

DIAPLASCE 2

Diagnostic précoce et plantes de service
en cultures spécialisées
Année 2017 à 2019



Référent de l'essai : Tom Hebbinckuys

Contact : tom.hebbinckuys@astredhor.fr

Contexte et objectifs du projet :

Ce projet fait suite au projet Diaplasce (2014-2016) lauréat de l'appel à projet expérimentation des Pays de la Loire en 2014. Ce projet vise à poursuivre la mise au point de méthodes de production réduisant fortement voire annulant l'usage des pesticides tout en étant très performant économiquement et ce grâce à l'usage de plantes de service. Notre station est spécialisée en entomologie agricole et notamment dans la recherche de plantes de service et dans la conception d'itinéraires de production utilisant celles-ci. Les méthodologies et séquences de travail utilisées sont validées, robustes et efficaces. Le concept de plantes de service, en partie défini et approfondi par notre station, peut-être extrêmement efficace et concurrencer largement l'efficacité et le faible coût de l'usage des pesticides. Diaplasce 1 a permis de définir notamment des itinéraires utilisant des plantes-à-pollen contre acariens phytophages ou encore des plantes-pièges contre thrips.

Le projet Diaplasce 2 vise à travailler sur des ravageurs émergents en production pour lesquels aucunes solutions satisfaisantes n'existent (otiorhynque en pépinière de pleine-terre et en espaces verts ; chenille *Duponchelia* en ornement sous serre et « thrips marcheurs » (*Heliothrips*, *Echinothrips*...) en pépinière).

Tâches générales à effectuer durant le projet :

Le tableau ci-dessous est issu de l'appel à projet. Il présente l'état des connaissances bibliographiques et techniques pour chaque bio-agresseur travaillé (seules les actions des cases écrites en orange ou rouge sont travaillées dans ce projet) :

	Action	1- <i>Duponchelia</i> <i>fovealis</i>	2- <i>Heliothrips</i> <i>haemorrhoidalis</i>	3- <i>Otiorhynchus</i> <i>sulcatus</i>
Tâche 1	Mobilité	A compléter (périodes des vols)	Acquis	Acquis
	Taux de croissance	A acquérir	A compléter	A valider (modélisation de la date d'émergence)
	Plantes-hôtes	Acquis	Acquis	Acquis
Tâche 2	Spectre d'auxiliaires	Acquis	A valider pour la France	Acquis
	Biologie des auxiliaires principaux	Acquis	A compléter	N/A
Tâche 3	Choix et sélection de la plante de service	A acquérir	A acquérir	Acquis
	Sélection des pièges et phéromones	A acquérir	N/A	N/A
Tâche 4	Mise au point de l'itinéraire et évaluation	A acquérir	A acquérir	A acquérir

- *Duponchelia fovealis* : En raison d'un élevage au rendement insuffisant, le taux de croissance de *Duponchelia* n'a pas été évalué par nos soins. Mais de la bibliographie

plus approfondie a permis de faire correspondre les différentes données trouvées et ainsi de prendre comme base les éléments de la bibliographie. Le reste des tâches a bien été effectué comme prévu dans le calendrier prévisionnel. Les phéromones efficaces sont identifiées ainsi que le meilleur type de piège à coupler à l'utilisation de ces phéromones. Un grand nombre d'espèce de plantes-pièges a été testé mais la plante de service la plus adaptée et optimale n'est toujours pas identifiée de façon claire. La mise au point de l'itinéraire innovant est toujours en cours car tous les éléments acquis à ce jour ne nous permettent pas de proposer un itinéraire suffisamment robuste et sans risque aux producteurs. Ce projet nous a même permis d'identifier un auxiliaire spontané non encore référencé, à savoir *Campoletis crassicornis* (hyménoptère parasitoïde). Celui-ci, retrouvé chez plusieurs producteurs semble avoir une action non négligeable dans le contrôle de *D. fovealis*.

- *Heliothrips haemorrhoidalis* : Globalement, les tâches prévues ont été réalisées conformément aux prévisions. Seule la partie biologie des auxiliaires principaux est moins fournie que prévue en raison d'un départ chez l'un de nos partenaires, ce qui a rendu celui-ci moins impliqué que prévu dans le projet. Cette partie a alors été compensée par une partie « évaluation in-vitro de l'efficacité de nématodes entomopathogènes ».
- *Otiorhynchus sulcatus* : Cette partie a été travaillée comme prévu dans l'appel à projets. Le producteur ayant accueilli l'essai utilise désormais chaque année notre méthode mise au point à l'aide de plantes de services (en l'occurrence le *Bergenia cordifolia* agissant en tant que plante-piège).

Evaluation des moyens de régulation des populations de *Duponchelia fovealis*

Maxime DUPONT

Licence professionnelle « *Gestion de la santé des plantes* »

Année 2017-2018



Organisme d'accueil : AREXHOR Pays de Loire, LES-PONTS-DE-CE (49)

Maître de stage : M. HEBBINCKUYS Tom, chargé d'expérimentation

Enseignant-tuteur : M. JALOUX Bruno, enseignant-chercheur en entomologie

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont donné l'opportunité de vivre cette expérience et qui m'ont accompagné durant ce stage.

Tout d'abord, je tiens à remercier Alain Ferre, directeur technique de la station, de m'avoir accepté au sein de son équipe, avec simplicité et ouverture d'esprit.

Merci à Maud et Guillaume, pour leur confiance qu'ils m'ont témoignée lors des différents travaux menés au sein des essais. Merci à Sabrina de m'avoir fait découvrir le projet qu'elle a mené avec brio. Merci à Julie, pour les nombreux basilics qu'elle nous a laissés afin de préparer du pesto à foison.

Merci à mes collègues apprenties et stagiaires : Diane, Louise et Imane pour les moments que nous avons partagés ensemble. Pardonnez-moi de vous avoir arrosé durant la sortie kayak.

Je souhaiterais également remercier le personnel du BHR pour leur gentillesse et leur sympathie. Un remerciement particulier pour Isabelle, l'agente d'entretien, pour être arrivée chaque fin d'après-midi avec joie et bonne humeur.

Concernant le projet en lui-même, je tiens à remercier les personnes qui m'ont accordé leur temps précieux : Denis Bellenot, responsable phytochimie-normalisation à l'ITEIPMAI, Robin Tourte, technicien horticole à Fleuron d'Anjou. Ces remerciements s'adressent également aux producteurs notamment à Jean-Yves Gaignard, pour sa disponibilité et son écoute attentive.

Un grand merci à Tom, mon maître de stage, pour sa disponibilité, ses relectures attentives, ses précieux conseils et son humour. Heureusement que les appels téléphoniques entre bureaux sont gratuits. Merci également à Bruno Jaloux, enseignant-tuteur de ce stage pour ses conseils avisés.

Pour finir cette longue liste de remerciements, je tiens à remercier Claire et Florence pour leur soutien indéfectible durant cette année de licence.

Table des matières

TABLE DES ABREVIATIONS	2
GLOSSAIRE	3
I. PREAMBULE	4-5
II. INTRODUCTION	5-6
III. BIBLIOGRAPHIE	7-10
A. CARACTERES MORPHOLOGIQUES	7
B. PIEGEAGE / MONITORING.....	8
C. SPECTRE D'ENNEMIS NATURELS ET/OU DISPONIBLE EN FRANCE.....	9
D. PLANTES DE SERVICES POSSIBLES.....	10
IV. MATERIELS ET METHODES	10-14
A. ETUDE DES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES DE <i>D. FOVEALIS</i>	10
B. EVALUATION DES MOYENS DE PIEGEAGE : CAS DES PHEROMONES	11
C. EVALUATION DES PLANTES DE SERVICES : TESTS D'ATTRACTIVITE.....	12
V. RESULTATS.....	14-17
1. <i>Identification d'un hyménoptère parasitoïde spontané</i>	14
2. <i>Une évaluation étendue des phéromones</i>	14
3. <i>Tests d'attractivité</i>	16
VI. DISCUSSION.....	17-19
VII. CONCLUSION.....	20-21
BIBLIOGRAPHIE	22-23
SITOGRAPHIE.....	24
ANNEXES	25-30

Note : Les sigles suivis par « * » sont définis dans la liste des abréviations.
Les mots suivis par « * » sont définis dans le glossaire.

Table des abréviations

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

AREXHOR PDL : Agence régionale pour l'expérimentation horticole Pays-de-la-Loire

ASTREDHOR : Association nationale des structures d'expérimentation et de démonstration en horticulture

BHR : Bureau horticole régional

BPE : Bonnes pratiques d'expérimentation

COFRAC : Comité français d'accréditation

ETP : Equivalent temps plein

IRHS : Institut de recherche en horticulture et semences

ITEIPMAI : Institut technique des plantes à parfum, médicinales et aromatiques

LabCom ESTIM : Laboratoire commun d'évaluation des stimulateurs des plantes

OSB : Oriented strand board

PVC : Polychlorure de vinyle

Glossaire

Biostimulants : les biostimulants se définissent comme des substances et/ou des micro-organismes dont la fonction, lorsque appliqués aux plantes ou à la rhizosphère, est la stimulation des processus naturels qui favorisent/améliorent l'absorption ou l'utilisation des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, la qualité ou le rendement de la culture, indépendamment de la présence de nutriments.

Phéromones : signaux chimiques odorants agissant à grande distance à dose moléculaire, moyen de communication chez les insectes. Les « pièges à phéromones » sont composés d'un attractif (un analogue de synthèse de la phéromone naturelle de la femelle du ravageur), et d'un système assurant la capture des mâles.

Plantes de services : plantes disposées avant ou pendant une culture, dans ou autour, et qui apportent un ou des avantage(s) à celle-ci. Ceux-ci peuvent porter sur la qualité des sols ou le contrôle des bio-agresseurs (adventices, maladies ou ravageurs). Ces plantes ne sont pas destinées à la vente.

Confusion sexuelle : méthode de lutte employée afin de perturber la phase de rapprochement des papillons mâles et femelles par émission de phéromones synthétiques en grande quantité. Ces phéromones reproduisent la substance naturelle émise par la femelle afin d'attirer les mâles. Dans l'atmosphère saturée en phéromone, les mâles sont incapables de localiser les femelles, de ce fait, les accouplements sont moins nombreux.



Localisation
AREXHOR PDL

Figure 1 : Cartographie des différents bassins
ASTREDHOR (Crédit : Astredhor)

I. Préambule

Dans le cadre de la licence professionnelle Gestion de la Santé des Plantes, j'ai réalisé un stage à l'AREXHOR* Pays de Loire, station d'expérimentation spécialisée en horticulture ornementale, basée au cœur du bassin Angevin (Maine-et-Loire). Elle a pour principal objectif de mettre au point des méthodes de culture ou de protection permettant de réduire significativement l'usage des produits de synthèse tout en préservant la rentabilité des productions.

Créée en 2009, la station est une partie intégrante de l'Institut technique ASTREDHOR*. Ce dernier regroupe un total de dix stations d'expérimentation, réparties dans différents bassins de production au sein de la France (figure 1). Des programmes nationaux et régionaux sont conduits de manière coordonnée au sein de l'Institut. Chaque station a ses propres spécialités : celles de l'AREXHOR PDL* sont tournées vers l'entomologie agricole, la recherche de plantes de services, l'évaluation des effets des micro-organismes, biostimulants et stimulateurs de défenses des plantes, l'étude des effets des éclairages LED sur le développement des plantes ainsi que les alternatives aux herbicides. Cette station est agréée BPE (accréditation COFRAC*), ce qui lui confère une image de qualité auprès des adhérents à la station.

La station dispose de quatre employés permanents (4 ETP*) : un directeur technique (FERRE Alain), deux chargés d'expérimentation (TRAGIN Maud et HEBBINCKUYS Tom) ainsi qu'un technicien d'expérimentation (GOANVIC Guillaume). Afin de renforcer son effectif lors des périodes d'essais, elle accueille des personnes en contrat à durée déterminée ainsi que des étudiants en stage ou bien en apprentissage.

Les producteurs qui adhèrent à la station ont également une adhésion au BHR* ou à Fleuron d'Anjou. Le BHR est une structure de conseils et de services aux entreprises horticoles du secteur. Il partage ses locaux avec l'AREXHOR. Fleuron d'Anjou est une coopérative se chargeant de la commercialisation des végétaux issus des producteurs. Les autres partenaires sont des entreprises, centres de recherche, lycées agricoles, en lien avec les différents essais conduits par la station.

Afin de pouvoir réaliser des essais en bonne et due forme, la station s'est tournée vers des prestations de services, comme par exemple l'identification entomo-

-logique, la vente d'auxiliaires, les formations (sur les méthodes alternatives, les ravageurs et leurs auxiliaires), des essais d'homologation de produits phytosanitaires (grâce à l'agrément BPE*) ainsi que des essais privés de recherche et développement. Par ailleurs, face à la demande croissante des producteurs en nouvelles méthodes de gestion des productions, l'AREXHOR PDL a orienté ses recherches sur les produits biostimulants avec la création d'un laboratoire commun avec l'IRHS* : LabCom ESTIM*. L'objectif de ce laboratoire est de mettre au point des méthodes et outils innovants d'évaluation des stimulateurs des plantes.

C'est dans cette station de recherche appliquée que j'ai choisi d'effectuer ce stage de fin d'études afin d'appréhender au mieux l'expérimentation et de découvrir plus amplement les bénéfices liés à l'utilisation de plantes de services.

II. Introduction

Avec la mondialisation des échanges, de nouveaux bio-agresseurs sont apparus au sein des productions françaises ces dernières années. Afin de diminuer la pression parasitaire de ces derniers, de nombreux moyens de lutte sont à la disposition des producteurs, mais les retours d'expérience sont très contradictoires. L'usage de produits phytosanitaires se heurte à la politique du développement durable : « répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » (Rapport Brundtland). Le biocontrôle reste l'une des pistes les plus prometteuses pour répondre à ces besoins.

Le biocontrôle est défini comme un ensemble de méthodes de protection des cultures basées sur le recours à des organismes vivants ou des substances naturelles [1]. L'utilisation de plantes de services* comme méthode de biocontrôle permet, entre autres, de manipuler le comportement des insectes par exemple en attirant et maintenant les auxiliaires spontanés ou en faisant sortir les ravageurs des cultures. L'AREXHOR PDL a mené de 2014 à 2016 le projet DIAPLASCE 1 (diagnostics précoces et plantes de service pour les cultures spécialisées) qui avait pour objectif de mettre au point de méthodes de production réduisant fortement voire annulant l'usage des pesticides tout en étant très performant économiquement. Cette performance a pu être possible grâce à l'usage de plantes de services pour aider au contrôle des ravageurs et réduire les coûts.



Figure 2 : *Duponchelia fovealis*
(Crédit : AREXHOR PDL)



Figure 3 : *Heliothrips haemorrhoidalis*
(Crédit : AREXHOR PDL)



Figure 4 : *Otiorhynchus sulcatus*
(Crédit : AREXHOR PDL)



Figure 5 : Dégâts de *D.fovealis*
sur *Kalanchoe blossfeldiana*
(Crédit : AREXHOR PDL)

Le projet DIAPLASCE 2 fait suite au projet DIAPLASCE 1. Il porte sur la connaissance et la gestion de trois ravageurs : *Duponchelia fovealis* Z. (figure 2) et *Heliothrips haemorrhoidalis* B. (figure 3), ravageurs émergents, et *Otiorrhynchus sulcatus* F. (figure 4). Dans ce dossier, seule l'étude sur le lépidoptère polyphage, *D. fovealis* a été développée. Il s'attaque à des cultures à forte importance commerciale. Les chenilles sont responsables de flétrissements en creusant des galeries dans les tiges mais aussi en se nourrissant de jeunes feuilles tendres ainsi que de racines (figure 5).

Les objectifs du projet concernant *D. fovealis* sont multiples : dans un premier temps, ses caractéristiques biologiques ont été étudiées pour déterminer sa fécondité ainsi que sa durée de développement en fonction des températures. Ensuite, une analyse des phéromones* a été effectuée. Étant donné que la station travaille sur l'utilisation de plantes de services, des tests ont été réalisés afin d'identifier une plante de service potentielle. Dans notre cas, dans la mesure où le ravageur est polyphage et mobile, ce sont principalement des plantes-pièges qui ont été étudiées. Le principe de plantes-pièges repose sur la différence d'attractivité de certaines plantes par rapport à un ravageur. Une plante-piège doit être plus attractive, attrayante pour le ravageur que la culture elle-même. Cela permet une détection précoce du ravageur, le regroupement des populations et facilite le contrôle par des méthodes spécifiques, les plus respectueuses possible de l'environnement (Ferre, 2011). Les zones de gestion du ravageur sont plus restreintes et de ce fait, moins coûteuses à gérer. Pour finir, la performance et la compatibilité des moyens de lutte entre eux seront étudiées ultérieurement afin de répondre aux problèmes liés au contrôle des populations. L'ensemble de ces objectifs ne pourra être atteint en une seule année, de ce fait, cette étude s'échelonnera sur une période de trois ans.

Afin de comprendre au mieux l'importance de l'étude de ce ravageur émergent, la première partie de ce rapport sera consacrée à un état des lieux sur les différents travaux déjà menés. Une seconde partie présentera les différents matériels et méthodes pour chacun des objectifs réalisés. Ensuite, les résultats des différentes évaluations seront décrits. Suite à cela, la discussion permettra de comparer les résultats obtenus avec ceux issus de la bibliographie. Enfin, la conclusion synthétisera les réponses apportées à la problématique et présentera les limites de l'étude ainsi que les perspectives d'évolution.

Tableau 1 : Classification de *D. fovealis*

Classification	
Règne	Animalia
Embranchement	Arthropoda
Classe	Insecta
Ordre	Lepidoptera
Super-famille	Pyraloidea
Famille	Crambidae
Sous-famille	Spilomelinae

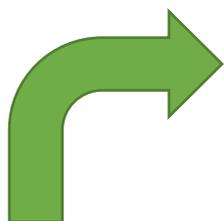


Figure 6 : Œufs de *D. fovealis*
(Crédit : AREXHOR PDL)

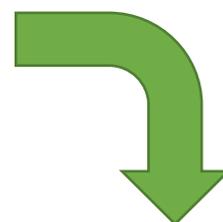


Figure 9 : Dimorphisme sexuel de l'adulte
(Crédit : J. HAYDEN)



Figure 7 : Larve de *D. fovealis*
(Crédit : L. BUSS, Université de Floride)



Figure 8 : Chrysalide de *D. fovealis*
(Crédit : J. HAYDEN, Florida Department of
Agriculture and Consumer Services)



III. Bibliographie

Duponchelia fovealis [Lepidoptera : Crambidae] est principalement rencontrée en culture de poivron, il est donc couramment dénommé par la communauté scientifique « European Pepper Moth » (traduction : pyrale du poivron). Il occasionne des dégâts considérables sur une large gamme de plantes hôtes, même aquatiques, et est responsable d'importantes baisses de rendement sur culture de fraise en Turquie et au Brésil notamment (Brambila J. & Stocks I., 2010). Depuis quelques années, sa présence en France augmente : il s'attaque à des cultures ornementales importantes : *Cyclamen persicum*, *Kalanchoe blossfeldiana*, *Euphorbia pulcherrima*, causant des problèmes esthétiques (feuilles déformées, grignotées, tiges forées).

A. Caractères morphologiques (d'après Poidtaz *et al.*, 2014 [2])

Les œufs sont pondus en isolés ou en couches superposées, groupés de 5 à 10. Ils peuvent se situer : à la face inférieure (voire supérieure) des feuilles proches de la tige (figure 6), à la base de la plante ou à la surface des paillages plastiques. Ils mesurent environ 0,5 mm de diamètre, sont rouge-rosâtre puis foncent petit à petit. L'éclosion varie entre 5 à 9 jours à 20°C (Stocks & Hodges, 2013).

La chenille possède une tête sombre, noire, comme les quatre points situés derrière la capsule de la tête. Le long de la surface dorsale du corps, se trouvent également des paires de points foncés. Les chenilles possèdent quatre paires de fausses pattes. Elles ont une taille qui varie – vers la fin de leur développement - entre 20 et 30 mm de long et sont d'une couleur blanche crème à brune (figure 7). Elles se nourrissent de tissus frais, situés souvent à l'intérieur de la plante, mais toujours à proximité du sol (Efil *et al.*, 2014).

La nymphose (chrysalide) se produit dans un cocon, dans des endroits abrités, sous les feuilles basses proches du sol, ou directement dans le sol (figure 8). Leur taille fluctue entre 9 à 12 mm de long, de coloration jaune-brun.

Les adultes sont marron, avec une ligne blanche ondulée nettement visible sur l'aile antérieure. Leur envergure est de 9 à 12 mm. Ils sont reconnaissables à la partie terminale de leur long abdomen, qui se courbe vers l'avant de façon presque verticale. Il existe un dimorphisme sexuel : l'abdomen des mâles est souvent plus long et plus fin que celui des femelles (figure 9). La femelle peut pondre jusqu'à 200 œufs au cours de sa vie (Jackel *et al.*, 1996).

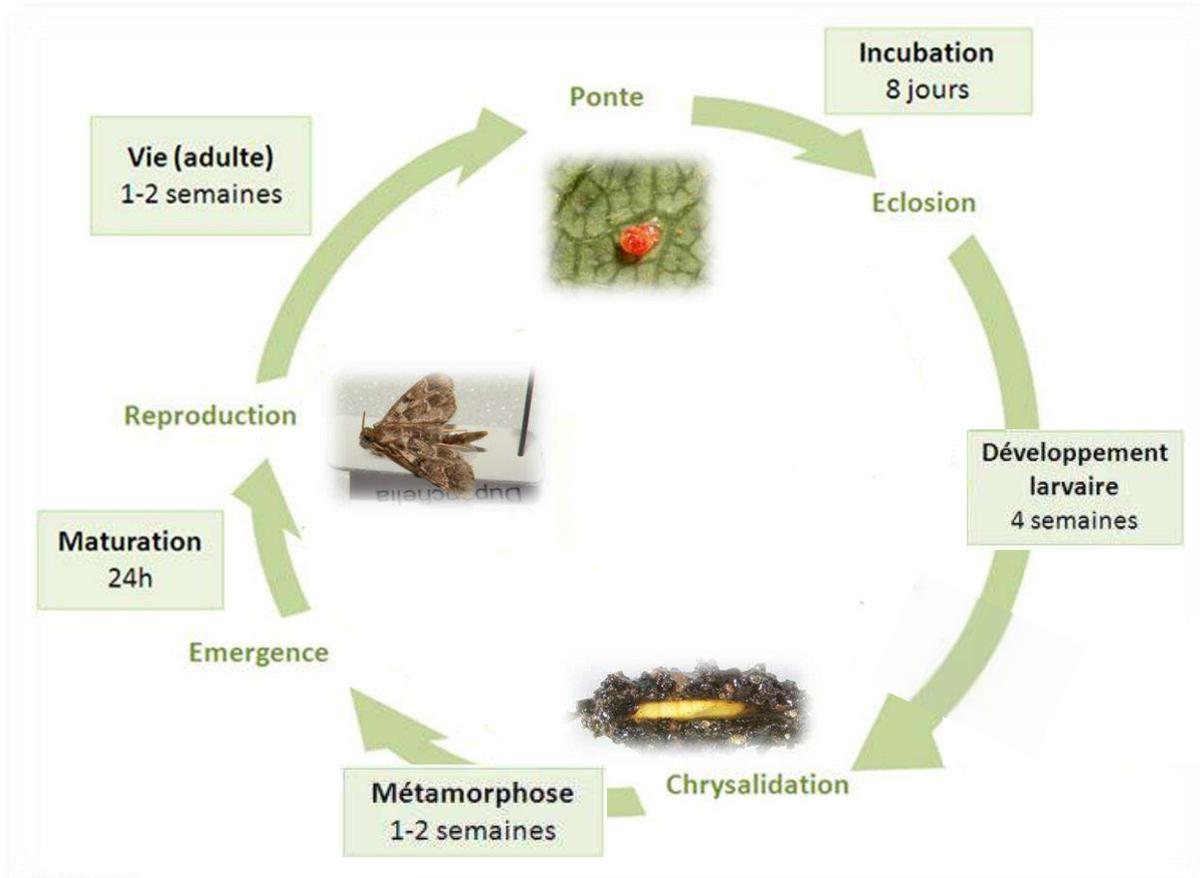


Figure 10 : Cycle de développement de *D. fovealis* (Crédit : J. POIDTAZ modifié par M. DUPONT)

Tableau II : Durée de développement pour chaque stade en fonction des températures (données de larves mortes exclues)

Temperature (°C)	First	Second	Third	Fourth	Fifth	Pupae	Total
10.0	-	-	-	-	-	-	-
12.8	13.6 (0.3) [30]	13.4 (0.4) [30]	18.0 (0.7) [30]	33.4 (2.2) [30]	47.1 (2.5) [14]	39.4 (0.8) [14]	164.7 (4.0) [14]
15.5	11.7 (0.2) [30]	7.8 (0.4) [30]	12.7 (0.6) [30]	13.8 (0.6) [29]	30.8 (2.1) [19]	28.9 (0.4) [19]	105.5 (2.6) [19]
21.1	4.0 (0.2) [27]	4.9 (0.2) [27]	7.1 (0.3) [27]	4.5 (0.2) [27]	9.0 (0.4) [20]	10.1 (0.2) [20]	39.7 (0.7) [20]
26.6	3.0 (0.1) [22]	3.4 (0.7) [22]	7.3 (1.4) [21]	7.2 (1.3) [17]	5.8 (0.3) [9]	7.9 (0.3) [9]	29.4 (1.1) [9]
32.2	2.3 (0.1) [29]	3.9 (0.1) [29]	2.6 (0.1) [29]	5.7 (0.3) [3]	-*	6.3 (0.3) [3]	20.7 (0.3) [3]
35.0	5.4 (0.5) [14]	-	-	-	-	-	-

*No fifth instar at 32.2°C.

A "-*" denotes that development did not occur for that stadium at that temperature.



Figure 11 : Piège Delta (Crédit P. FALATICO)



Figure 12 : Piège entonnoir (Crédit : boutique.crisop.fr)



Figure 13 : Piège à eau (Crédit : M. DUBOIS, BHR)

En ce qui concerne leurs déplacements : la majorité de leur activité est nocturne mais il est tout à fait possible d'en observer durant la journée se déplaçant ou se reposant sur une plante.

Le cycle de développement de *D. fovealis* est schématisé en figure 10. Le temps de développement de l'œuf jusqu'à l'adulte est d'environ 47 jours à 20°C (Bronson *et al.*, 2010). La diminution des vols d'adultes a lieu vers la fin de la saison culturale de la plante hôte. Ils ont une durée de vie de 10 à 15 jours environ. A 22°C, le nombre de générations par année (voltinisme) varie entre 8 et 9 (Messelink *et al.*, 2005). Pour ce qui est de l'hibernation, cette espèce ne tolère pas le froid (Stocks & Hodges, 2013) : les adultes ne peuvent survivre à l'hiver. Cependant, l'espèce peut passer l'hiver au stade pupal. Le développement de *D. fovealis* en fonction des températures (tableau II) a été étudié par Bethke J. *et al.*, (2017). Les simulations montrent que le seuil de développement (température minimum) de ce lépidoptère est à 10,25°C, alors que le taux de développement le plus rapide est estimé à 34,1°C. Le nombre de degrés-jours total (œuf-adulte) est de 454,5 (Bethke J. *et al.*, 2017). Cette donnée pourrait permettre de prédire approximativement le moment du premier vol de l'année et ainsi mieux positionner les moyens de lutte.

B. Piégeage / monitoring

En raison de leur bonne capacité de vol, seuls les adultes peuvent être capturés. Les pièges possibles à disposition des producteurs sont : Delta (figure 11), entonnoir (figure 12), eau (figure 13) ainsi que des panneaux englués (jaunes et bleus). L'ensemble de ces pièges doit être couplé avec des phéromones qui induisent un comportement spécifique vis-à-vis de l'espèce concernée. C'est-à-dire que la phéromone synthétique utilisée (capsule), ne doit attirer que les mâles de *D. fovealis*, et non les autres lépidoptères présents. Des pièges lumineux – ultraviolets ou lumière bleue - peuvent également être utilisés pour capturer les adultes (CABI 2016 & Pijnakker 2001).

Dans une étude menée avec des phéromones par Van Deventer en 2009, il a été montré que six fois plus de papillons mâles étaient piégés par les pièges à eau que par le piège Delta, le plus couramment utilisé. Van Deventer a conclu que les pièges à eau, en combinaison avec des phéromones, sont les plus appropriés pour piéger les mâles de *D. fovealis*.

