

Mémoire de stage

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option Inter-Etablissement

Protection des Plantes et Environnement



Sur le thème

Étude des effets de traitements physiques sur les profils de composés organiques volatils de plantes de service, et leurs conséquences potentielles sur *Dysaphis plantaginea*, puceron cendré du pommier.

Par

Gabin MARDOC

Ecole de rattachement : L'Institut Agro de Montpellier

Stage réalisé à : l'INRAE PACA
Unité Plantes et Systèmes de culture Horticoles (PSH)
228, route de l'aérodrome Domaine St Paul Site Agroparc,
84104 Avignon, France

Sous la direction de :
Hélène GAUTIER
Laurent GOMEZ
Louna RIZZI

Soutenu le 26 septembre 2023 à Montpellier, devant le jury composé de :

Président(e) : Manuel Plantegenest (IA Rennes)

Membres : Elena Kazakou (IA Montpellier)

Pierre-Eric Lauri (INRAE)

Mémoire de stage

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option Inter-Etablissement

Protection des Plantes et Environnement



Sur le thème

Étude des effets de traitements physiques sur les profils de composés organiques volatils de plantes de service, et leurs conséquences potentielles sur *Dysaphis plantaginea*, puceron cendré du pommier.

Par

Gabin MARDOC

Ecole de rattachement : L'Institut Agro de Montpellier

Stage réalisé à : l'INRAE PACA
Unité Plantes et Systèmes de culture Horticoles (PSH)
228, route de l'aérodrome Domaine St Paul Site Agroparc,
84104 Avignon, France

Sous la direction de :
Hélène GAUTIER
Laurent GOMEZ
Louna RIZZI

Soutenu le 26 septembre 2023 à Montpellier, devant le jury composé de :

Président(e) : Manuel Plantegenest (IA Rennes)

Membres : Elena Kazakou (IA Montpellier)

Pierre-Eric Lauri (INRAE)

Engagement de non plagiat

✓ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

✓ Consignes

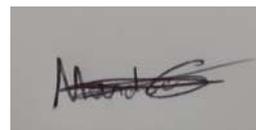
- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages *in extenso*, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sûr d'en citer la source.

✓ Sanction

En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

Engagement :

Je soussigné Gabin MARDOC
Reconnaît avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat
A Tours le 14/09/2023
Signature :



Confidentialité

Non Oui

si oui :

1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible ⁽¹⁾.



Date et signature du maître de stage ⁽²⁾ : 14/9/23
(ou de l'étudiant-entrepreneur)

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

Droits d'auteur

L'auteur ⁽³⁾ Nom Prénom Mardoc Gabin

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

Oui Non

Si oui, il autorise

- la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾
- la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé
- la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)
- accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-BY-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur : 14/9/23

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

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

Oui Non

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

Si oui, il autorise

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

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier les différents centres de recherche qui m'ont accueilli tout au long de ce stage. Evidemment, je remercie l'INRAE PACA, domaine Saint-Paul, et l'Unité de Recherche Plantes et Systèmes de culture Horticoles (PSH) qui m'ont fait l'honneur de m'accepter, qui m'ont accueilli chaleureusement et m'ont donné un cadre de travail exceptionnel. Je tiens aussi à remercier l'accueil de l'Université d'Avignon Pôle Agrosociétés, grâce à qui j'ai pu mener à bien les flashes UV-C et les prélèvements de COV. Enfin, dans le cadre d'un échange d'étudiants pendant trois semaines, j'aimerais remercier l'Institut Agro Rennes-Angers et le Centre INRAE Pays de la Loire, qui m'ont accueilli avec beaucoup de bienveillance, et m'ont permis de réaliser une expérience sur des parasitoïdes.

J'aimerais également remercier le soutien financier de GIS Fruits, le Groupement d'Intérêt Scientifique Fruits, sans qui je n'aurais pas pu rejoindre cette aventure. Je tiens à les remercier pour leur aide à la recherche agronomique, aux projets agroécologiques porteurs d'innovation.

J'en profite donc pour remercier le Projet Investissement Avenir "Cap Zéro Phyto" (2021-2026), qui a animé mes recherches et tant d'autres, afin de combiner les leviers agronomiques dans un plan de gestion de lutte intégrée. J'espère de tout cœur que mon humble contribution permettra d'avancer dans ces recherches et applications.

Je remercie aussi l'Institut Agro de Montpellier, qui m'a formé pendant trois ans, et permis de rejoindre ce projet.

Bien sûr, je commencerai par remercier chaudement mes maîtres de stage Hélène Gautier, Laurent Gomez et Louna Rizzi. Merci beaucoup pour votre regard critique, vos conseils, vos analyses, pour les discussions que nous avons pu échanger pour mener à bien ce stage, pour la formation et l'aide apportées à chaque étape de mon travail. Je voudrais adresser une mention spéciale à Louna Rizzi, qui a porté une grande attention à l'ensemble de mon travail. Elle a enrichi de ses compétences tous les aspects de ce travail, m'a permis de mener à bien les expériences et les analyses, m'a corrigé, aidé dans les analyses, et également pris le temps d'écouter mes remarques et interrogations. J'espère avoir su me montrer digne de la confiance qu'elle a bien voulu m'accorder tout au long de ce stage. Je tiens à la remercier hors du cadre de ce stage notre voisinage amical, et je lui souhaite de continuer aussi

brillamment sa thèse et ses projets personnels avec la conviction, la rigueur et la passion dont j'ai été témoin. Courage pour ses futurs trails !!

Merci beaucoup aux équipes de l'université d'Avignon, Laurent Urban, Jawad Aarouf, pour leur idées et leurs connaissances, et merci à Dominique pour sa gentillesse et sa bonne humeur dans les serres.

Un grand merci aux équipes de l'Institut Agro Rennes-Angers, en particulier Bruno Jaloux, qui m'a accueilli, guidé, formé sur la gestion des parasitoïdes. Merci également à Ferréol, qui m'a aidé à mettre à bien mes expériences. Merci aux deux Benjamin et Margot pour avoir répondu à mes interrogations. Merci à tous les stagiaires que j'ai rencontrés ou revus, le peu de temps passé en votre compagnie m'a fait me sentir à ma place. Enfin, merci beaucoup à Katell, que j'ai rencontrée à Avignon, puis de nouveau à Angers. Merci beaucoup pour la grande aide qu'elle m'a fournie tout au long de cette période, et merci pour toutes les sorties, c'était vraiment trop cool ! Une très belle rencontre, et la prochaine fois promis on ne loupe pas le dernier bus ^^.

