure B – Application du modèle géométrique pour Leucanthemum vulgare

Les observations sont disponibles pour les espèces suivantes (numéro d'Annexe à gauche) :

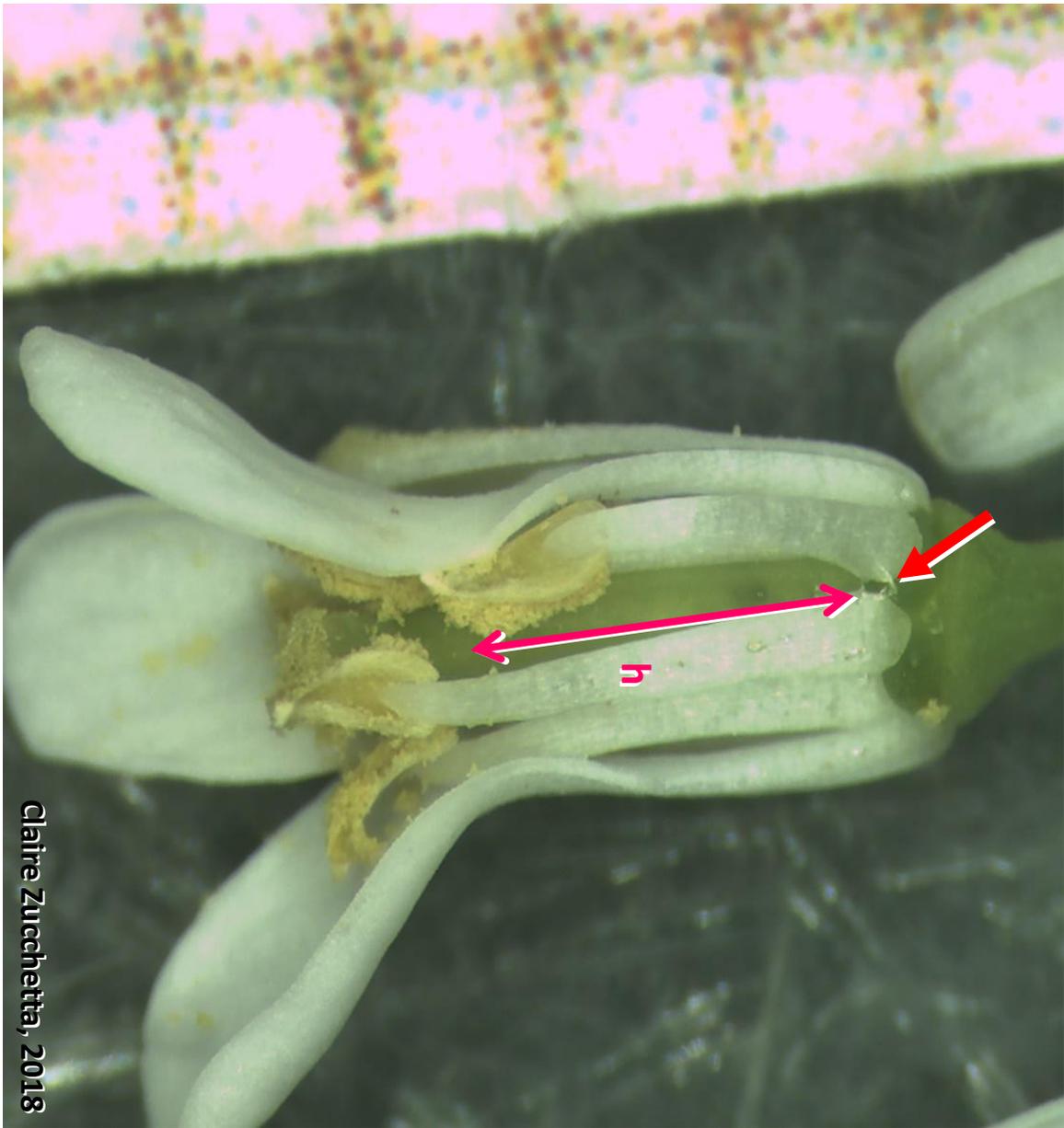
IV – 1	<i>Alliaria petiolata</i>	IV – 17	<i>Euphorbia helioscopia</i>	IV – 33	<i>Myosotis arvensis</i>
IV – 2	<i>Anagallis arvensis</i>	IV – 18	<i>Galium aparine</i>	IV – 34	<i>Onobrychis viciifolia</i>
IV – 3	<i>Anthemis tinctoria</i>	IV – 19	<i>Galium mollugo</i>	IV – 35	<i>Pastinaca sativa</i>
IV – 4	<i>Anthriscus sylvestris</i>	IV – 20	<i>Geranium dissectum</i>	IV – 36	<i>Picris echioides</i>
IV – 5	<i>Barbarea vulgaris</i>	IV – 21	<i>Geum urbanum</i>	IV – 37	<i>Securigera varia</i>
IV – 6	<i>Bellis perennis</i>	IV – 22	<i>Glechoma hederacea</i>	IV – 38	<i>Senecio jacobaea</i>
IV – 7	<i>Brassica napus</i>	IV – 23	<i>Heracleum sphondylium</i>	IV – 39	<i>Senecio vulgaris</i>
IV – 8	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	IV – 24	<i>Hesperis matronalis</i>	IV – 40	<i>Silene dioica</i>
IV – 9	<i>Centaurea cyanus</i>	IV – 25	<i>Lamium album</i>	IV – 41	<i>Sonchus asper</i>
IV – 10	<i>Centaurea scabiosa</i>	IV – 26	<i>Lepidium draba</i>	IV – 42	<i>Stellaria media</i>
IV – 11	<i>Cirsium arvense</i>	IV – 27	<i>Leucanthemum vulgare</i>	IV – 43	<i>Taraxacum officinale</i>
IV – 12	<i>Convolvulus arvensis</i>	IV – 28	<i>Lotus corniculatus</i>	IV – 44	<i>Trifolium pratense</i>
IV – 13	<i>Cynoglossum officinale</i>	IV – 29	<i>Malva sylvestris</i>	IV – 45	<i>Trifolium repens</i>
IV – 14	<i>Daucus carota</i>	IV – 30	<i>Medicago lupulina</i>	IV – 46	<i>Veronica hederifolia</i>
IV – 15	<i>Echium vulgare</i>	IV – 31	<i>Medicago sativa</i>	IV – 47	<i>Veronica persica</i>
IV – 16	<i>Euphorbia cyparissias</i>	IV – 32	<i>Melilotus officinalis</i>	IV – 48	<i>Vicia sativa</i>

Alliaria petiolata

Beaucoup de pollen
Nectar à la base des étamines



Claire Zucchetto, 2018



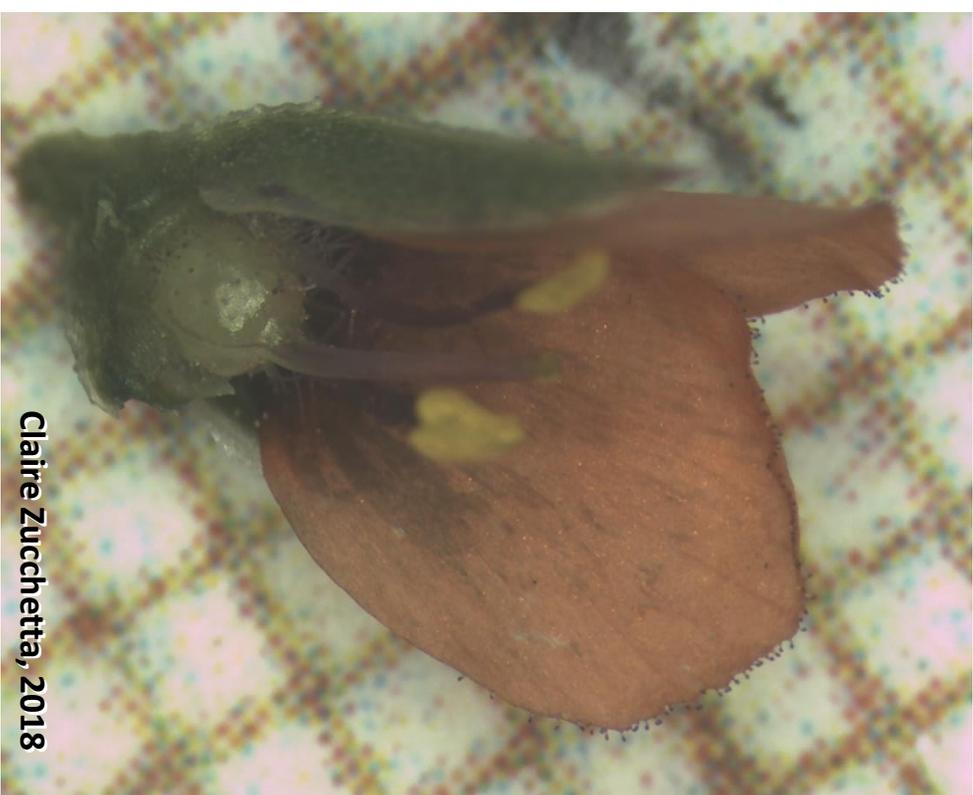
Claire Zucchetto, 2018

Anagallis arvensis

Pas de nectar observé



Claire Zucchetto, 2018

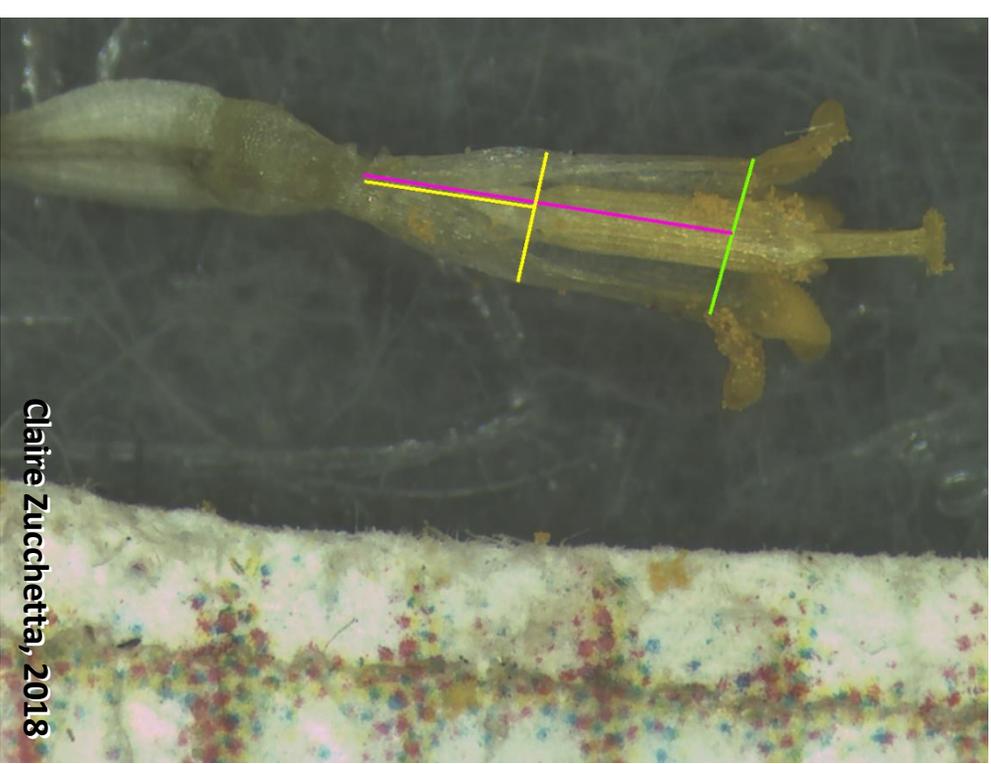


Claire Zucchetto, 2018

Anthemis tintoria

Présence de nectar à l'insertion des étamines

Humidité autour des fleurs tubulaires dans le capitule : nectar ?