Tableau III : Synthèse des auxiliaires

Cible / stade	Ennemis naturels	Source	Commercialisé
Hyménoptères parasitoïdes spécialistes			
Parasitoïdes d'œufs	<i>Trichogramma brassicae</i> <i>T. cacoeciae</i> <i>T. evanescens</i> <i>T. pretiosum</i>	Stocks & Hodges (2013)	<i>T. brassicae</i> commercialisé
Parasitoïdes de larves	<i>Apanteles sp.</i>	Zawadneak et al. (2017)	NON, mais espèce spontanée
	<i>Campoletis rapax</i>	Efil et al. (2014)	
Prédateurs généralistes			
Prédateur œuf et larves	<i>Dalotia (Atheta) coriaria</i>	Stocks & Hodges (2013)	OUI
Acarien prédateur	<i>Gaeolaelaps aculeifer</i> = <i>Hypoaspis aculeifer</i>		
Acarien prédateur d'œufs et de premier stade larvaire	<i>Straetiolaelaps scimitus</i> = <i>Hypoaspis miles</i>	Messelink et al. (2005)	
Micro-organismes généralistes			
Larvicide	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Stocks & Hodges, 2013	OUI
Champignon parasite	<i>Beauveria bassiana</i>		
Nématode entomopathogènes	<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	Stocks & Hodges, 2013	
	<i>Steinernema carpocapsae</i>	Alegre E., 2016	
	<i>Steinernema feltiae</i>	E-nema	

Cependant, cette conclusion paraît hâtive à la vue du protocole : en effet, la surface de piégeage dans le piège à eau était légèrement plus grande que celle du piège Delta, ces résultats sont donc à relativiser.

C. Spectre d'ennemis naturels et/ou disponible en France

Des auxiliaires prédateurs, parasitoïdes ainsi que des micro-organismes généralistes sont soit présents naturellement, soit disponibles dans le commerce (tableau III). Leur efficacité est variable, dépendant souvent des conditions agro-environnementales (par exemple, l'humidité du substrat pour *Dalotia coriaria* et les nématodes entomopathogènes). Outre la variabilité de leur efficacité, le prix de vente est un frein pour que les producteurs puissent mettre en place un plan de gestion efficace. Par exemple, pour une lutte curative légère, les prix au m² par mois (avec renouvellement des apports selon les recommandations du fabricant) varient entre 0,14 cts pour *Heterorhabditis bacteriophora* et 0,50 cts pour *Hypoaspis aculeifer* (données consultables en annexe I). De plus, certaines solutions ne sont pas compatibles entre elles : c'est le cas du coléoptère *D. coriaria* et des nématodes entomopathogènes, ces dernières ayant un effet mortel sur *D. coriaria* (Tourtois J. et al., 2015). Enfin, l'utilisation de produits à base de *Bacillus thuringiensis* se heurte au même problème que les insecticides de contact, à savoir qu'il est indispensable que le produit et le ravageur soient en contact pour qu'il soit efficace, ce qui est problématique avec ce lépidoptère qui a tendance à se cacher sous les feuilles, dans le sol, ou dans les tiges.

La plante cultivée aurait également un impact sur l'effet du traitement, en effet, la combinaison de la forme des feuilles et de la position de ces dernières est d'une importance cruciale. Si la pulvérisation pénètre facilement dans le cœur de la plante via la feuille (effet d'entonnoir), le traitement par contact sera efficace. A contrario, si la pulvérisation s'écoule, en dehors du pot (effet parapluie), l'efficacité du traitement sera faible. Dans ce cas, l'utilisation d'un pulvérisateur à ultra bas volume ou d'un atomiseur aura le meilleur résultat.

D'après une étude menée sur les cultures de *Begonia x elatior* et *K. blossfeldiana* par Messelink et al. (2005), *B. thuringiensis* serait le traitement qui fonctionne le mieux contre *D. fovealis*. Les autres traitements (*H. miles*, *S. feltiae*, *H. bacteriophora*) ont un effet limité sur les populations de *D. fovealis*.

Tableau IV : Synthèse de la biologie du ravageur pour le choix de plantes de services

Biologie du ravageur			
Mobilité	Régime alimentaire	Type de plantes de service	Espèces de plantes de service
Elevée	Polyphage	Plantes-indicatrices voire pièges	<i>Chrysanthemum x grandiflorum</i> <i>Capsicum annuum</i> <i>Thymus citriodorus</i>
		Plante répulsive ?	<i>Ocimum basilicum</i>

Tableau V : Synthèse du mode alimentaire des auxiliaires pour le choix de plantes de services

Biologie des auxiliaires			
<i>Ennemis</i>	<i>Alimentation adulte</i>	<i>Type de plantes de service</i>	<i>Espèces de plantes de service</i>
<i>Hyménoptères parasitoïdes</i>			
<i>Campoletis rapax</i>	Nectarifère	Plante-nectarifère	<i>Anthriscus sylvestris</i>
<i>Trichogramma brassicae</i> <i>T. achaeae</i>	Nectarifères et Polliniphages	Plante-nectarifère et Plante-à-pollen	Aucune plante de service connue à ce jour
<i>Prédateurs</i>			
<i>Dalotia (Atheta) coriaria</i>	Prédateur	Plante-réservoir	<i>Avena sativa</i>
<i>Gaeolaelaps aculeifer</i> = <i>Hypoaspis aculeifer</i>	Prédateurs et Polliniphages	Plante-à-pollen	<i>Sorbaria sorbifolia</i> Apport de pollen de <i>Typha</i>
<i>Straetiolaelaps scimitus</i> = <i>Hypoaspis miles</i>			

Les acariens prédateurs *H. miles* ont montré un bon contrôle de *D. fovealis*, mais l'efficacité dépendrait du substrat utilisé. En effet, dans un sol humide, à base de tourbe, deux fois plus d'acariens prédateurs ont été trouvés par rapport à un mélange plus sec, composé de tourbe mélangée à de la perlite (Messelink *et al.* 2005).

D. Plantes de services possibles

En synthétisant les données concernant la biologie de ce lépidoptère ainsi que celles de ses ennemis, une liste de plantes de service (non exhaustive) peut alors être envisagée (tableaux IV et V). Cette liste s'appuie sur la bibliographie existante, les essais menés par l'AREXHOR PDL ainsi que sur les retours de ses producteurs adhérents.

IV. Matériels et Méthodes

A. Etude des caractéristiques biologiques de *D. fovealis*

Le but de l'élevage *in vitro* était de comptabiliser le nombre d'œufs produits par les femelles au cours de leur vie.

a) Matériel

Une première étape a consisté à maintenir des chenilles en vie (récoltées chez un producteur) pour obtenir des femelles vierges. Pour ce qui est de leurs conditions d'élevage, la température était réglée à $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$. Le régime d'éclairage était la lumière naturelle du jour. Chacune des chenilles a été insérée, individuellement, avec du substrat, dans une boîte de pétri.

Au départ, plusieurs espèces végétales ont été utilisées pour voir s'il existe une préférence alimentaire au stade larvaire : *Bergenia cordifolia*, *Heuchera x*, *Impatiens novae-guinea*, *K. blossfeldiana* et *O. basilicum*. Par la suite, elles ont été nourries quotidiennement avec des feuilles de *K. blossfeldiana* fraîches, étant donné leur durée de conservation élevée.

b) Méthode

Pour étudier la fécondité totale des femelles, il est primordial que ces dernières soient vierges. La sélection des femelles doit avoir lieu lors de l'émergence des adultes après la métamorphose.

Tableau VI : Liste des différentes phéromones actuellement disponibles en France et leurs préconisations d'utilisation

Nom commercial		Duponchelia fovealis	Dupoline™ ams	Duponchelia fovealis	Fovealis Pro Caps™
Fournisseur		Biobest	Bioline AgroSciences (Syngenta)	Biotop	M2i Life Science
Préconisations d'utilisation	Nombre de capsules pour 1 000 m ²	1	1-2	1	-
	Type de piège	Delta	Delta	Delta	Entonnoir
	Remplacement	4-6 semaines	4-6 semaines	4-6 semaines	8 semaines
Source		Fiche technique [3]	Fiche technique [4]	Fiche technique [5]	Fiche technique papier



Figure 14 : Exemple d'un piège rond avec phéromone à l'intérieur disposé en culture de *Dianthus plumarius*

Une fois les femelles sélectionnées, elles doivent être insérées, individuellement, dans une cage d'élevage hébergeant un ou plusieurs mâles pour qu'il y ait reproduction. Suite à cela, une notation du nombre d'œufs, jusqu'à la mort de la femelle, devra être effectuée.

B. Evaluation des moyens de piégeage : cas des phéromones

L'objectif principal de cette partie de l'étude a été d'évaluer l'efficacité des phéromones actuellement commercialisées en France. Après avoir sélectionné les plus efficaces, les différents types de pièges seront testés. Ces tests seront cependant effectués ultérieurement.

a) Matériel

Dans un premier temps, certains lots de chez Biobest et Koppert ont été analysés par un laboratoire (ITEIPMAI*) afin de pouvoir comparer leur composition moléculaire et identifier si les écarts d'efficacité entre les phéromones pouvait être dus à leur composition.

Ensuite, les phéromones de quatre fournisseurs différents ont été utilisées pour l'évaluation en production (tableau VI). La phéromone « Pherodis » actuellement commercialisée par Koppert, n'a pas été retenue : la raison est que Koppert a récemment fait le choix de se tourner vers la société M2i pour la fabrication de ses phéromones.

Les phéromones ont été insérées dans des pièges ronds (figure 14) de fabrication artisanale (panneaux englués jaunes enroulés). Ces derniers ont été disposés au sein des cultures concernées.

b) Méthode

Au total, 5 partenaires situés à différents endroits de Saint-Gemmes-sur-Loire ont participé au projet. La pose des pièges a débuté début avril. Ils ont été posés à une hauteur maximale de 30 cm au-dessus de la culture, au milieu des modules concernés.

En fonction de la taille des abris, un nombre de phéromones a été attribué tout en respectant la condition suivante : une phéromone pour 1000 m², afin d'éviter toute confusion sexuelle. Un exemple de pose est visible en annexe II. Le nombre de phéromones posées dépendait de la disponibilité de ces dernières auprès des fournisseurs.

Tableau VII : Tableau récapitulatif des phéromones posées chez les cinq producteurs

Producteur	Fournisseur				Culture
	Biobest	Bioline	Biotop	M2i	
A	7	2	3	2	<i>Begonia elatior</i> <i>Kalanchoe blossfeldiana</i>
B	3	1	1	2	<i>Dipladenia sanderi</i> <i>Pelargonium sp.</i>
C	2	0	0	0	<i>Artemesia dracunculul</i> <i>Fragaria x ananassa</i> <i>Thymus citriodorus</i>
D	1	0	1	0	<i>Dianthus plumarius</i> <i>Hebe sp.</i>
E	1	1	0	0	<i>Cynara scolymus</i> <i>Dianthus plumarius</i>
Total phéromones posées	14	4	5	4	

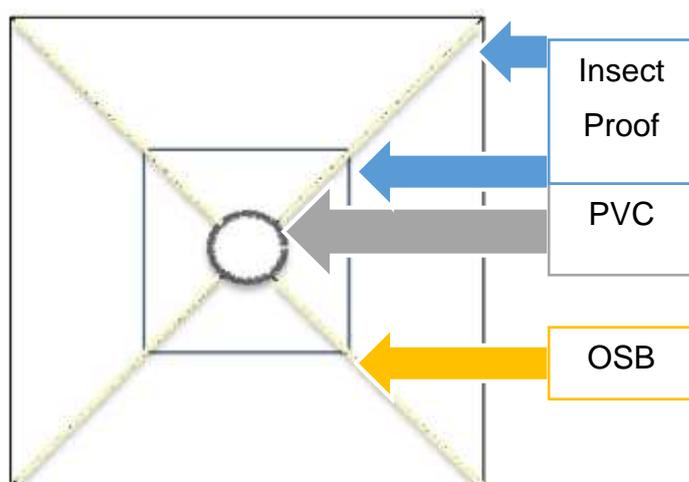


Figure 15 : Schématisation du premier dispositif



Figure 16 : Illustration du premier dispositif réalisé

Le choix de la culture et du nombre de pièges à phéromones posées ne peut pas être commun à tout le monde. En effet, nous avons été dépendants des cultures produites par les entreprises et surtout des endroits où la présence de *D. fovealis* a été signalée. Le tableau VII reprend le nombre de pièges à phéromones posés chez chaque producteur ainsi que l'environnement cultural.

Les notations ont ensuite été effectuées chaque semaine après la pose des pièges, pendant quatre semaines. Après la quatrième et dernière notation, les phéromones ont été renouvelées pour continuer les piégeages.

L'objet de notation était la présence d'adultes mâles de *D. fovealis* sur chaque piège. Le critère de notation était le nombre de papillons par piège. Après chaque notation, les papillons étaient retirés à l'aide d'une pince, pour éviter de les dénombrer une deuxième fois lors de la notation suivante.

Un test statistique (Kruskal-Wallis) sera réalisé afin de comparer ces échantillons indépendants.

C. Evaluation des plantes de services : tests d'attractivité

Le choix des plantes de services pour les tests d'attractivité s'est fait en fonction des données bibliographiques et du retour des producteurs (importance des dégâts sur les cultures).

a) Matériel

Pour tester l'attraction ou la répulsion d'une plante, plusieurs systèmes ont été imaginés, conçus et réalisés afin de trouver celui qui serait le mieux adapté. L'inspiration de départ provient de l'étude de Kovacs *et al.* où des tests de préférences alimentaires de *D. fovealis* étaient réalisés dans un tube avec à chaque extrémité une plante différente.

Le premier dispositif était une cage (structure bois, entourée par un voile insect-proof) divisée en quatre parties distinctes par des panneaux en OSB* (figures 15 et 16). Un tube PVC* gris central permettait le lâcher des papillons : quatre ouvertures y étaient réalisées (une pour chaque compartiment), afin que ces derniers puissent se diriger vers les plantes. Ces ouvertures étaient prolongées par un tube de deux centimètres de diamètre, de façon à limiter le retour des papillons au sein du tube central. Cette prolongation permet de valider la volonté du papillon de se diriger à cet endroit-là, plutôt que de s'y diriger par hasard.



Figure 17 : Vue interne d'un compartiment



Figure 18 : Illustration du second dispositif

Afin d'éviter que les femelles ne déposent leurs œufs sur la plante, un voile insect-proof était posé à l'extrémité de la sortie du tube de 2 cm de diamètre (figure 17). Le second dispositif comportait toujours une cage fermée, mais la compartimentation du dispositif a été changée de façon à réduire au maximum les odeurs « nuisibles » des matériaux utilisés (figures 18). Quatre tubes en carton étaient reliés à un seau central. Une plante par espèce testée était positionnée à l'extrémité de chaque tube. Les plantes étaient ainsi à équidistance (30 cm) du lieu de lâcher des papillons. A l'extrémité du tube, du côté de la plante, un voile insect proof était posé afin que le papillon ne puisse être en contact avec la plante. Le lâcher d'adultes se faisait par le dessous du seau.

Le matériel végétal utilisé a été le suivant : *Chrysanthemum x grandiflorum*, *Dipladenia sanderi*, *Lantana camara*, *Laurus nobilis*, *Petunia x*.

Pour valider le dispositif, un témoin négatif - *L. nobilis* – faisait également partie des choix proposés aux papillons. Cette dernière n'est pas reconnue comme étant une plante hôte du ravageur. Le but de cette manipulation était de prouver que les déplacements des femelles *D. fovealis* au sein du dispositif ne sont pas aléatoires mais bien motivés par l'odeur émise par les plantes.

L'absence répétée de papillons dans le compartiment amenant au *L. nobilis* associée à la présence dans les autres compartiments permet de valider le dispositif expérimental et ainsi exploiter des données fiables.

Pour ce qui est du matériel animal, ce sont uniquement les femelles de *D. fovealis* qui ont été utilisées pour l'essai car ce sont elles qui choisissent l'espèce sur laquelle elles vont pondre et donc sont responsables (indirectement) des dégâts occasionnés aux cultures en y déposant leurs œufs. Elles ont été prélevées dans des cages d'élevage (adultes émergents des larves prélevées chez des producteurs), puis introduites au sein du dispositif. Idéalement, 8 femelles ont été introduites à chaque test, mais ce nombre pouvait varier en fonction des émergences et de la mortalité au sein des cages d'élevage. La mise en place des tests a été la suivante : le dispositif a été mis en place dans le grenier du bâtiment, pour être dans des conditions optimales pour le vol des papillons, étant donné que ces derniers ont une activité nocturne.



Figure 19 : *Pimpla* sp. (Crédit : Ken Childs)

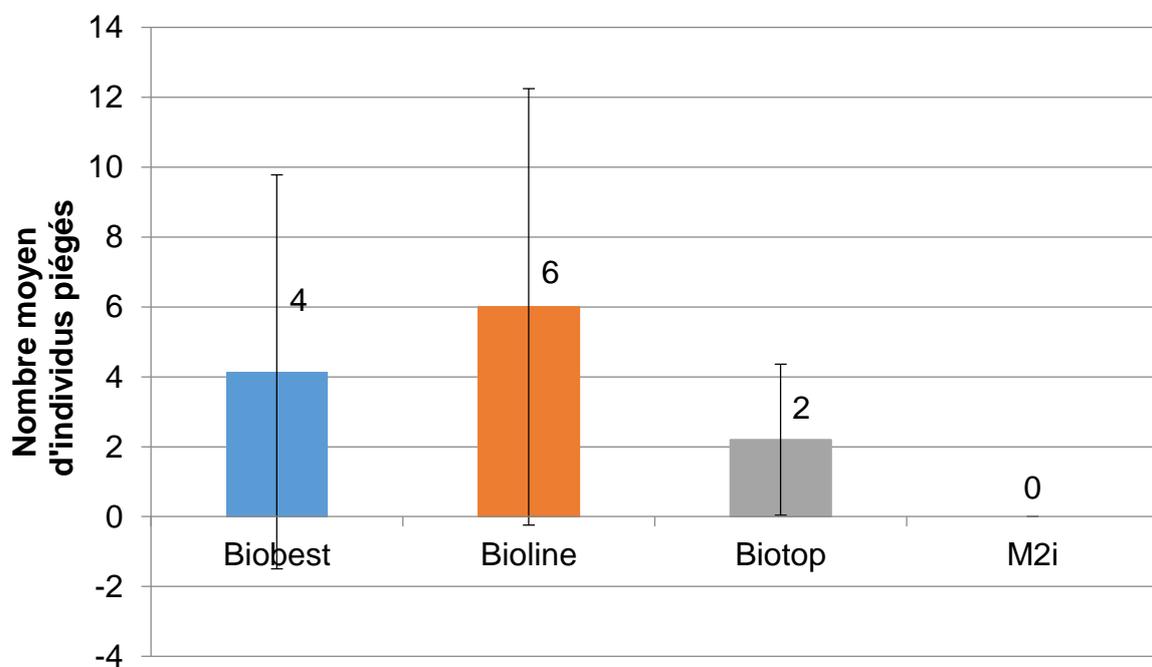


Figure 20 : Comparaison de la moyenne des piégeages pour les phéromones de chaque fournisseur

b) Méthode : conduite des tests

Les notations ont été effectuées au bout de 24 h, de préférence le matin, puisque ce papillon a une activité nocturne. Nous supposons donc que le choix de la plante hôte (du site de ponte) se fait durant la nuit et que le fait de retrouver des papillons le matin dans un compartiment, valide le choix de plante. L'objet de notation a été le suivant : présence d'adultes de *D. fovealis* dans chaque compartiment et au centre (critère de notation : comptage du nombre de papillons). Pour effectuer les notations, le seau était levé à hauteur des yeux à l'aide de la anse. L'observation des papillons dans les compartiments se faisait au travers du voile insect-proof. Après chaque notation, les adultes femelles ont été retirées du dispositif pour être remplacées par des nouvelles issues de l'élevage. La disposition des plantes a également été changée à chaque test afin de diminuer les biais (orientation du nord, flux d'air, source lumineuse, etc.). La disposition des espèces végétales au sein du dispositif est consultable en annexe III.

Afin de réaliser une analyse statistique des résultats, nous utiliserons le test de khi-2 qui compare les effectifs observés avec ceux attendus (théoriques) dans chaque compartiment.

V. Résultats

1. Identification d'un hyménoptère parasitoïde spontané

L'étude des caractéristiques biologiques de *D. fovealis* n'a pas aboutie pour deux raisons : la majorité des larves - lors des vérifications trihebdomadaires – ont été retrouvées mortes ou parasitées. Seul un mâle a émergé.

Etant donné que la station est spécialisée en entomologie, nous avons été en mesure d'identifier cet hyménoptère parasitoïde de larves, non recensé dans la bibliographie : *Pimpla sp* (figure 19). Pour valider la reconnaissance de cet insecte, des échantillons de ce dernier ont été envoyés à l'ANSES*, à l'unité d'entomologie et plantes invasives du site de Montpellier.

2. Une évaluation étendue des phéromones

En regroupant les données des relevés par fournisseurs (figure 20), nous pouvons établir un classement en fonction du nombre moyen d'individus piégés : la phéromone de chez Bioline, arrive en tête, avec un nombre moyen de 6 adultes piégés, suivi de très près par celle Biobest (4) puis Biotop (2).

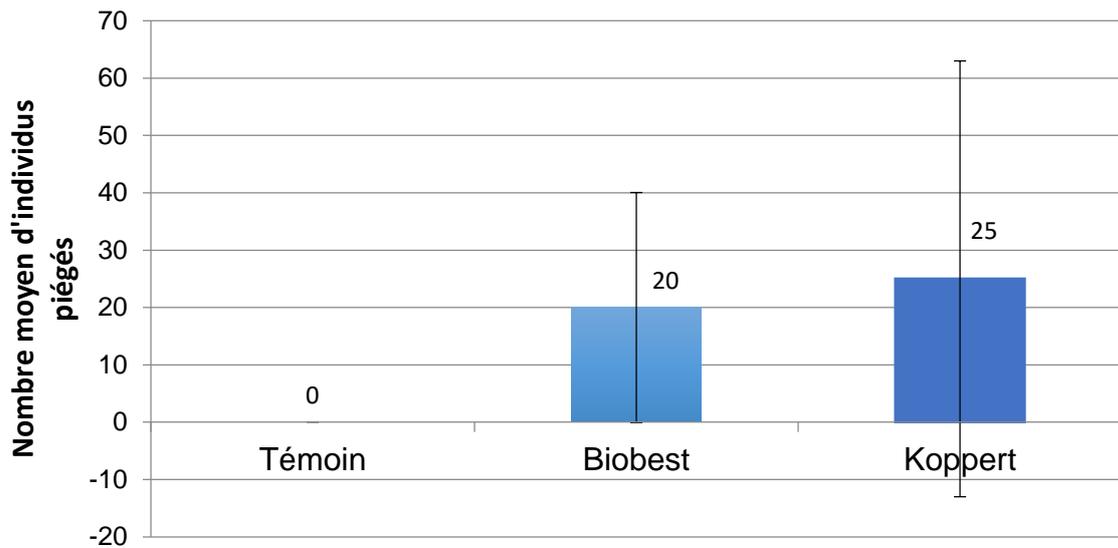


Figure 21 : Moyenne des piégeages à l'automne 2017

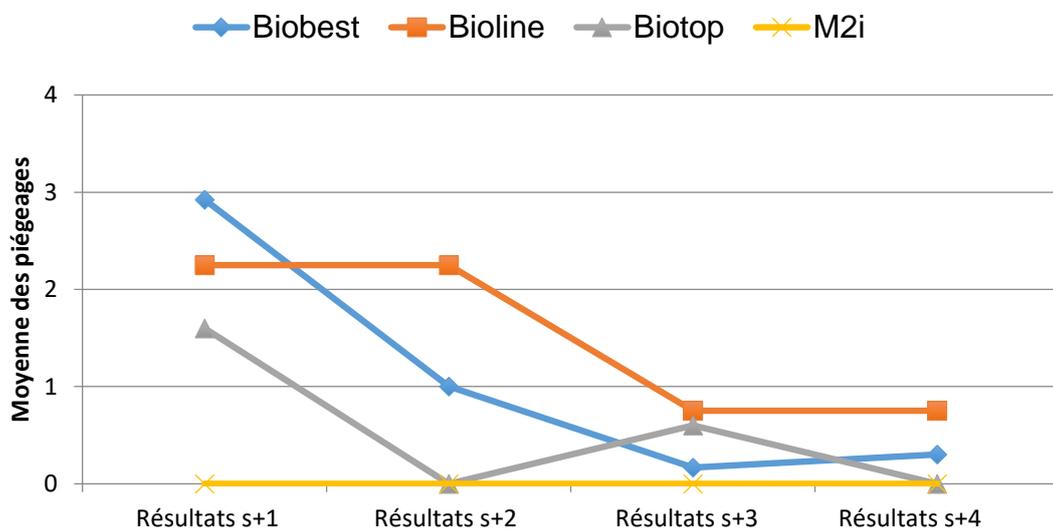


Figure 22 : Moyenne des piégeages pendant la durée de diffusion des phéromones

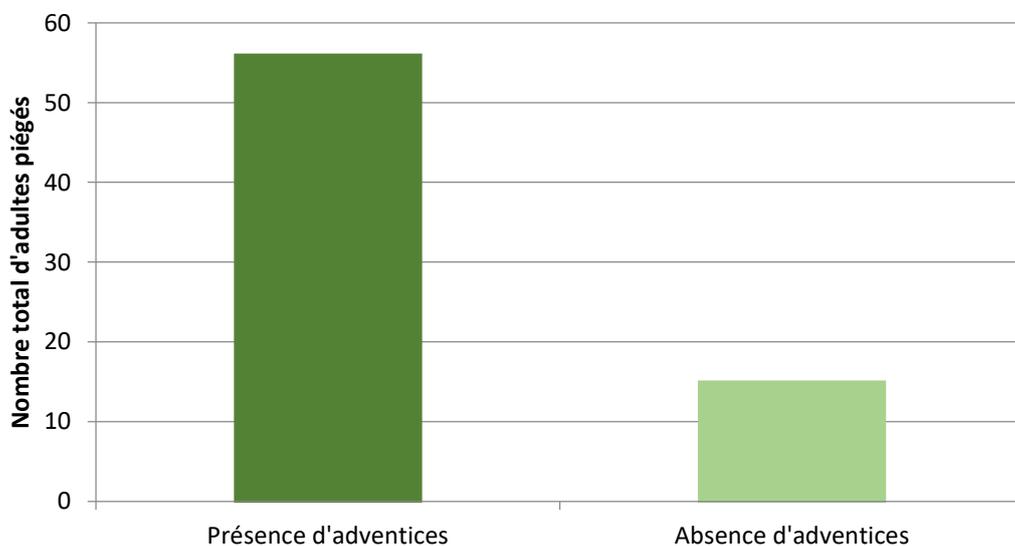


Figure 23 : Comparaison des piégeages en fonction des lieux avec ou sans adventices (sur une période de cinq semaines)

M2i se classe dernier, avec aucun individu capturé. Ces classifications ont été effectuées en réalisant la moyenne des adultes capturés par piège, étant donné que les quantités de pièges posés n'étaient pas les mêmes pour chaque fournisseur (en raison des stocks différents en phéromones).

Les résultats de l'analyse statistique, consultables en annexe IV montrent qu'il n'y a pas d'effet significatif de la provenance (du fournisseur) des phéromones sur leur efficacité (p-value : 0,566 ; α : 0,05).

Afin de comparer les données des piégeages de cette année avec celles antérieures, un graphique a été réalisé (figure 21) avec les relevés des pièges posés à l'automne dernier. Les résultats de l'analyse statistique - test de Mann Whitney - consultable en annexe V montrent qu'il n'y a pas d'effet significatif de la phéromone, quelle que soit sa provenance (p-value : 0,673 ; α : 0,05).

En ce qui concerne l'analyse des phéromones réalisée par l'ITEIPMAI, les phéromones issues de différents lots de chez Biobest et Koppert ont été examinées. Les chromatogrammes montrent la présence d'hydrocarbures dans l'ensemble des lots testés. Ces derniers permettent d'allonger la durée de diffusion des molécules. Quant aux différences observées, les phéromones issues de chez Koppert contiennent, entre autres, des huiles essentielles de menthe tandis que celles de Biobest, contiennent des huiles essentielles de térébenthine ou de *Pinus sp.*

Suite aux retours des producteurs concernant un piégeage massif en début de pose puis à une baisse soudaine du nombre d'adultes piégés, un graphique montrant l'évolution du piégeage moyen par fournisseur dans le temps a été réalisé avec les données des piégeages (figure 22). Il confirme ce que les producteurs nous ont transmis : au fur et à mesure des semaines, le nombre d'adultes piégés diminue. Pourtant, d'après les informations des fournisseurs, nous sommes encore dans la période d'efficacité des phéromones, c'est-à-dire 4 à 6 semaines.