Et comment ne pas remercier l'ensemble des équipes de PSH, pour leur bonne humeur ! Ce fut un plaisir que de vous rejoindre durant ces quelques mois. La cafétéria a permis de nombreux échanges passionnés, et cela m'a fait beaucoup de bien. Merci à Guy, pour tes conseils et ta connaissance des COV, qui m'ont été très utiles. Merci à Inessa, ce fut un plaisir de discuter avec toi, d'ailleurs j'ai de nouvelles photos d'insectes à te montrer ! Merci à tous les membres de l'insectarium, les goûters de l'insectarium furent de très bons moments, et l'occasion d'apprendre à vous connaître. Merci beaucoup aux non permanents que j'ai pu rencontrer ! Merci à Thomas, Mathilda, Ludivine, et tous les autres. Merci à Noé, j'ai hâte que Silksong sorte ! Merci à Alp pour les cohortes et les manips de prélèvements de COV.

Merci la team des stagiaires ! Le retour d'Angers fut si drôle, merci !

Merci Popoche pour les surnoms peu communs que tu auras su trouver pendant toute la période de ce stage (parmi lesquels Gabinouille, et Gabimouche). Merci Antoine pour les "Apagnan", "Quoicoubeh" et autres subtilités que nos vieux sages ne peuvent que rêver transmettre à la jeune génération que je représente, et merci au meilleur guide des calanques. Merci à Tristan pour avoir été le co-instigateur du gang des ptites queues dont les cheveux ne sauraient nous différencier. Merci à Zinédine le Coruscant, dont les réflexions philosophiques ont égayé les limbes des analyses statistiques qui me tourmentaient. Merci à Marindra de m'avoir rappelé de jolis moments à feu SupAgro, on ne t'oubliera pas mon reuf ! Merci

Angélique pour Baldur's Gate 3 et tes t-shirts weeb qualitatifs. Merci Célia pour avoir été à mon écoute, tu m'as donnée envie d'écrire, et continue toi aussi ! Merci Areski, pour ta culture, ChatGPT et Avatar la Voie de l'Eau, on a bien rigolé ^^.

Merci Alejandro pour les questions que je ne me serai jamais posées autrement, et bien évidemment, si c'est pour dépanner entre potes, ça ne compte pas ! Vous avez été fantastiques ! Un grand merci à Louise Jeandroz et Thomas Lepers ! Toteck, comment ne pas parler de notre histoire construite ensemble, du Gabinou Forever (qui a fini à la poubelle hein), des grandes discussions et de toute l'aide que tu m'as apporté pour comprendre mes données, les exploiter, pour l'olfactomètre tubulaire dynamique, pour la discussion et pour la bonne humeur en général. Continue comme ça t'es au top, et bon courage pour le nouveau poste !

Merci Louise, tu m'as aidé pour le stage, mais plus que ça, tu es pour moi une véritable amie, et j'aurais trop à dire pour les quelques lignes de ces remerciements. Tu es un modèle sur beaucoup de points, bon courage et bonne continuation avec tes deux bébés (ce sont des chatons) !

Merci à ceux que j'aurais pu oublier mais qui comptent pour moi, vous connaissez le rush de fin de mémoire ...

Enfin, merci à mes amis, qui m'ont soutenu malgré les nombreuses PLS, vous êtes les meilleurs !! Je vous kiffe !!

Merci à ma famille, en particulier mon frère, tu es un guide, un protecteur, prends soin de toi et courage pour la fin de thèse. Merci aussi spécialement à ma mère, qui m'a déménagé moultes fois ! Et visiblement, Angers - Tours ça fait un peu plus d'une heure, oups.

Sigles et acronymes

COV : Composé Organique Volatil

EBF : (E)-Béta-Farnésène

EN : Ennemi Naturel

GC-MS : Chromatographie en phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse

IPP : Isopentényl PyroPhosphate

LM : Lésion Mécanique

PdS : Plante de Service

SDP : Stimulateur de Défense des Plantes

Table des matières

Introduction.....	1
Synthèse bibliographique.....	3
1. <i>Dysaphis plantaginea</i> , (Hemiptera : Aphididae), puceron ravageur des cultures.....	3
2. Les plantes de service (PdS) et les composés organiques volatils (COV) dans la lutte intégrée.....	4
3. Les stimulateurs de défense des plantes (SDP).....	7
4. Objectifs du stage et questions de recherche.....	9
Matériel et méthodes.....	9
1. Obtention du matériel biologique.....	9
2. Effets des traitements UV-C et des lésions sur l'émission de COV par les PdS.....	11
3. Analyse et identification des COV émis par les PdS.....	12
4. Tests de longévité des parasitoïdes avec les PdS.....	13
5. Tests de fécondité.....	14
6. Analyses statistiques.....	14
Résultats.....	15
1. Tests des effets des traitements UV-C sur la fécondité du puceron cendré.....	15
2. Tests des effets des traitements UV-C et lésions mécaniques sur les COV du basilic pistolet.....	16
3. Test de l'effet de fleurs sur la longévité des parasitoïdes <i>Aphidius matricariae</i>	18
Discussion.....	19
1. Effets des UV-C sur les PdS et leur capacité à diminuer la fécondité et la survie des pucerons.....	19
2. Analyse des effets des traitements UV-C et lésions mécaniques sur les profils COV...	20
3. Effets de la présence de fleurs sur la longévité de <i>Aphidius matricariae</i>	23
Conclusion et perspectives.....	25

Introduction

Les enjeux du XXI^e siècle pour nourrir la planète et développer une production alimentaire plus durable sont considérables : comment la production agricole pourra-t-elle répondre à l'explosion démographique, aux changements climatiques, à la mondialisation ? Comment pourra-t-elle éviter que les pratiques agricoles ne favorisent la présence et les dégâts des pathogènes, et les attaques de ravageurs ? Parmi ces ravageurs, les pucerons provoquent des dégâts considérables sur un vaste spectre de cultures légumières, céréalières, fruitières (Blommers et al., 2004; Van Emden & Harrington, 2017). Ces nuisibles possèdent une capacité de reproduction et de dispersion qui leur permet d'infester rapidement des cultures (Blackman & Eastop, 2000; Dieudonné, 2018). Ils provoquent des dégâts directs mais sont surtout redoutés par rapport à leur rôle de vecteurs de virus végétaux (van Emden et al., 1969).