Claire Zucchetto, 2018

Anthriscus sylvestris

Nectar en surface



Claire Zucchetto, 2018

Barbarea vulgaris

Nectar s'accumule à la base des étamines



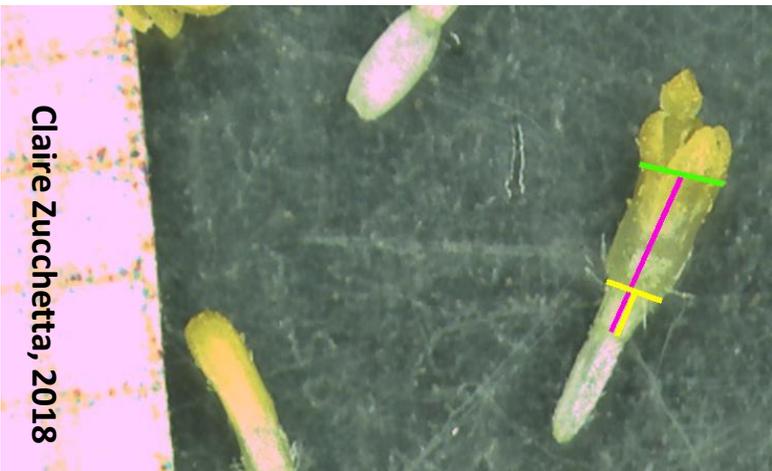
Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Bellis perennis

Beaucoup de pollen
Nectar à l'insertion des étamines



Claire Zucchetto, 2018



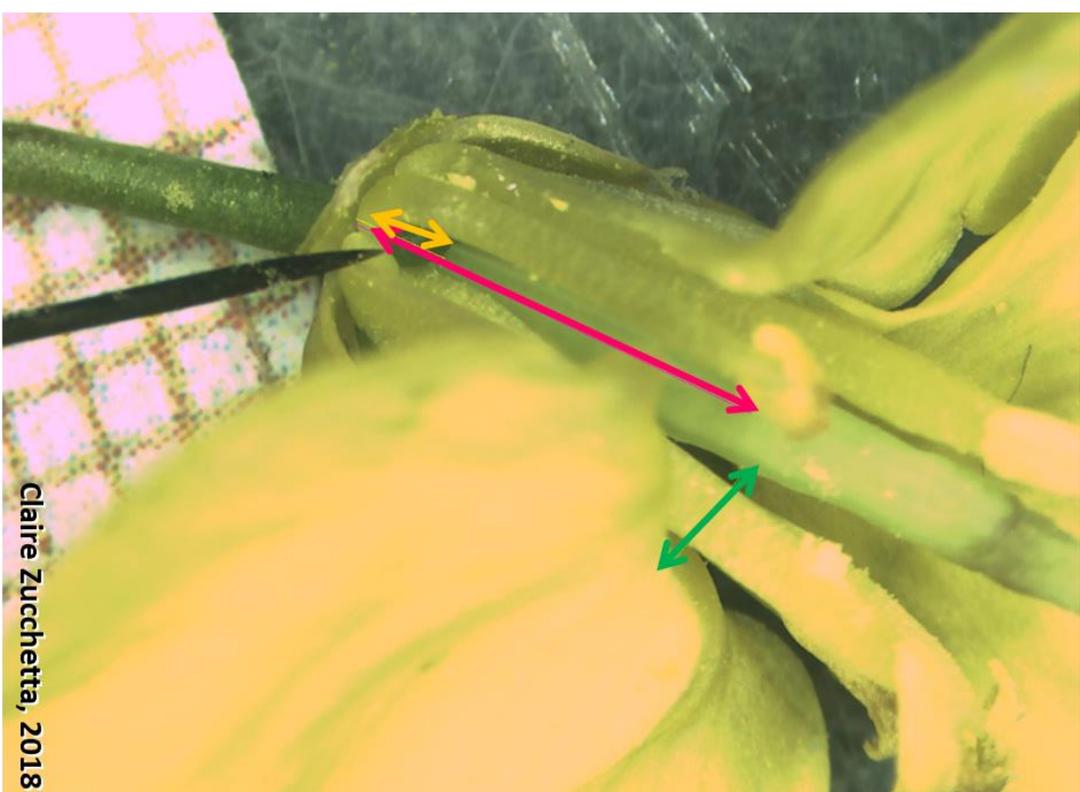
Claire Zucchetto, 2018

Brassica napus

Nectar à la base des étamines



Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Capsella bursa-pastoris

Nectar à la base des pétales/étamines



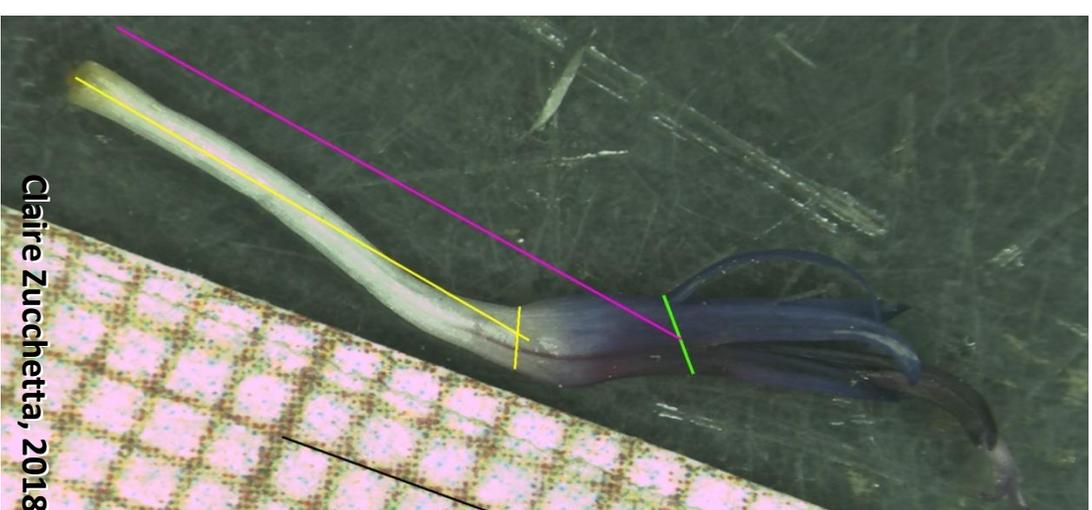
Claire Zucchetto, 2018

Centaurea cyanus

Nectar en dessous du renflement de la corolle
Nectar extrafloral sur bractée



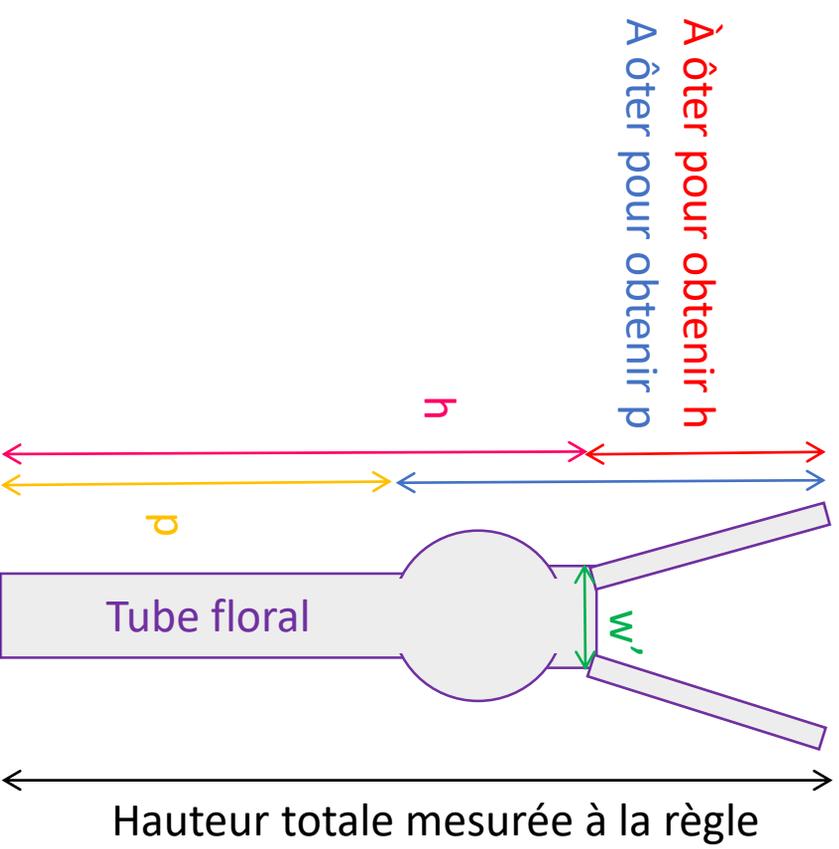
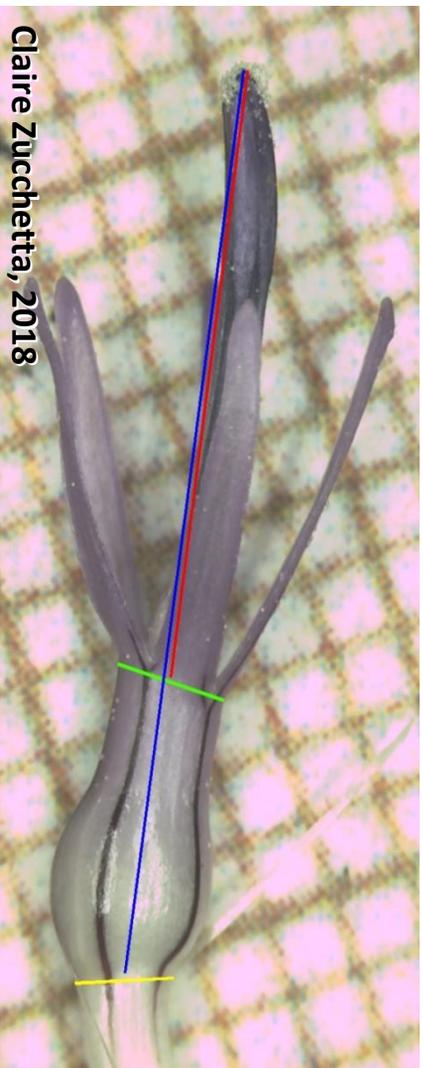
Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Centaurea scabiosa

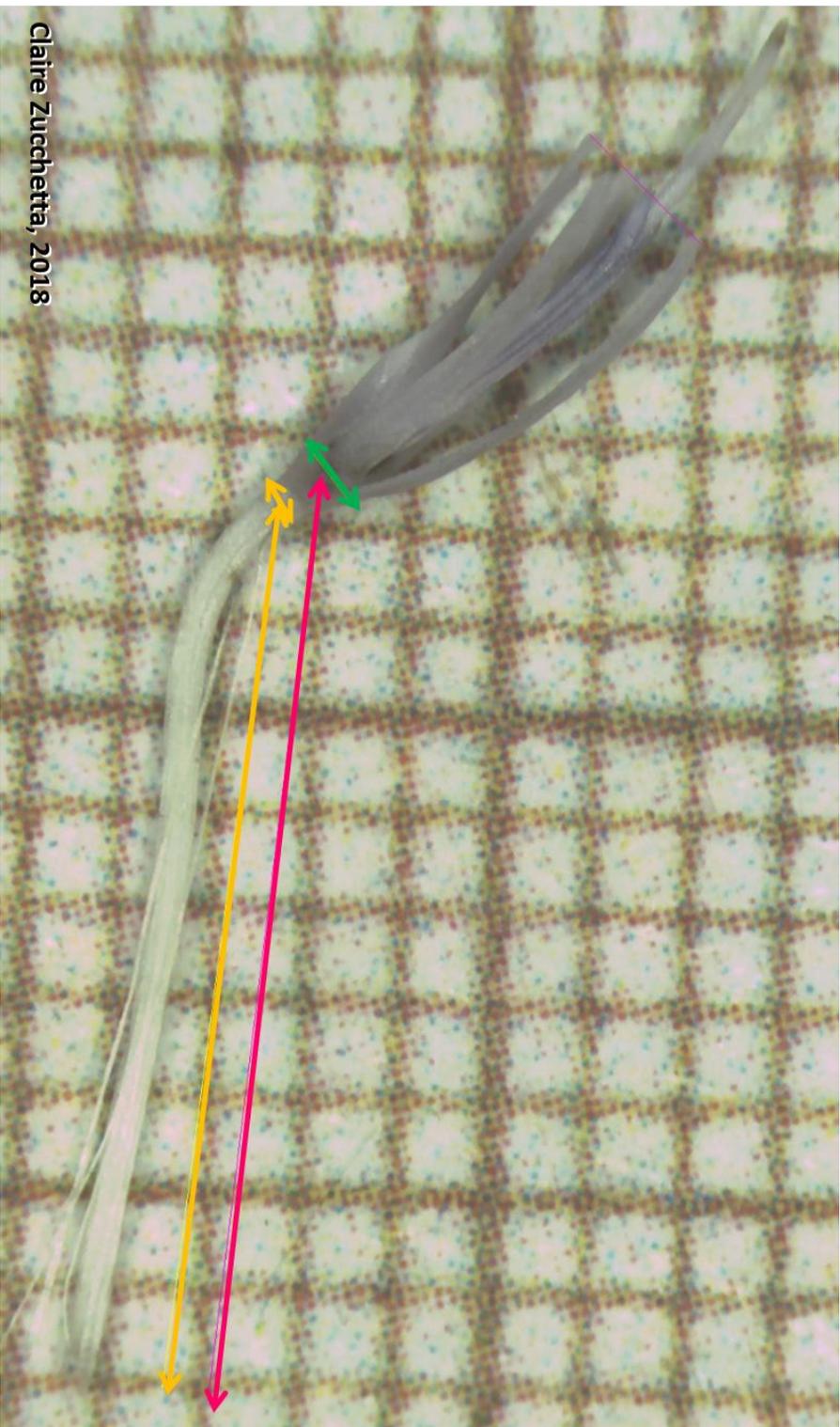
Nectar dans le tube floral, en dessous du renflement
Fleur tubulaire mesurée à la règle et détail sous la loupe