Tableau VIII : Résultats de la première notation de l'attractivité des plantes dite sensibles avec le premier dispositif

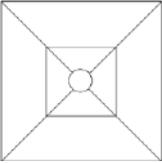
Dispositif utilisé	Nombre de femelles lâchées	Date de mise en place du test	Plante utilisée	Première notation à H + 1 (10:30)	Deuxième notation à J + 1 (9:30)
	5	02/05/18	<i>Chrysanthemum x grandiflorum</i>	0	1
			<i>Dipladenia sanderi</i>	0	0
			<i>Lantana camara</i>	0	0
			<i>Petunia X</i>	0	0
			Centre du dispositif	5	4

Tableau IX : Résultats de la seconde notation de l'attractivité des plantes dites sensibles avec le premier dispositif

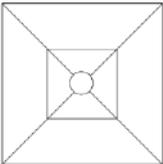
	8	04/05/18	<i>Laurus nobilis</i>	3	3
			<i>C. x grandiflorum</i>	0	0
			<i>D. sanderi</i>	1	1
			<i>L. camara</i>	1	1
			Centre du dispositif	3	3

Tableau X : Résultats de la première notation de l'attractivité des plantes dites sensibles avec le second dispositif

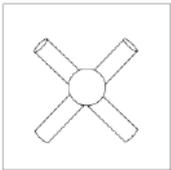
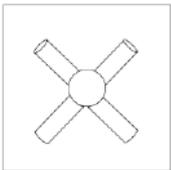
	8	09/05/18	<i>C. x grandiflorum</i>	0	0
			<i>D. sanderi</i>	0	0
			<i>L. camara</i>	1	4
			<i>L. nobilis</i>	0	0
			Centre du dispositif	7	4

Tableau XI : Résultats de la deuxième notation de l'attractivité des plantes dites sensibles avec le second dispositif

	8	15/05/18	<i>C. x grandiflorum</i>	1	1
			<i>D. sanderi</i>	0	0
			<i>L. camara</i>	2	2
			<i>L. nobilis</i>	0	0
			Centre du dispositif	5	5

Par ailleurs, lors des relevés effectués au sein de différentes entreprises, nous avons été interpellés sur le nombre d'adultes piégés en fonction de la « propreté » de la culture (absence ou présence d'adventices). Un graphique comparant les relevés de 6 pièges chez les producteurs ayant une forte présence d'adventices avec ceux n'en ayant point a été réalisé (figure 23). Il montre un piégeage d'adultes presque quatre fois plus élevé lorsqu'il y a présence d'adventices.

3. Tests d'attractivité

Le premier test avec le dispositif en OSB n'a pas permis de réaliser de test statistique car seul un papillon a été retrouvé sur une plante (tableau VIII). Les papillons sont difficiles à observer. La majorité reste au sein du tube central ou du tube intermédiaire. De plus, lors du second test avec ce dispositif, des papillons ont été retrouvés sur *L. nobilis*, alors que ce dernier n'est pas une plante hôte connue de *D. fovealis* (tableau IX). Ce dispositif ne reflète pas un choix de déplacement des papillons, il a donc été invalidé.

A l'inverse, en ce qui concerne le second dispositif, l'absence répétée de papillons dans le compartiment de la plante témoin (*Laurus nobilis*) ainsi que la présence des papillons dans les autres compartiments, permet de valider le dispositif.

Les deux tests qui ont été réalisés en changeant les plantes de place et en renouvelant les femelles, ont donné les résultats suivants (tableau X et XI): pour le premier test, quatre papillons se sont dirigés dans le compartiment de *L. camara*. Aucun autre adulte n'a été observé au sein des autres compartiments. Les papillons restants ont été retrouvés au milieu. Pour le second test, sur un total de huit papillons lâchés au sein du dispositif, deux papillons ont été retrouvés dans le compartiment de *L. camara* ainsi qu'un papillon dans le compartiment de *C. X grandiflorum*.

Les résultats ont été analysés par un test statistique de khi-2, malgré des effectifs inférieurs à 5 individus. Nous avons décidé d'effectuer ce test étant donné qu'il était tout à fait normal de ne retrouver aucun papillon dans le compartiment témoin.

Deux hypothèses sont alors posées : l'hypothèse nulle (H0) où l'espèce de plante n'a pas d'influence sur le choix du papillon et l'hypothèse alternative (H1) où l'espèce de plante a une influence sur le choix du papillon.

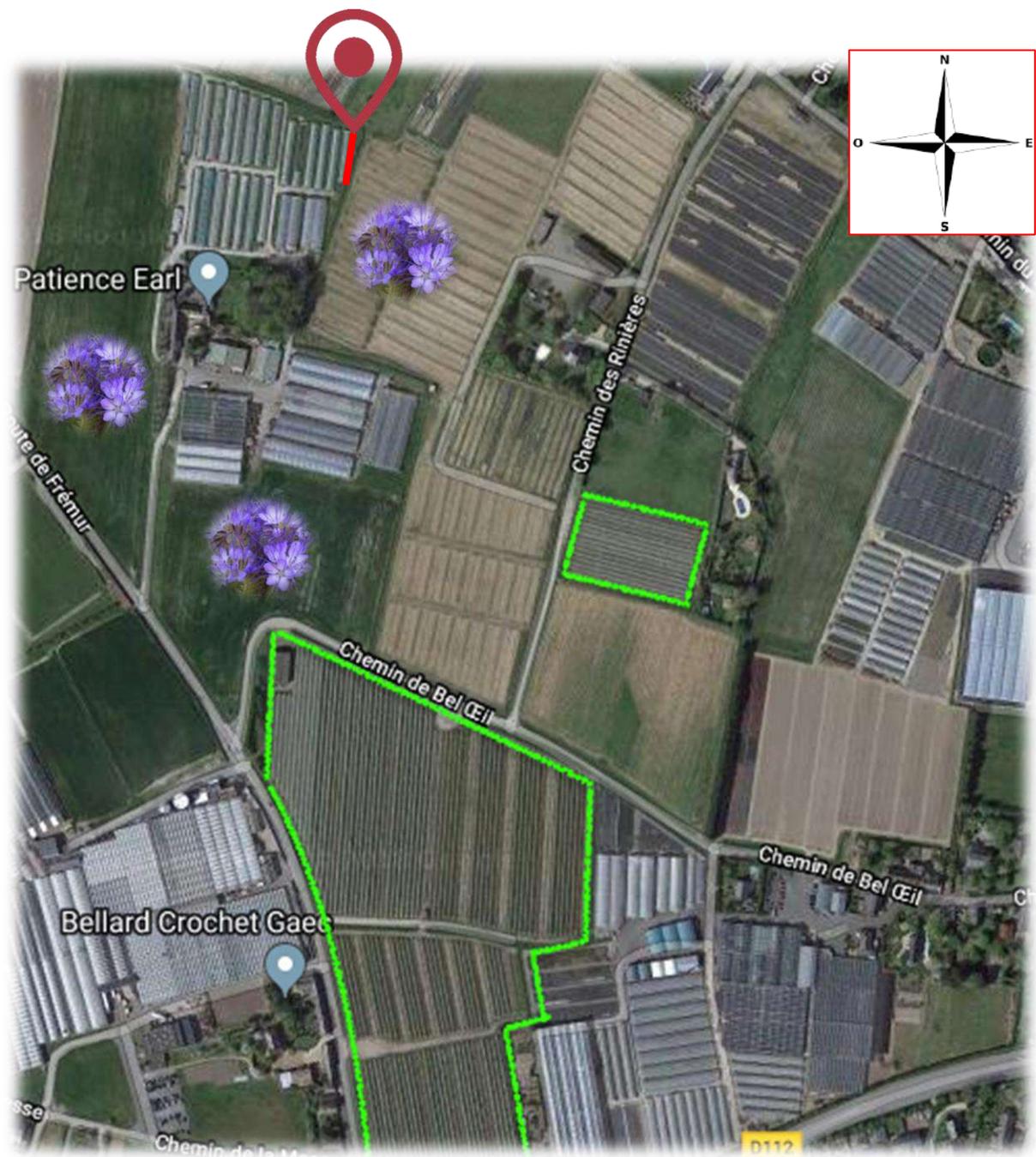


Figure 24 : Plan de masse autour du tunnel de *Thymus citriodorus* (Crédit : Google Earth)

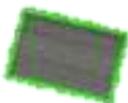
Légende :



: Localisation du tunnel



: Champ de *Phacelia tanacetifolia*



: Verger de Pommiers

Pour les deux tests d'attractivité, de nombreux papillons ont été retrouvés morts au sein du dispositif, puisqu'ils ne pouvaient plus s'alimenter. Ils ont donc été décomptés pour la réalisation de ce test statistique (9 adultes décomptés sur 16 au total).

Les résultats des analyses statistiques (consultables en annexe VI) sur les deux tests réalisés avec le second dispositif, montrent un khi-2 calculé (14,14) supérieur au khi-2 théorique (7,81), nous rejetons donc H0 et pouvons donc conclure que l'espèce de plante a une influence sur le choix du papillon. En l'occurrence, *L. camara* semble, à l'heure actuelle, être la plante la plus attractive par rapport aux autres espèces testées.

VI. Discussion

L'importance de la mortalité des chenilles en boîte de Pétri suscite de nombreuses questions. La température, l'humidité étaient-elles idéales ? Les boîtes et l'alimentation étaient-elles adaptées ? En ce qui concerne l'alimentation, de nombreuses sources ont été testées, notamment *O. basilicum*, qui selon la bibliographie serait légèrement répulsif (Kovac *et al.*). Nous avons constaté que les larves se nourrissaient de *O. basilicum*, malgré la présence d'une autre source d'alimentation. Nous pouvons donc formuler l'hypothèse que *O. basilicum* n'est pas répulsif, *a minima* au stade larvaire.

Par ailleurs, la présence des hyménoptères parasitoïdes *Pimpla sp.* au sein de l'élevage amène la réflexion suivante : d'où sont-ils arrivés ? Pour répondre à cette question, nous sommes remontés au lieu de prélèvement des chenilles, chez un producteur de thym citron. Nous avons fait un inventaire de la végétalisation environnante (figure 24) : un champ de Phacélie (*Phacelia tanacetifolia*) ainsi qu'un verger de pommiers (*Malus x domestica*) jouxtent le tunnel où les larves de *D. fovealis* ont été prélevées. L'hypothèse suivante peut être émise : l'une de ces espèces végétale a servi de relais, ou de réservoir à cet auxiliaire.

Pour ce qui est des phéromones, les résultats bruts (sans analyse statistique) montrent que les phéromones issues de chez Bioline et Biobest ont capturées le plus d'individus.

Cependant, l'écart type observé est très élevé, cela peut s'expliquer du fait que les endroits où sont posés les pièges n'ont pas le même degré d'infestation. Après la réalisation d'un test statistique, il s'est avéré que les résultats n'étaient pas significatifs. Nous pouvons donc conclure que, quelle que soit l'origine de la phéromone, elle ne piègera pas plus d'individus que ses concurrentes. En réalisant un second test statistique, avec les données des piégeages de l'automne dernier, il s'est avéré que les résultats n'étaient pas significatifs. Ces résultats confirment donc la conclusion précédente. Cependant, l'hétérogénéité des cultures où ont été piégés *D. fovealis* explique la polyphagie de ce dernier et donc les problèmes qu'il peut créer au sein d'une entreprise. Cette polyphagie rend donc difficile la gestion de ce lépidoptère contrairement à une espèce inféodée à une seule plante hôte.

En ce qui concerne la phéromone en seringue de chez M2i, aucun adulte n'a été relevé sur les pièges avec ces phéromones. La société qui l'a fabriquée a donc été contactée : il s'est avéré que le lot était défectueux. Un nouveau lot sera donc testé à la prochaine réception des seringues.

La baisse du nombre d'adultes piégés au fil des semaines pourrait être due à la chute du nombre d'accouplements, étant donné la diminution du nombre de mâles piégés. Cependant, dans une population naturelle, les pontes sont échelonnées. De ce fait, un nombre d'adultes, plus ou moins régulier, devrait être retrouvé capturés tout au long du piégeage. Ce n'est pas le cas ici : nous pouvons donc nous poser la question sur la bonne diffusion des phéromones pendant quatre à six semaines, comme indiquée par les fournisseurs.

Si l'on regarde de plus près les informations générales des relevés entre producteurs, nous pouvons faire le constat suivant : lorsque les abords des serres et les cultures ne sont pas nettoyés (présence d'adventices), un grand nombre de papillons est trouvé. *A contrario*, chez les producteurs avec une faible pression d'adventices, peu voire pas de papillons sont relevés sur les pièges. L'hypothèse suivante peut être formulée : étant donné la polyphagie du ravageur, la présence d'adventices au sein des abris serait un refuge pour *D. fovealis*. En éliminant régulièrement les adventices (lutte prophylactique) et surtout pendant le vide sanitaire, les populations de ravageurs seraient réduites. Cela éviterait un maintien constant du ravageur et une recontamination rapide des cultures suivantes.

Cependant, cette hypothèse est un peu hâtive, étant donné que les degrés d'infestations ne sont pas les mêmes partout. De plus, ces hypothèses s'appuient sur une comparaison de quatre entreprises (deux entreprises avec une forte pression d'adventices et deux entreprises avec une faible pression d'adventices). Des évaluations à plus grande échelle devraient être réalisées, avec un plus grand nombre d'entreprises pour étayer ces résultats afin d'affiner l'analyse statistique.

Concernant la composition en huiles essentielles des phéromones issues chez Biobest et Koppert, elles sont légèrement différentes mais ne semblent pas influencer l'efficacité du piégeage. Par ailleurs, lors d'un passage chez un producteur, nous avons dénombré un grand nombre de chenilles en culture de menthe, allant de 2 chenilles à plus de 10 chenilles par pots. Concernant la composition en huiles essentielles de ces phéromones, la présence d'huiles essentielles de menthe au sein des phéromones de chez Koppert a attiré notre attention. Nous émettons donc l'hypothèse que l'odeur de *Mentha sp.* serait très attractive pour ce lépidoptère.

En ce qui concerne l'évaluation des plantes-pièges potentielles, le premier dispositif avec les séparations en OSB a donné des résultats que nous ne pouvions pas analyser statistiquement : les papillons restent au sein du tube central ou du tube intermédiaire et ne se dirigent pas au sein d'un compartiment. Nous avons supposé que l'odeur du PVC additionnée à celle de l'OSB perturbait l'orientation des papillons. Après la création d'un deuxième dispositif, après des matériaux plus neutres, des résultats, statistiquement analysables, ont permis de ressortir que *L. camara* était la plante la plus attractive par rapport aux autres testées.

Pour finir, *Mentha sp.* est supposée être une plante attractive. Des tests de choix pour le site de ponte avec le deuxième dispositif devront donc être envisagés, afin de voir si cette plante est plus attractive que *L. camara*, et potentiellement l'utiliser comme plante-piège.

VII. Conclusion

Les différentes phéromones commercialisées actuellement n'ont pas de réelle différence d'efficacité. Concernant les pièges (panneaux englués jaunes roulés, pièges delta, pièges entonnoir et piège à eau), des tests devront être effectués ultérieurement afin d'observer si les différents types de pièges influencent l'efficacité des piégeages. En ce qui concerne l'évaluation de l'attractivité des espèces végétales, *Lantana camara* apparaît comme étant une plante de service potentielle.

Cependant, étant donné le manque de répétitions liées à la faible disponibilité en adultes, d'autres tests seront à conduire pour confirmer les résultats obtenus. De plus, du fait que *Mentha sp.* semblerait être une plante attractive (selon la bibliographie et nos observations sur le terrain), elle sera prise en compte dans les prochains tests. Par ailleurs, l'huile essentielle de *Mentha sp.*, sera également évaluée à la place d'une phéromone, afin d'observer les effets de ces dernières sur les populations de *D. fovealis*.

La principale limite quant à la réalisation de cette étude a été la disponibilité en adultes femelles, que ce soit pour l'analyse des caractéristiques biologiques de ces dernières ainsi que pour l'évaluation de l'attractivité des plantes. Cette limite est liée à l'échec de l'élevage des larves en laboratoire. Le manque d'expérience en élevage de lépidoptère peut expliquer cet échec. De plus, un faible nombre de larves a été retrouvé chez les producteurs. L'élevage a donc démarré avec peu d'individus et a donc eu du mal à se lancer.

Concernant les perspectives d'évolution, des connaissances à propos de l'auxiliaire parasitoïde *Pimpla sp.* doivent être acquises afin d'envisager un potentiel élevage au sein de la station pour aboutir à une commercialisation. Aussi, lors de la sélection finale d'une plante de service, les bioagresseurs de cette dernière devront être listés. Cette étude aura pour objectif de mettre en évidence les ravageurs communs avec la culture où la plante de service sera posée. De plus, le volet économique, avec les coûts que génère ce type de gestion des ravageurs, devra être étudié.

En définitive, il est important de rappeler que la lutte prophylactique, avant l'installation du ravageur, demeure primordiale. En effet, elle permet de créer un environnement défavorable aux bio-agresseurs. De plus, la surveillance minutieuse des jeunes plants et leur circulation au sein d'une entreprise ainsi que plus largement, la surveillance régulière des productions, demeurent des facteurs de limitation de développement des ravageurs émergents.

Bibliographie

- Alegre, E. 2016. Métodos de manejo para *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae) na cultura do morangueiro. URL : http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_7187_Victor%20Dias%20Pirovani.pdf(consulté le 09/03/2018).
- Bethke, J.A., Hara, A., Osborne, L., McKenzie C. & Palmer, C. 2017. Developing sustainable methods for controlling invasive pests on ornamental plant cuttings. URL : http://ir4.rutgers.edu/Ornamental/SummaryReports/ArthropodShippingandDuponchelia_USDA-APHIS_ProjectSummary.pdf (consulté le 08/03/2018).
- Brambila, J., & Stocks, I. (2010). The European pepper moth, *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae), a Mediterranean pest moth discovered in central Florida. FDACS-Division of Plant Industry. URL: http://www.freshfromflorida.com/content/download/66346/1600726/Pest_Alert_The_European_Pepper_Moth_-_Duponchelia_fovealis.pdf. (consulté le 05/03/2018).
- CABI. 2016. Selected Sections for: *Duponchelia fovealis* (Southern European Marshland Pyralid). Crop Protection Compendium. Invasive Species Compendium (Beta), CABI Internacional. URL: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/20168> (consulté 7/03/2018).
- Efil, L., Özgür, O. & Efil, F. 2014. A new pest, *Duponchelia fovealis* Zeller, on strawberries in Turkey - damage, distribution and parasitoid. Journal of Entomology and Zoology Studies 2: 328-334.
- Ferre A. (2011) Utilisation de plantes-pièges en culture de poinsettia, Fiche pratique No. 1, Arexhor Pays de la Loire.
- Jackel, B., B. Kummer & M. Kurhais. 1996. Biological control of *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera, Pyralidae). Mitteilungen aus der Biologischen für Land und Forstwirtschaft 321: 483.

- Kovács, A., Hunyadi, I., Fejes-Tóth, A., Fejes-Tóth, P., Hári, K., Sipos, K., ... & Péntes, B. 2014. A pontuszi tűzmoly [*Duponchelia fovealis* (Zeller)] tápnövényválasztásának viselkedési és elektrofiziológiai vizsgálata. NÖVÉNYVÉDELEM, 50(8), 357-364.
- Messelink, G. J., Haaring, M. A., van Holstein, R., & van Wensveen, W. 2005. Biologische bestrijding van *Duponchelia*: bestrijding van *Duponchelia fovealis* met bodempredatoren en biologische middelen, met aandacht voor invloeden van gewas, teeltsubstraat en toedieningstechniek. PPO BU Glastuinbouw. URL : <http://edepot.wur.nl/272567> (consulté le 14/03/2018)
- Pijnakker J. 2001. *Duponchelia fovealis*, le lépidoptère redouté des plantes en pot aux Pays-Bas. Revue Horticole 429: 51-53.
- Stocks S.D. & Hodges A. 2013: European Pepper Moth or Southern European Marsh Pyralid. University of Florida Dept. of Entomology and Nematology, URL: http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/leps/european_pepper_moth.htm.
- Tourtois, J., & Grieshop, M. J. 2015. Susceptibility of *Dalotia coriaria* (Kraatz)(Coleoptera: Staphylinidae) to Entomopathogenic Nematodes (Rhabditida: Heterorhabditidae and Steinernematidae). Insects, 6(1), 224-235.
- van Deventer, P. 2008. Water trap best for catching *Duponchelia*. Fruit & Veg tech, 9 (2009), IN-THE.
- Zawadneak, M. A., Gonçalves, R. B., Poltronieri, A. S., Santos, B., Bischoff, A. M., Borba, A. M. & Pimentel, I. C. 2017. Biological parameters of *Duponchelia fovealis* (Lepidoptera: Crambidae) reared in the laboratory on two diets. European Journal of Entomology, 114, 291.

Sitographie

[1] Pierucci Brenda & Ride Arnaud. 2015. Agriculture, l'alternative au biocontrôle [en ligne]. URL : <http://www.inra.fr/Grand-public/Sante-des-plantes/Tous-les-dossiers/Biocontrole> (consulté le 04/06/2018).

[2] Poidtaz J. *Duponchelia fovealis* [en ligne]. URL : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/19285/Biocontrol-Duponchelia-fovealis> (consulté le 7/05/2018).

[3] Anonyme. Capsules de phéromone [en ligne]. URL : <https://www.biobestgroup.com/fr/biobest/produits/detection-et-piegeage-4468/appat-et-attractifs-a-base-de-pheromones-4501/capsules-de-pheromone-4707/> (consulté le 21/03/18).

[4] Anonyme. 2013. Dupoline ams [document électronique]. URL: https://www.ggspro.com/new/pdfs/updated/Dupoline_ams_Sell_Sheet_HR.pdf (consulté le 21/03/18).

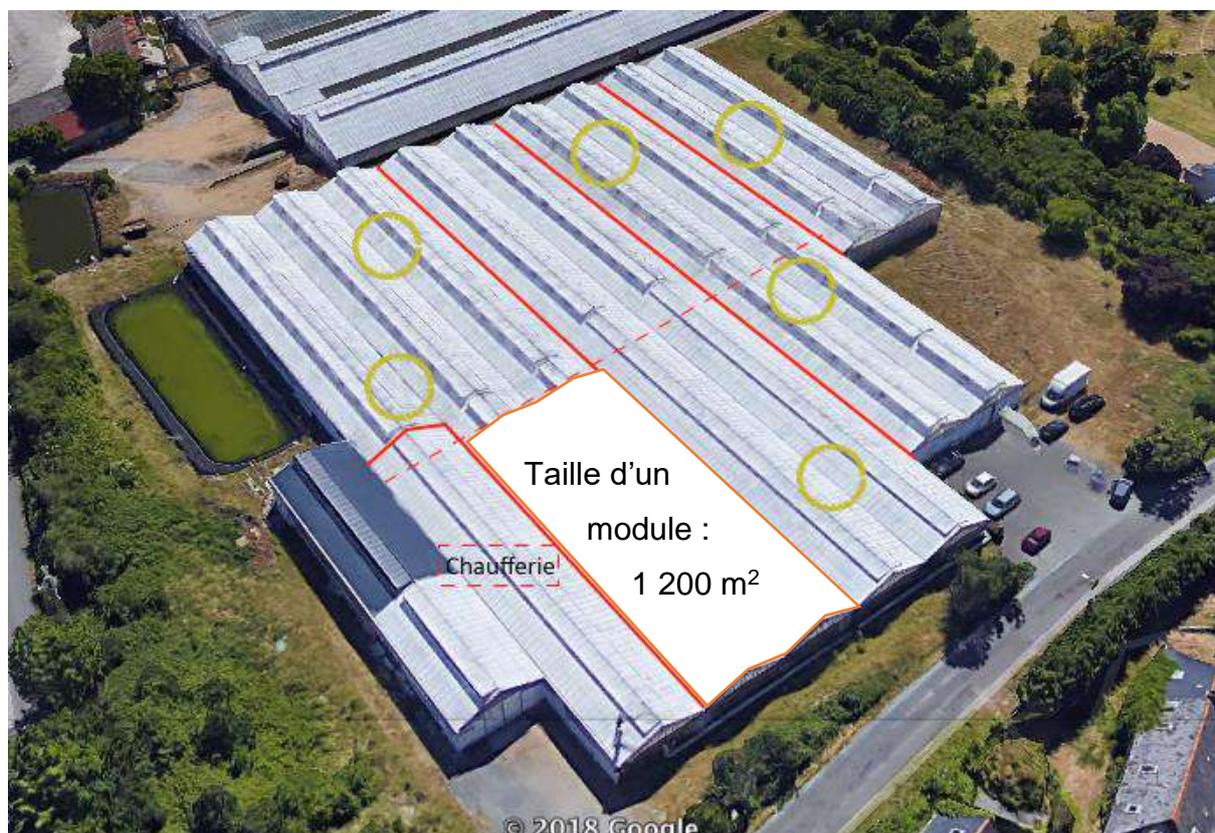
[5] Anonyme. Phéromones [en ligne]. URL: <http://www.biotop.fr/nos-produits-par-gamme/pheromones/29-nos-produits/pheromones.html> (consulté le 21/03/18).

Annexes

Annexe I : Calcul des coûts de gestion de *D. fovealis*

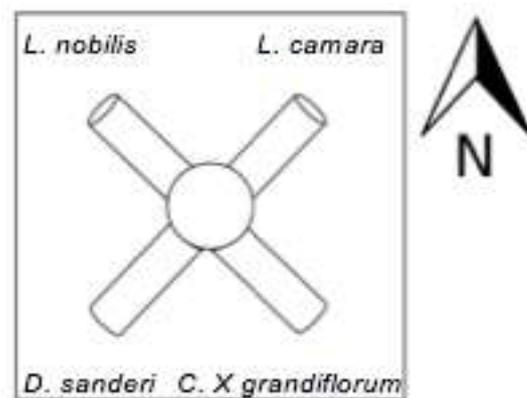
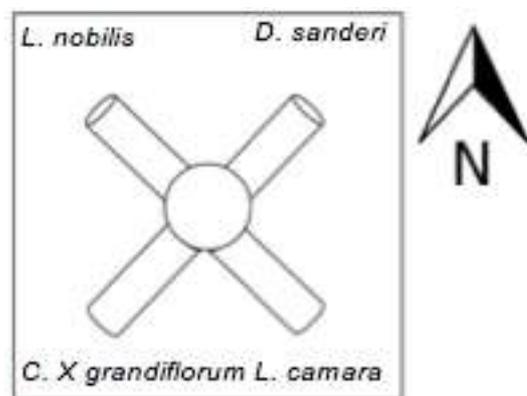
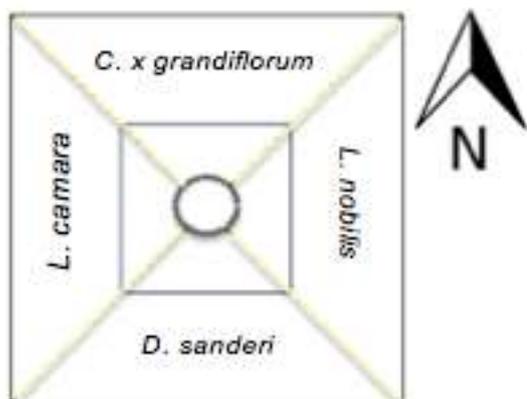
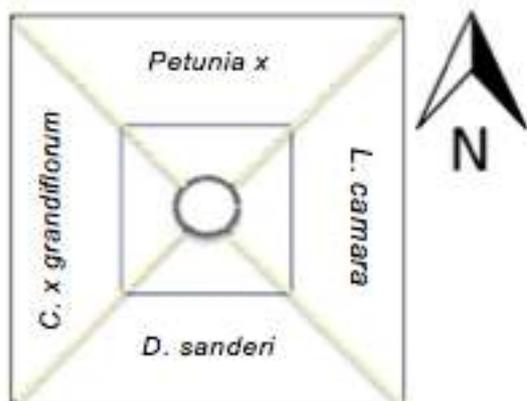
Produits	Dose (Curatif léger)	Contenant	Surface traitée en m2	Prix HT	Coût produit en €/m2	Temps de préparation bouillie/EPI/nettoyage en H	Temps application en H/m2	Coût horaire en €	Coût TOTAL pour 1000 m2	Renouvellement / mois	Coût TOTAL pour 1000 m2 PAR mois	Coût TOTAL pour 1 m2 PAR mois
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	0,5 million /m2	500 millions	1000	129,9	0,13	0,35	0,0005	16	143,60 €	0	143,60 €	0,14 €
<i>Trichogramma brassicæ</i>	50 diffuseurs /1ha	1 dose (50 diffuseurs)	5000	100,88	0,02	0	0,0015	16	44,00 €	4	176,00 €	0,18 €
<i>Bacillus thuringiensis</i>	1 kg/ha	500 g	5000	23,9	0,1	0,35	0,0005	16	113,60 €	2	227,20 €	0,23 €
<i>Steinernema feltiae</i>	1 million de nématodes /m2	250 millions	250	54,97	0,22	0,35	0,0005	16	233,60 €	0	233,60 €	0,23 €
<i>Atheta coriaria</i>	2 ind /m2	500 individus	250	54,18	0,22	0	0,0015	16	244,00 €	0	244,00 €	0,24 €
<i>Hypoaspis miles</i>	150 ind./ m2	25 000 individus	167	46,02	0,28	0	0,0015	16	304,00 €	0	304,00 €	0,30 €
<i>Hypoaspis aculeifer</i>	150 ind./ m2	10 000 individus	67	32	0,48	0	0,0015	16	504,00 €	0	504,00 €	0,50 €

Annexe II : Exemple de disposition des pièges à phéromone au sein de l'entreprise
A.