Pour lutter contre ces ravageurs, l'utilisation systématique de produits aphicides a longtemps été préconisée dès la détection des fondatrices (Cross et al., 2007; Dib, 2010). Cependant, l'emploi massif de ces produits a entraîné l'apparition de résistance au sein des populations (Delorme et al., 1997), et présente un risque sanitaire pour l'être humain et l'environnement (Angeli & Simoni, 2006; Carvalho, 2017).

Ce contexte a favorisé la recherche de méthodes de lutte alternatives visant à réduire les pesticides. L'introduction de plantes de service (PdS) dans les cultures s'inscrit dans cette démarche en proposant d'utiliser des propriétés naturelles de plantes compagnes pour protéger les cultures d'intérêt agronomique (Ben-Issa et al., 2017; Malézieux et al., 2009). En effet, leur capacité à émettre des composés organiques volatils (COV) peut perturber le comportement des ravageurs en modifiant leur environnement olfactif. Or, ces signaux olfactifs sont indispensables à des étapes clés de la vie des ravageurs, comme la recherche d'un partenaire sexuel ou le choix de la plante hôte (Thorsteinson, 1960). Ils sont également utilisés par leurs ennemis naturels et peuvent permettre d'augmenter le nombre de parasitoïdes et/ou le taux de parasitisme (Souza et al., 2018) ou le taux de prédation.

L'unité de recherche PSH (Plantes et Systèmes de culture Horticoles), centre INRAE PACA d'Avignon, travaille depuis plusieurs années à l'introduction de PdS en systèmes horticoles pour lutter contre les pucerons. Ses recherches ont démontré que les COV libérés par des plantes aromatiques telles que la tagète, le basilic ou le lavandin, peuvent repousser

des pucerons et/ou diminuer leur fécondité (Dardouri et al., 2019a, b, 2021; Dieudonné et al., 2022). Cependant, les tests réalisés sur PdS montrent des effets fluctuants en fonction de leur génotype, de leur stade phénologique ou encore de leur conduite culturale (Ben Issa et al., 2017). Ces résultats paraissent insuffisants et encore trop aléatoires pour éviter les traitements aphicides. C'est pourquoi, l'unité, dans le cadre du Projet Investissement Avenir "Cap Zero Phyto" (2021-2026), envisage de combiner l'introduction des PdS avec d'autres pratiques culturales, comme l'application de stimulateurs de défense des plantes (SDP), afin d'augmenter l'immunité des plantes et leur tolérance vis à vis de plusieurs ravageurs, et notamment des pucerons. La question est cependant de savoir si ces combinaisons de pratiques impactent l'efficacité des PdS pour lutter contre les ravageurs, et plus précisément le puceron cendré du pommier (*Dysaphis plantaginea*).

Parmi les SDP existants, deux alternatives physiques sont ici envisagées : les flashes UV-C et les lésions foliaires. Les flashes UV-C consistent en des flashes lumineux d'une durée inférieure à 2s et d'une longueur d'onde inférieure à 280 nm, pour stimuler les défenses des plantes (Forges et al., 2018, 2020; Ouhibi et al., 2014; Vàsquez et al., 2017). Ils sont aujourd'hui employés sur vigne comme méthode physique, et leur utilisation tend à s'ouvrir à d'autres cultures maraîchères et en verger (*UV-C | Ecophytopic*, 2021). Les études récentes révèlent le potentiel d'activation des défenses des plantes par des flashes répétés d'UV-C d'une seconde (Aarrouf & Urban, 2020; Ledermann et al., 2021). D'autre part, les lésions foliaires pourraient déclencher un signal qui activerait les défenses de la plante (Coutand, 2020; L'Haridon et al., 2011; Orozco-Cardenas & Ryan, 1999). En pratique, de telles lésions pourraient être provoquées par le passage d'un engin mécanique comme un tracteur équipé d'une rampe au niveau de l'inter-rang en verger.

C'est donc dans le cadre combinatoire des leviers agronomiques proposé par le projet CapZeroPhyto et l'UR PSH qu'intervient mon stage. D'une part, il vise à l'application de pratiques innovantes, flashes UV-C et lésions foliaires sur basilic *pistou*, tagète *patula nana* et lavandin *séguet*, afin d'en mesurer les effets sur le bouquet olfactif émis par ces PdS (sous serre), et incidemment sur leur capacité répulsive pour *D. plantaginea* (en environnement contrôlé). D'autre part, pour guider le choix des PdS à implanter en verger, j'ai également étudié leur influence sur les parasitoïdes comme source d'alimentation, en suivant la longévité de *Aphidius matricariae* élevé sur tagète, au stade végétatif ou au stade floral.



Figure 1 : *Dysaphis plantaginea* (Hemiptera: Aphididae) adultes (gauche) et dégâts produits sur pommier (droite) (Crédits : B. Chaubet).

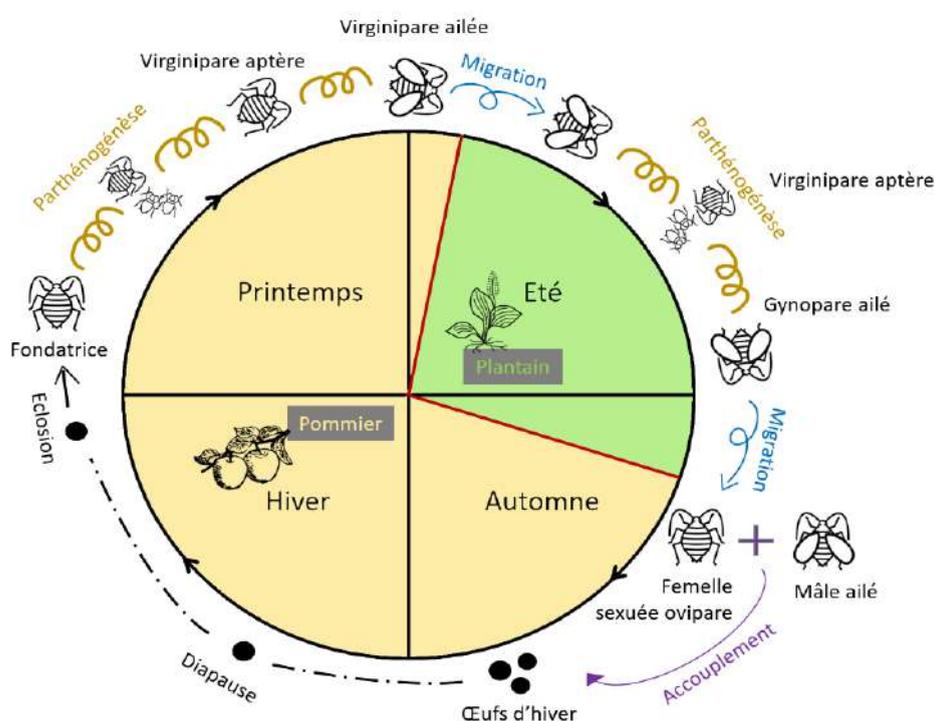


Figure 2 : Cycle annuel du développement de *Dysaphis plantaginea* (d'après Lathrop 1928). (Source : M. Cabrol, 2019).