Claire Zucchetto, 2018

Cirsium arvense

Nectar au niveau du changement de couleur de la corolle, à l'insertion des étamines



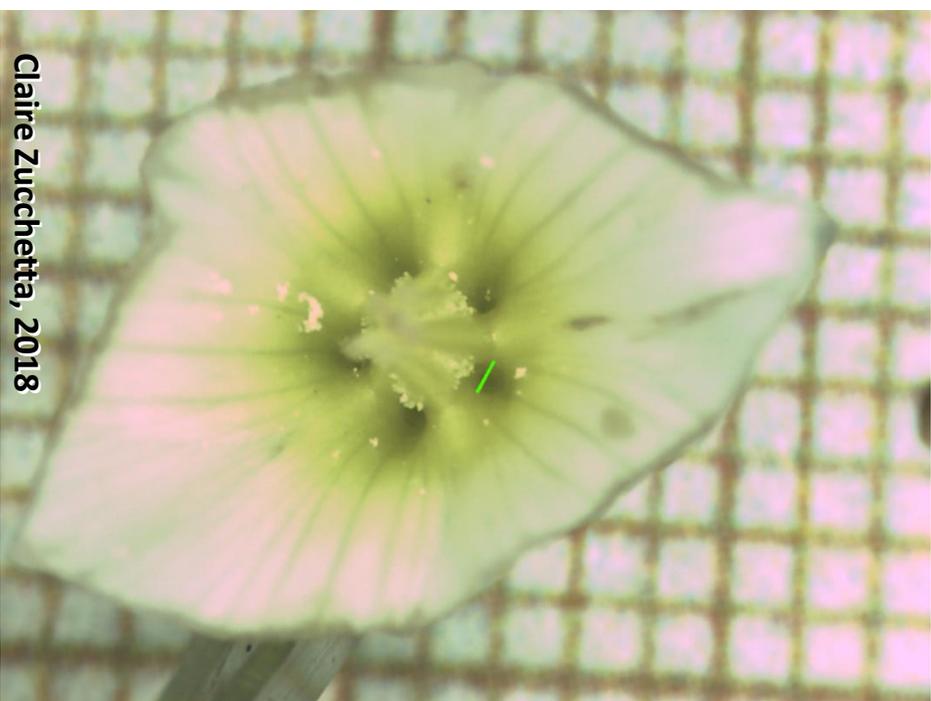
Claire Zucchetto, 2018

Convolvulus arvensis

Nectar dans cinq petite loges non communicatives
Pollen



Claire Zucchetto, 2018



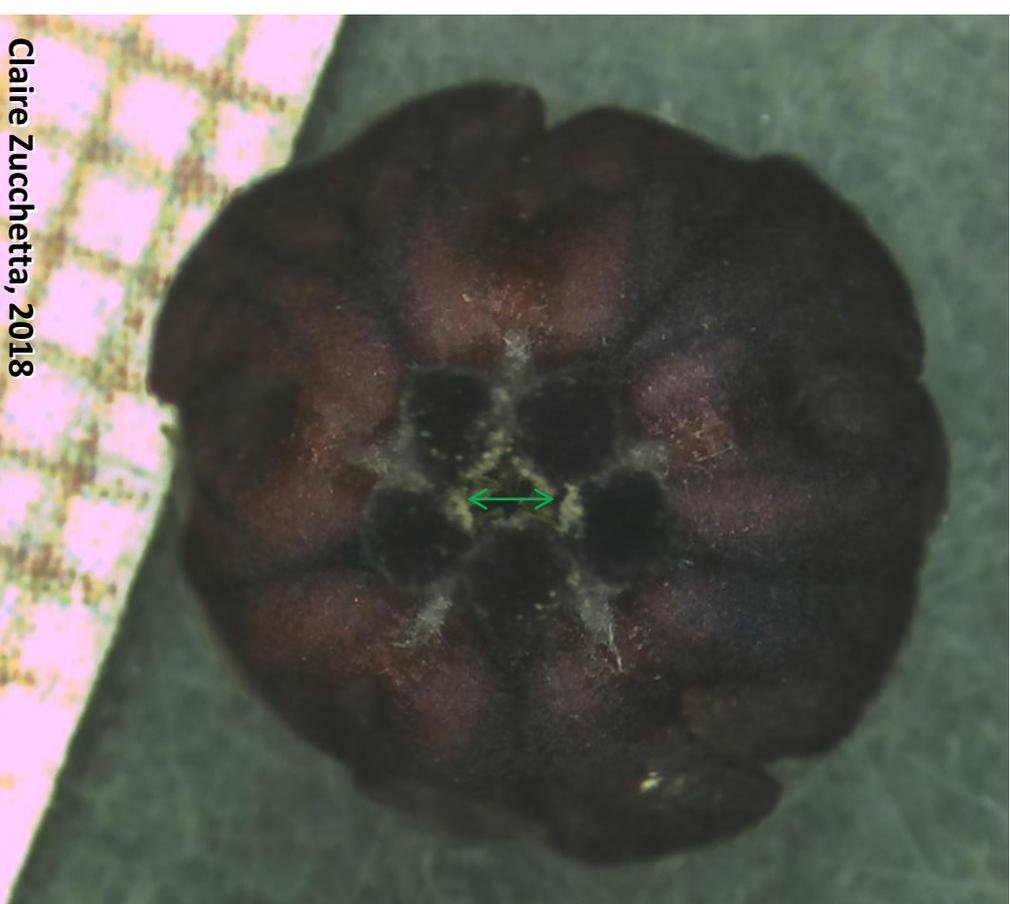
Claire Zucchetto, 2018

Cynoglossum officinale

Nectar en dessous de la soudure des étamines
Renflements des pétales bloquent accès



Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Daucus carota

Nectar en surface



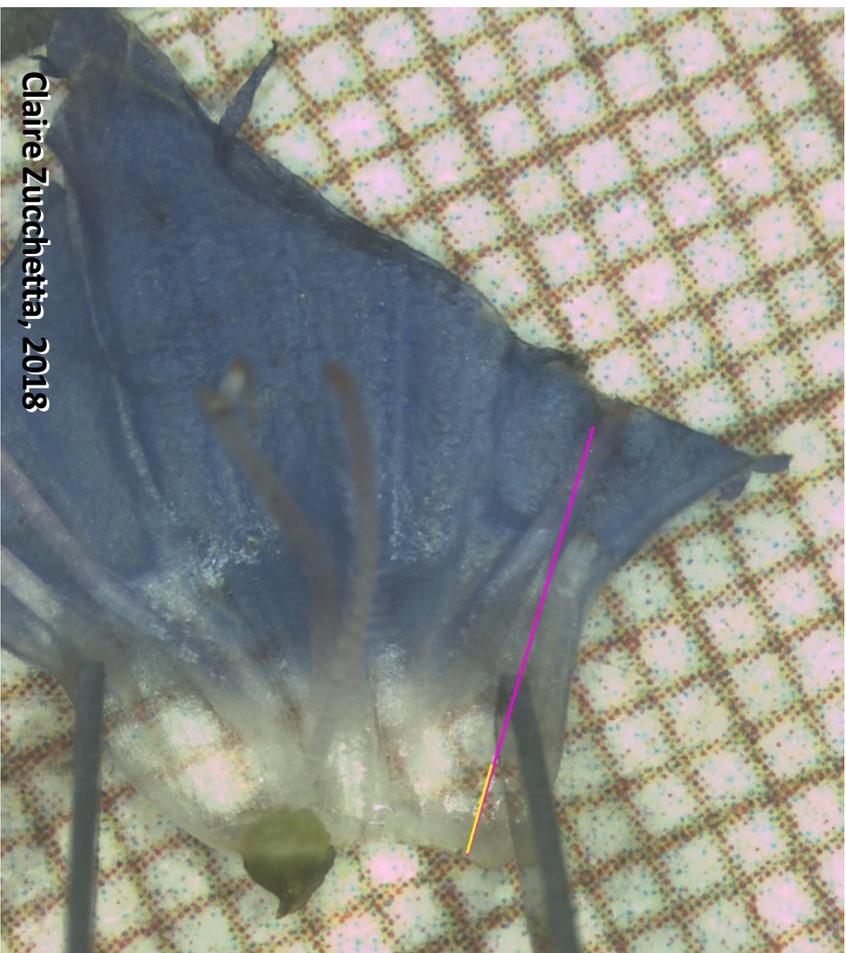
Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Echium vulgare

Nectar au fond de la corolle dans 3 loges
Présence d'une couronne de poils



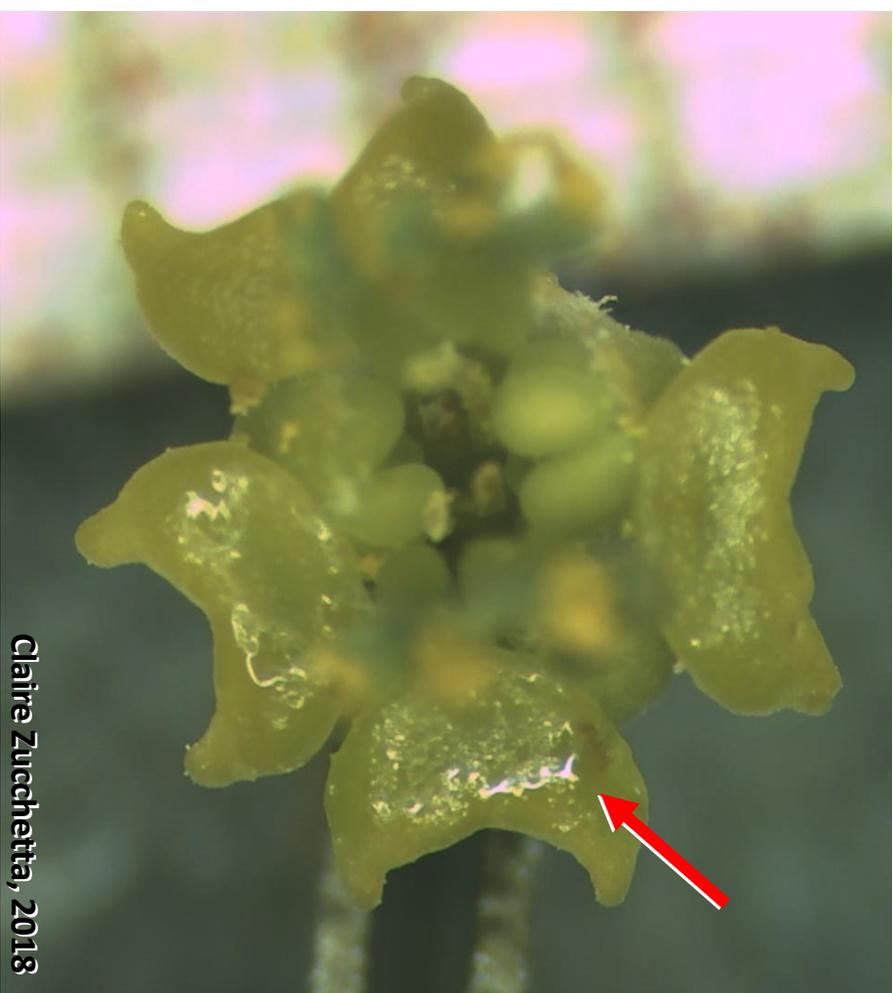
Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Euphorbia cyparissias