© 2018 Google
Crédit : Google Earth

Annexe III : Schémas des tests d'attractivité réalisés



Annexe IV : Test statistique de Kruskal-Wallis

Statistiques descriptives :							
Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Biobest	11	0	11	0,000	16,000	3,727	5,569
Bioline	11	7	4	0,000	15,000	6,000	6,481
Biotop	11	6	5	0,000	5,000	2,200	1,924
Test de Kruskal-Wallis / Test bilatéral :							
K (Valeur observée)	1,139						
K (Valeur critique)	5,991						
DDL	2						
p-value (unilatérale)	0,566						
alpha	0,05						
Une approximation a été utilisée pour calculer la p-value.							
Interprétation du test :							
H0 : Les échantillons proviennent de la même population.							
Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.							
Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0.05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.							
Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est de 56.59%.							
Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.							

Annexe V : Test statistique de Mann Whitney

Statistiques descriptives :							
Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Biobest	11	0	11	1,000	68,000	20,000	20,065
Koppert	8	0	8	1,000	109,000	24,625	38,004
Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :							
U	49,500						
U (normalisé)	0,000						
Espérance	44,000						
Variance (U)	145,766						
p-value (bilatérale)	0,673						
alpha	0,05						
La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0.000000s.							
Interprétation du test :							
H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.							
Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.							
Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0.05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.							
Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est de 67.26%.							
Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.							

Annexe VI : Test statistique Khi 2

Effectifs théoriques

<i>C. x grandiflorum</i>	<i>D. sanderi</i>	<i>L. camara</i>	<i>L. nobilis</i>	Total
1,75	1,75	1,75	1,75	7

Effectifs observés

<i>C. x grandiflorum</i>	<i>D. sanderi</i>	<i>L. camara</i>	<i>L. nobilis</i>	Total
1	0	6	0	7

Calcul du khi deux

<i>C. x grandiflorum</i>	<i>D. sanderi</i>	<i>L. camara</i>	<i>L. nobilis</i>	Total : X ² calculé
0,32	1,75	10,32	1,75	14,14

Décision statistique

Khi 2 calculé (p-value)	14,14
ddl (k-1)	3
Khi 2 théorique ($\alpha = 0,05$ et ddl = 3)	7,81

Résumé

Dans le cadre du projet DIAPLASCE 2, le ravageur émergeant *Duponchelia fovealis* [Lepidoptera : Crambidae] a été étudié. L'objectif de ce projet est la mise au point de méthodes de production réduisant fortement voire annulant l'usage des pesticides tout en étant très performant économiquement. Une première étape a consisté à étudier les caractéristiques biologiques des larves – prélevées sur le terrain - de *D. fovealis*. Cette étude n'a pas aboutie en raison d'un taux de parasitisme et d'une mortalité élevés. Dans un second temps, des phéromones issues de différents fournisseurs ont été comparées et testées *in vivo* chez les producteurs. Les résultats ne montrent aucune différence significative entre les phéromones issues des différents fournisseurs (p-value : 0,566 ; α : 0,05). Enfin, des tests d'attractivité de différentes espèces végétales ont été mis en place. *Lantana camara* apparaît significativement comme la plante étant la plus prisée par les femelles (p-value : 7,81 ; α : 0,05). Cette espèce pourrait donc potentiellement être utilisée comme plante-piège sur laquelle des méthodes de gestion des larves de *D. fovealis* devront être mises en place (lâchers d'auxiliaires, application de traitements localisés, etc.).

Mots clés : *Duponchelia fovealis*, phéromone, plante-piège.

Abstract

As part of the project DIAPLASCE 2, the emerging pest, *Duponchelia fovealis* [Lepidoptera: Crambidae] was studied. The objective was to develop production methods reducing greatly or even canceling the use of pesticides while being economically competitive. A first step was to study the biological characteristics of field-collected larvae of *D. fovealis*. This study was unsuccessful due to high rates of parasitism and mortality. In a second step, pheromones from different suppliers were compared and tested *in vivo* at producers. The results showed no significant difference (p-value : 0,566 ; α : 0,05). Finally, tests of attractiveness of various botanical species were set up. *Lantana camara* appears to be the most attractive to females (p-value: 7,81 ; α : 0,05). Thus this species could potentially be used as a trap-plant to apply methods of management of *D. fovealis* larvae (release of auxiliaries, spot treatments, etc.).

Keywords : *Duponchelia fovealis*, pheromone, trap-plant.

DIAPLASCE 2
Année 2019

Diagnostic précoce et plantes de service
en cultures spécialisées
Volet 2
Cas développé : *Duponchelia fovealis*



Rédigé par : Alicia Fougère et Tom Hebbinckuys en : août 2019
Réfèrent de l'essai : Tom Hebbinckuys

Contact : tom.hebbinckuys@astredhor.fr

Sommaire

1. Contexte et objectifs de l'essai.....	3
1. Comparaison des différents types de pièges à phéromones.....	3
1.1 Implantation de l'essai	3
1.2 Matériels	3
1.2.1 Matériel non-vivant	3
1.2.2 Matériel animal.....	5
1.2.3 Matériel végétal	5
1.3 Méthode : Dispositif et plan	5
1.4 Observations et notations.....	5
1.5 Résultats	5
1.6 Discussion	6
2. Test de différentes longueurs d'onde de pièges lumineux et de différentes sources de lumière	7
2.1 Implantation de l'essai	7
2.1 Matériels	7
2.1.1 Matériel non-vivant	7
2.1.2 Matériel animal.....	7
2.1.3 Matériel végétal	7
2.1 Méthode : Dispositif et plan	7
2.2 Observations et notations.....	9
2.2.1 Test de toutes les longueurs d'onde à la fois	9
2.2.2 Test de deux longueurs d'ondes autour d'une cage.....	9
2.3 Résultats	9
2.4 Discussion	9
3. Identification d'une plante de service : tests d'attractivité	10
3.1 Implantation de l'essai	10
3.2 Matériels	10
3.2.1 Matériel non-vivant	10
3.2.2 Matériel animal.....	10
3.2.3 Matériel végétal	11
3.3 Méthode : Dispositif et plan	11
3.4 Observations et notations.....	12
3.5 Résultats	12
3.6 Discussion	14
4. Conclusion générale	17

Projet DIAPLASCE 2
 Diagnostic précoce et plantes de service
 en cultures spécialisées
 - Volet 2 -
 Cas développé : Duponchelia fovealis
 (Campagne 2017-2018)

1. Contexte et objectifs de l'essai

Le lépidoptère *Duponchelia fovealis* [Lepidoptera : Crambidae] est rencontré sur une large gamme de plantes hôtes, dont voici une liste non exhaustive : *Begonia elatior*, *Bergenia cordifolia*, *Capsicum annuum*, *Chrysanthemum x grandiflorum*, *Cyclamen persicum*, *Euphorbia pulcherrima*, *Fragaria X ananassa*, *Kalanchoe blossfeldiana*, *Lantana camara*, *Mentha spicata*, *Rosmarinus officinalis*, *Thymus citriodorus*.

Les conditions favorables à son développement sont des températures comprises entre 20°C et 35°C. En effet, des températures supérieures à 35 °C sont létales pour celui-ci. Par ailleurs un taux d'humidité élevée est propice à son développement.

Les symptômes se présentent sous forme de feuilles grignotées, de flétrissements (tiges forées).

A l'heure actuelle, de nombreux moyens de gestion des populations existent, mais leurs coûts parfois élevés et leur efficacité variable sont des points qui ont été soulevés par les producteurs.

Les objectifs du projet pour l'année 2018 étaient :

1. Comparer les différents types de pièges à phéromones
2. Tester différentes longueurs d'onde de pièges lumineux et de différentes sources de lumière
3. Identifier une plante-indicatrice voire piège pour le ravageur.

1. Comparaison des différents types de pièges à phéromones

Afin de comparer l'efficacité des différents types de pièges associés aux phéromones (delta, eau et entonnoir), nous en avons installé chez plusieurs producteurs, au sein de serres dans lesquelles nous avons pu observer des larves, ou dans lesquelles les producteurs nous ont dit avoir vu des papillons.

1.1 Implantation de l'essai

L'essai a été conduit chez des producteurs adhérents à l'AREXHOR Pays de la Loire.

1.2 Matériels

1.2.1 Matériel non-vivant

1.2.1.1 Pièges delta

Nous avons à notre disposition 3 pièges delta achetés dans le commerce comme présentés en introduction, et nous en avons fabriqué 3 par la suite dans des panneaux d'Aquylux®. Dans ces pièges, nous avons placé une plaque engluée de couleur blanche sur laquelle nous avons disposé des phéromones, soit en capsule soit sous forme de gel, à l'aide d'une seringue pré-remplie.



Crédits photo : Alicia FOUGERE

Figure 1 - Piège delta installé chez un producteur

1.2.1.2 Pièges entonnoir

Nous avons utilisé des pièges entonnoir commercialisés par Biobest. Nous ne les avons pas remplis d'eau pour les premières répétitions et nous l'avons fait par la suite.

1.2.1.3 Pièges à eau

Il restait 3 pièges à eau confectionnés par le stagiaire précédent (Maxime Dupont), constitués d'une soucoupe de pot et d'un support pour les phéromones. Afin de nous affranchir du problème d'évaporation de l'eau et des chutes de soucoupes pour les répétitions suivantes, des pièges plus volumineux et stables ont été fabriqués à l'aide d'un seau contenant un volume d'eau beaucoup plus important que les soucoupes (25L d'eau). Les supports pour les phéromones étaient constitués d'un bouchon en plastique posé sur 2 cure-dents reliant 2 bouchons de liège. Ce système était maintenu au milieu du seau par une cordelette reliée à un boulon posé au fond du seau afin de maintenir la phéromone au centre du seau. Pour protéger les phéromones de



Figure 2 - Piège à eau confectionné par Maxime Dupont lors de son stage en 2018



Figure 3 - Support pour les phéromones fabriqué cette année

l'aspersion dans certains tunnels et serres, nous avons posé le couvercle du seau en équilibre sur des tuteurs, à environ 5 cm du haut du seau. Les pièges à eau étaient au début remplis avec seulement de l'eau, puis nous avons opté pour un mélange d'eau et de savon afin d'éviter que les papillons puissent repartir.



Figure 4 - Piège à eau complet, confectionné cette année

1.2.2 Matériel animal

L'espèce animale étudiée est *Duponchelia fovealis*.

1.2.3 Matériel végétal

Aucun matériel végétal n'a été utilisé.

1.3 Méthode : Dispositif et plan

Nous avons disposé les pièges chez les producteurs selon les préconisations des fabricants de phéromones (nombre de capsules ou nombre de dose de gel/m² de serre). Les pièges ont été disposés à hauteur de culture pour correspondre au mieux au trajet de vol des papillons. Ainsi, nous avons installé un trio de pièges dans une serre contenant des kalanchoe, un autre dans une serre avec des suspensions diverses (pétunia, verveine, calibrachoa...) un autre dans une collection de géranium, et un dernier trio a été disposé dans un tunnel contenant des aromatiques (thym principalement).



Figure 5 - Plan du dispositif (pièges à phéromones installés chez deux producteurs)

1.4 Observations et notations

Nous sommes allés régulièrement chez les producteurs (entre la semaine 11 et la semaine 24, toutes les semaines au départ puis une semaine sur deux lorsqu'il y avait moins de papillons piégés) et nous avons compté les mâles piégés dans chaque type de piège, avant de les retirer du piège afin d'éviter les confusions du fait de les compter plusieurs fois.

1.5 Résultats

A l'issue des tests des pièges à phéromones chez les producteurs, nous avons obtenu les résultats présentés en **figure 6**.

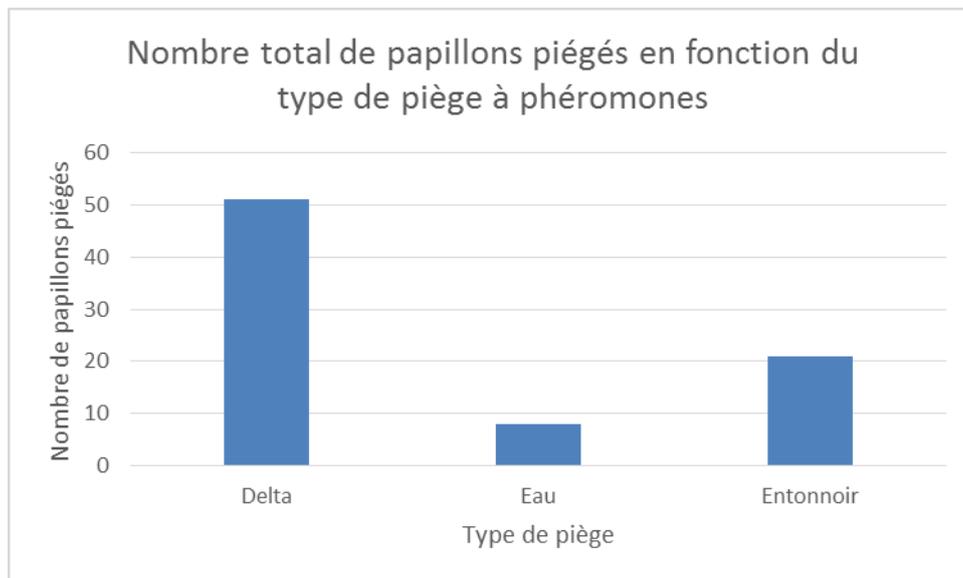


Figure 6 - Histogramme présentant le nombre de papillons piégés en fonction du type de piège à phéromones utilisé

Nous pouvons constater que le piège qui a piégé le plus de papillons est le piège delta (51 papillons piégés), suivi du piège entonnoir (21 papillons piégés) puis du piège à eau (8 papillons piégés). Un pic de piégeage a été observé au moment de l'implantation de la culture de cyclamen chez les producteurs concernés. Aucun papillon n'a été piégé en aromatiques, alors que nous avons trouvé quelques larves et chrysalides dans le même tunnel.

Un test du khi2 a été réalisé, il est significatif, avec une p-value inférieure à 0.001 (0.00000001201). On peut donc dire que le type de piège a une influence sur le nombre de papillons piégés.

1.6 Discussion

Nous avons pu observer une meilleure efficacité du piège delta par rapport aux autres pièges, ce qui ne confirme pas ce que la bibliographie annonçait. Cependant, il peut y avoir un biais dans notre essai car les pièges à eau fabriqués à l'aide de soucoupes contenaient un faible volume d'eau, qui s'évaporait rapidement puisque lorsque nous revenions une semaine après l'avoir rempli, l'eau s'était déjà totalement évaporée, sans que nous ne sachions depuis quand il n'y en avait plus. Ces soucoupes, disposées sur des pots retournés ont aussi pu se renverser lors de travaux au sein des serres, sans que personne ne les remplisse à nouveau après leur chute. Ces possibilités de chute rendaient l'utilisation d'huile (pour éviter l'évaporation de l'eau) impossible car nous craignons que l'huile tache les sols au moment du renversement du liquide.

Les pièges à eau fabriqués à partir d'un seau n'ont pas piégé de papillons non plus, mais il nous est impossible de dire si c'est à cause du fait que les pièges ne soient pas adaptés ou si c'est simplement le faible nombre de papillons présents dans les serres concernées, d'autant plus que les autres pièges installés dans ces serres et tunnels n'ont quasiment pas piégé de papillons.

De plus, pour réellement comparer les types de pièges entre eux, il faudrait comparer leur surface de piégeage (surface de la plaque engluée pour le piège delta, aire de la surface d'eau pour les pièges entonnoir et à eau). Ces surfaces seront mesurées pour les prochaines répétitions.

2. Test de différentes longueurs d'onde de pièges lumineux et de différentes sources de lumière

Nous souhaitons comparer l'efficacité de différentes longueurs d'onde pour attirer et piéger *D. fovealis*. Pour ce faire, nous avons fabriqué des pièges lumineux à l'aide de LED, que nous avons disposé dans un premier temps au sein des cultures chez les producteurs, puis sur la station.

2.1 Implantation de l'essai

L'essai a été conduit chez les producteurs adhérents à l'AREXHOR Pays-de-la-Loire ainsi que sur la station d'expérimentation de l'AREXHOR Pays-de-la-Loire.

2.1 Matériels

2.1.1 Matériel non-vivant

Nous avons découpé des plaques d'Aquylux® aux dimensions d'une feuille A4 puis percé un trou au centre de celle-ci. Nous avons ensuite monté une LED sur une pile, et placé ce montage au niveau du trou avec un interrupteur permettant d'allumer et d'éteindre facilement les pièges le soir et le matin. Nous avons utilisé 7 longueurs d'onde différentes, correspondant aux couleurs suivantes : Ultraviolet A (365 nm), Bleu (450 nm), Blanc, Vert (560 nm), Jaune (587 nm), Rouge (660 nm), Infrarouge (840 nm). Puis nous avons recouvert les plaques d'Aquylux® de glu arboricole pour piéger les insectes (Figure 7).



Crédits photo : Alicia FOUGERE

Figure 7 – Piège lumineux testé cette année

2.1.2 Matériel animal

L'espèce animale étudiée est *Duponchelia fovealis*.

2.1.3 Matériel végétal

Aucun matériel végétal utilisé, les pièges étaient installés en production.

2.1 Méthode : Dispositif et plan

Pour comparer les sept longueurs d'onde en même temps, les 7 pièges ont été disposés chez un producteur chez lequel nous avons observé des larves selon le plan figurant à la page suivante.

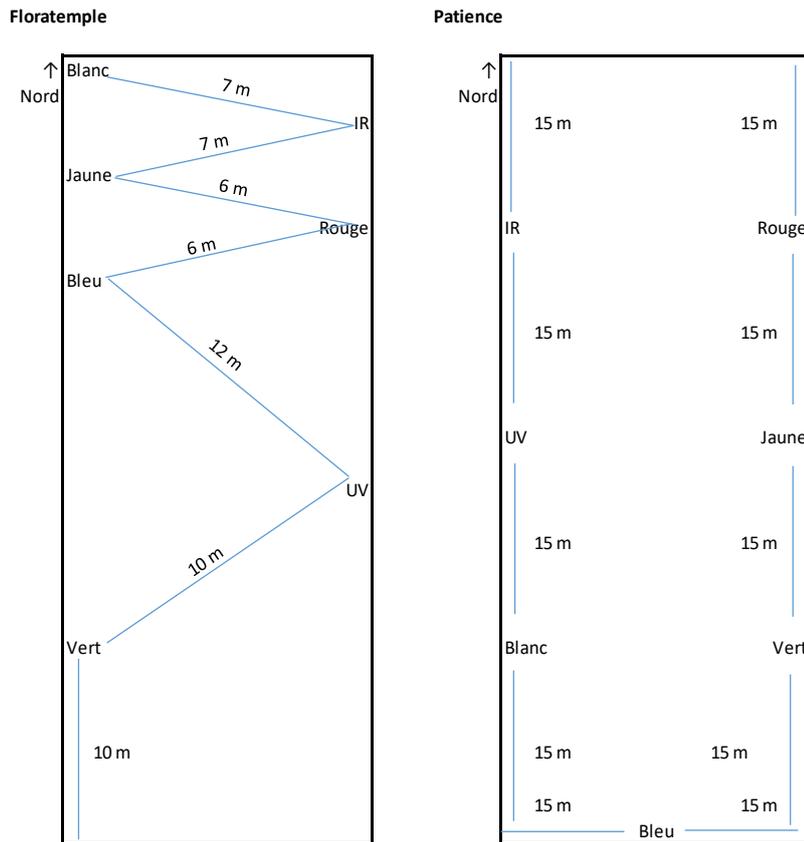


Figure 8 - Plan du dispositif pour le test des pièges lumineux

Pour comparer rapidement l'attractivité de deux longueurs d'onde différentes, des pièges ont été disposés de part et d'autre d'une cage d'élevage, recouverte d'une bâche noire pour éviter toute source de lumière extérieure au dispositif. Les deux longueurs d'onde testées étaient bien distinctes (Rouge et UV, ou Rouge et bleu par exemple).



Figure 9 – Test de deux longueurs d'onde de part et d'autre d'une cage d'élevage

Pour ces deux dispositifs, nous avons disposé une caméra qui se déclenche à chaque mouvement et qui peut enregistrer les vidéos pendant une longue durée et la nuit grâce à un phare infrarouge.

2.2 Observations et notations

2.2.1 Test de toutes les longueurs d'onde à la fois

Les pièges étaient allumés en fin d'après-midi, et éteints le lendemain matin, compte tenu du vol nocturne de *D. fovealis*. Les notations étaient effectuées le matin pour voir quels insectes étaient piégés dans la nuit.

Dans un second temps, nous avons laissé les pièges allumés une journée en faisant une notation le soir pour voir si les insectes piégés la nuit et le jour étaient différents ou identiques, et surtout pour voir si le fait de laisser un piège allumé en continu ne posait pas de problème, notamment pour le piégeage des auxiliaires.

Enfin nous regardions les vidéos pour voir si des insectes volaient autour de nos pièges sans s'y piéger afin de valider ou non le dispositif d'attraction et de piégeage.

2.2.2 Test de deux longueurs d'ondes autour d'une cage

Tout d'abord, nous soulevions délicatement la bâche noire pour compter le nombre de papillons de chaque côté de la cage, puis nous regardions les vidéos pour voir de quel côté il y avait eu le plus de mouvement au cours de la nuit.

2.3 Résultats

Chez deux producteurs différents de ceux où ont été disposés les pièges à phéromones, aucun papillon ne s'est collé aux pièges lumineux. D'autres insectes ont été piégés mais, à vue d'œil, aucune différence n'a été constatée entre les sept longueurs d'onde.

A la station, les papillons stationnaient sur les bords des cages près des lumières. Seulement, nous avons constaté systématiquement des papillons du côté de la lumière rouge, alors que nous voulions l'utiliser comme témoin négatif.

Longueurs d'onde testées	Rouge	UV
Nombre de papillons sur le côté de la cage	6	3
Longueurs d'onde testées	Rouge	Bleu
Nombre de papillons sur le côté de la cage	7	6
	4	7
	10	3

Figure 11 – Nombre de papillons comptés sur les bords de la cage en fonction de la couleur des pièges lumineux disposés près de celle-ci

Enfin, lors d'une récolte de larves chez un autre producteur, nous avons constaté un certain nombre de papillons qui volaient, nous avons donc décidé de poser les pièges pendant quelques jours dans le tunnel. Ce test n'a rien donné de nouveau, car aucun papillon n'a été piégé par nos pièges lumineux, malgré leur présence avérée.

2.4 Discussion

Les tests de pièges lumineux n'ont permis de tirer aucune conclusion pour le moment. De plus, il est impossible de valider l'essai, car nous n'avons pas de réel témoin positif. Dans l'idéal, il faudrait refaire des tests en améliorant les conditions. Le tableau ci-dessous est une liste non exhaustive des causes d'échec possibles et comment y remédier.

Tableau I - Causes d'échecs du test des pièges lumineux et solutions possibles pour y remédier

Cause d'échec	Solution(s) pour y remédier
Piège non adapté à la capture des papillons	Créer un piège à interception avec une plaque de PVC devant la LED ou bien un piège entonnoir avec la LED au fond de l'entonnoir
Odeur de la colle répulsive	Tester une colle en spray sur les plaques d'Aquylux® à la place de la glu arboricole, ou utiliser les mêmes plaques engluées que dans les pièges delta
Intensité lumineuse insuffisante	Tester avec plusieurs LED par piège au lieu d'une seule
Spectre inadapté car pas assez précis	Tester avec un tube fluorescent à la place de la LED

Pour les prochains tests, il faudrait essayer une à une chacune des solutions citées ci-dessus, afin de nous affranchir des causes d'échec possibles. L'idéal serait également de tester ces pièges lumineux à la station, avec des papillons issus de l'élevage, afin d'être sûrs, d'une part, qu'il y a bien des papillons dans le milieu où l'on teste les pièges et d'autre part du nombre de papillons présents. Nous pourrions ainsi comparer le nombre de papillons piégés au nombre de papillons lâchés. Enfin, il faudra disposer un témoin négatif fiable, qui pourrait être une plaque d'Aquylux® recouverte de glu, sans LED, ainsi qu'un témoin positif fiable, comme par exemple le même dispositif que celui qui a fonctionné chez les producteurs.

3. Identification d'une plante de service : tests d'attractivité

Pour choisir le type de plante de service à utiliser, il faut commencer par étudier la biologie du ravageur pour agir sur ce dernier en priorité, avant de s'intéresser aux auxiliaires. Dans le cas de *D. fovealis*, ravageur mobile et polyphage, il faudra privilégier une plante piège. Cette dernière devra être beaucoup plus attractive pour la pyrale que la culture en elle-même.

3.1 Implantation de l'essai

L'essai a été conduit au sein de la station expérimentale AREXHOR Pays-de-la-Loire située à Les Ponts-de-Cé, 49, dans un tunnel insect-proof.

3.2 Matériels

3.2.1 Matériel non-vivant

Aucun matériel non-vivant n'a été utilisé.

3.2.2 Matériel animal

L'espèce animale étudiée est la femelle *Duponchelia fovealis* (identifiée par AREXHOR Pays-de-la-Loire). Elles ont été utilisées afin d'effectuer les tests d'attractivité, puisque ce sont elles qui choisissent le lieu de ponte le plus approprié dans le but de déposer leurs œufs.

Nous avons lâché les papillons en positionnant la cage au milieu du tunnel, ouverture vers le haut (Figure 20). Il a fallu secouer la cage pour que les derniers papillons en sortent.

Au total, nous avons lâché 92 papillons (en 2 fois, 90 le 14 mai puis nous avons retrouvé 2 femelles 2 jours plus tard dans la cage d'origine). Parmi ces 92 papillons, nous avons 50 femelles et 42 mâles.



Figure 12 – Lâcher des papillons

3.2.3 Matériel végétal

Pour réaliser ce test de plantes pièges, nous avons utilisé des plantes réputées pour être attractives pour *D. fovealis*, et un *Elaeagnus* non sensible, utilisé comme témoin négatif, permettant de nous confirmer que les papillons ne pondent pas au hasard.

Les plantes testées sont les suivantes :

- Thym (*Thymus citriodorus*)
- Menthe marocaine (*Mentha spicata* 'Nanah')
- Kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana*)
- Heuchère (*Heuchera* sp.)
- Fraise (*Fragaria* sp.)
- Abelia (*Abelia* sp.)
- Lantana (*Lantana camara*)
- Chrysanthème (*Chrysanthemum* sp.)
- Begonia (*Begonia* 'Dragon wing')
- Sedum (*Sedum* sp.)
- Calibrachoa (*Calibrachoa* 'Cherry')
- *Elaeagnus* (*Elaeagnus* x *ebbingei*) : témoin négatif

Ces espèces ont été choisies d'après les informations recueillies auprès des producteurs et des conseillers, sur les vols observés en production. Les plantes pièges testées ont été repotées en pot de 2L.

3.3 Méthode : Dispositif et plan

Les plantes ont été disposées dans un tunnel insect-proof selon le plan qui figure ci-dessous.

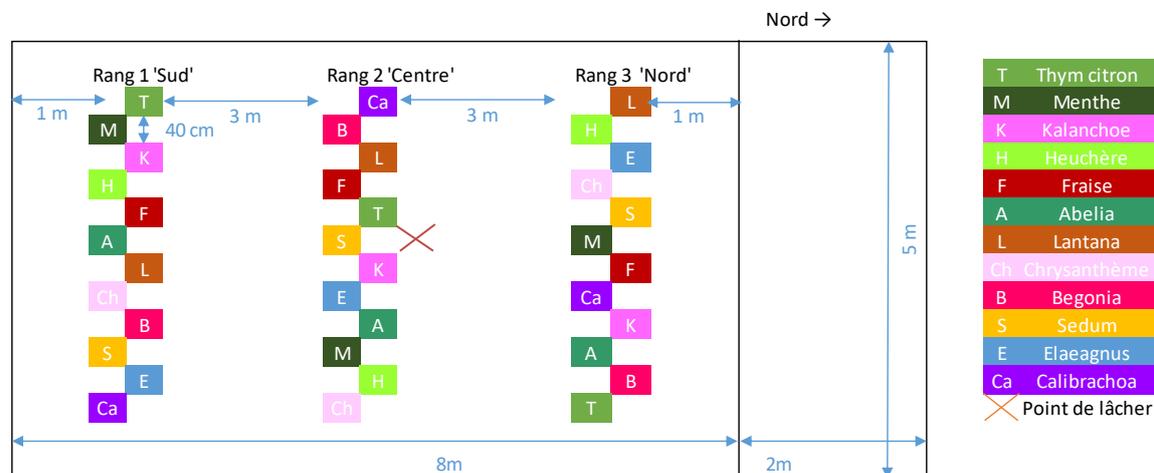


Figure 12 – Disposition des plantes pièges potentielles dans le tunnel insect-proof

3.4 Observations et notations

Le lendemain matin, nous avons agité chaque plante une par une, et compté le nombre de papillons qui en sortaient.

Puis, nous avons laissé les papillons jusqu'au 23 mai, soit 9 jours après le lâcher et nous avons compté les œufs présents sur les plantes et sur le substrat de chacun des pots.