D. plantaginea est une espèce holocyclique diécique (Blommers et al., 2004). Au printemps, les fondatrices virginipares émergent de leur hôte primaire *Malus domestica* (Borkh 1803), et enclenchent des cycles parthénogénétiques (Lombaert et al., 2006). En réponse à la forte densité de population et l'évolution phénologique du pommier, des fondatrices ailées apparaissent au début de l'été et migrent vers leur hôte secondaire, le plantain *Plantago* spp (Baker & Turner, 1916; Bonnemaïson, 1959; Lathrop, 1928). De nouvelles générations parthénogénétiques s'enchaînent et la réduction de la photopériode à l'automne engendre un vol de retour vers le pommier. Une génération sexuée y est produite, dont les œufs entrent dans l'écorce des arbres et passent l'hiver en diapause jusqu'au prochain printemps (Miñarro & Dapena, 2007).

Synthèse bibliographique

1. *Dysaphis plantaginea*, (Hemiptera : Aphididae), puceron ravageur des cultures

1.1. Morphologie et cycle biologique

Dysaphis plantaginea (Passerini 1860) (Hemiptera : Aphididae), le puceron cendré du pommier, est l'un des principaux ravageurs du pommier (*Malus domestica*). Sous sa forme aptère, il prend un aspect globuleux, des teintes allant du vert foncé à violacé, recouvert d'une pulvéulence blanche à grisâtre (*Le puceron cendré du pommier* | FREDON Corse, 2021) (Figure 1). Le puceron adulte mesure entre 1,8 et 2,4 mm (Turpeau et al., 2020).

D. plantaginea vit sur deux hôtes distincts, le pommier et le plantain *Plantago* spp (Baker & Turner, 1916; Bonnemaïson, 1959; Lathrop, 1928). Cette espèce se reproduit majoritairement par parthénogenèse, mais produit une génération sexuée à l'automne. Les détails de son cycle sont présentés en figure 2.

1.2. Distribution des dégâts et stratégies de lutte

D. plantaginea est un ravageur majeur du pommier, présent en Europe, en Amérique du Nord, en Afrique du Nord et en Asie (Baker & Turner, 1916; Blackman & Eastop, 2000; Heie, 1982). Il s'agit d'un insecte de type piqueur suceur. Ses piqûres sont responsables de nombreux symptômes chez la plante : enroulement des jeunes feuilles, déformation des fruits, pousses tordues, fruits rachitiques et bosselés (Bonnemaïson, 1959; De Berardinis et al., 1994; Lathrop, 1928) (Figure 1). Il empêche la formation de couronnes chez les jeunes pousses, ce qui réduit la floraison l'année suivante (Blommers et al., 2004; Bonnemaïson, 1959). Ces caractéristiques rendent *D. plantaginea* particulièrement nuisible. Sans intervention contre lui, les pertes en vergers commerciaux peuvent atteindre environ 80% (Brown, 2008; Qubbaj et al., 2005).

De nombreux moyens de lutte ont donc été employés contre ce puceron. D'une part, le recours massif aux produits aphicides chimiques, qui reste la solution principale. D'autre part, des alternatives plus respectueuses de l'environnement telles que la lutte biologique. En effet, elle utilise des organismes vivants ou les substances qu'ils produisent pour lutter contre les ravageurs et pathogènes (Eilenberg et al., 2001). L'introduction de plantes de service représente une de ces innovations agronomiques d'intérêt.