Nectar en surface



Clair Zucchetto, 2018

Euphorbia helioscopia

Nectar en surface



Claire Zucchetta, 2018

Galium aparine

Nectar en surface
Pollen



Claire Zucchetto, 2018

Galium mollugo

Pas de nectar observé



Claire Zucchetto, 2018

Geranium dissectum

Nectar à la base des pétales, côté sépale



Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Geum urbanum

Nectar entre les étamines,
à leur base

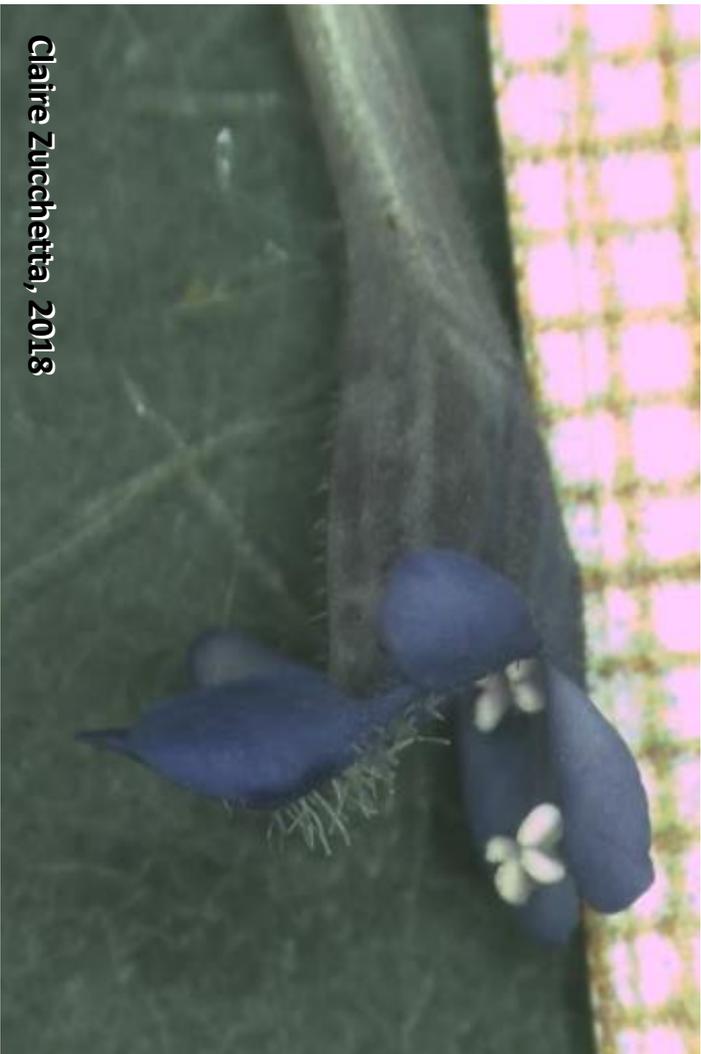


Claire Zucchetto, 2018

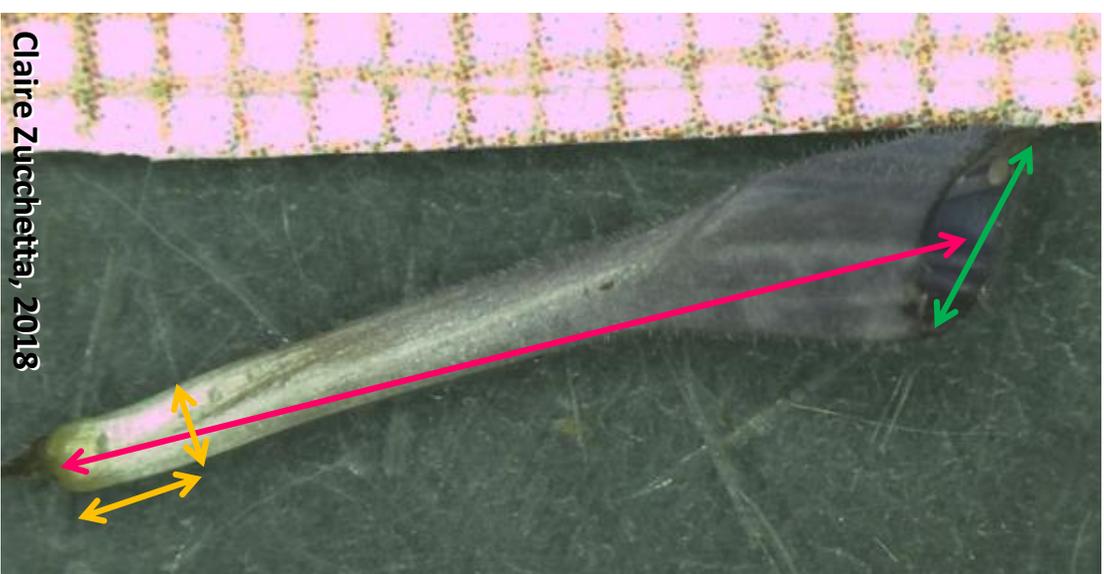
Glechoma hederacea

Beaucoup de nectar

Présence de poils à l'intérieur du tube floral



Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Heracleum sphondylium

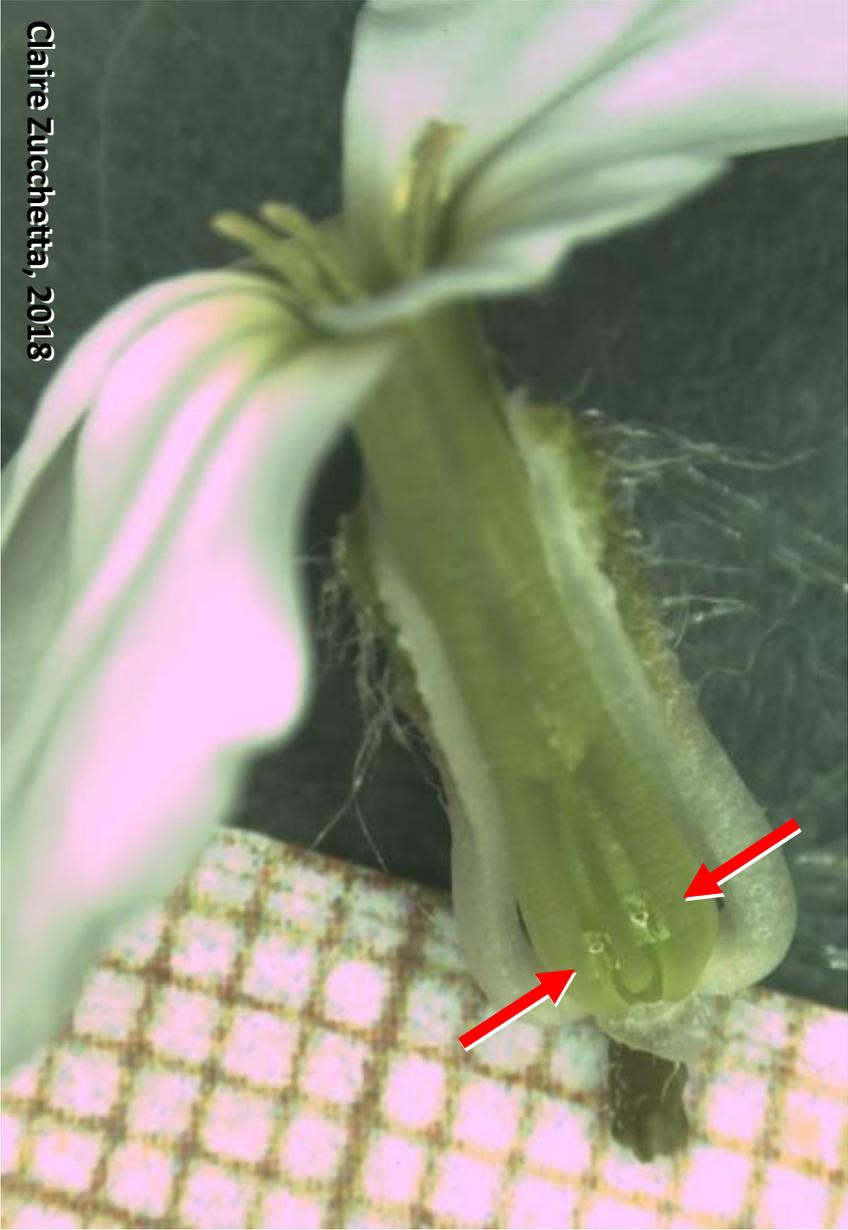
Nectar en surface



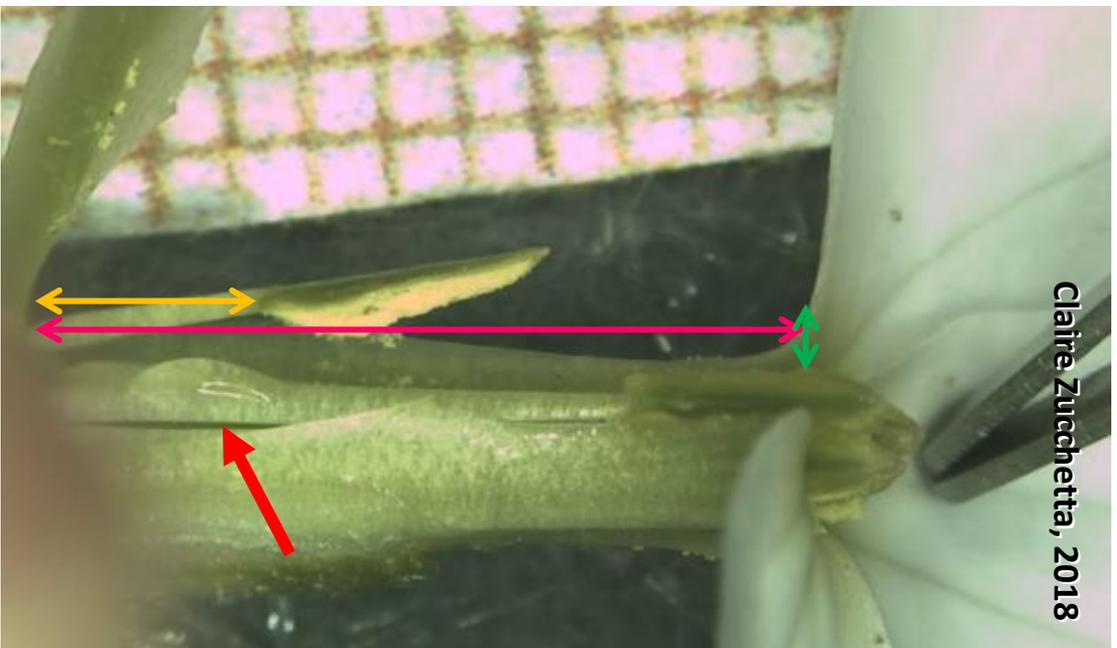
Claire Zucchetto, 2018

Hesperis matronalis

Nectar à la base des étamines



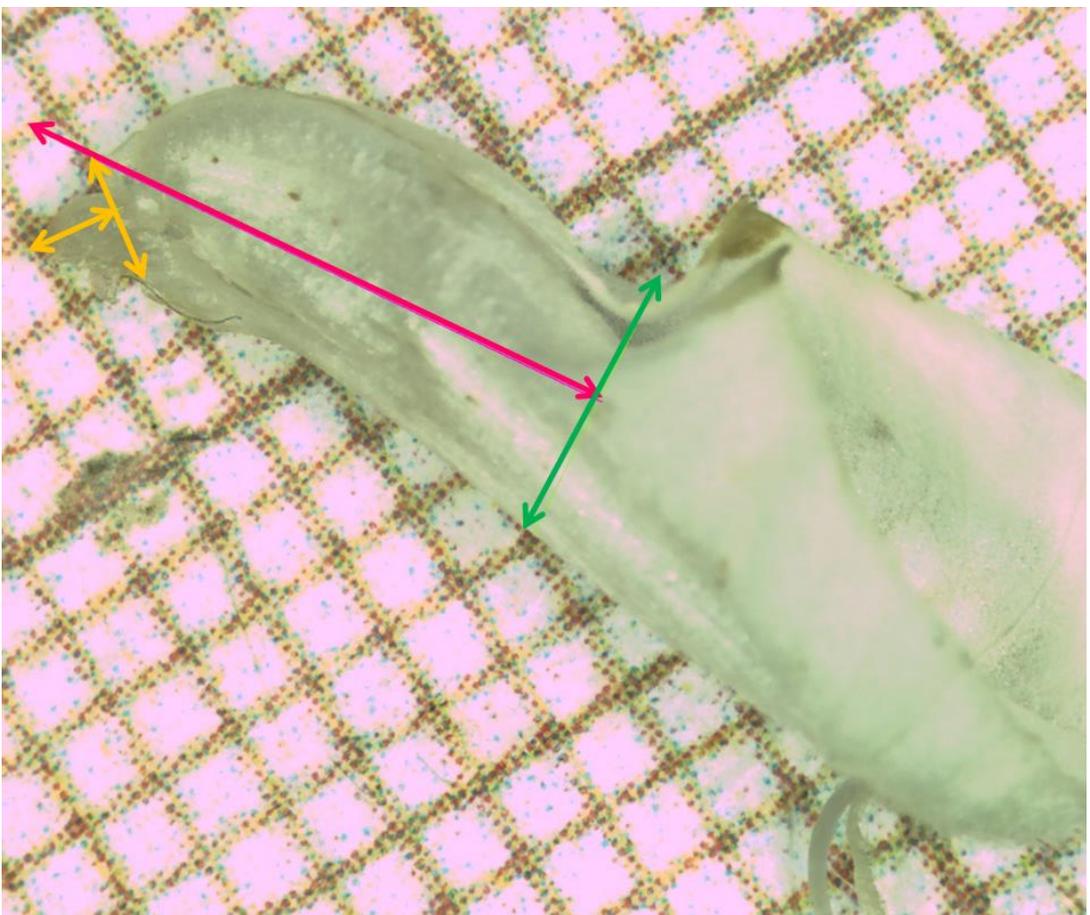
Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