3.5 Résultats

Nous avons tout d'abord voulu comparer le nombre d'adultes (mâles et femelles) comptés sur la plante le lendemain matin du lâcher avec le nombre d'œufs comptés sur la plante et le substrat. Nous avons pu constater qu'il n'y avait aucune corrélation ($r=37\%$) entre ces deux données. Ce critère, malgré qu'il soit plus simple et rapide à effectuer, n'est donc pas assez fiable pour caractériser l'attraction d'une plante.

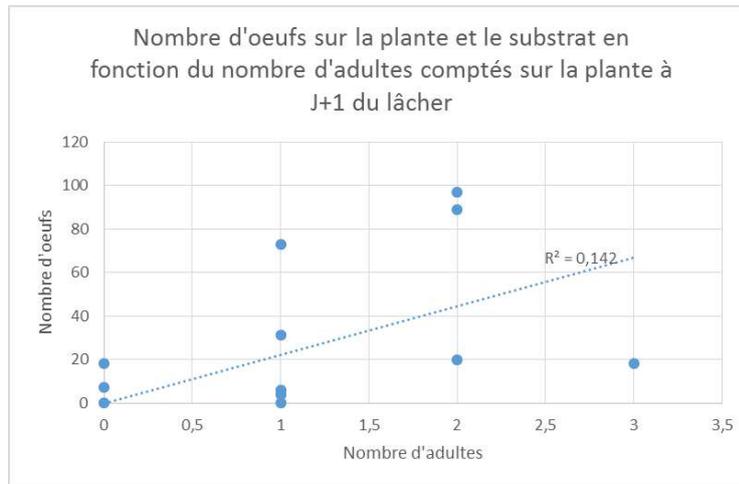


Figure 13 – Comparaison du nombre d'œufs en fonction du nombre d'adultes comptés sur chaque plante le lendemain du lâcher

Ensuite, le nombre d'œufs sur chaque plante et son substrat a été comparé entre les espèces.

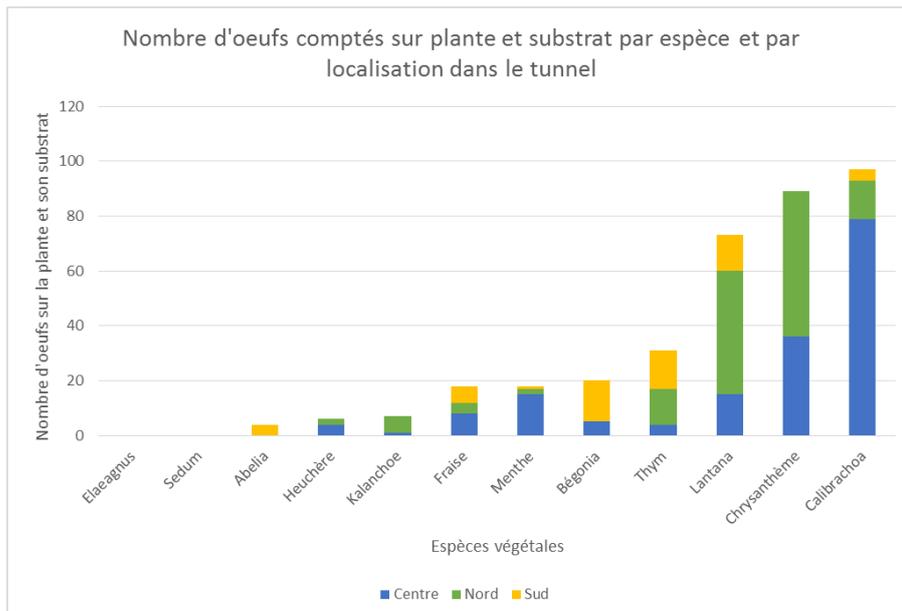


Figure 14 – Histogramme présentant le nombre d'œufs comptés sur chaque espèce de plante piège potentielle et son substrat. Les différentes couleurs représentent la localisation des plantes dans le tunnel.

Le calibrachoa, le chrysanthème et le lantana (entre 73 et 97 œufs) semblent être plus attractifs que les autres espèces (31 œufs au maximum), tandis qu'aucun œuf n'a été compté sur le sedum et l'elaeagnus. Le fraisier, la menthe, le bégonia et le thym semblent être équivalents. Ainsi, 3 groupes pourraient être créés, ils sont listés dans le tableau ci-dessous.

Tableau II - Groupes de plantes identifiés lors du test des plantes pièges potentielles

Groupe de plantes	Espèces
Plantes pas attirantes	Sedum, Elaeagnus
Plantes peu attirantes	Fraisier, Menthe, Bégonia, Thym
Plantes attirantes	Calibrachoa, Chrysanthème, Lantana

Nous avons aussi souhaité comparer entre les espèces la proportion d'œufs sur la plante et sur le substrat.

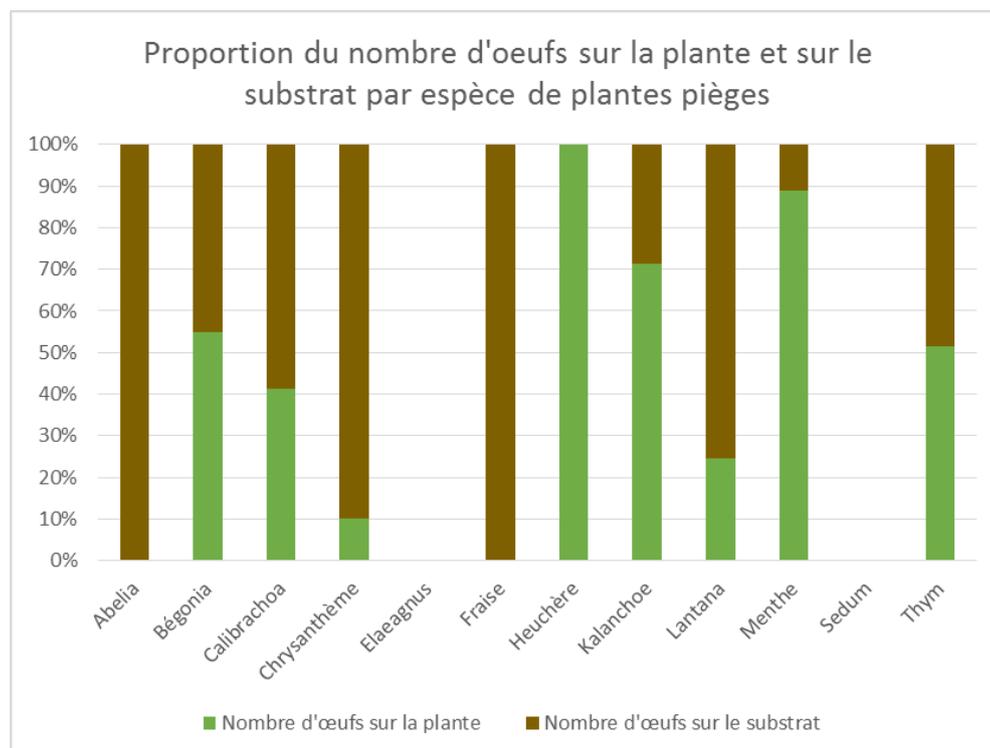


Figure 15 – Histogramme représentant la proportion, en pourcentage, d'œufs sur la plante et sur le substrat, par espèce de plante piège potentielle.

Les œufs pondus sur l'heuchère étaient exclusivement placés sur la plante, ceux pondus sur menthe et kalanchoe sont placés pour une grande partie sur la plante (89% pour la menthe et 71% pour le kalanchoe). Sur bégonia, thym et *Calibrachoa*, les proportions sont assez équilibrées (entre 41 et 55% sur la plante).

A l'inverse, les œufs déposés sur le lantana et le chrysanthème sont majoritairement retrouvés sur le substrat (75% pour le lantana et 90% pour le chrysanthème). Enfin, sur *Abelia* et fraisier, les œufs ont été pondus uniquement sur le substrat.

Au total, sur 363 œufs pondus, 33% ont été pondus sur la plante (soit 121 œufs) et 67% ont été pondus sur le substrat (soit 242 œufs).

Dans tous les cas, les œufs étaient pondus dans des endroits humides et ombragés, sous les feuilles proches du collet des plantes ou sur les morceaux de paillage incorporés dans le terreau.

Enfin, nous avons comparé le nombre d'œufs pondus à la localisation des plantes dans le tunnel.

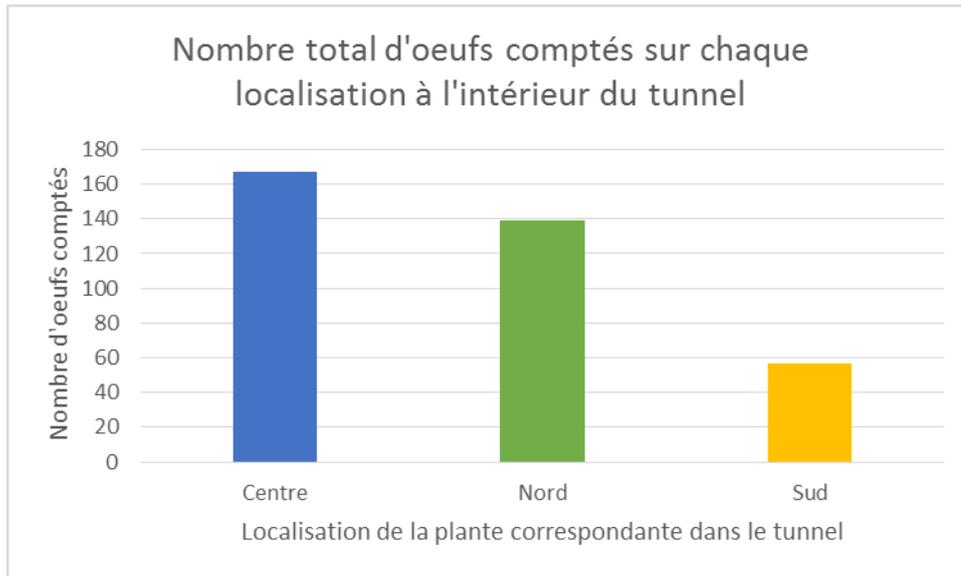


Figure 16 – Histogramme représentant le nombre d'œufs pondus en fonction de la localisation de la plante dans le tunnel.

Le nombre d'œufs sur chacun des 3 rangs est significativement différent (test du khi2 avec une p-value inférieure à 0.001). La localisation de la plante dans le tunnel a donc une influence sur le nombre d'œufs pondus sur la plante.

3.6 Discussion

Lors du comptage du nombre d'adultes sur les plantes, aucune plante ne s'était particulièrement démarquée des autres, et nous avons plutôt émis l'hypothèse de l'influence de l'exposition au sein du tunnel sur la localisation des papillons sur les plantes. En effet, le matin de la notation, il y avait plus de papillons au Nord-Est et au Sud-Ouest du tunnel. Le Sud-Ouest était ombragé par un arbre jouxtant le tunnel et le Nord-Est, quant à lui plus frais, était à l'ombre de tablettes entreposées dans le tunnel ainsi que proche d'une flaque d'eau à l'entrée de celui-ci.

Par ailleurs, nous avons supposé que ce jour-là, la majorité des papillons étaient cachés dans ces tablettes, car nous en avons observé 14 seulement sur les 92 papillons lâchés. De plus, lorsque les deux derniers papillons ont été lâchés, deux jours après les 90 autres, nous les avons observés quelques minutes, et après un bref vol dans le tunnel, ils sont tous les deux allés se réfugier dans les tablettes.

Ce type de notation est donc moins fiable que le comptage des œufs directement sur les plantes. D'autant que cela ne nous donne aucune information sur les préférences de ponte puisque nous n'étions pas en mesure de différencier à vue les papillons mâles des femelles, étant donné qu'ils étaient en vol.

Le calibrachoa s'est avéré être la plante sur laquelle le plus d'œufs ont été pondus. De plus, la proportion d'œufs pondus sur la plante et sur le substrat est quasiment équilibrée puisque 41% des œufs sont pondus sur la plante, contre 59% sur le substrat. Ce résultat est intéressant car cette espèce n'apparaissait pas comme hôte dans la bibliographie étudiée, mais confirme les observations faites chez un producteur.

Le chrysanthème est la deuxième plante sur laquelle il y a eu le plus d'œufs pondus, sauf sur le rang situé au sud du tunnel. Le rang du sud semble en effet moins attractif que les deux autres rangs, peut-être à cause du fait qu'il soit plus exposé au soleil, les plantes et substrat s'assèchent alors plus rapidement. Cet environnement plus sec attirerait moins les papillons femelles souhaitant pondre, puisqu'il a été constaté au cours de la notation que les

œufs étaient pondus dans des endroits plutôt humides comme le collet des plantes, la face inférieure de la feuille ou les premiers centimètres de substrat.

En confrontant ces résultats avec la bibliographie, le chrysanthème apparaît, au même titre que d'autres espèces comme la véronique, l'heuchère et le lierre, comme une espèce dortoir, sur laquelle les papillons se poseraient mais où la chenille ne se développerait pas (Fiche Dephy « Gérer *Duponchelia fovealis* avec des pièges à phéromones »). Cette hypothèse peut être remise en question d'une part par les observations d'œufs sur la plante de chrysanthème, et d'autre part par les observations et récoltes de larves sur les pots d'heuchère chez les producteurs. Cependant, nous n'avons pas constaté de dégâts sur ces deux espèces. Il s'agit peut-être d'espèces attirantes pour les papillons de par leur architecture, mais peu appétentes pour les chenilles qui migreraient sur les cultures avoisinantes. Ou bien les larves mangeraient les racines plus lentement que celles-ci se développent. Le lantana, quant à lui, est la troisième espèce végétale sur laquelle il y a eu le plus d'œufs pondus. Cette attractivité du lantana pour *D. fovealis* confirme les résultats de l'an passé.

Ainsi, les espèces de plantes pièges que nous pourrions potentiellement retenir sont le calibrachoa, le chrysanthème et le lantana mais cela pose problème car il s'agit d'espèces très sensibles à d'autres ravageurs. L'espèce la moins sensible à d'autres ravageurs que *D. fovealis*, serait le calibrachoa, qui reste sensible aux pucerons. De plus, la saison de culture ne coïnciderait pas totalement avec le cyclamen, plante qui serait une des plus sensibles à *D. fovealis*, mais qu'il n'a pas été possible d'inclure ici dans le dispositif car non disponible à cette période de l'année.

Concernant la proportion du nombre d'œufs sur le substrat par rapport à la plante, il est intéressant de constater ces différences entre les différentes espèces, bien qu'il soit impossible de les expliquer. On aurait pu penser que les espèces de plantes plutôt grasses (kalanchoe, bégonia) auraient le même type de proportions, mais ce n'est pas le cas. De même pour la menthe et le lantana, qui ont le même type de feuilles, mais absolument pas le même profil de résultats. De plus, le substrat de l'heuchère, seule plante sans ponte sur le substrat est différent de celui de toutes les autres.

Une autre hypothèse est possible. En effet, on pourrait supposer que le papillon choisit de pondre sur le substrat quand la plante ne lui paraît pas comestible pour la larve. Ainsi, la larve se développe dans le substrat, et se débrouille pour trouver de quoi se nourrir (racines si elles sont comestibles, débris du sol...). Une veille bibliographique sur la toxicité des plantes pièges testées ainsi que de nouveaux tests pourront nous permettre de confirmer ou infirmer ces hypothèses.

Suite à ces résultats, d'autres répétitions sont nécessaires, car les tests statistiques que nous avons tenté ne sont pas concluants, et ne reflètent pas la différence observée. En effet, un test ANOVA ne peut être réalisé car les conditions ne sont pas réunies (trop de groupes à analyser, pas d'égalité des variances).

De plus, lorsque l'on analyse les espèces 2 à 2 pour essayer de distinguer des groupes statistiques, à l'aide d'un test de Mann-Whitney, la différence entre le calibrachoa et le fraisier est non significative ($p\text{-value} = 0,188$) alors que le nombre d'œufs sur calibrachoa est plus de 5 fois supérieur à celui sur fraisier ! Nous ne pouvons donc pas confirmer statistiquement les groupes que nous avons identifiés lors de l'analyse des résultats.

Ainsi, pour les prochaines répétitions, quelques améliorations peuvent être apportées. Tout d'abord, le cyclamen pourra être ajouté à la liste des plantes testées, afin de connaître sa sensibilité par rapport aux autres espèces. Il faudrait aussi tester un pot sans plante, pour voir si le terreau a un effet attractif ou bien vérifier l'hypothèse selon laquelle le papillon pond sur le substrat quand la plante n'est pas comestible pour la larve.

Ensuite, toutes les plantes devront être rempotées dans un même substrat, car l'heuchère qui était déjà dans un pot de 2L, n'avait pas été rempotée, nous pensions que le substrat n'aurait pas d'effet sur le nombre d'œufs pondus, mais au vu des résultats, il est possible qu'il y ait une influence du couple substrat/plante sur la ponte des papillons. Ainsi, il

n'y a pas eu de ponte sur le substrat de l'heuchère, mais nous ne pouvons pas conclure sur le fait que la plante soit plus attirante que le substrat, puisque ce dernier n'était pas le même que celui des autres plantes testées. De plus, il faudrait tester une heuchère pourpre comme celles sur lesquelles nous avons observé des larves chez les producteurs.

Enfin, une ombrière pourra être ajoutée sur le tunnel insect-proof pour limiter les effets de la localisation de la plante sur le nombre d'œufs pondus, et homogénéiser les conditions environnementales entre les 3 répétitions.

4. Conclusion générale

L'objectif de cette étude était de tester différents leviers permettant de concevoir un itinéraire technique optimisé contre *D. fovealis*. Ainsi, nous avons pu tester différents types de piégeage, les pièges couplés à des phéromones et les pièges lumineux, et nous avons testé différentes espèces végétales en vue d'identifier une plante piège pour ce ravageur.

Concernant le type de piège à conseiller aux producteurs, il s'agirait du piège delta couplé à des phéromones, bien que le piège lumineux type « grille-pain » émettant dans l'UV, fasse ses preuves actuellement en production, le piège couplé à des phéromones est bien plus sélectif que le piège lumineux fonctionnant avec une ampoule UV, longueur d'onde attirant tous types d'insectes.

Le seul moyen actuellement utilisable pour mieux sélectionner les insectes est l'heure d'allumage du piège. Ainsi, une productrice nous a dit piéger plus de *D. fovealis* en allumant son piège au crépuscule. Une meilleure étude des pièges lumineux avec des longueurs d'onde plus sélectives que les UV pourrait nous permettre de placer ce type de piège comme l'un des meilleurs car il pourrait piéger des mâles et des femelles, tandis que le piège à phéromones ne piège que les mâles.

Concernant les plantes pièges, le calibrachoa a semblé être assez attractif lors de nos tests, mais sa période de culture ne coïncide pas avec la période de culture du cyclamen. Les deux autres espèces sur lesquelles les femelles ont pondu le plus d'œufs (le lantana et le chrysanthème) sont, quant à elles, sensibles à d'autres ravageurs et risque donc de les attirer dans la culture en place.

D'autres tests avec d'autres espèces pourraient nous permettre d'affiner nos identifications de plantes pièges potentielles, afin de savoir quelle espèce sera la plus attirante de toutes. Ainsi, il est primordial pour les prochaines répétitions de tester les plantes citées ci-dessus en les confrontant à un cyclamen, pour voir si elles demeurent plus attractives que ce dernier, et si c'est le cas, cela en fera de bonnes plantes pièges.

Un tableau récapitulatif des différentes méthodes pour contrôler la population de *D. fovealis* ainsi que leurs avantages et inconvénients est donné à la page suivante, il permettra d'identifier, en fonction des besoins, le type de piégeage à mettre en place dans la culture concernée.

Il paraît primordial, enfin, d'approfondir les connaissances sur *Campoletis sp*, afin d'identifier l'espèce à laquelle il appartient, pour mieux connaître son cycle biologique et ainsi le favoriser dans les milieux colonisés par *D. fovealis*.

Tableau III – Tableau récapitulatif des différentes méthodes de piégeage et de leurs avantages et inconvénients

Catégorie de piégeage	Type de piège	Avantage(s)	Inconvénient(s)	
Pièges couplés à des phéromones	Delta	S'est avéré le plus efficace des pièges à phéromones	Ne piègent que les mâles, et il faut penser à changer les phéromones fréquemment	Plaque engluée pouvant être saturée en cas de forte infestation
	Entonnoir	Efficace chez les producteurs		Difficile à fabriquer
	Eau	Facile à fabriquer		Risque d'évaporation, phéromones à protéger de l'aspersion
Pièges lumineux	UV	Efficace chez les producteurs	Piège tous types d'insectes, y compris des auxiliaires	
	Autres longueurs d'onde	Pourrait permettre de piéger les insectes de façon plus sélective	Pas encore prouvé	
Plantes pièges		Méthode peu couteuse	Aucune espèce trouvée pour le moment Peut attirer d'autres ravageurs Que faire des larves ? Problème de gestion des déchets	

DIAPLASCE 2

Année 2018

Diagnostic précoce et plantes de service
en cultures spécialisées

Volet 2

Cas développé : *Heliothrips haemorrhoidalis*



Rédigé par : Maxime Dupont et Tom Hebbinckuys en : septembre 2018

Référent de l'essai : Tom Hebbinckuys

Contact : tom.hebbinckuys@astredhor.fr

Contexte et objectifs de l'essai.....	3
1. Identification d'une plante de service : tests d'attractivité	3
1.1 Implantation de l'essai	3
1.1 Matériels	3
1.1.1 Matériel animal	3
1.1.2 Matériel végétal	4
1.1 Méthode : Dispositif et plan	4
1.2 Observations et notations.....	5
1.3 Résultats	5
1.4 Discussion	7
2. Efficacité des auxiliaires commercialisés	8
2.1 Implantation de l'essai	8
2.2 Matériels	8
2.2.1 Matériel non-vivant.....	8
2.2.2 Matériel animal	8
2.2.3 Matériel végétal	8
2.3 Méthode : Dispositif.....	8
2.4 Observations et notations.....	9
2.5 Résultats	9
2.1 Discussion	11
3. Création de l'itinéraire technique innovant.....	12
3.1 Implantation de l'essai	12
3.2 Matériels	12
3.2.1 Matériel animal	12
3.2.2 Matériel végétal	12
3.3 Méthode : Dispositif et plan	12
3.4 Observations et notations.....	14
3.5 Résultats	14
3.6 Discussion	16
4. Conclusion générale	16

Projet DIAPLASCE 2
Diagnostic précoce et plantes de service
en cultures spécialisées
- Volet 2 -
Cas développé : *Heliothrips haemorrhoidalis*
(Campagne 2017-2018)

Contexte et objectifs de l'essai

Heliothrips haemorrhoidalis [Thysanoptera, Thripidae] est rencontré sur les plantes hôtes suivantes : *Arbutus unedo*, *Bergenia cordifolia*, *Carpinus betulus*, *Codiaeum variegatum*, *Coleus sp.*, *Cordyline sp.*, *Cyclamen sp.*, *Dieffenbachia sp.*, *Euphorbia pulcherrima*, *Fagus sylvatica*, *Fuchsia sp.*, *Juniperus communis*, *Lagerstroemia indica*, *Ligustrum vulgare*, *Hydrangea serrata*, *Magnolia sp.*, *Myrtus communis*, *Pseudotsuga menziesii*, *Rhododendron sp.*, *Viburnum tinus*.

Les conditions favorables à son développement sont des températures comprises entre 21°C et 28°C. En outre, des températures supérieures à 33,5 °C additionnées avec une humidité relative faible (<70%), est préjudiciable à la survie des adultes.

Les symptômes se présentent sous forme de décoloration jaunâtre des feuilles adultes pouvant mener à leur chute.

Les objectifs de l'année 2018 étaient :

1. Identifier une plante-indicatrice voire piège pour le ravageur.
2. Tester l'efficacité des auxiliaires commercialisés.
3. Créer l'itinéraire technique innovant prenant en compte l'usage de plantes de services.

1. Identification d'une plante de service : tests d'attractivité

Afin de choisir une plante-indicatrice, voire piège, il est nécessaire d'effectuer des tests d'attractivité pour trouver l'espèce végétale la plus attrayante. Pour tester l'attraction d'une plante sur *H. haemorrhoidalis*, trois dispositifs ont été mis en place dans le but de faire ressortir des données exploitables et fiables.

1.1 Implantation de l'essai

L'essai a été conduit au sein de la station expérimentale AREXHOR Pays de la Loire située à Les Ponts-de-Cé, 49.

1.1 Matériels

1.1.1 Matériel animal

L'espèce animale étudiée est *Heliothrips haemorrhoidalis* (identifiée par AREXHOR Pays-de-la-Loire).

1.1.2 Matériel végétal

Les espèces végétales utilisées pour l'identification d'une plante de service sont les suivantes :

- *Arbutus unedo*
- *Bergenia cordifolia*
- *Codiaeum variegatum*
- *Cordyline australis*
- *Juniperus communis*
- *Laurus nobilis*

Ces espèces végétales ont été choisies en fonction de leur sensibilité à *H. haemorrhoidalis* suite aux différents retours des producteurs ainsi que des conseillers techniques.

1.1 Méthode : Dispositif et plan

Trois dispositifs ont été mis en place afin d'aboutir à des résultats concluants. Le premier dispositif (figure 1) comprenait quatre plantes posées autour d'un couvercle contenant un nombre précis d'adultes de *H. haemorrhoidalis* (100 individus pour le premier test et 200 individus pour le second test).



Figure 1 Premier dispositif

Le second dispositif (figure 2) comprenait un couvercle (contenant 50 adultes de *H. haemorrhoidalis*) disposé à proximité immédiate du feuillage. Ce couvercle était posé sur une planche à hauteur du feuillage, afin que les thrips puissent s'y diriger plus facilement. Dans ce dispositif, les tests ont été effectués par groupes de deux espèces végétales.



Figure 2 : second dispositif

Le troisième et dernier dispositif (figure 3) consistait à déposer les espèces végétales à proximité de parcelles infestées.



Figure 3 Troisième dispositif

1.2 Observations et notations

Les premières notations ont débutées 24 heures après la mise en place des plantes. Le critère de notation était l'absence/présence des adultes de *H. haemorrhoidalis* sur les espèces végétales testées.

1.3 Résultats

Les résultats des différents tests réalisés sont présentés dans les graphiques ci-dessous.

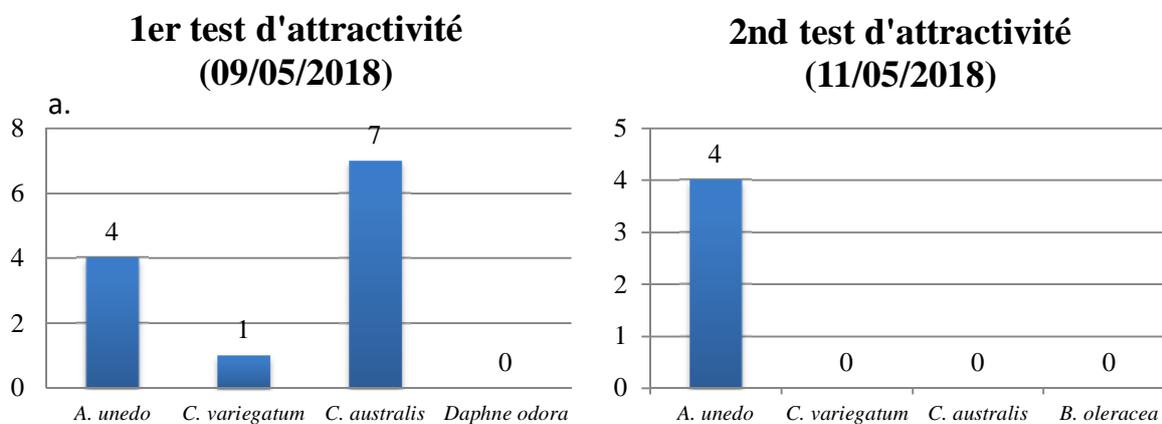


Figure 4 : Premier (a) et second (b) test effectué

Avec le premier test effectué (figure 4a), sur les 100 adultes mis au centre du dispositif, 7 ont été retrouvés sur *C. australis*, 4 sur *A. unedo* et 1 seul sur *C. variegatum*. Pour le second test (figure ab), sur 200 adultes lâchés, seuls 4 individus ont été retrouvés sur *A. unedo*.

Etant donné que peu d'individus ont été retrouvés par rapport au nombre total lâché, un second dispositif a donc été mis en place.