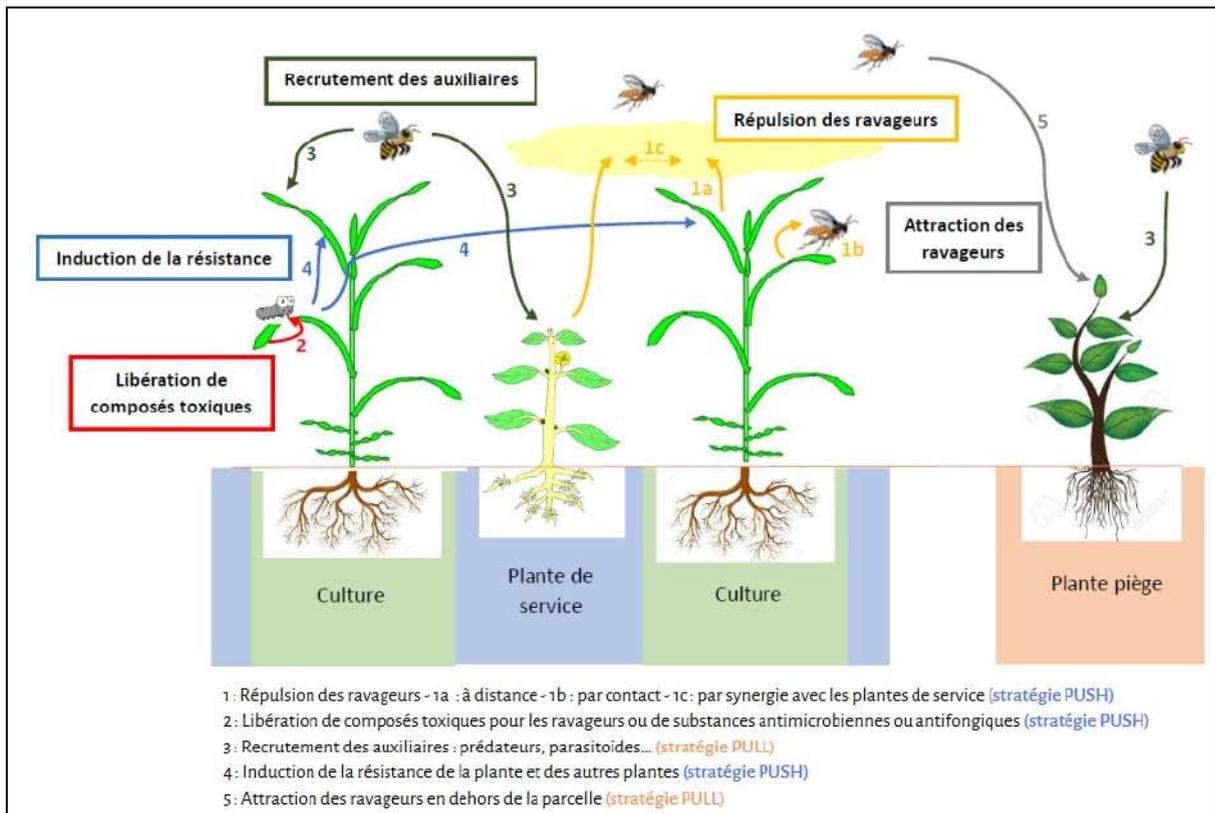


Figure 3 : Illustration des fonctions des COV exploitables en stratégies de lutte biologique par Push-Pull (Source : Fiche pédagogique “Les plantes prennent la parole”, projet chaperonné par E. Ballini, 2019).

2. Les plantes de service (PdS) et les composés organiques volatils (COV) dans la lutte intégrée

2.1. Définition des plantes de service (PdS)

Les PdS regroupent des espèces végétales cultivées en association avec une culture de rente, dans le but de rendre différents services écosystémiques, sans vocation primaire à être commercialisées. Ici, leur choix est déterminé en fonction de leur capacité à diminuer la pression d'un ravageur au sein d'une culture, via différents modes d'action : effets directs sur le puceron, indirects sur la plante hôte (via une modification métabolique) ou sur l'attraction d'ennemis naturels (EN) (hébergement, nutrition, reproduction). Ces facteurs influent sur le comportement du puceron (répulsion, attraction, alimentation) et sur ses performances (reproduction, développement larvaire, mortalité, longévité).

2.2. Synthèse et émission des composés organiques volatils (COV)

La production de métabolites secondaires, notamment des COV, joue un rôle prépondérant dans ces interactions PdS / ravageur (Figure 3). Les COV constituent un ensemble de substances chimiques carbonées volatiles à température ambiante (Cicolella, 2008). Bien qu'elles comprennent plus de 30 000 molécules différentes (Niinemets & Monson, 2013), ici, ce sont les COV biogéniques émis par les plantes qui sont en jeu, entre autres des monoterpènes, sesquiterpènes et Green Leaf Volatiles (Figure 4).

Les COV peuvent perturber le comportement du ravageur, modifier la durée de son développement, ou sa fécondité (Niinemets & Monson, 2013; Paiva, 2000; Walling, 2000). Ce sont notamment les feuilles et racines qui émettent un mélange de COV (Ninkovic et al., 2021) dont la composition et la production peuvent varier selon une multitude de facteurs environnementaux (climat, sol...) mais également, en fonction de l'espèce et du génotype, de l'âge, de l'état physiologique et de contraintes biotiques ou abiotiques (Ben-Issa et al., 2017; Grote et al., 2019).

Certains COV, monoterpènes, sesquiterpènes et aromatiques sont formés dans la plante et stockés en grande quantité dans des structures foliaires, glandes spécialisées ou trichomes (Pare & Tumlinson, 1997). Leur synthèse et leur émission ne dépendent pas des interactions biotiques (Bodelot et al., 2019). Ces COV sont émis lors de la rupture de cette structure par un choc, par lésion mécanique lors de l'alimentation d'un phytophage ou du dépôt d'œufs notamment (Niinemets & Monson, 2013; Walling, 2000). Des mélanges