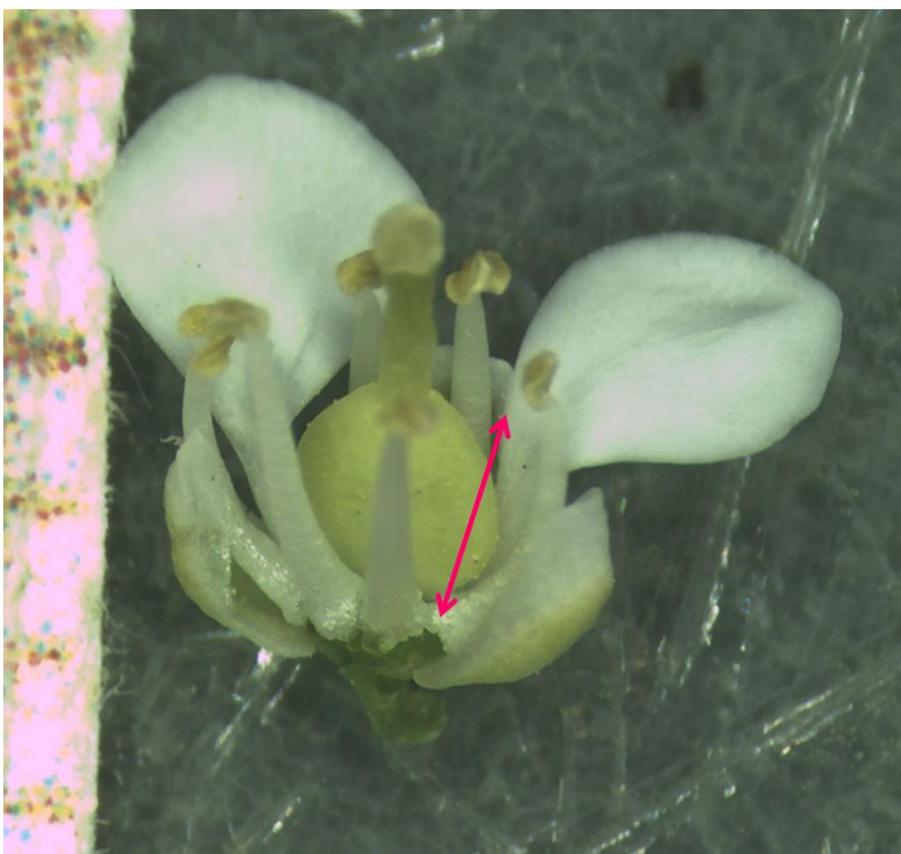
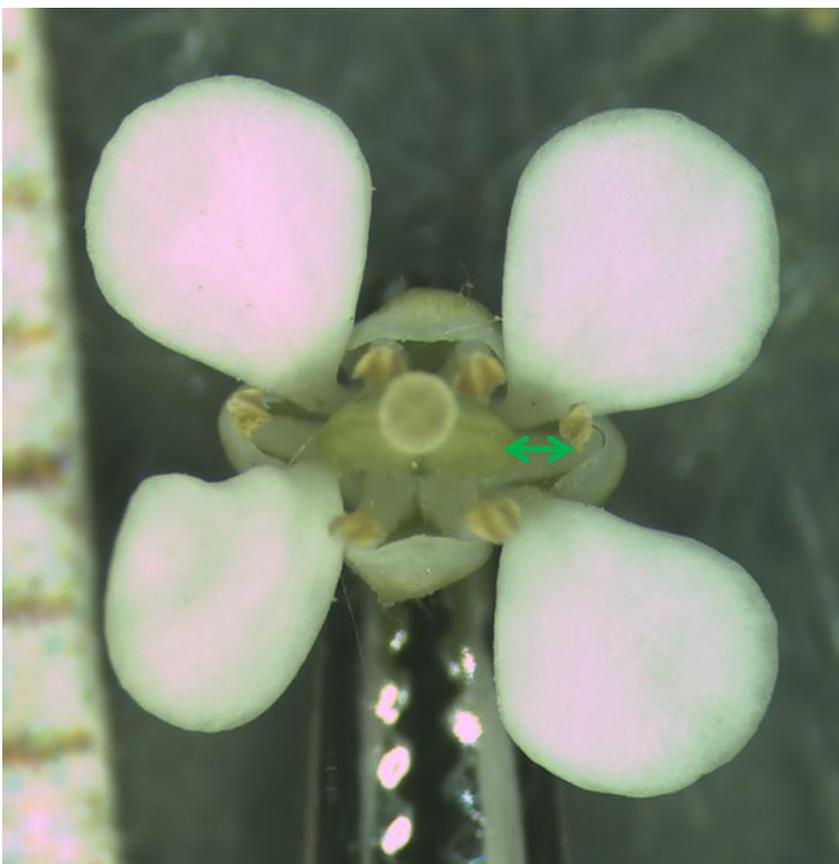
Lamium album

Nectar au fond de la corolle
Présence d'une couronne de poils



Lepidium draba

Peu de nectar observé (fond de corolle)



Leucanthemum vulgare

Nectar non observé
Nectar présent au rétrécissement de la corolle
(observations A. Gardarin)



Claire Zucchetta, 2018



Claire Zucchetta, 2018

Lotus corniculatus

Nectar au fond de la corolle



Claire Zucchetto, 2018

Malva sylvestris

Nectar entre les pétales : zone pileuse



Medicago lupulina

Nectar au fond de la corolle



Claire Zucchetto, 2018



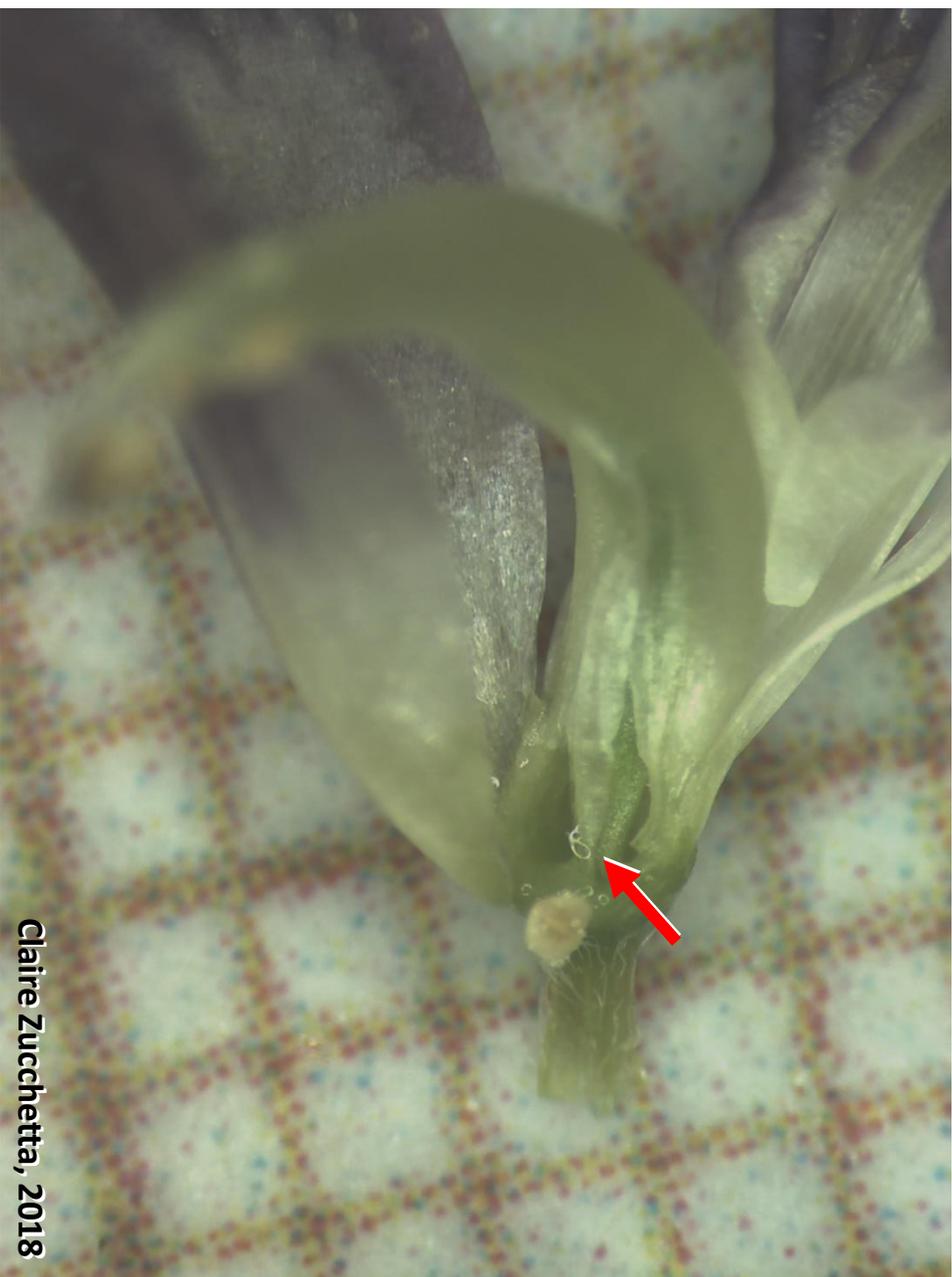
Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Medicago sativa