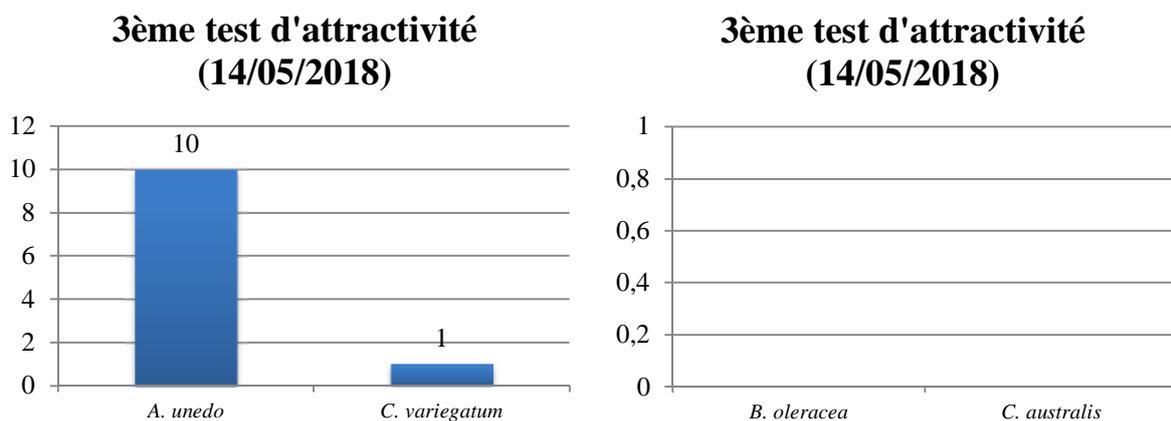


Figure 5 Troisième test

Le troisième test réalisé avec le second dispositif (figure 5), montre une tendance préférentielle de *H. haemorrhoidalis* pour *A. unedo*. En effet, sur les 50 individus lâchés, 10 ont été retrouvés sur *A. unedo* et 1 sur *C. variegatum*. Dans ce même test, 50 adultes ont été lâchés à proximité de *B. oleracea* et *C. australis* : aucun adulte n'a été retrouvé sur l'une de ces deux espèces végétales.

Comme pour le premier dispositif, peu d'individus ont été retrouvés par rapport au nombre d'adultes lâchés : un nouveau dispositif, plus simple que les deux précédents, a donc été mis en place. Ce dernier avait pour but de confirmer si *A. unedo* était l'espèce végétale la plus attrayante, parmi l'ensemble des végétaux testés.

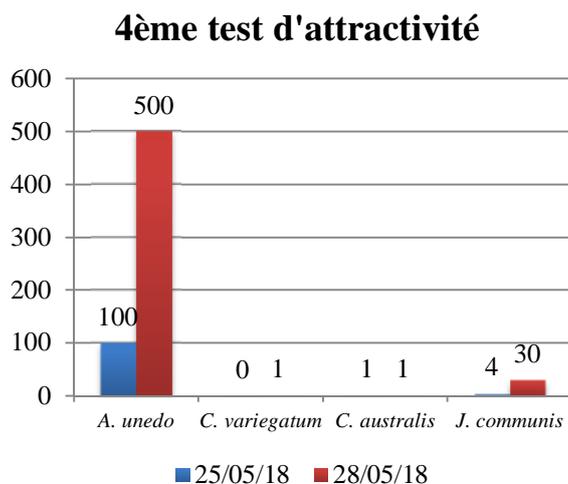


Figure 6 Quatrième test

Le quatrième test réalisé avec le troisième dispositif, montre une nette tendance préférentielle de *H. haemorrhoidalis* pour *A. unedo* (figure 6). Deux notations ont été effectuées, la première, une journée après le dépôt des plantes au sein du dispositif, la seconde, au bout de la quatrième journée de pose. Au bout de quatre jours, la population de *H. haemorrhoidalis* a été multipliée par cinq.

Afin de confirmer l'attractivité de *A. unedo*, un dernier test a été mis en place, avec cette fois-ci, deux espèces végétales : *A. unedo* et *B. cordifolia* (figure 7). Trois répétitions ont été effectuées dans un même temps. Après cinq jours de pose, plus de 700 adultes ont été retrouvés sur *A. unedo* contre seulement 50 sur *B. cordifolia*. Cette différence de population entre les deux plantes testées a été observée dans chaque répétition.

Nombre d'adultes de *H. haemorrhoidalis* retrouvés à chaque notation

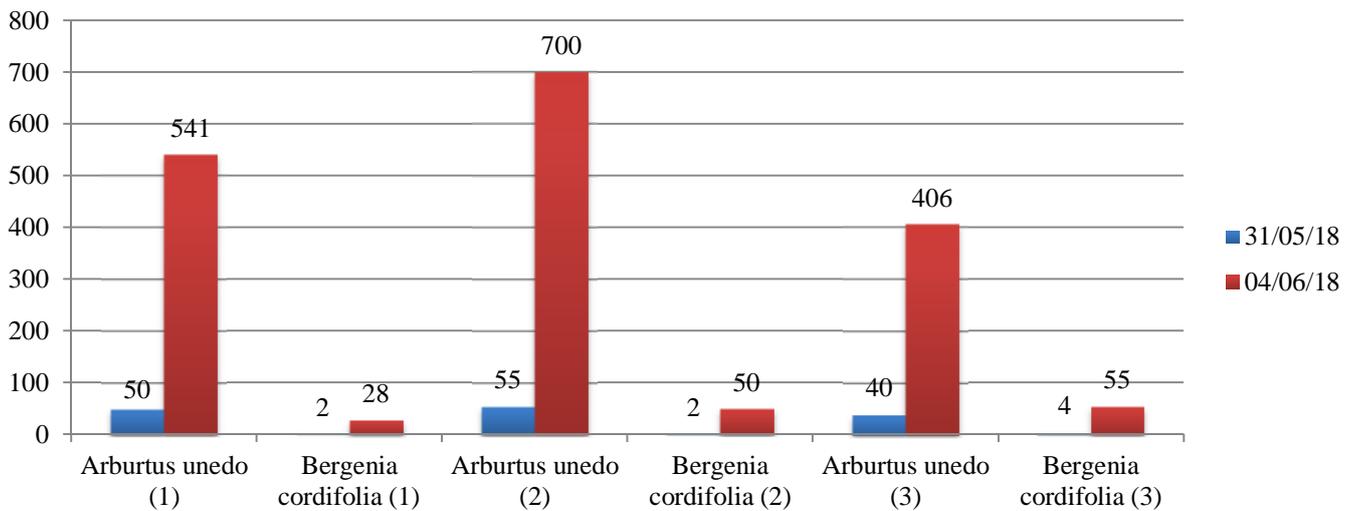


Figure 7 Dernier test

1.4 Discussion

Concernant le premier et le deuxième dispositif, sur un grand nombre d'individus lâchés, peu d'individus étaient retrouvés sur les espèces végétales, d'où la nécessité de trouver un autre dispositif permettant d'évaluer l'attractivité des plantes.

Le troisième dispositif a permis de mettre en évidence l'attractivité de *A. unedo*, parmi l'ensemble des espèces végétales testées. En l'occurrence, *A. unedo* semble être la plante la plus attractive par rapport à l'ensemble des espèces végétales testées. Dans le but d'affiner les résultats, il serait nécessaire d'évaluer si y a présence ou absence d'effet variétal.

2. Efficacité des auxiliaires commercialisés

2.1 Implantation de l'essai

L'essai a été conduit au sein du laboratoire de la station expérimentale AREXHOR Pays-de-la-Loire situé à Les Ponts-de-Cé, 49. Le laboratoire a été maintenu à une température plus ou moins constante de 21°C.

2.2 Matériels

2.2.1 Matériel non-vivant

Les supports utilisés afin de contenir les larves et adultes de *H. haemorrhoidalis* ainsi que les prédateurs, sont des boîtes rectangulaires de taille 12x9x5 (Lxlxh). Chacune de ces boîtes contenait un microtube, avec du papier humidifié à l'intérieur, servant de réserve en eau pour le matériel végétal.

2.2.2 Matériel animal

Prédateur	Ordre	Provenance / Fournisseur
<i>Chrysoperla carnea</i>	Névroptère	Biobest
<i>Chrysoperla lucasina</i>	Névroptère	If Tech
<i>Franklinothrips vespiformis</i>	Thysanoptère	Bioline
<i>Orius laevigatus</i>	Hémiptère	Biobest

2.2.3 Matériel végétal

L'espèce végétale utilisée, sensible à *H. haemorrhoidalis*, est *Viburnum tinus*. Les boutures ont été prélevées sur des pieds-mères sains. Une seule bouture a été insérée par boîte (figure 8).

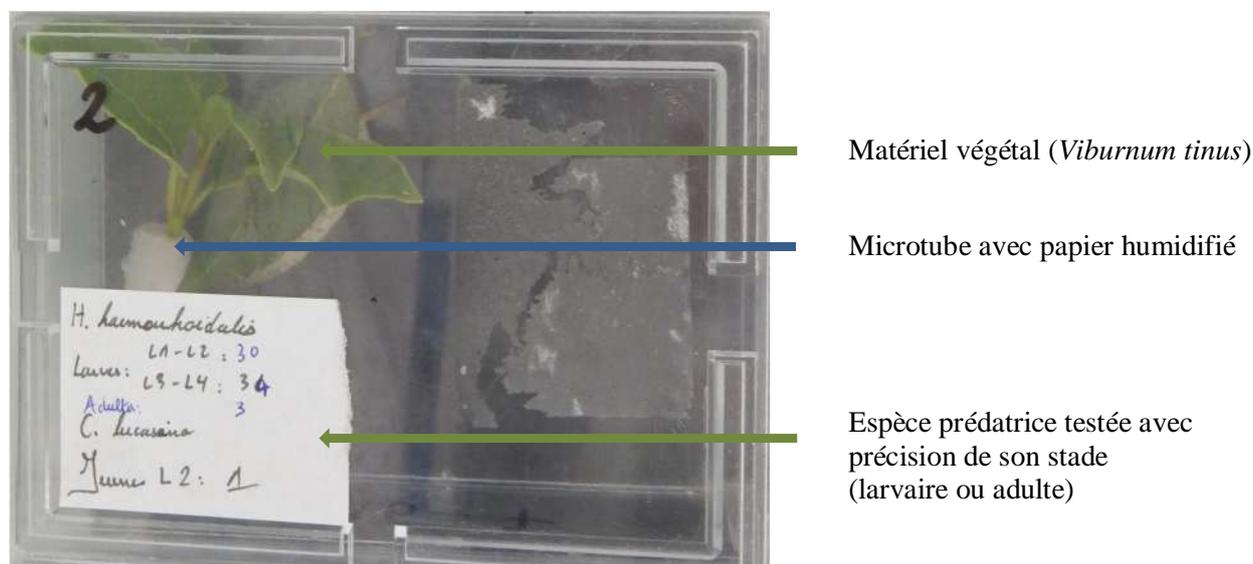


Figure 8 Matériel végétal utilisé

2.3 Méthode : Dispositif

Les modalités réalisées sont les suivantes (répétées au minimum trois fois) :

- Modalité témoin (sans prédateur).
- Modalité *Chrysoperla carnea*.
- Modalité *Chrysoperla lucasina*.
- Modalité *Franklinothrips vespiformis*.

- Modalité *Orius laevigatus*.
- Modalité *Chrysoperla lucasina* et *Aphis gossypii* : cette modalité a pour objectif d'observer si la chrysope a une préférence alimentaire envers *H. haemorrhoidalis* ou *Aphis gossypii*.

2.4 Observations et notations

Au départ, les notations ont été effectuées deux fois par semaine. Ensuite, en raison de la voracité de certains auxiliaires, elles ont été effectuées tous les jours.

2.5 Résultats

Les résultats de la consommation moyenne journalière (larves et adultes compris), présentées dans l'histogramme ci-dessous (figure 9), montrent que les deux espèces de chrysopes (*Chrysoperla lucasina* et *Chrysoperla carnea*) sont celles qui consomment le plus d'individus par rapport aux autres prédateurs testés, *Orius laevigatus* et *Franklinothrips vespiformis*. Ces derniers consomment respectivement cinq et dix fois moins que *Chrysoperla lucasina*, la chrysope la plus vorace.

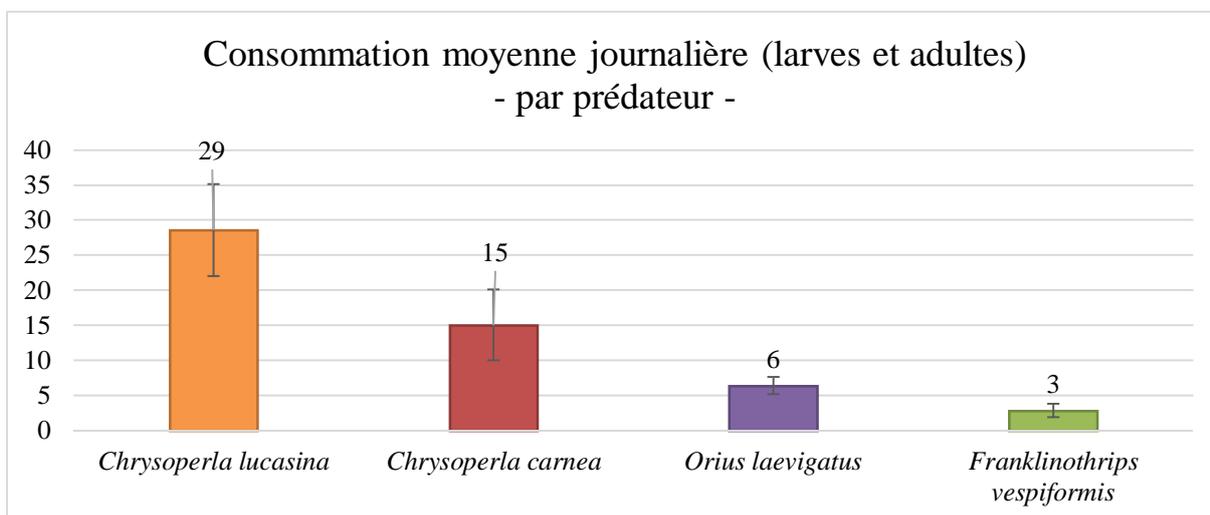


Figure 9 Consommation des proies par les prédateurs

Concernant les deux espèces de chrysopes, il existe une différence de prédation notable, comme nous le montre le graphique suivant (figure 10) : *C. lucasina* a une consommation deux fois supérieure par rapport à *C. carnea*.

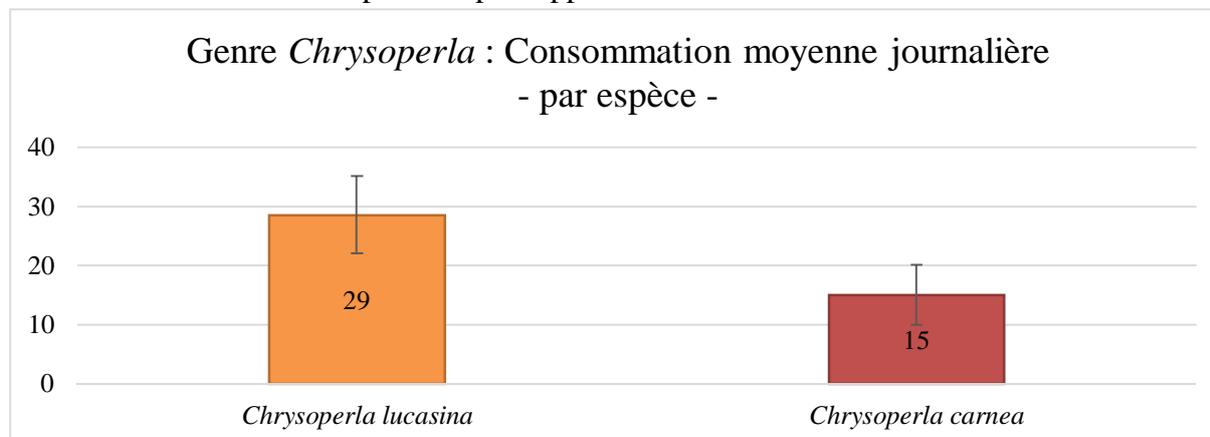


Figure 10 Consommation de proies par *Chrysoperla*

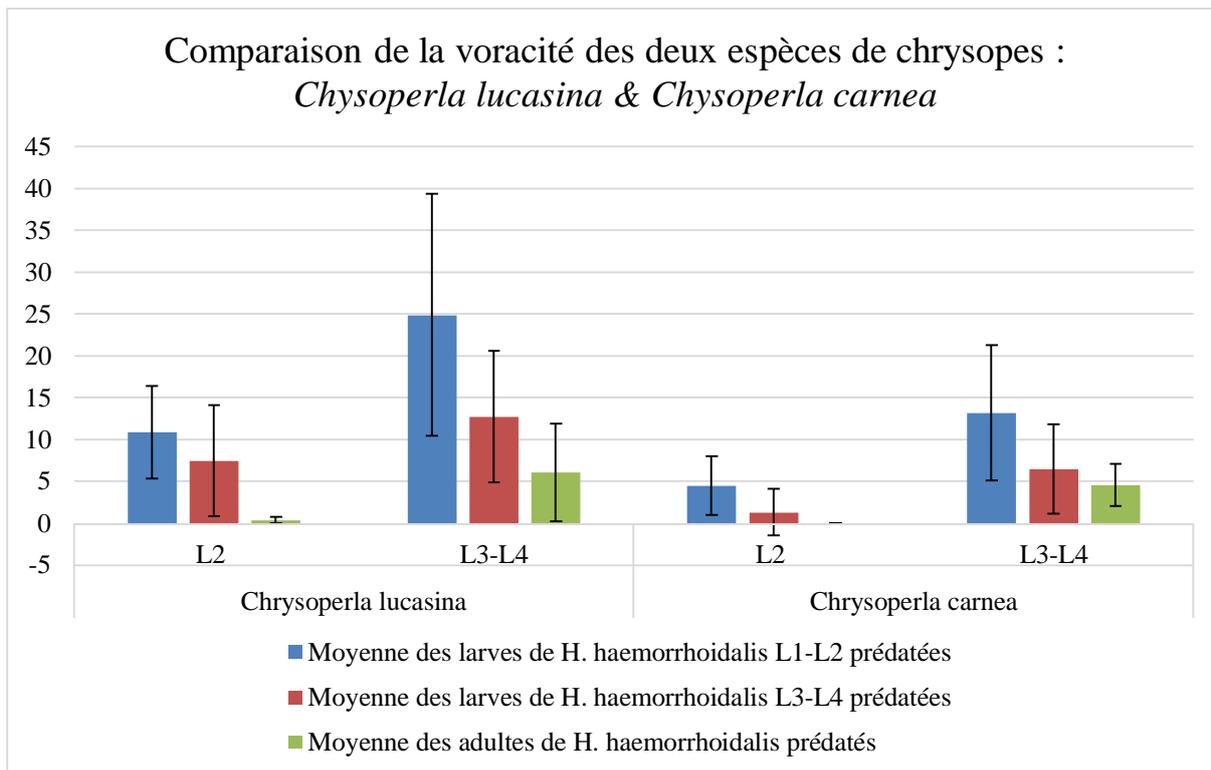


Figure 11 Comparaison de la consommation en proies des deux espèces de chrysopes

En regardant de plus près les stades de *H. haemorrhoidalis* prédatés par les chrysopes (figure 11), nous pouvons constater que ce sont les premiers stades larvaires (1 et 2) qui sont privilégiés quelle que soit l'espèce de chrysope et son stade (L2 ou L3-L4).

Etant donné que la chrysope consomme également du puceron, comme par exemple *Aphis gossypii*, des tests ont également été effectués afin d'observer si la chrysope avait une préférence alimentaire. L'histogramme ci-dessous (figure 12) montre que *Chysoperla lucasina* consomme 23 larves de pucerons contre seulement 3 larves de *H. haemorrhoidalis*.

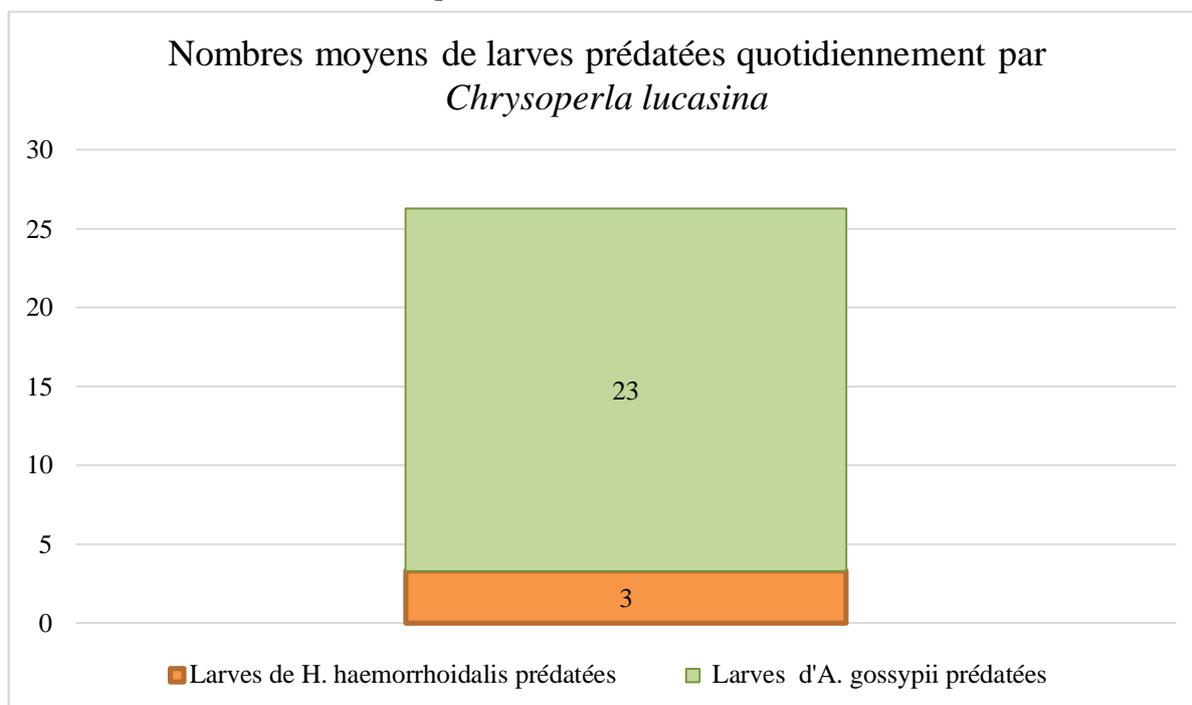


Figure 12 Préférence alimentaire de *C. lucasina*

2.1 Discussion

Les résultats des tests *in vitro* sur la voracité des auxiliaires, montrent que les névroptères *Chrysoperla lucasina* et *Chrysoperla carnea*, sont les prédateurs qui consomment le plus d'individus, sur l'ensemble des prédateurs testés.

En présence de larves pucerons, la chrysope aura une préférence alimentaire pour ces dernières. Dans le cas où une forte pression en pucerons serait présente au sein de la culture, il serait nécessaire d'utiliser, en combinaison avec la chrysope, un autre prédateur de ce thrips (*O. laevigatus* ou *F. vespiformis*).

Quant à *O. laevigatus*, ce prédateur consomme peu d'individus par rapport aux deux espèces de chrysopes testés.

En ce qui concerne le prédateur *F. vespiformis*, il est à noter que les individus utilisés provenaient d'un lot ou l'élevage de ces derniers a été difficile. En effet, des larves de *F. vespiformis* ont été envoyés à la station, avec une démarche à suivre, afin de les mener jusqu'au stade adulte. Des tests seront à conduire avec des individus d'un autre lot afin de confirmer ou non les résultats obtenus.

3. Création de l'itinéraire technique innovant

3.1 Implantation de l'essai

L'essai a été conduit au sein des tunnels 2 et 4 de la station expérimentale AREXHOR Pays-de-la-Loire située à Les Ponts-de-Cé, 49.

3.2 Matériels

3.2.1 Matériel animal

Pour la modalité innovante avec les plantes de services, un lâcher de *Chrysoperla carnea* a été effectué (provenance / fournisseur : Bioline).

3.2.2 Matériel végétal

L'espèce végétale utilisée, sensible à *H. haemorrhoidalis*, est *Viburnum tinus*. Les plantes de service utilisées sont :

- *Arbutus unedo* : pour la détection précoce des premières générations du ravageur.
- *Potentilla fruticosa* 'Goldfinger': pour le maintien de *Chrysoperla carnea* à proximité de la culture.

3.3 Méthode : Dispositif et plan

L'essai a été conduit dans deux tunnels hors-gel de 50 m², culture au sol, aération latérale manuelle, arrosage par goutteurs à l'eau claire. Les plantes ont été rempotées dans des pots de 2 litres avec un engrais à libération lente à raison de 2g/l (Osmocote 8-9 mois : 15-9-11 + 2 Mg).

Les modalités étaient les suivantes :

- Modalité témoin
 - o Pas de contrôle des populations.
- Modalité plantes de services et lâchers d'auxiliaires
 - o Contrôle des populations de *H. haemorrhoidalis* par lâchers de *C. carnea* :
 - 5/m² sur la culture de *V. tinus*.

Chaque modalité comportait un total de 70 *V. tinus*. Le plan de l'essai est visible en figure 13.

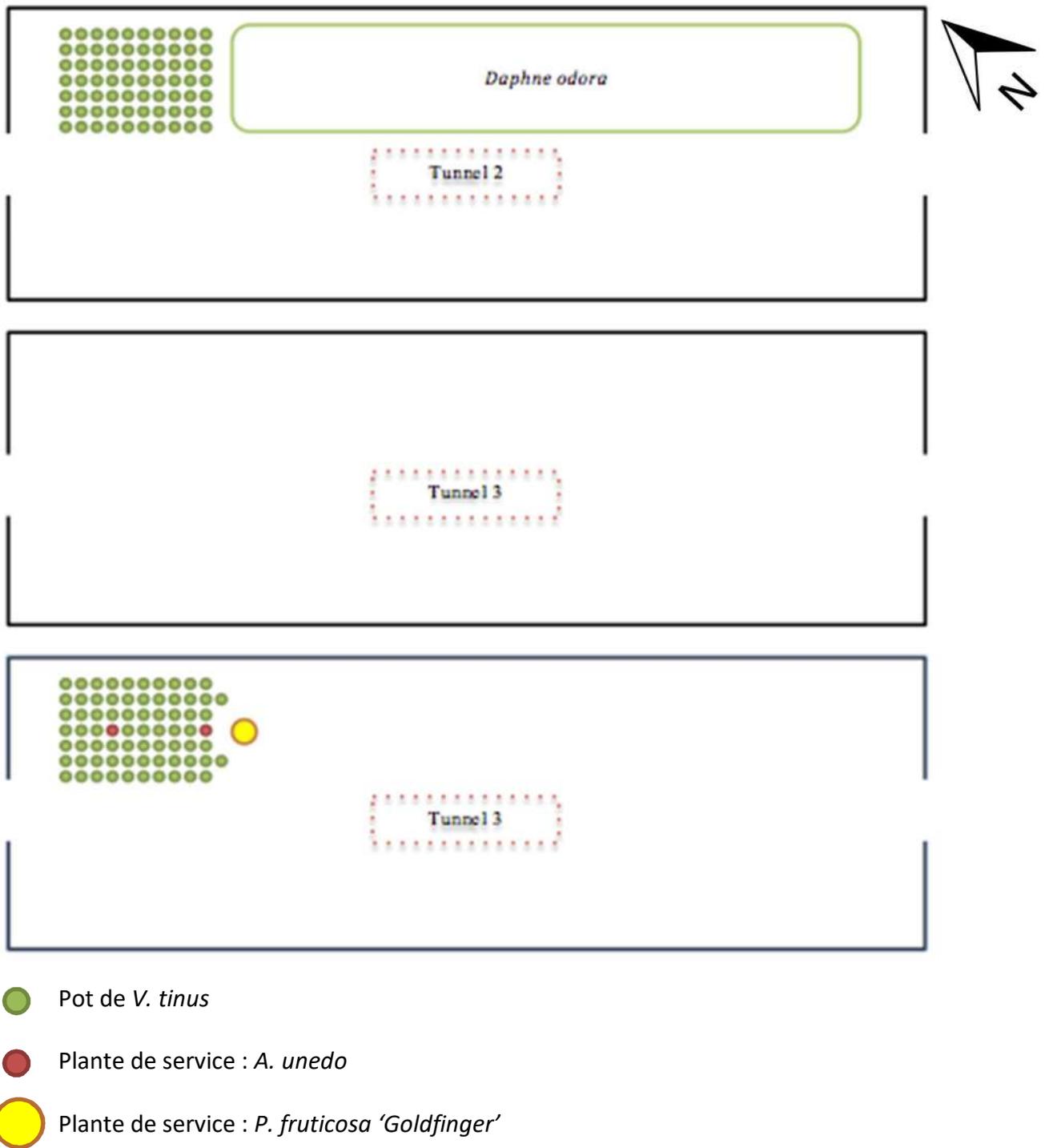


Figure 13 Plan de l'essai

3.4 Observations et notations

L'essai a été mis en place le 19 juillet 2018 (semaine 29). Le premier apport de *Chrysoperla carnea* a été effectué en semaine 30, juste après la notation. Le second a été effectué à une semaine d'intervalle, en semaine 31 (également après la notation). Les notations ont été effectuées chaque semaine, le jeudi.