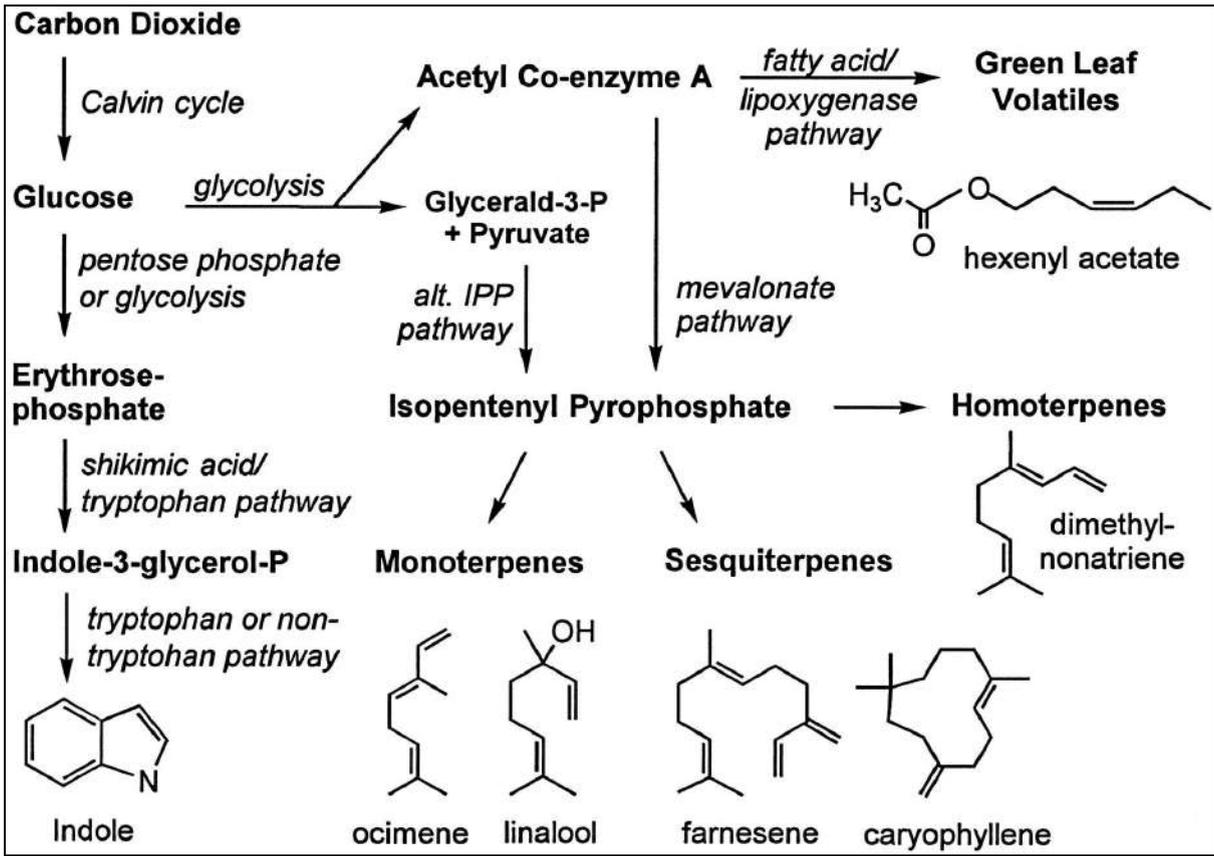


Figure 4 : Voies de biosynthèse conduisant à la libération de substances volatiles végétales
 (Source : Paré & Tumlinson, 1999).

d'alcools, d'aldéhydes et d'esters saturés et insaturés à six carbones, sont par exemple produits par une chaîne de dégradation complexes et libérés lorsque les feuilles sont endommagées mécaniquement (Paré & Tumlinson, 1999). Ces émissions sont dites constitutives (Bodelot et al., 2019).

D'autres voies de synthèse peuvent être induites par des stress biotiques, et les COV formés *de novo* présentent une forte plasticité d'émission (Grote et al., 2019), localement ou plus largement dans la plante. Il s'agit des "herbivore-induced plant volatiles (HIPV)" (Niinemets & Monson, 2013). Par exemple, des études ont montré que l'(E)- β -farnésène (EBF), (E)- β -ocimène ou le linalol sont synthétisés *de novo* après une attaque d'insectes (Pare & Tumlinson, 1997). Leur synthèse peut durer de quelques minutes jusqu'à plusieurs jours selon la molécule (Paré & Tumlinson, 1999). Différentes voies de synthèse peuvent être activées selon la famille chimique de l'entité, comme via l'acide jasmonique (Heil & Silva Bueno, 2007). Les sesquiterpènes, parmi lesquelles l'EBF, une molécule d'alarme de nombreuses espèces de pucerons (Francis et al., 2005), sont synthétisés par l'intermédiaire de l'isopentényl pyrophosphate (IPP) en suivant une voie de biosynthèse classique du mévalonate (Paré & Tumlinson, 1999) (Figure 4). Les monoterpènes, tels que le α -terpinène, répulsif sur *Myzus persicae* et *Aphis fabae* (Yarou et al., 2020), sont synthétisés par une voie alternative de l'IPP avec le glycéraldéhyde-3-P et le pyruvate identifiés comme les précurseurs directs de l'IPP (Lichtenthaler et al., 1997).

2.3. Les PdS répulsives pour les ravageurs

Certaines PdS agissent directement en repoussant les ravageurs, notamment via l'émission de COV répulsifs (Tableau I). Elles sont utilisées afin d'empêcher la reconnaissance de la plante hôte et/ou perturber le comportement du ravageur. L'eugénol produit par le basilic (*Ocimum basilicum*) et l'œillet d'Inde (*Tagetes patula nana*) a par exemple montré des effets répulsifs sur *Myzus persicae* à toutes les concentrations testées par Dardouri et al. (2019a). Les PdS peuvent aussi être utilisées dans les stratégies dites "push-pull" (Figure 3), en combinant ces effets à des plantes-pièges, disposées en bordure, qui attirent le ravageur loin de la culture de rente (Hassanali et al., 2008; Pickett et al., 2014). Une partie des COV agit également par contact avec le phytophage lors de son arrivée sur la plante, comme l'EBF (Francis et al., 2005). Lorsque les pucerons entrent en contact avec cette molécule, ils sont repoussés (Dardouri et al., 2019b).

**Tableau I : résumé bibliographique de composés organiques volatils liés à la gestion des
Aphididae.**

Légende : (1) nom du COV ; (2) appartenance chimique (monoterpène, sesquiterpène, composé carbonyle, alcool, acide carboxylique ou hydrocarbure pour les composés identifiés) ; (3) détail de l'appartenance chimique (monoterpène bicyclique par exemple) ; (4) substance ou plante émettrice du COV ; (5) espèce ciblée pour l'étude, ravageur ou ennemi naturel ; (6) les effets trouvés dans l'étude ; (7) l'article.

Code couleur :

rouge : attractif pour un ennemi naturel ; bleu : aucun effet ; vert clair : répulsif et / ou toxique pour un ravageur ; vert foncé : répulsif selon certaines conditions ; blanc : présence du COV, mais pas d'information sur ses effets