Nectar au fond de la corolle



Melilotus officinalis

Nectar au fond de la corolle



Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Myosotis arvensis

Nectar dans le tube floral, en dessous des renflements jaunes centraux



Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Onobrychis viciifolia

Pas de nectar observé



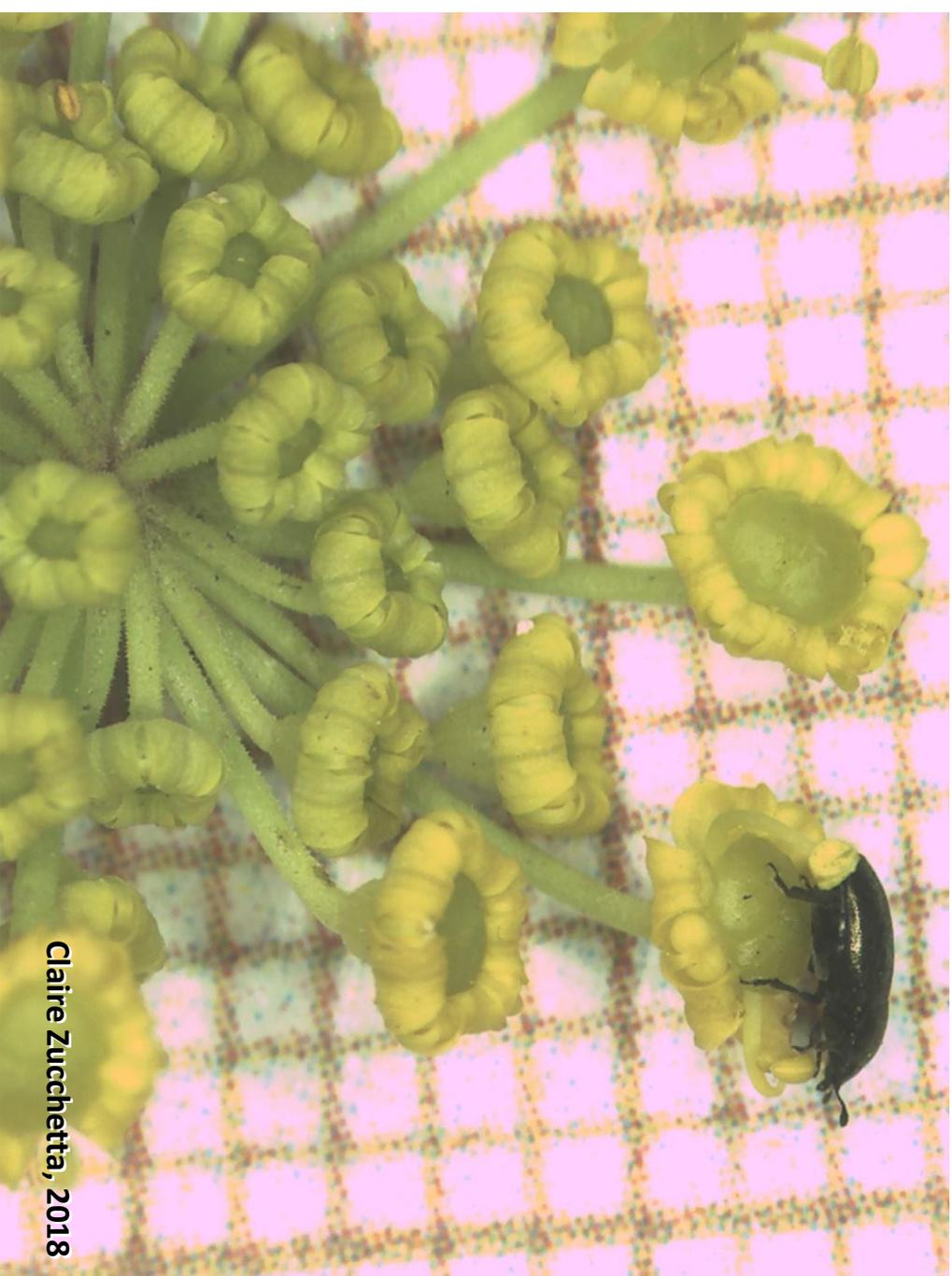
Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Pastinaca sativa

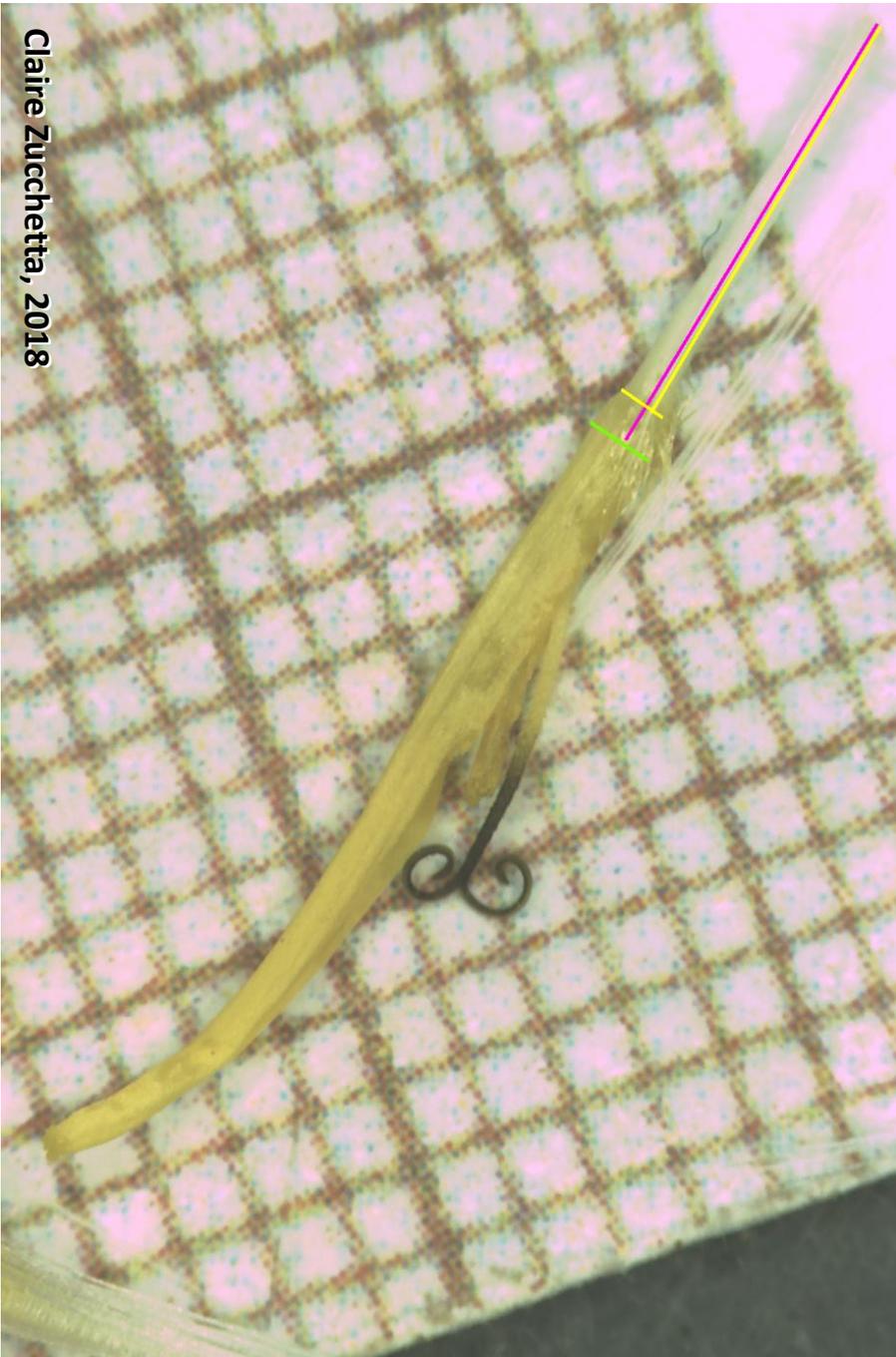
Nectar en surface



Claire Zucchetto, 2018

Picris echioides

Nectar à l'insertion des étamines



Claire Zucchetto, 2018

Securigera varia

Pas de nectar observé



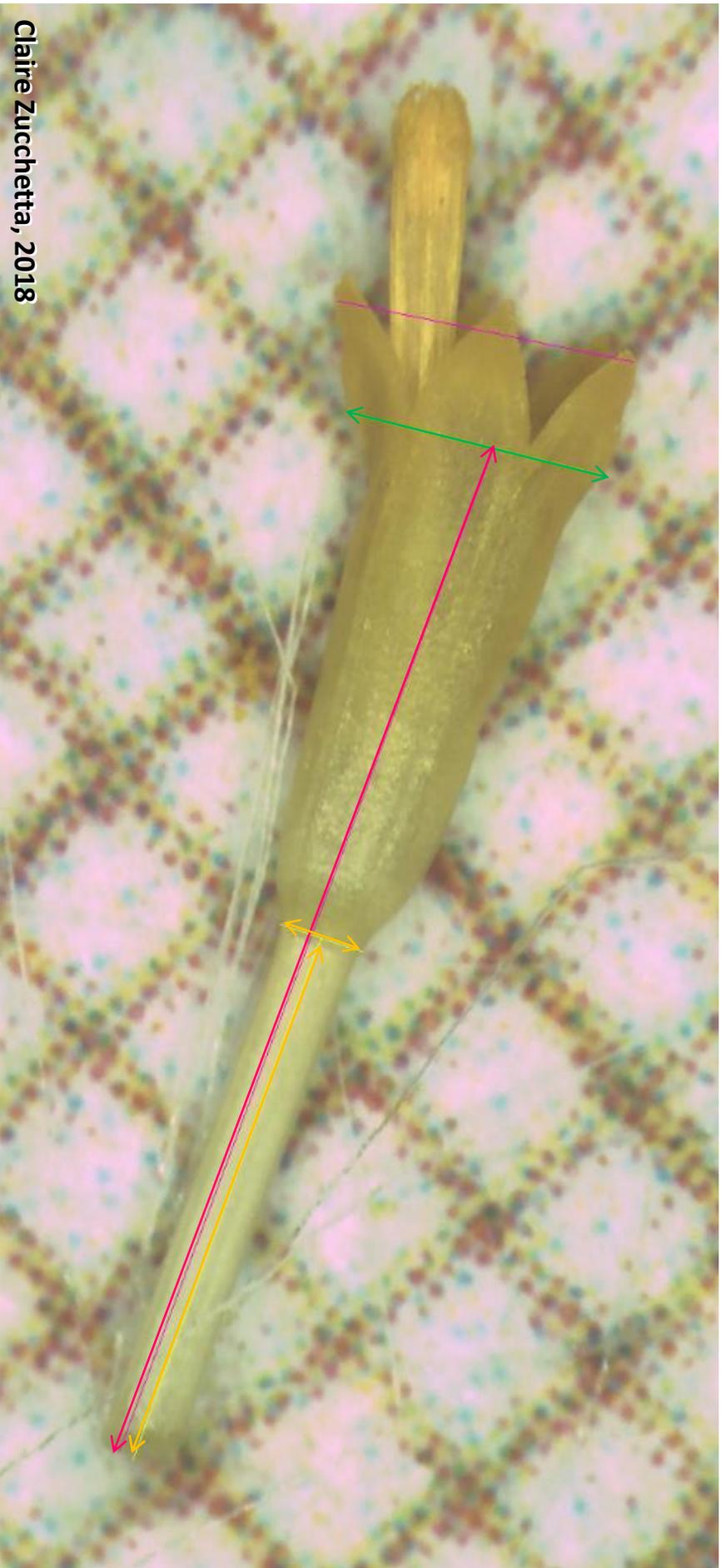
Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Senecio jacobaea

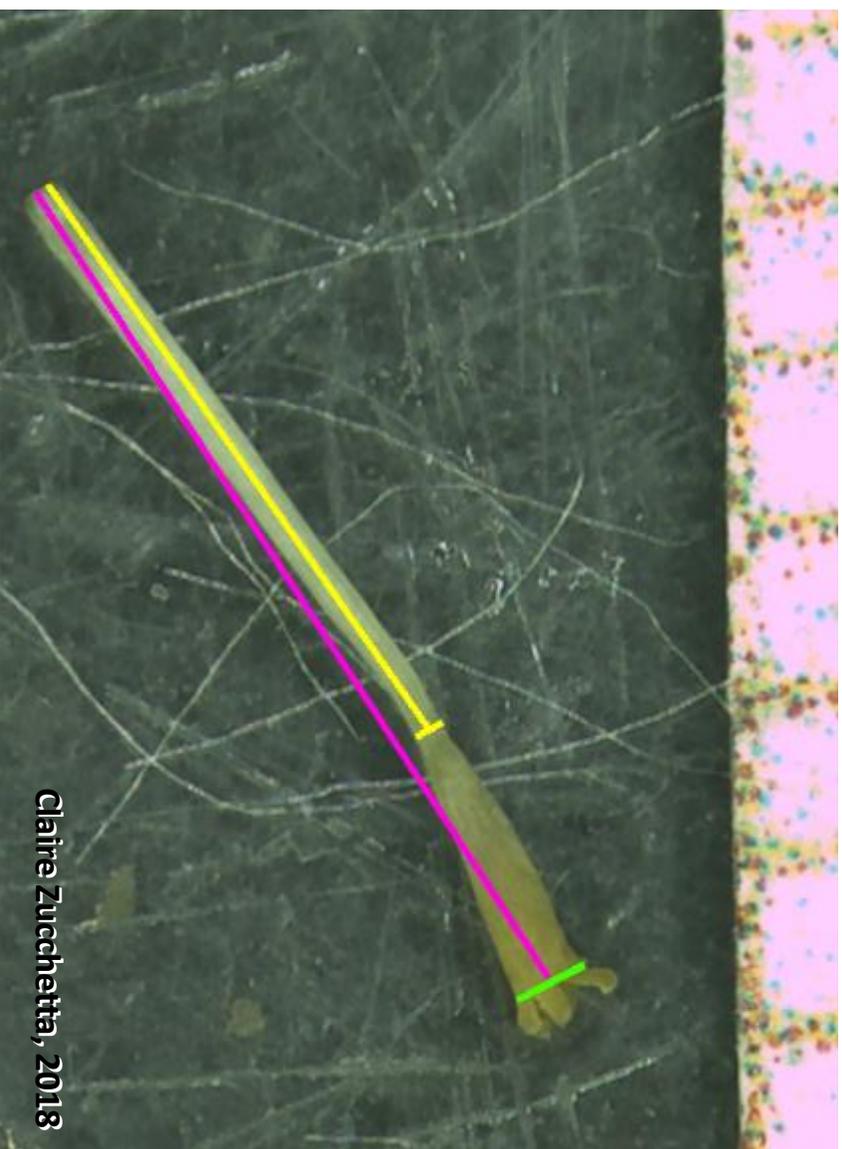
Nectar à l'insertion des étamines, au rétrécissement de la corolle