3.5 Résultats

Lors de la réception des plants de *V. tinus*, la présence de *H. haemorrhoidalis* a été détectée. Une première notation a donc été effectuée (juste après le repotage, le 20 juillet) afin de déterminer le degré d'infestation des plants et d'égaliser le nombre de larves et d'adultes au sein de chaque modalité au démarrage de l'essai.

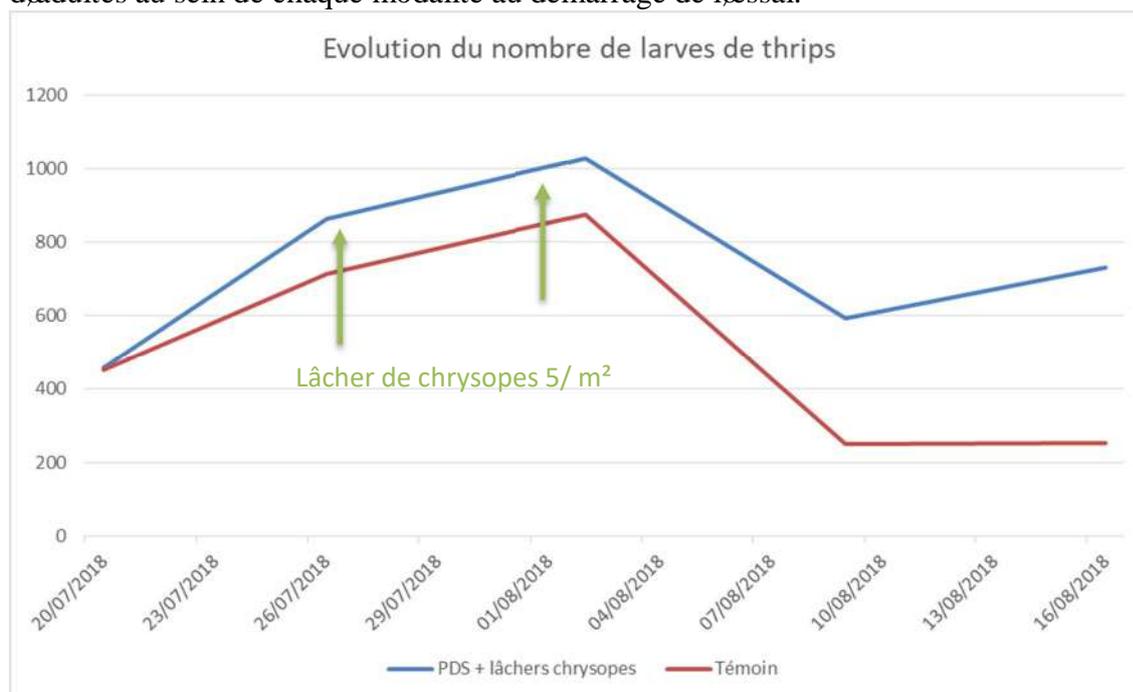


Figure 14 : Nombre de larves de *H. haemorrhoidalis* au cours de la première série

Sans qu'on ne sache vraiment pourquoi, la culture hébergeant le moins de *Heliiothrips* est la modalité témoin, alors qu'aucun auxiliaire naturel n'a été observé. Début août, de très fortes chaleurs ont été enregistrées et ont affecté les populations de *Heliiothrips*. La régulation biologique qui allait être effectuée par les chrysopes est alors difficilement évaluable puisque la population de thrips a naturellement diminuée. Et les chrysopes ont probablement été impactées aussi par ces fortes chaleurs.

A la suite de cela, une deuxième série d'essai avec les mêmes modalités (un seul changement : des lâchers de chrysopes à 10/m² au lieu de 5/m²) a été réalisée :

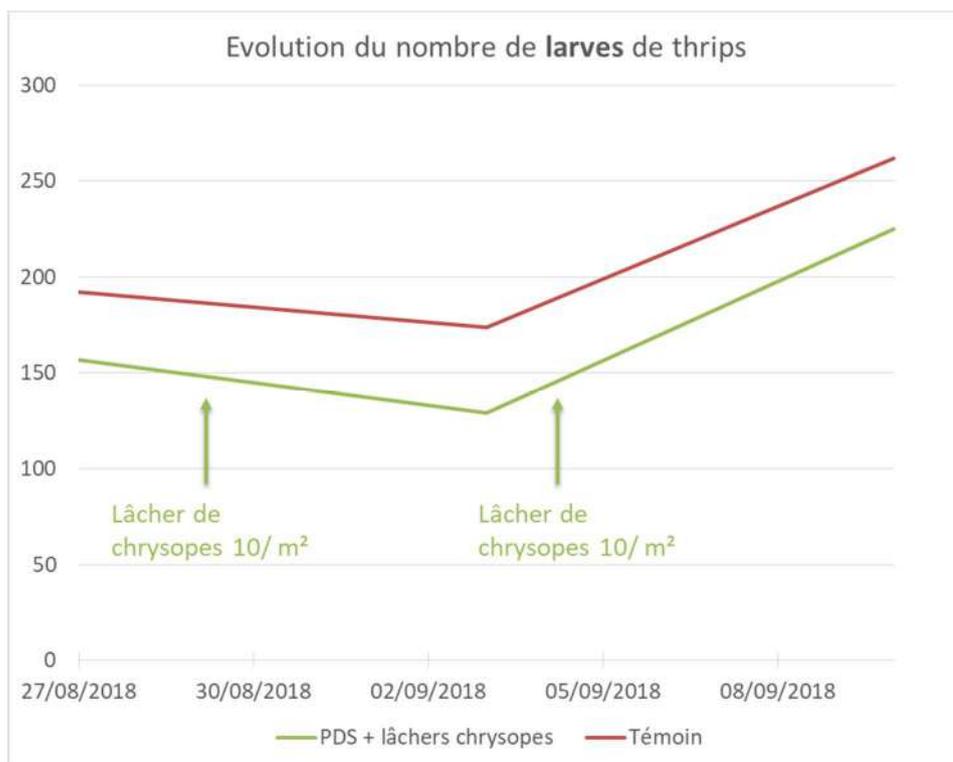


Figure 15 : évolution du nombre de larves de thrips au cours de la deuxième série

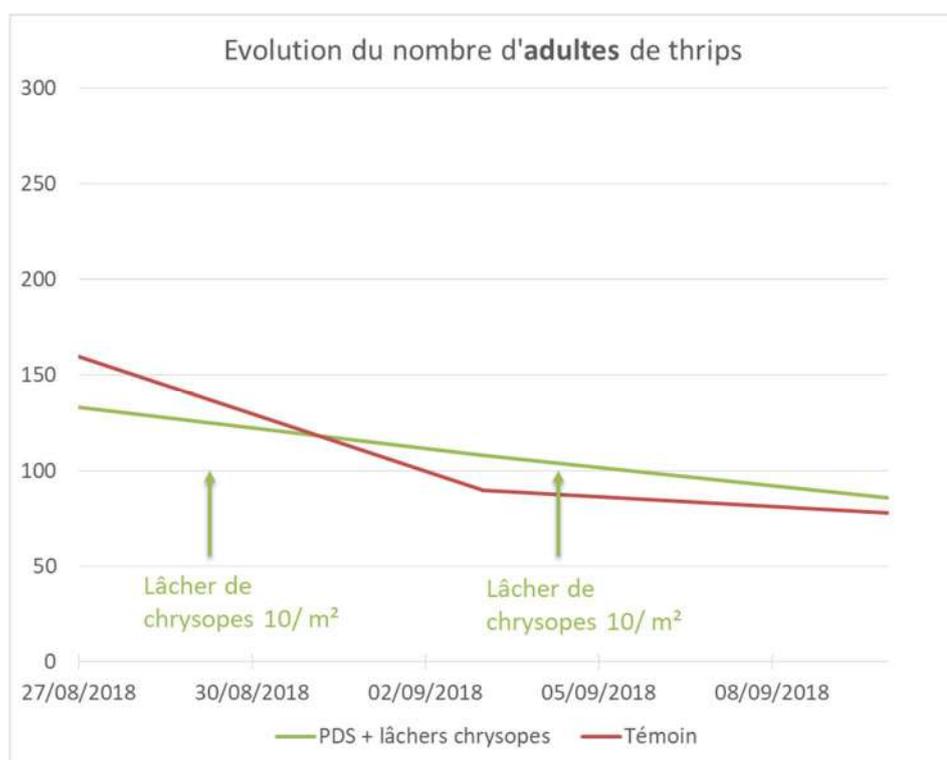


Figure 16 : évolution du nombre d'adultes de thrips au cours de la deuxième série

Lors de cette deuxième série nous remarquons que l'évolution de population de thrips entre les deux itinéraires est strictement identique. Les *Arbutus* en tant que plante-piège n'ont hébergé aucun heliothrips. L'essai s'est terminé précocement en septembre, ne permettant pas d'évaluer suffisamment l'effet des sur la population de thrips.

Les tendances globales sont tout de même identiques entre un itinéraire témoin et un itinéraire avec plante-piège potentielle et lâchers de chrysopes.

3.6 Discussion

Série 1 : Pour la modalité avec les plantes de services, les adultes de *H. haemorrhoidalis* tardent à migrer sur *A. unedo*, malgré leur présence homogène sur l'ensemble de la culture.

Lors de la notation en semaine 32, le 9 août, une chute brutale du nombre de larves a été observée. Les données météorologiques des tunnels ont été relevées, en raison de fortes chaleurs les jours précédents. Des pics de températures, supérieurs à 46°C pourraient être à l'origine de la diminution du nombre de larves.

Il est à noter que la modalité avec les plantes de service et les lâchers de chrysopes a été disposée dans un tunnel où la pression de *H. haemorrhoidalis* s'est avérée notable, les semaines précédant la mise en place de l'essai. Cette pression parasitaire pourrait peut-être expliquer le fait que la population de larves soit plus importante dans la modalité avec les plantes de services que dans le témoin. Une question émerge alors : est-ce que les larves de *H. haemorrhoidalis* se sont conservées sur/sous la bâche de culture ?

Série 2 : Les dynamiques de population entre l'itinéraire témoin et l'itinéraire innovant sont quasiment identiques. Aucun Heliothrips n'a été observé sur *Arbutus*. Cette plante-piège n'est donc pas validée pour attirer *Heliothrips haemorrhoidalis*. Les lâchers de chrysopes ne semblent pas avoir eu un effet très marqué pour contrôler la population de thrips. Cette inefficacité pourrait être expliquée par la présence de pucerons dans l'essai. Or nous savons que le puceron est la proie préférentielle de la chrysope. Elles auraient alors suffisamment de pucerons pour ne pas avoir à consommer du thrips.

4. Conclusion générale

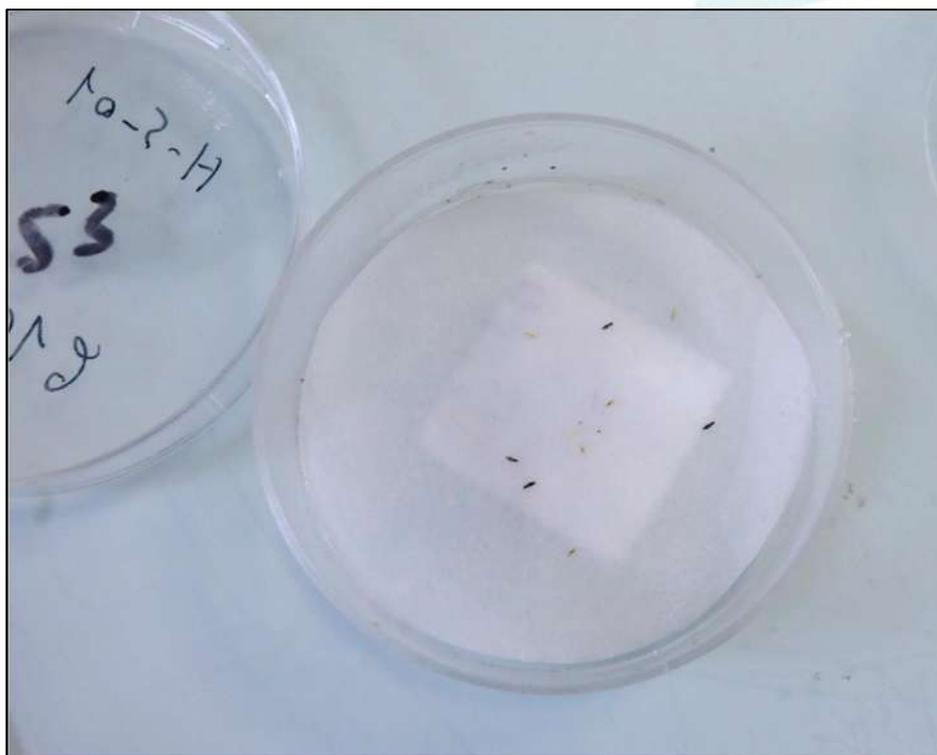
L'évaluation de l'attractivité des espèces végétales les plus sensibles à *H. haemorrhoidalis*, a permis de mettre en valeur qu'*Arbutus unedo* est la plante la plus attractive, selon les plantes testées. Afin d'affiner les résultats, il sera nécessaire d'évaluer s'il y a présence ou absence d'effet variétal.

Concernant l'étude de la voracité des auxiliaires, *Chrysoperla lucasina* est le prédateur qui consomme le plus d'individus, *in vitro*, parmi l'ensemble des prédateurs testés. Il est à noter qu'en présence de larves pucerons, cette dernière les préfère aux larves de thrips.

Afin de valider *A. unedo* en tant que plante-piège ou plante-indicatrice et *C. lucasina* en tant que prédatrice la plus efficace, un itinéraire technique a été mis en place. Ce dernier n'a pas permis de confirmer, en conditions *in vivo*, l'efficacité de piégeage *A. unedo* et de prédation de *C. lucasina*.

Évaluation *in vitro* de l'efficacité des nématodes entomopathogènes contre
Heliothrips haemorrhoidalis et la cochenille farineuse *Planococcus citri*

Année 2019



Projet :
Diaplasce 2

Rédigé par :
Guillaume Goanvic, mars 2020

Référent technique :
Alain Ferre

Résumé

Cet essai, réalisé en boîte de Pétri, a évalué l'efficacité de trois espèces de nématodes entomopathogènes contre deux ravageurs, *Heliothrips haemorrhoidalis* (larves et adultes) et la cochenille farineuse *Planococcus citri* (larves). Les trois espèces évaluées sont *Steinernema feltiae*, *Steinernema kraussei* et *Heterorhabditis bacteriophora*. Elles seront comparées à une modalité « témoin eau ». Les ravageurs sont mis en contact avec une quantité de nématodes correspondant à 500 ind/m². Deux notations sont réalisées, la première à deux jours après mise en place et la seconde cinq jours après. Les résultats obtenus sont exprimés en pourcentage de mortalité de ravageur et sont assez équivalents quel que soit le ravageur. *Steinernema feltiae* montre les meilleurs scores, suivi par *S. kraussei* et enfin *H. bacteriophora*. Seuls les résultats obtenus avec *S. feltiae* sur larves sont statistiquement différents de la modalité témoin. Malgré ces différences significatives, les scores sont assez faibles et une certaine hétérogénéité est constatée au sein des modalités. Cet essai a permis la validation d'un protocole simple d'évaluation en conditions contrôlées. Ce protocole pourra être utilisé pour continuer à évaluer l'efficacité de nématodes, et notamment la comparaison des différentes souches de *S. feltiae*. Une fois la souche la plus prometteuse identifiée, des essais en condition de production pourront être réalisés de façon à valider l'éventuel intérêt des pulvérisations foliaires de *S. feltiae* contre des ravageurs comme *Heliothrips haemorrhoidalis* et *Planococcus citri*.

Sommaire

Résumé	2
1 Contexte de l'essai	4
2 Matériel et méthode.....	4
2.1 Localisation	4
2.2 Modalité et dispositif	5
2.3 Mise en œuvre	5
2.4 Insectes testés et nombre par parcelle	7
2.5 Critère de notation	7
2.6 Calendrier.....	8
3 Validation de l'essai	8
3.1 Vitalité des nématodes.....	8
3.2 Contact des insectes avec le buvard	8
3.3 Témoin eau	8
4 Résultats :	9
4.1 <i>Heliothrips haemorrhoidalis</i>	9
4.1.1 Mortalité des adultes :	9
4.1.2 Mortalité des larves :.....	10
4.2 <i>Planococcus citri</i>	11
4.2.1 Mortalité	11
4.2.2 Mortalité corrigée :	12
5 Discussion	13
6 Conclusion	13
7 Références bibliographiques.....	14

1 Contexte de l'essai

Les nématodes entomopathogènes sont des vers microscopiques (< 1mm) vivant dans le sol. Ce sont des parasitoïdes d'arthropodes dont les familles Steinernematidae et Heterorhabditidae sont utilisés depuis plusieurs années pour lutter contre certains parasites du sol. Les nématodes pénètrent leur proie par les orifices naturelles ou alors directement grâce à leur stilet ou par sécrétion enzymatique. Les nématodes présentent la particularité de vivre en symbiose avec certaine bactérie (différente en fonction du genre). Une fois libérée à l'intérieur de l'hôte, la bactérie va s'y multiplier et libérer des toxines, entraînant la mort par septicémie en 24-48h. Les bactéries sécrètent également des composés antibiotiques qui vont empêcher la putréfaction du cadavre et inhiber le développement d'autres agents microbiens. Les nématodes peuvent alors consommer leur proie et s'y multiplier. Une nouvelle génération émergera de l'hôte et s'en ira parasiter de nouvelles proies. L'efficacité de ces auxiliaires n'est plus à prouver pour contrôler certains ravageurs telluriques, ou effectuant une phase de leur cycle dans le sol (mouches des terreaux, *Otiorhynchus sp.*, les verts gris...)

Depuis quelques années, les nématodes sont utilisés en applications foliaires pour lutter contre certains ravageurs (charançon du palmier, papillon palmivore, tigre du platane, criocère de l'asperge...). Certains essais ont montré un intérêt certain à l'utilisation des nématodes pour agir sur la nymphe du thrips *Frankliniella occidentalis* (phase qui a lieu au sol).

Le but de cet essai est d'évaluer l'intérêt de certaines espèces de nématodes entomopathogènes commercialisées pour lutter contre deux ravageurs problématiques, le thrips des serres *Heliothrips haemorrhoidalis* et la cochenille farineuse *Planococcus citri*. L'essai sera réalisé en conditions contrôlées afin de sélectionner la ou les espèces les plus appropriées à être évaluées en conditions de production.

2 Matériel et méthode

2.1 Localisation

Arexhor Pays de la Loire, laboratoire.

Température : 20°C

Photopériode naturelle

2.2 Modalités et dispositif

Suivant la bibliographie (Ebssa *et al.*, 2001 a+b ; Ebssa *et al.*, 2004 ; Chyzik *et al.*, 1996) nous avons décidé de tester trois espèces de nématodes présentes sur le marché à savoir *Steinernema feltia*, *Steinernema kraussei* et *Heterorhabditis bacteriophora*. Les auxiliaires testés ont été fournis par la société Biobest. Ils ont été évalués à la dose de 500 individus/cm².

Modalité 1 : témoin eau

Modalité 2 : *Steinernema feltiae*, 500 / cm²

Modalité 3 : *Steinernema kraussei*, 500 / cm²

Modalité 4 : *Heterorhabditis bacteriophora*, 500 / cm²

Réalisant ce test pour la première fois, nous ne savons pas quelle va être l'homogénéité des résultats. Ainsi, nous avons réalisé 8 répétitions pour le thrips et 4 répétitions pour la cochenille.

2.3 Mise en œuvre

2.3.1 Etapes de préparation

Nous avons suivi le protocole suivant :

- 1- les tests sont réalisés en boîte de Petri ronde de 24 cm². Au fond de cette boîte est installé un papier buvard imbibé d'une solution de nématodes (sauf pour le témoin) à une concentration telle que la densité sera de 500 individus / cm²,
- 2- Il est vérifié par observations microscopiques que les nématodes sont vivants,
- 3- les insectes sont posés sur le papier buvard. La boîte est refermée et scellée avec du film alimentaire,
- 4- les individus vivants et morts sont dénombrés après 48h et 5 jours

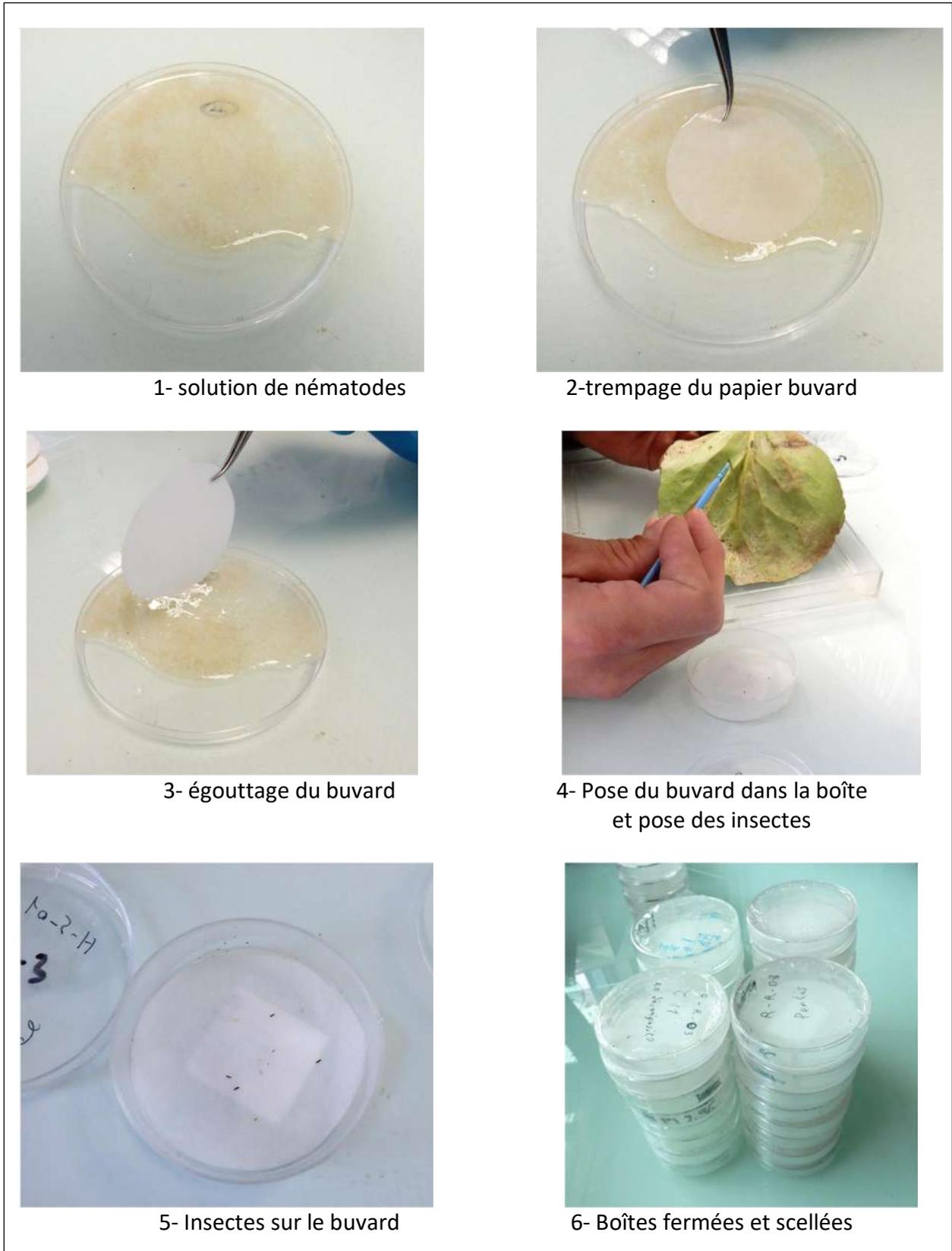


Figure 1 : Étapes de mise en place de l'essai

2.3.2 Dosage des nématodes

Les disques de buvard font 24 cm².

Le buvard absorbe 0,408 ml.

Pour obtenir 500 individus par cm², la concentration des solutions de nématodes doit donc être de 29 411 individus / ml. Nous avons arrondi à 3.10⁴ individus / ml soit 510 individus /cm².

Pour réaliser les trempages, nous avons préparé 10 ml de solution.

Tableau 1 : quantité de nématodes pour 10 ml

Nématodes	Masse du produit commercial pour 5.10 ⁶ individus	Masse du produit commercial pour 3.10 ⁴ individus	Masse du produit commercial pour 10 ml
<i>Steinernema feltiae</i>	7,5 g	0,045 g	0,45 g
<i>Steinernema kraussei</i>	12,6 g	0,076 g	0,76 g
<i>Heterorhabditis bacteriophoria</i>	3,76 g	0,023 g	0,23 g

2.4 Insectes testés et nombre par parcelle

Nous avons testés l'efficacité des nématodes sur :

- *Heliothrips haemorrhoidalis*, 4 adultes et 6 larves par boîte,
- *Planococcus citri*, 6 larves par boîte

2.5 Critère de notation

À chaque notation étaient dénombrés le nombre d'individus vivants et morts. Cette notation était réalisée sous loupe binoculaire.



Adulte *Heliothrips haemorrhoidalis* parasité et entouré de nématodes



Larve *Heliothrips haemorrhoidalis* parasitée et entourée de nématodes



Larve de *Planococcus citri* parasitée et entourée de nématodes

Figure 2 : illustrations d'individus parasités par les nématodes observés pendant les notations

2.6 Calendrier

Le tableau suivant synthétise les différentes dates d'interventions.

Tableau 2 : dates d'interventions et de notation

Date	<i>Heliothrips haemorrhoidalis</i>	<i>Planococcus citri</i>
20/11/19	Pesée des nématodes Mise en solution Vérification de la vitalité des nématodes Mise en boîte des insectes sur le papier buvard	
22/11/19	Notation (dénombrement des vivants et des morts)	-
25/11/19	Notation (dénombrement des vivants et des morts)	

3 Validation de l'essai

3.1 Vitalité des nématodes

Pour les trois espèces, les nématodes étaient bien vigoureux une fois remis en solution. À chaque notation, la vitalité des nématodes a été confirmée.

3.2 Contact des insectes avec le buvard

Après vérification à la loupe binoculaire, les insectes étaient bien en contact avec la solution du papier buvard.

3.3 Témoin eau

Test *Heliothrips haemorrhoidalis* : aucune mortalité ne fût observée sur les individus du témoin eau.

Test cochenille farineuse : nous avons constaté de la mortalité y-compris pour les individus de la modalité témoin et cela sera pris en compte dans l'interprétation des résultats.

4 Résultats :

4.1 *Heliothrips haemorrhoidalis*

4.1.1 Mortalité des adultes :

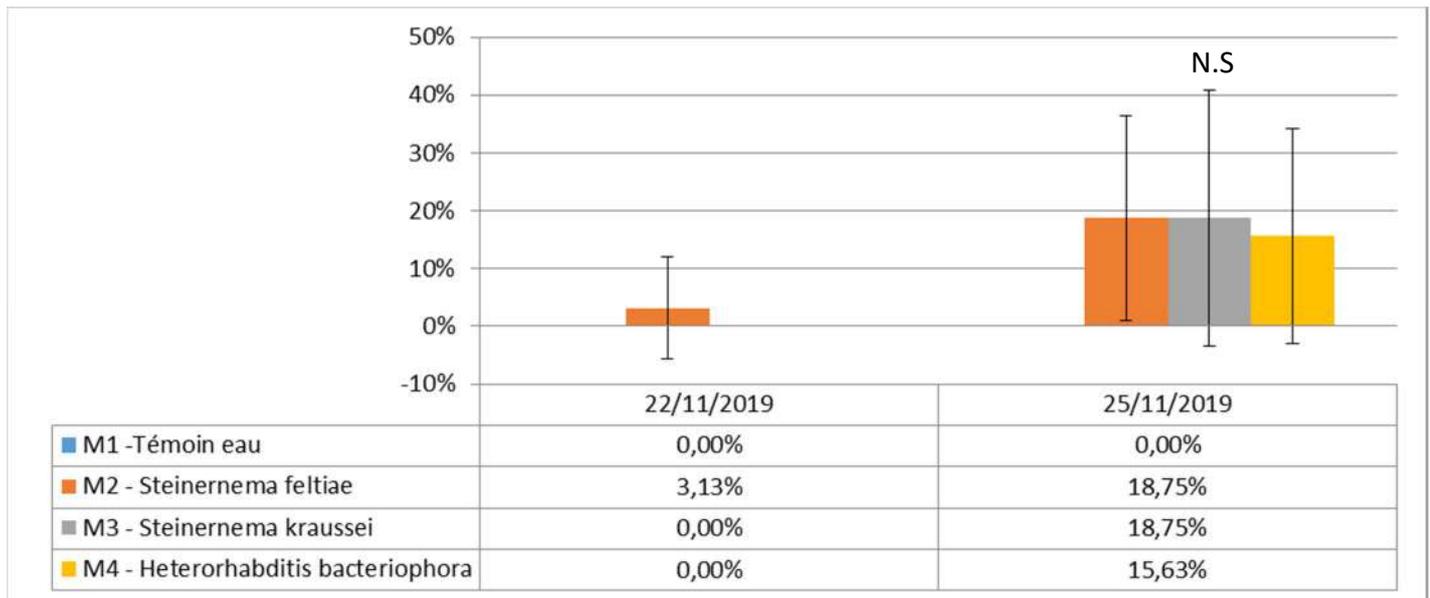


Figure 3 : Pourcentage moyen de mortalité observé sur adultes d'*Heliothrips haemorrhoidalis* aux deux dates de notation (+2j et +5 j)

Aucune mortalité n'est observée sur les adultes de la modalité témoin. Deux jours après le démarrage de l'essai, nous constatons de la mortalité seulement pour la modalité 2 au niveau très faible de 3,1 %. Cinq jours après mise en place de l'essai, *Steinernema feltiae* et *Steinernema kraussei* montrent un pourcentage de mortalité équivalent de 18,75%. *Heterorhabditis bacteriophora* a entraîné une mortalité légèrement plus faible avec 15,63 % de moyenne. Ces pourcentages de mortalité sont assez faibles (inférieurs à 20 %). Les écarts-types importants témoignent d'une certaine hétérogénéité dans les résultats. L'analyse statistique avec le test de Kruskal Wallis ne révèle aucune différence significative entre modalités (témoin compris).