COV	Appartenance chimique	Précision chimique	Substance émettrice (Plante, huile etc)	Espèce ciblée	Effets	Article
(-)-trans-Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Hori, 1998)
(+)-Camphène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Hori, 1998)
1,12-Triméthyl-1,1,7,11-Tetradécal	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes tricycliques	um (CGN18333, CGN22718, CGlyzuz persicae ; <i>Diaeretiella rapae</i>)	<i>Diaeretiella rapae</i>	Effet possible sur pucerons et EN	(Ali et al., 2022)
(E)-2-Hexenal	Carbonyles	Aldéhydes	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
(E)-Anéthole	Phénylpropènes		Pur	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Effet répulsif	(Cantó-Tejero et al., 2022)
(E)-Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
(E)-Nérolidol	Sesquiterpènes		<i>Zea mays</i>	<i>Rhopalosiphum padi</i> ; <i>Aphis fabae</i>	Présence	(Markovic et al., 2014)
(E)-β-Farnésène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes linéaires	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Myzus persicae</i>	Présence	(Gosset et al., 2009)
(E)-β-Farnésène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes linéaires	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
(E)-β-Farnésène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes linéaires	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
(E)-β-Farnésène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes linéaires	um (CGN18333, CGN22718, CGlyzuz persicae ; <i>Diaeretiella rapae</i>)	<i>Diaeretiella rapae</i>	Effet possible sur pucerons et EN	(Ali et al., 2022)
(R)-(-)-Linalol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
(S)-(-)-Germacrène D	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
(Z)-3-Hexène-2-ol	Alcools	Alcools gras	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
(Z)-Jasmon	Carbonyles	Cétones	Pur	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Effet répulsif	(Cantó-Tejero et al., 2022)
1-Hexanol	Alcools	Hexanols	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
1,8-Cinéole	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Hori, 1998)
6-Méthyl-5-heptène-2-one	Carbonyles	Cétones	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
6-Méthyl-5-heptène-2-one	Carbonyles	Cétones	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Rhopalosiphum padi</i> ; <i>Aphis fabae</i>	Présence	(Markovic et al., 2014)
Acétate de (Z)-3-hexen-1-yl	Acides carboxyliques	Acétates	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
Acétate de bornyle	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Hori, 1998)
Anéthole	Phénylpropènes		<i>Foeniculum vulgare</i> (huile essentielle)	<i>Aphis gossypii</i>	Répulsif	(Taglienti et al., 2023)
Anéthole	Phénylpropènes		<i>Foeniculum vulgare</i> (huile essentielle)	<i>Myzus persicae</i>	Toxique	(Pavela et al., 2018)
Benzaldéhyde	Carbonyles	Aldéhydes	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
Bisabolène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	Isolé depuis <i>Sanctus palmensis</i>	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Gutiérrez et al., 1997)
Bornéol	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Hori, 1998)
Carvone	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Présence	(Gupta et al., 2017)
Copaène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes tricycliques	<i>Tanacetum vulgare</i>	<i>Metopeurum fuscoviride</i>	possiblement attractif sur puce	(Clancy et al., 2016)
D-(+)-Limonène	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Hori, 1998)
D(-)-Camphène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Hori, 1998)
Décane	Carbonyles	Aldéhydes	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
Eucarvone	Monoterpènes	Monoterpénoïdes	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
Eugénol	Acides carboxyliques	Cinnamates	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Action répulsive à toutes les concentrations	(Dardouri et al., 2019)
Farnésol	Alcools	Prénols	Pur	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Effet répulsif	(Cantó-Tejero et al., 2022)
Farnésol	Alcools	Prénols	Pur	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Effet attractif EN	(Cantó-Tejero et al., 2022)
Farnésol	Alcools	Prénols	Sigma Chemical Co.	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Gutiérrez et al., 1997)
Fenchone	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Foeniculum vulgare</i> (EO)	<i>Aphis gossypii</i>	Répulsif	(Taglienti et al., 2023)
Fenchone	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Foeniculum vulgare</i> (EO)	<i>Myzus persicae</i>	Toxique	(Pavela et al., 2018)
Géranol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Pur	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Effet répulsif	(Cantó-Tejero et al., 2022)
Géranol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Présence	(Gupta et al., 2017)
Géranol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Sigma Chemical Co.	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Gutiérrez et al., 1997)
Géranylacétone	Monoterpènes	Monoterpénoïdes cétoniques	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
Limonène	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
Limonène	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Présence	(Gupta et al., 2017)
Linalol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)

2.4. Les PdS attractives des Ennemis naturels (EN) parasitoïdes ou prédateurs en tant que sources de nourriture

Les PdS peuvent aussi agir de façon indirecte sur les ravageurs, en favorisant la présence de leurs EN (Figure 3) (Uefune et al., 2013). Elles sont alors utilisées dans des stratégies “attract and reward”, qui consistent à attirer ses EN (attract) et leur fournir une source de nourriture (reward), pour bénéficier de leur présence en lutte biologique par conservation (Simpson et al., 2011). En particulier, la présence de fleurs et/ou de nectar peut contribuer à attirer les parasitoïdes et prédateurs, et peut prolonger leur survie (Azzouz et al., 2004; Gurr et al., 2012).

Ainsi, *Aphidius ervi*, notamment utilisé contre *Macrosiphum euphorbiae*, a vu sa longévité multipliée par 45 en présence de nectar sur le sarrasin, comparée à l'eau (Araj et al., 2006). Il est plus difficile de trouver ces données sur *Aphidius matricariae*, parasitoïde de *D. plantaginea*. Une étude révèle tout de même l'augmentation de la longévité du parasitoïde nourri de melibiose, sucre dérivé produit par certaines plantes (Goelen et al., 2018). La fourniture de nectar aux parasitoïdes pourrait permettre d'améliorer leur condition physique, sans bénéficier au puceron (Benelli et al., 2017). Toutefois, cet effet est fortement dépendant du contexte. En effet, des hypothèses soutiennent que certains parasitoïdes peuvent se disperser à moyenne ou longue distance lorsqu'ils se nourrissent de nectar. Par ailleurs, la présence de ces parasitoïdes peut également diminuer selon les risques d'auto-superparasitisme, d'hyperparasitisme dépendant de la densité ou de consanguinité parmi la progéniture des parasitoïdes (Heimpel, 2019; Luquet et al., 2021).

L'attraction d'auxiliaires pourrait être liée à l'émission de certains COV comme le salicylate de méthyle (Bodelot et al., 2019), appartenant aux “Green Leaf Volatiles” (Ameye et al., 2018).

2.5. Les COV des PdS comme des SDP

Certaines PdS produisent des molécules signalétiques, qui induisent les défenses des plantes, comme l'acide jasmonique, un Green Leaf Volatiles (Bodelot et al., 2019). Il s'agit d'induction de résistance systémique des plantes aux ravageurs, qui implique des cascades réactionnelles et des voies métaboliques complexes. L'induction peut aussi se propager aux plantes voisines par des signaux chimiques qui vont permettre aux plantes voisines non attaquées de stimuler leur défense (Karban et al., 2000). En verger, cela pourrait conduire à une efficacité importante des PdS via cet effet stimulateur des défenses des plantes (SDP).

Tableau I : résumé bibliographique de composés organiques volatils liés à la gestion des

Aphididae.