Claire Zucchetto, 2018

Senecio vulgaris

Nectar au niveau du rétrécissement de la corolle



Claire Zucchetta, 2018

Silene dioica

Nectar en dessous de l'étranglement de la corolle
Mesures non réalisées



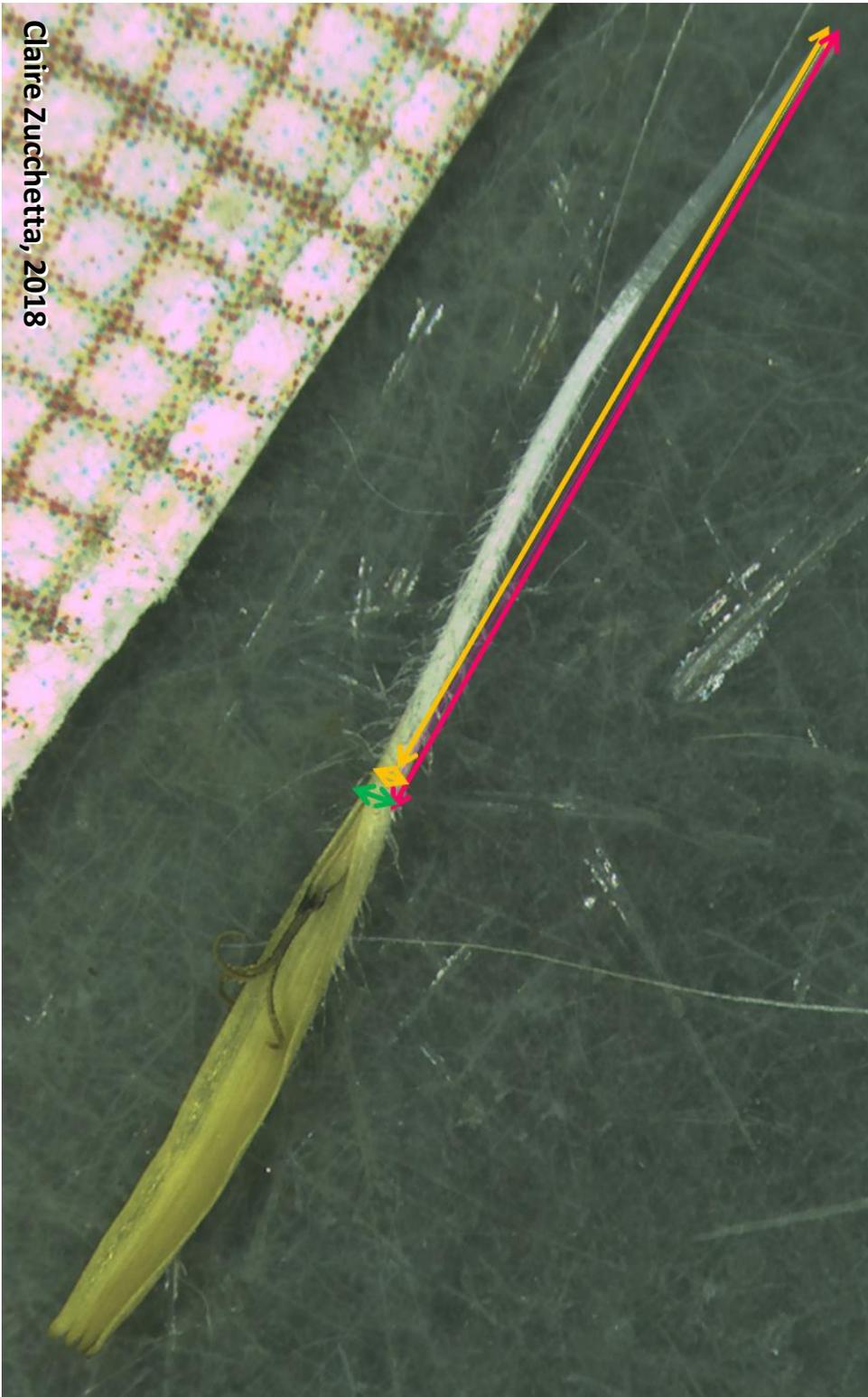
Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