Tableau 3 : synthèse de l'analyse statistique sur la mortalité des adultes heliothrips *haemorrhoidalis*

Variable	Test Kruskal Wallis
Pourcentage de mortalité des adultes	P-value = 0,077 P-value > 0,05 Il n'existe aucune différence significative entre modalités

4.1.2 Mortalité des larves :

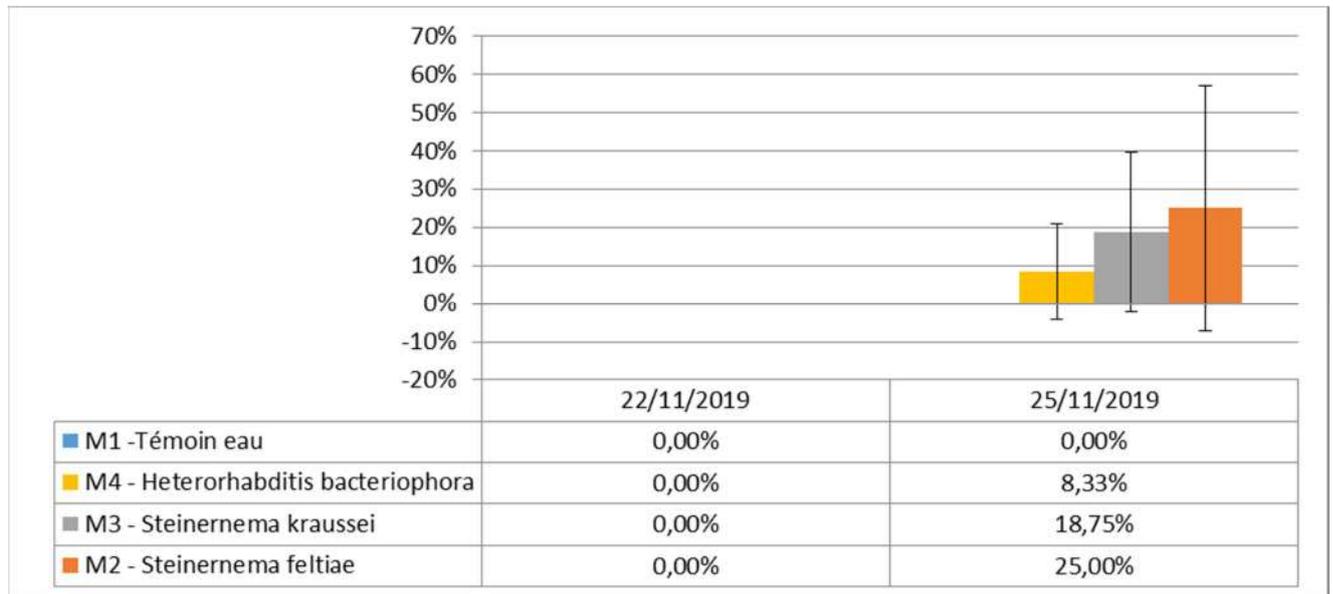


Figure 4 : Pourcentage moyen de mortalité observé sur larves d'*Heliothrips haemorrhoidalis* aux deux dates de notation (+2j et +5 j)

La mortalité sur larves n'est observée qu'à partir de la deuxième notation. C'est *S. feltiae* qui montre le meilleur résultat avec 25 % de mortalité, suivis de *S. kraussei* avec 18,75% et enfin *Heterorhabditis bacteriophora* avec 8,3 %. Comme pour les adultes, la mortalité obtenue sur les larves est assez faible et les écart-types sont assez important.

L'analyse statistique met toutefois en évidence une différence significative entre les modalités « M1 : Témoin » et «M2 : *S. feltiae* ».

Tableau 4 : synthèse de l'analyse statistique sur la mortalité des larves heliothrips *haemorrhoidalis*

Variable	Test Kruskal Wallis	Test Mann-Whitney
Pourcentage de mortalité des larves	P-value = 0,041	M1 Témoin Eau :.....A
	P-value < 0,05	M4 <i>H. bacteriophora</i> :.....AB
	Il existe des différences significatives	M3 <i>S. kraussei</i> :.....AB
		M2 <i>S. feltiae</i> :.....B

4.2 *Planococcus citri*

4.2.1 Mortalité

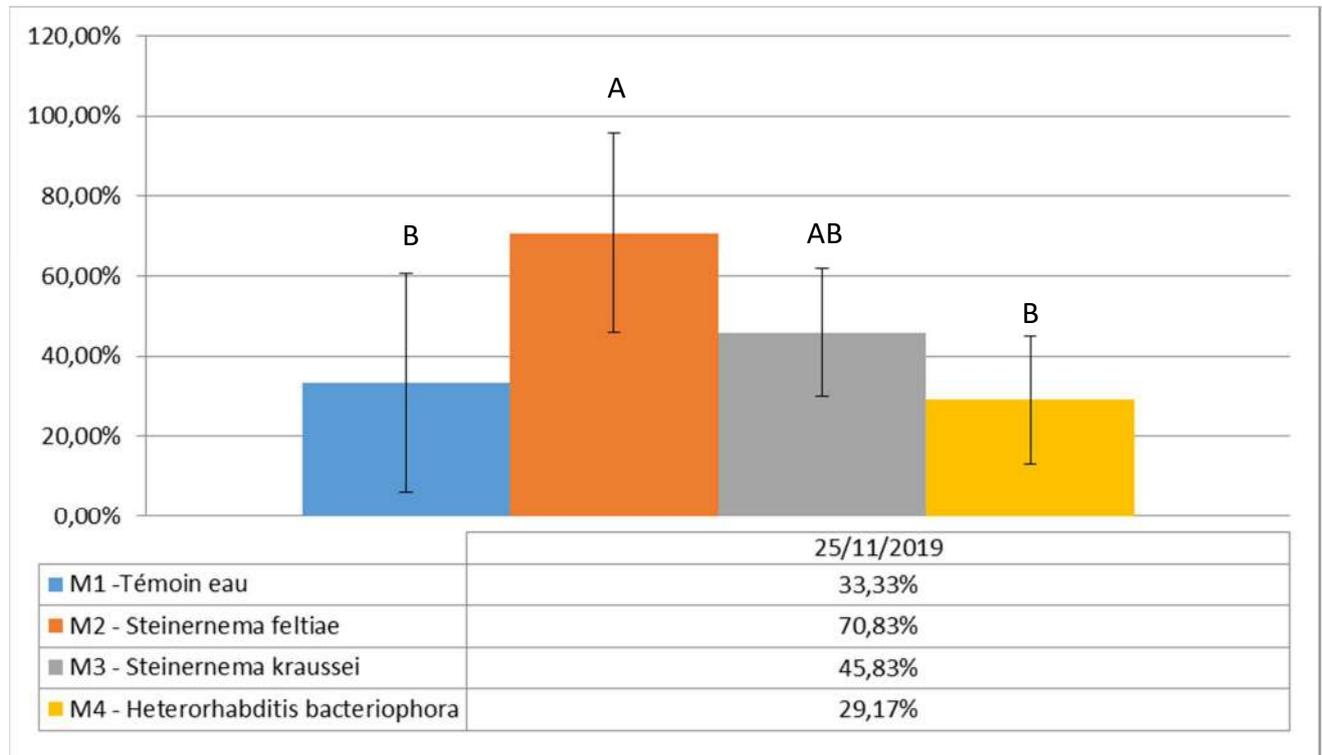


Figure 5 : Pourcentage moyen de mortalité observé sur larves de *Planococcus citri* 5 jours après mise en place de l’essai

La notation a été réalisée 5 jours après la mise en place de l’essai. À cette date, nous constatons de la mortalité sur l’ensemble des modalités. La modalité *S. feltiae* montre la mortalité la plus haute avec 71%, suivie de la modalité *S. kraussei* avec 46%. Les modalités Témoin eau et *H. bacteriophora* montrent des pourcentages de mortalité équivalents de +/- 30%.

L’analyse statistique montre que *Steinernema feltiae* a bien eu un effet significatif sur la mortalité des larves de cochenilles farineuses.

Tableau 5 : synthèse de l’analyse statistique sur la mortalité des larves de *Planococcus citri*

Variable	Anova au seuil $\alpha=0,05$	Test de Tuckey
Pourcentage de mortalité des larves	<p>P-value = 0,03</p> <p>P-value < 0,05</p> <p>Il existe des différences significatives</p> <p>Coefficient de variation : 37,3%</p>	<p>M2 <i>S. feltiae</i> :.....A</p> <p>M3 <i>S. kraussei</i> :.....AB</p> <p>M1 Témoin Eau :.....B</p> <p>M4 <i>H. bacteriophora</i> :.....B</p>

4.2.2 Efficacité :

De façon à neutraliser la mortalité naturelle constatée pour la modalité témoin, nous procédons à une correction de la variable « pourcentage de mortalité ».

Nous utiliserons la formule de Sun-Shepard présentée ci-dessous :

$$\text{Corrected \%} = \left(\frac{\text{Mortality \% in treated plot} - \text{Change \% in control plot population}}{100 - \text{Change \% in control plot population}} \right) * 100$$

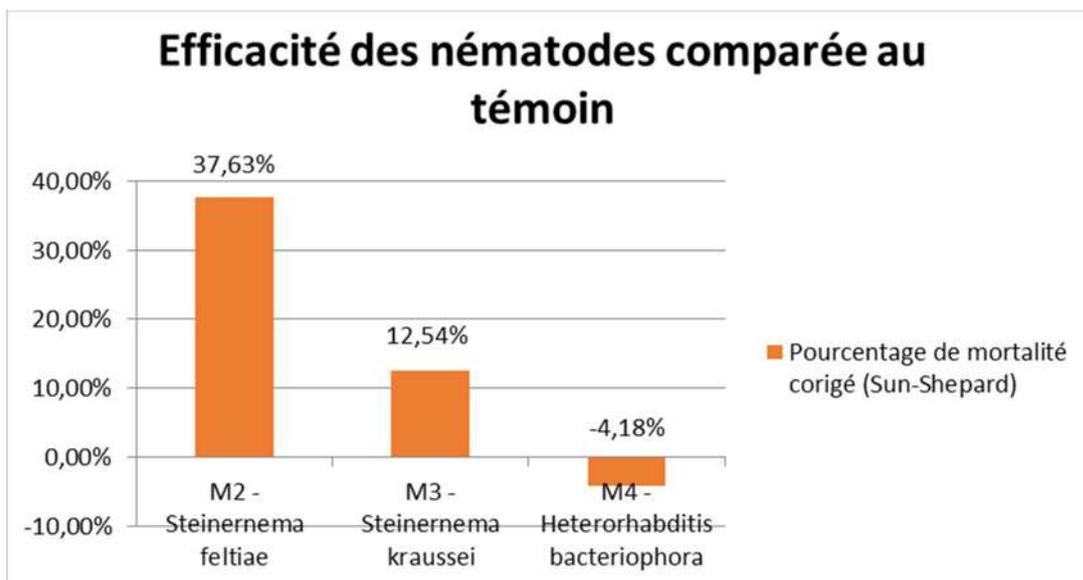


Figure 6 : Efficacité (Sun-Shepard) obtenue sur larves de *Planococcus citri* 5 jours après mise en place de l'essai

La modalité avec *S. feltiae* montre une mortalité supérieure de 37,63% en comparaison à la modalité témoin. La modalité avec *S. kraussei* montre quant à elle une efficacité de seulement 12,54%.

5 Discussion

Les résultats obtenus sont assez équivalents quel que soit le ravageur étudié. *Steinernema feltiae* est l'espèce de nématode qui a montré systématiquement la meilleure efficacité, suivie par *Steinernema kraussei* et enfin *Heterorhabditis bacteriophora*.

Cet essai a montré que l'efficacité des nématodes était limitée sur adultes d'*Heliothrips haemorrhoidalis*. Les scores de mortalité obtenus sont faibles et aucune différence significative n'apparaît.

Steinernema feltiae a néanmoins entraîné une efficacité statistiquement significative sur larves d'*Heliothrips* (25% de mortalité) et de cochenille farineuse (38% d'efficacité/témoin). *S. kraussei* et *Heterorhabditis bacteriophora* ont quant à eux montré des efficacités plus limitées. D'un point de vue général, les scores ne sont pas élevés et les résultats obtenus présentaient dans la majeure partie des cas une hétérogénéité importante.

Nous savons que l'efficacité de *Steinernema feltiae* dépend beaucoup de la souche (une par fournisseur). Il serait donc intéressant de comparer leurs efficacités respectives en suivant le protocole utilisé et validé dans le cadre de cet essai.

Enfin, la souche montrant le meilleur potentiel pourra être testée en condition de production. Cela permettrait de valider l'intérêt de *Steinernema feltiae* en application foliaire pour contrôler des ravageurs compliqués comme la cochenille farineuse ou le thrips des serres. Ces essais permettront également d'affiner les conditions d'applications qui sont déterminantes dans le cas d'applications foliaires de nématodes entomopathogènes (pulvérisateur, climat, période d'application, adjuvant...)

6 Conclusion

Ce test en conditions contrôlées (*in-vitro*) a permis la validation d'un protocole simple pour évaluer l'intérêt des nématodes entomopathogènes pour le contrôle de ravageurs. A l'occasion de cet essai, trois espèces de nématodes proposées par la société Biobest ont été évaluées à savoir *Steinernema feltiae*, *Steinernema kraussei* et *Heterorhabditis bacteriophora*. Leur efficacité a été évaluée sur deux ravageurs problématiques, le thrips des serres *Heliothrips haemorrhoidalis* (larves et adultes) et la cochenille farineuse *Planococcus citri* (larves). Sur les trois espèces évaluées, seul *S. feltiae* montre un certain potentiel, principalement sur larves, avec des efficacités toutefois limitées (25% d'efficacité sur *Heliothrips* et 38% sur cochenille). Ces premiers résultats devront être poursuivis par de nouvelles séries de tests en conditions contrôlées pour continuer la sélection de la meilleure souche de *S. feltiae*. Enfin, des essais en condition de production seront indispensables pour valider l'intérêt d'une telle technique mais aussi de façon à valider la procédure d'application la plus efficiente.

7 Références bibliographiques

-Ebssa L et al. (2001). Efficacy of Entomopathogenic Nematodes against Soil-Dwelling Life Stage of Western Flower Thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). Journal of Invertebrate Pathology. (78).

-Ebssa L. et al. (2003). Effectiveness of different species/strains of entomopathogènic nematodes for control of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) at various concentrations, host densities, and temperatures. Biological Control 29. (145-154).

-Chyzik R. et al. (1996). Virulence and Efficacy of Different Entomopathogenic Nematode Species against Western Flower Thrips (*Frankliniella occidentalis*). Phytoparasitica 24, 2. (103-110).

Ebssa L. et al. (2001). Impact of Entomopathogenic Nematodes on Different Soil-dwelling Stages of Western Flower Thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), in the Laboratory and Under Semi-field Conditions. Biocontrol Science and Technology 11. (515-525).

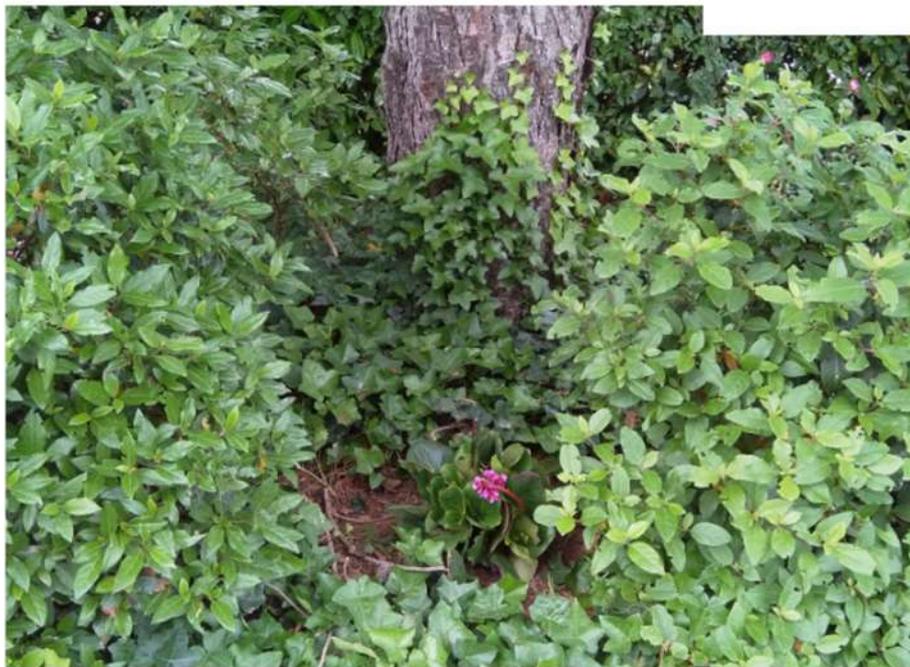
DIAPLASCE 2

Année 2018

Diagnostic précoce et plantes de service
en cultures spécialisées

Volet 3

Cas développé : *Otiorhynchus sulcatus*



Rédigé par : Tom Hebbinckuys

Référent de l'essai : Tom Hebbinckuys

Contact : tom.hebbinckuys@astredhor.fr

Contexte et objectifs de l'essai.....	3
1. Identification d'une plante de service	3
1.1 Implantation des essais	3
1.1 Matériels	4
1.1.1 Matériel animal	4
1.1.2 Matériel végétal	4
1.1 Méthode : Dispositif et plan	4
1.1.1 Test en espaces verts	4
1.2 Observations et notations	5
1.3 Résultats	5
1.4 Résultats en pépinière.....	7
1.5 Conclusion	8

Projet DIAPLASCE 2

Diagnostic précoce et plantes de service en cultures spécialisées

- Volet 3 -

Cas développé : *Otiorhynchus sulcatus*

(Campagne 2018)

Contexte et objectifs de l'essai

Otiorhynchus sulcatus est un coléoptère polyphage créant des dégâts importants, notamment esthétique, principalement sur *Viburnum tinus* et hortensia. Or ces espèces sont communément présentes en espaces verts. La larve grignote les racines et peut ainsi faire mourir la plante sur laquelle elle se nourrit. L'adulte lui, se nourrit de jeunes feuilles et crée ainsi des « poinçons » sur le pourtour du limbe.

Les objectifs de l'année 2018 étaient :

1. Valider une plante-piège pour ce ravageur.
2. Créer l'itinéraire technique innovant prenant en compte l'usage de plantes de services.

Le but étant de trouver une solution pour lutter contre ce ravageur en espaces verts notamment, mais aussi en pépinière en fonction de la culture à protéger.

1. Identification d'une plante de service

Des essais précédents ont déjà été menés sur ce ravageur. Notamment le projet GGLOP (Gestion globale de l'otiorhynque en pépinières, 2011-2014) financé par la Région Pays de la Loire. Dans ces essais, il a été montré que le *Bergenia cordifolia* est une plante-piège très efficace contre *O. sulcatus*. Nous l'utiliserons donc dans ce projet

1.1 Implantation des essais

L'essai en espaces verts a été conduit au sein des espaces verts de la ville de Beaucouzé (49070). Les *Bergénias* ont été plantés en mai 2019. Des plantes-pièges ont également été disposées chez un producteur pépiniériste au sein de diverses cultures à la même période.

1.1 Matériels

1.1.1 Matériel animal

L'espèce animale étudiée est *Otiorhynchus sulcatus* [Coleoptera : Curculionidae], présents de manière spontanée dans les espaces verts. Aucun lâcher n'a été effectué.

1.1.2 Matériel végétal

En espaces verts, toutes les plantes-pièges ont été disposées à côté d'une seule espèce végétale : *Viburnum tinus*.

En pépinière, diverses espèces sont présentes :

- *Hydrangea* spp.
- *Prunus laurocerasus*
- *Loropetalum kosai*
- *Thuja* sp.
- í

Ces espèces végétales ont été choisies en fonction de leur sensibilité à *O. sulcatus* suite aux différents retours des producteurs ainsi que des conseillers techniques.

1.1 Méthode : Dispositif et plan

1.1.1 Test en espaces verts



Figure 1 : disposition des *Bergenias* en espaces verts

1.2 Observations et notations

Les premières notations ont débutées le 07 juin 2018 en espaces verts. Chez le producteur, toutes les notations ont été réalisées à l'automne 2018 afin de dénombrer les larves présentes dans le substrat.

1.3 Résultats

Les résultats en espaces verts sont illustrés ci-dessous :

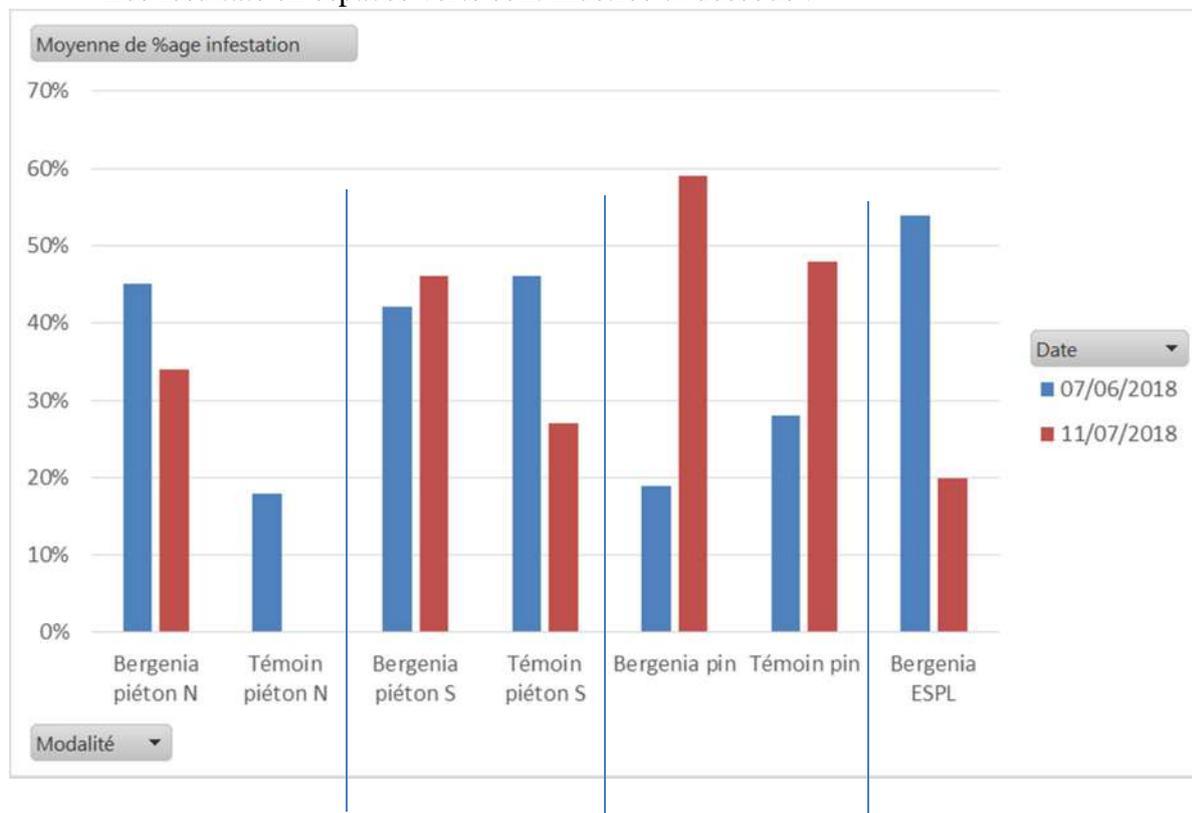


Figure 2 : Pourcentage de feuilles de *V. tinus* avec morsures selon les modalités

A chaque notation, un nombre de 100 feuilles de *Viburnum* a été noté et les feuilles avec morsures dénombrées. Les résultats montrent que malgré la présence du Bergenia en tant que plante-pièges (= modalités avec écrit « Bergenia ») n'ont pas moins de feuilles avec morsures que les modalités témoin, sans plante-piège. La présence du Bergenia ne semble donc pas suffisamment détourner les ravageurs des *Viburnum tinus* et limiter ainsi leurs dégâts esthétiques.



Figure 3 : exemples de Bergenias en situation

1.4 Résultats en pépinière

Exemples de Bergenias en situation :



Figure 4 : illustration de quelques bergenias en situation chez le producteur

Les plantes-pièges et quelques plantes de la culture ont été entièrement désintégréées de façon à dénombrer le nombre de larves dans le terreau.

Les résultats sont présentés ci-dessous :

Tableau 1 : comparaison du nombre de larves entre cultures et plantes-pièges. (vert = efficace ; orange= moyennement efficace ; rouge : inefficace)

Culture	Tunnel / E	Ressenti sur terrain (0,1,3): (inefficace, moyen, efficace)	Nb larves dans cultui	Nb larves dans Bergen
Azalées 'Vivianne'	Tunnel		0	40
Hydrangea 'Anabelle'	Tunnel		1	4
Hydrangea Macrophylla 'Belle séduction'	Tunnel	?	11	17
Hydrangea macrophylla 'Dolce Farfale'	Tunnel		2	0
Hydrangea Macrophylla 'Sœur Thérèse'	Tunnel	?	0	37
Hydrangea paniculata	Tunnel		0	0
Hydrangea 'Sundae Fraise'	Tunnel		1	0
Leptospermum	Tunnel	?	3	
Loropetalum Chinense 'Caroline M.'	Tunnel		11	17
Loropetalum Kosai	Tunnel	?	3	
Loropetalum pourpre 2	Tunnel		1	
Parahebe 'Avalanche'	Tunnel		0	46
Parahebe 'Kentish Pink'	Tunnel		0	11
Prunus laurocerasus	Tunnel			
Senecio 'menthe glaciale'	Tunnel		0	18
Thuja	Tunnel		0	52

Globalement, les plantes-pièges ont donné de très bons résultats. Ils ont permis de détourner les otiorynques de la culture, limitant ainsi les dégâts sur celle-ci. Dans de nombreux cas, 0 larve a été comptabilisée sur culture contre plusieurs dizaines dans les pots de Bergenias. On remarque également que la variété d'Hydrangea influe beaucoup sur le résultat puisque certains résultats semblent très positifs quand d'autres sont plus décevants.

1.5 Conclusion

En espaces verts, les plantes-pièges n'ont pas fonctionné. Elles n'ont pas permis de diminuer les morsures sur feuilles de Viburnum. Cependant, les grosses chaleurs estivales ont eu raison des *Bergenia* qui ne disposaient pas d'irrigation (comme régulièrement pratiqué en espaces verts). Le suivi n'a donc pas pu continuer car toutes les plantes-pièges sont mortes.

En revanche, l'essai en pépinière a donné globalement de très bons résultats avec dans certains cas, aucune larve d'otiorhynque dénombrée sur culture et plusieurs dizaines sur plantes-pièges. Les *Bergenia cordifolia* ont donc bien permis de détourner le ravageur de la culture et ainsi grandement limiter les dégâts. La pratique peut donc être appliquée en production dans une grande diversité de culture.

L'itinéraire final est très simple en raison du cycle biologique du ravageur qui n'effectue qu'une génération par an :

- **Pailler la culture**, de préférence avec de la cosse de sarrasin, et **ne surtout pas pailler les plantes-pièges**.
- Utiliser des *Bergenia cordifolia* comme plantes-pièges et adapter au maximum la taille de leurs pots avec celui de la culture.
- Disposer les *Bergenia* avant l'émergence des adultes (courant avril) afin de regrouper les ravageurs. Les otiorhynques pourront ainsi se délecter de ces plantes, y pondre, délaissant la culture.
- Densité des plantes-pièges : 1 pour 25m² de culture environ
- A l'automne, ne pas jeter les *Bergenia* défraîchis dans le tas de compost pour éviter une recontamination du site ! De préférence, les immerger dans un baril d'eau pour noyer les larves présentes dans la motte ou les broyer.
- Renouveler l'opération l'année suivante.