Sonchus asper

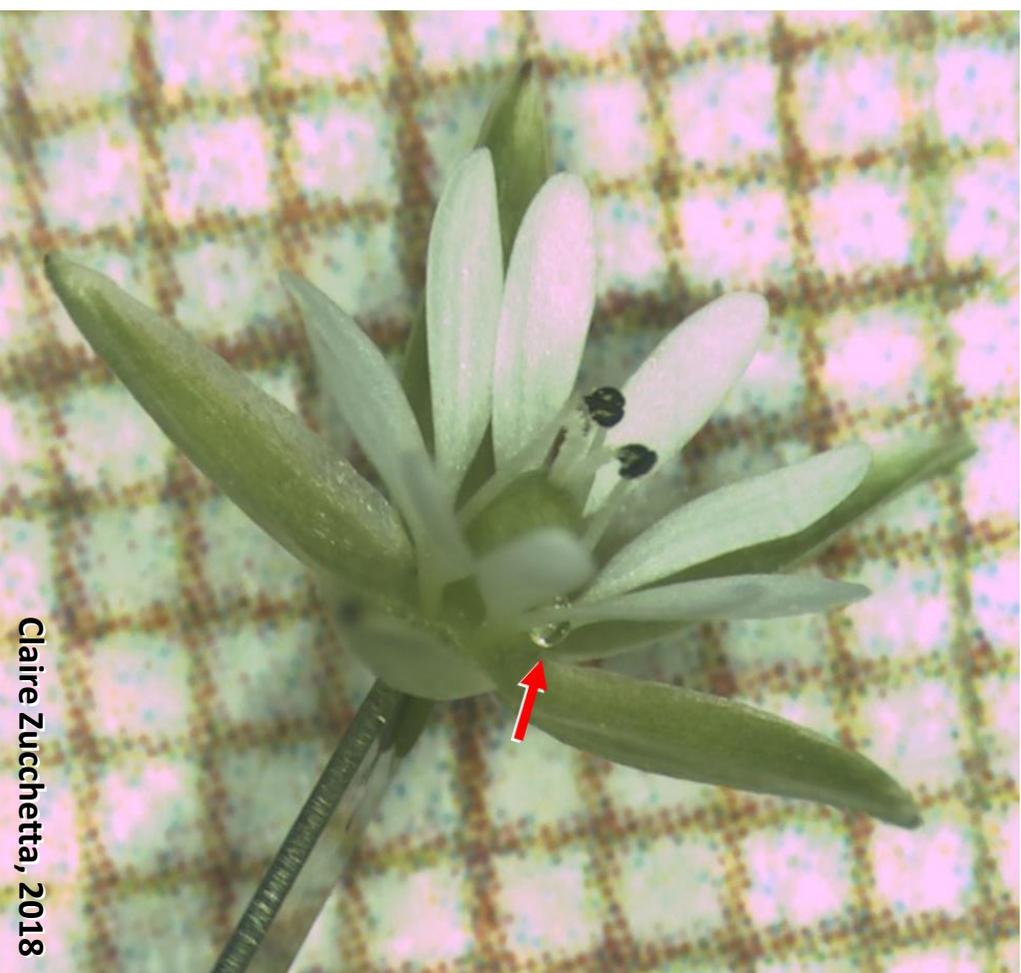
Nectar à l'insertion des étamines



Claire Zucchetto, 2018

Stellaria media

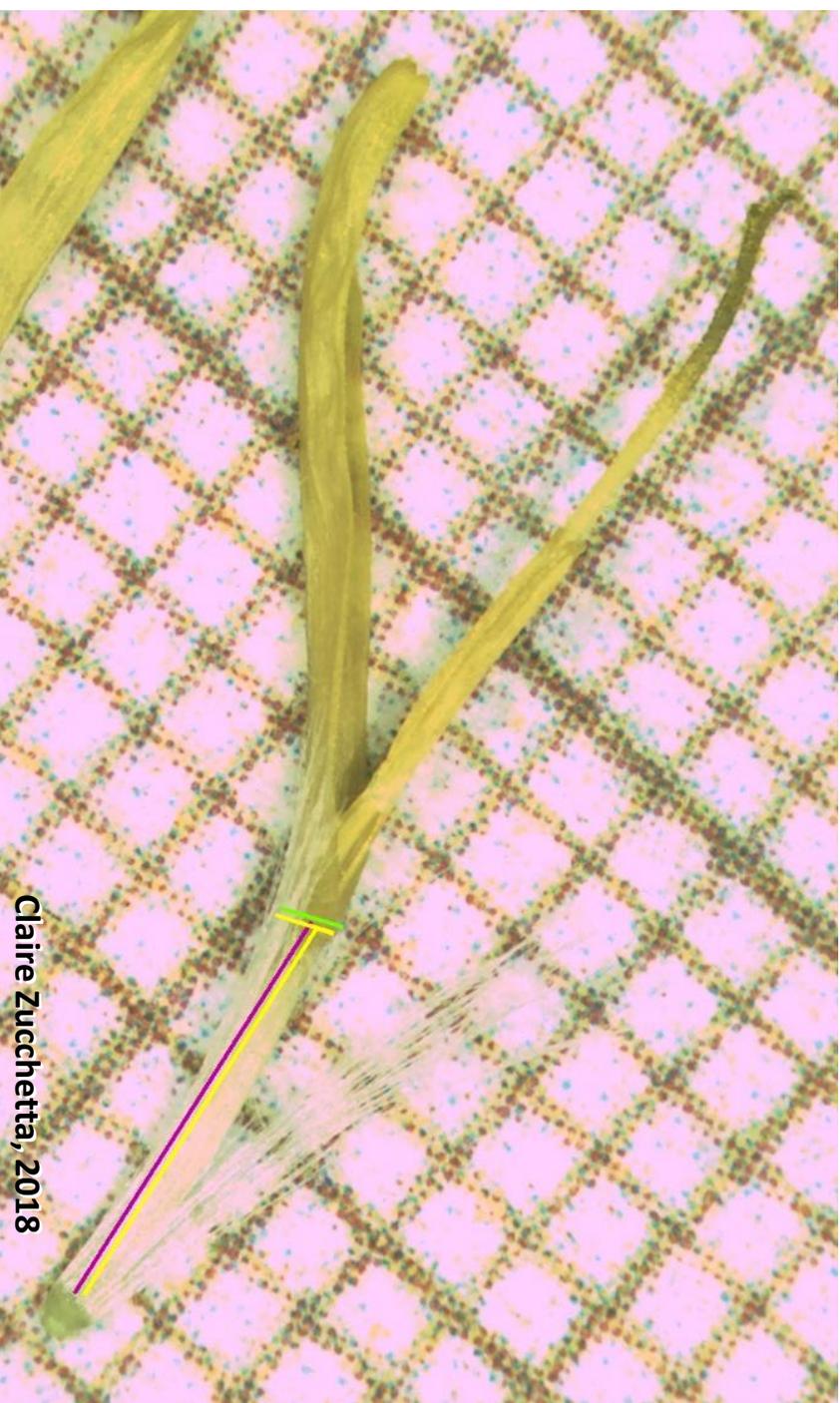
Nectar au coude de l'étamine
Pollen



Claire Zucchetta, 2018

Taraxacum officinale

Beaucoup de nectar au rétrécissement de la corolle



Claire Zucchetto, 2018

Trifolium pratense

Nectar au fond tu tube floral



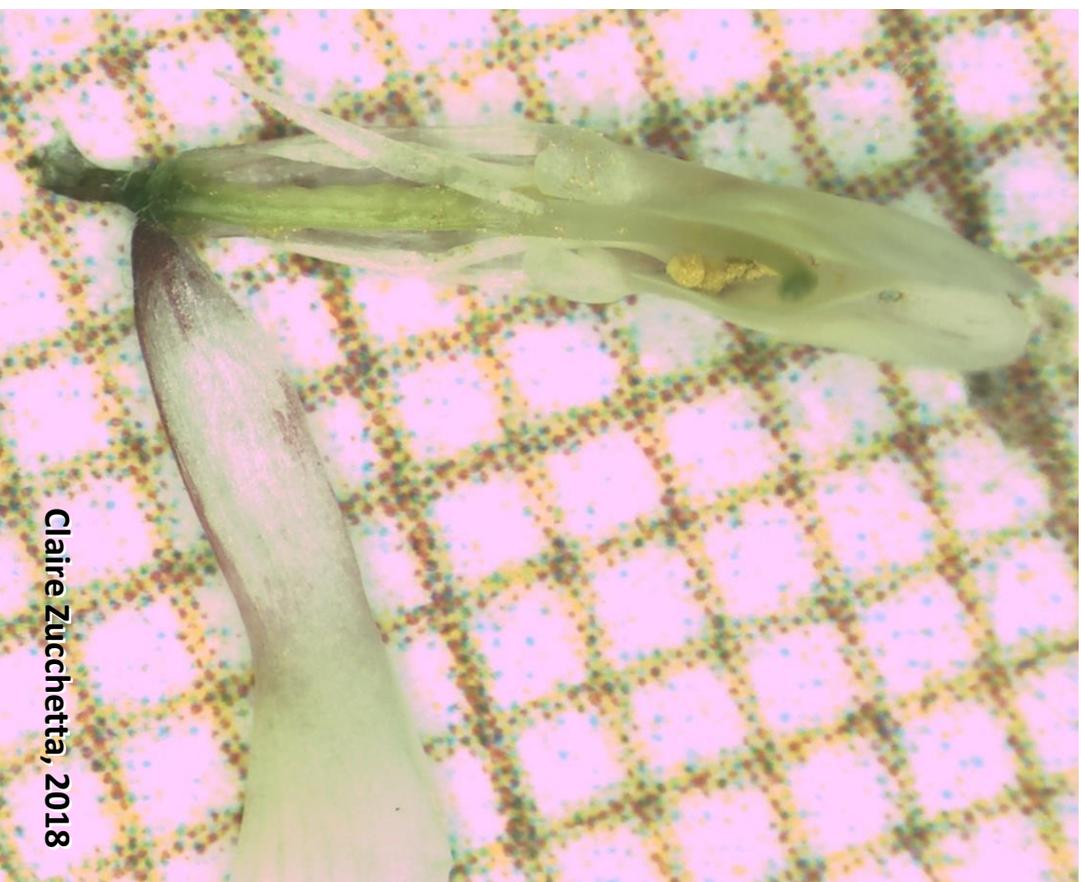
Claire Zucchetto, 2018

Trifolium repens

Nectar au fond de la corolle



Claire Zucchetto, 2018



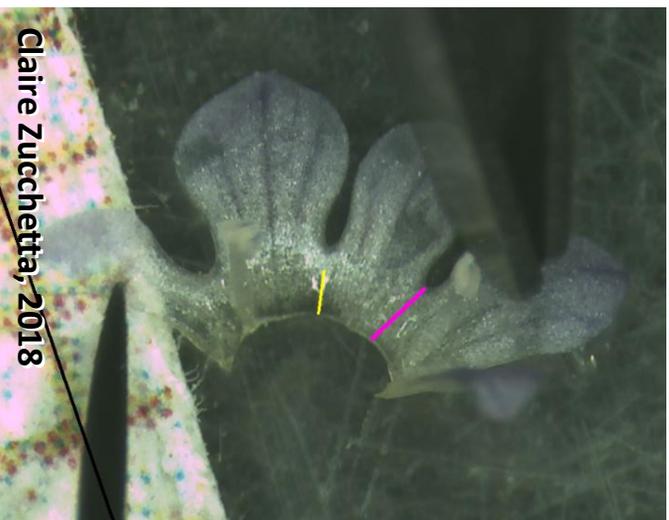
Claire Zucchetto, 2018

Veronica hederifolia

Nectar à la base des étamines (gouttes visibles)



Claire Zucchetta, 2018



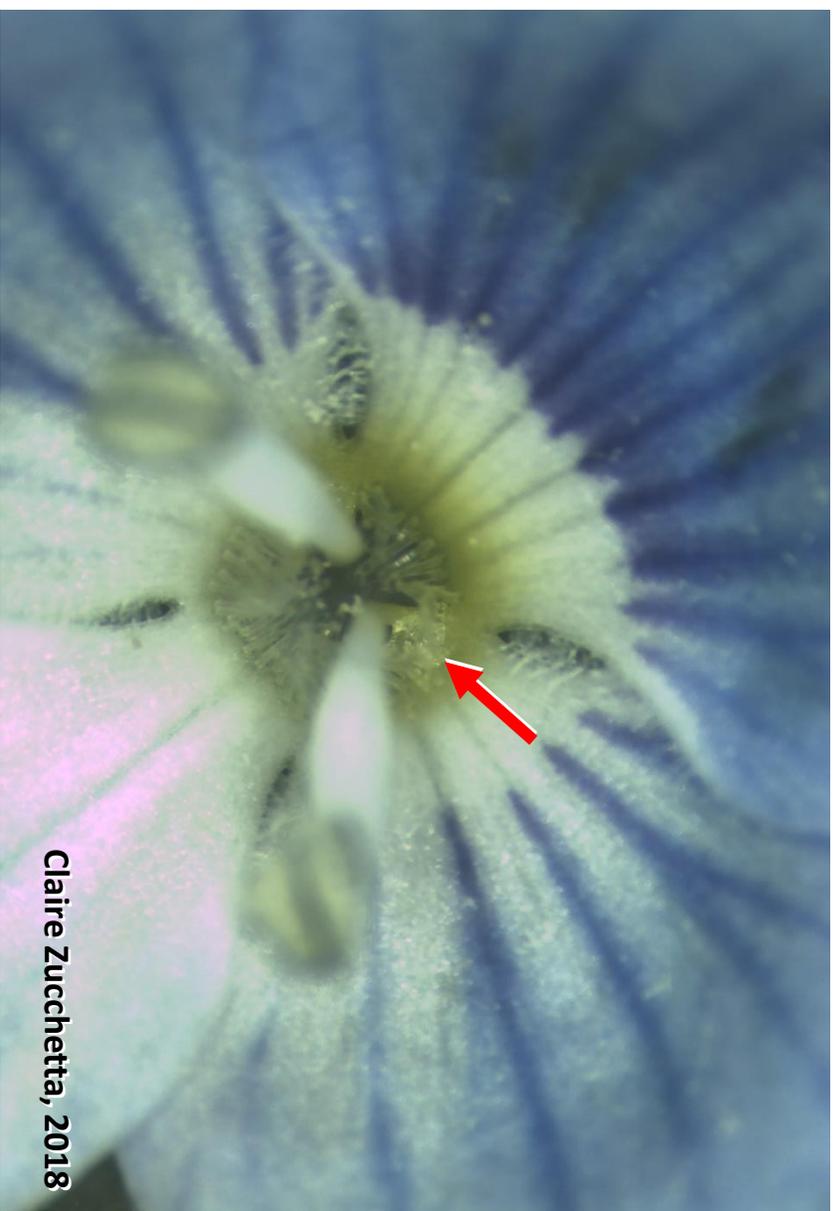
Claire Zucchetta, 2018



Claire Zucchetta, 2018

Veronica persica

Nectar à l'aisselle des étamines



Claire Zucchetto, 2018



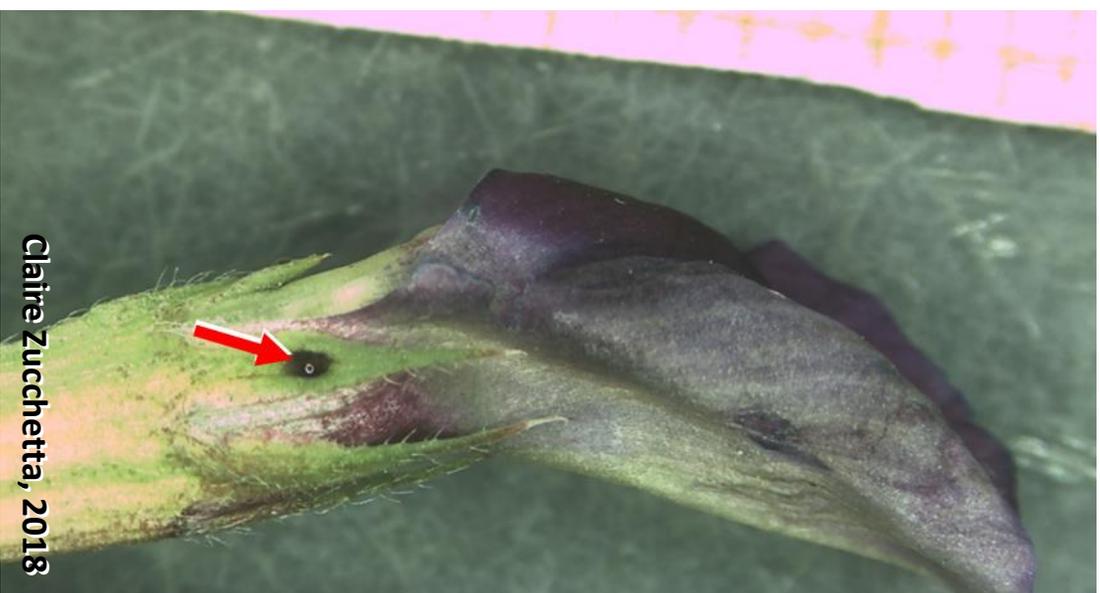
Claire Zucchetto, 2018

Vicia sativa

Nectar dans le tube floral
Nectar extrafloral sur les bractées



Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018



Claire Zucchetto, 2018

- « Vas y, regarde sur le té-cô comme on dit dans le milieu !
- Euh... On dit pas ça dans le milieu de l'entomologie, non. »

Formation Carabe – Orléans 2018



Diplôme : Ingénieur

Spécialité : Horticulture

Spécialisation / option : Protection des Plantes et de l'Environnement en Horticulture (PPEH)

Enseignant référent : Yann Tricault

Auteur : Claire Zucchetta

Date de naissance : 31/03/96

Nb pages : 61 **Annexes** : 53

Année de soutenance : 2018

Organisme d'accueil :

INRA Grignon – Unité Agronomie

Adresse : 1 Avenue Lucien Bretignières,
78850 Thiverval-Grignon

Maître de stage : Antoine Gardarin

Titre français : Implantation de mélanges floraux en bord de champ : Activité-densité des communautés de syrphes et étude de l'accessibilité du nectar des espèces florales semées

Titre anglais : Flower strips at field boundaries : Communities of hoverflies and nectar accessibility

Résumé

Huit mélanges fleuris de compositions botaniques différentes ont été semés en automne 2013. Des pièges cornets ont permis le suivi de l'activité-densité de la faune volante et particulièrement des syrphes. En 2017, les activités-densités dans les mélanges envahis par les graminées sont plus faibles que celles des mélanges où des espèces productrices de nectar se sont maintenues (*H. spondylium*, *A. millefolium*). Une nouvelle méthode d'étude de l'accessibilité du nectar est proposée, inspirée des travaux de Van Rijn et Wäckers (2016). Six espèces de syrphes ont été testées sur 36 espèces florales. La morphologie des fleurs influe sur l'accessibilité de leur nectar et les espèces de syrphes ne peuvent pas accéder aux mêmes fleurs, en fonction des dimensions de leur tête et de leur appareil buccal. Une des hypothèses était que le recouvrement en espèces produisant du nectar accessible a une influence sur les communautés de syrphes. Nous n'avons que partiellement répondu à cette question mais les données utilisables afin de poursuivre l'analyse sont disponibles. Des mesures sur les tailles de fleurs de 51 espèces florales sont aussi disponibles, première étape vers la compréhension de l'attractivité visuelle des mélanges.

Abstract

Eight mixes composed with different plant species have been sowed in Autumn 2013. Net-like traps allowed to follow flying arthropods activity and more specifically hoverflies. In 2017, mixes invaded by grass species had fewer individuals in the traps than mixes where nectar-producing species had maintained (*H. spondylium*, *A. millefolium*). A new method to study nectar accessibility is presented, inspired by Van Rijn and Wäckers (2016), Flower morphology affects their nectar accessibility and hoverflies species cannot access the same flowers, depending on their head and proboscis dimensions. One of the hypothesis was that the surface occupied by accessible nectar-producing species affects hoverflies communities. This question stays partially unanswered but all the data are available for further analysis. Data on flowers sizes of 51 species are available as a first step to understand the visual attractiveness of flower mixes.

Mots-clés : Bande fleurie, syrphes, accessibilité nectar, agroécologie, auxiliaires prédateurs

Key Words : Flower strips, hoverflies, nectar accessibility, agroecology, pest predators