COV	Appartenance chimique	Précision chimique	Substance émettrice (Plante, huile etc)	Espèce ciblée	Effets	Article
Unalol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Présence	(Gupta et al., 2017)
Unalol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Hori, 1998)
Menthone	Alcools	Alcools gras	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Présence	(Gupta et al., 2017)
Méthyleugénol	Acides carboxyliques	Cinnamates	<i>Ocimum basilicum ; Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
Myrcène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Présence	(Gupta et al., 2017)
Myrcène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Hori, 1998)
Myrcène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Ocimum basilicum ; Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
Népétalactone	Monoterpènes	Cyclopentane Monoterpènes	<i>Nepeta cataria (composé)</i>	<i>Brevicoryne brassicae</i>	Attire mâle puceron	(Gabrys et al., 1997)
Népétalactone	Monoterpènes	Cyclopentane Monoterpènes	<i>Nepeta cataria (composé synthétique)</i>	<i>Aphis fabae</i>	Effet attractif EN	(Hardie et al., 1991)
Ocimène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Ocimum basilicum ; Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
Octanal	Carbonylés	Aldéhydes	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
p-Cymen-7-ol	Alcools	Alcools benzyls	<i>um (CGN18333, CGN22718, CGlyzus persicae ; Diaeretiella rapae</i> possible sur pucerons et EN			(Ali et al., 2022)
p-Cymène	Monoterpènes	Monoterpénoïdes monocycliques	<i>Ocimum basilicum ; Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
p-Cymène	Monoterpènes	Monoterpénoïdes monocycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Hori, 1998)
Pipéritone	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Ocimum basilicum ; Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
Pulégone	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Présence	(Gupta et al., 2017)
Sabinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Ocimum basilicum ; Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
Salicylate de méthyle	Acides carboxyliques	Benzoates	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
Scopaletine	Coumarins		<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Présence	(Gupta et al., 2017)
Sulcatone	Carbonylés	Cétones	-	<i>Rhopalosiphum padi</i>	Effet attractif pucerons	(Ban et al., 2008)
Terpinoène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Ocimum basilicum ; Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
trans- α -Bergamotène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>um (CGN18333, CGN22718, CGlyzus persicae ; Diaeretiella rapae</i> possible sur pucerons et EN			(Ali et al., 2022)
Undécanal	Carbonylés	Aldéhydes	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Présence	(Webster et al., 2008)
Verbénone	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Ocimum basilicum ; Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
α -Humulène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	effet toxique	(Wang et al., 2021)
α -Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Hori, 1998)
α -Terpinène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Solanum pennellii LA716 x Solanum lycopersicum 'Moneyberg'</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	Effet répulsif	(Baleker et al., 2009)
α -Terpinène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Ocimum spp.</i>	<i>Myzus persicae ; Aphis fabae</i>	Répulsif	(Yarou et al., 2020)
α -Terpinéal	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Ocimum basilicum ; Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
α -Terpinéal	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Hori, 1998)
α -Thujène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Ocimum spp.</i>	<i>Myzus persicae ; Aphis fabae</i>	Répulsif	(Yarou et al., 2020)
β -Bisabolène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>um (CGN18333, CGN22718, CGlyzus persicae ; Diaeretiella rapae</i> possible sur pucerons et EN			(Ali et al., 2022)
β -Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Ocimum basilicum ; Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
β -Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Myzus persicae</i>	Présence	(Gosset et al., 2009)
β -Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Effet répulsif	(Wang et al., 2021)
β -Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Zea mays</i>	<i>Rhopalosiphum padi ; Aphis fabae</i>	Présence	(Markovic et al., 2014)
β -Élémène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Myzus persicae</i>	Présence	(Gosset et al., 2009)
β -Ocimène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Tabac transgénique qui a émit du beta-Ocimène, et les observations ont été fait sur les tomates	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Eliciteur défense des plantes, diminution taille des pucerons, et attraction A. ervi	(Cascone et al., 2015)
β -Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aucun effet	(Hori, 1998)
β -Sesquiphellandrène	Sesquiterpènes	Cyclohexane Sesquiterpènes	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Myzus persicae</i>	Présence	(Gosset et al., 2009)
γ -Terpinène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Effet toxique	(Gupta et al., 2017)
γ -Terpinène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Présence	(Gupta et al., 2017)

2.6. Choix des modèles d'étude

Contre *D. plantaginea*, l'UR PSH d'Avignon a testé différentes plantes aromatiques (Perrin, 2022) déjà connues pour leurs propriétés répulsives vis-à-vis des pucerons (Ben-Issa et al., 2017; Dardouri, 2018; Dieudonné, 2018). Trois plantes ont été retenues pour les tests de ce stage : (1) le basilic pistou (*Ocimum basilicum*), connu pour ses propriétés répulsives sur de nombreux ravageurs (Obeng-Ofori & Reichmuth, 1997), dont les COV ont montré des effets négatifs directs sur le comportement olfactif de *M. persicae* (Dardouri et al., 2019b); (2) l'œillet d'Inde (*Tagetes patula nana*), qui, à proximité du poivron, a réduit le nombre de femelles adultes et de larves de *M. persicae* (Ben Issa et al., 2016) ; (3) le lavandin séguret (*Lavandula x intermedia*), qui réduit le nombre de larves pondues par *M. persicae* (Ben Issa et al., 2016), et a montré un effet répulsif vis-à-vis de *D. plantaginea* (Dieudonné et al., 2022).

D'autre part, ces PdS ont montré des propriétés attractives pour les parasitoïdes des pucerons (Fang et al., 2022; Silveira et al., 2009; Song et al., 2013) et prédateurs (Beizhou et al., 2012). Pour tester les propriétés bénéfiques de ces PdS sur les auxiliaires, *Aphidius matricariae* a été sélectionné comme modèle d'étude. Il s'agit d'un parasitoïde de plusieurs pucerons ravageurs dont *D. plantaginea* (Turpeau et al., 2018) récemment en élevage dans les laboratoires INRAE Pays de la Loire.

Dans le cadre du projet, nous étudions l'effet de deux leviers, l'application de flashes d'UV-C, ou de lésions, afin de déterminer si ces leviers qui seront utilisés en verger peuvent modifier l'émission de COV par les PdS et en conséquence tester leur efficacité vis-à-vis du puceron.

3. Les stimulateurs de défense des plantes (SDP)

Les stimulateurs de défense des plantes (SDP) sont des "substances ou produits, naturels ou non, capables d'induire (ou de préparer à l'induction), chez les plantes traitées, un état de résistance aux bio-agresseurs" (*Guide Eco-Fruits - Stimulateurs de Défense des Plantes (SDP)*, 2020), et sont donc utilisés comme moyen de lutte.

3.1. UV-C

Les lumières UV-C, de longueur d'onde inférieure à 280 nm, ont été testées sous forme de flashes pour stimuler les défenses des plantes. Leurs applications sur plants de fraise, tomate, et laitue, ont permis de stimuler les défenses de ces plantes contre *Botrytis cinerea* (Forges et al., 2018; Ouhibi et al., 2015; Vásquez et al., 2020). Les mécanismes responsables

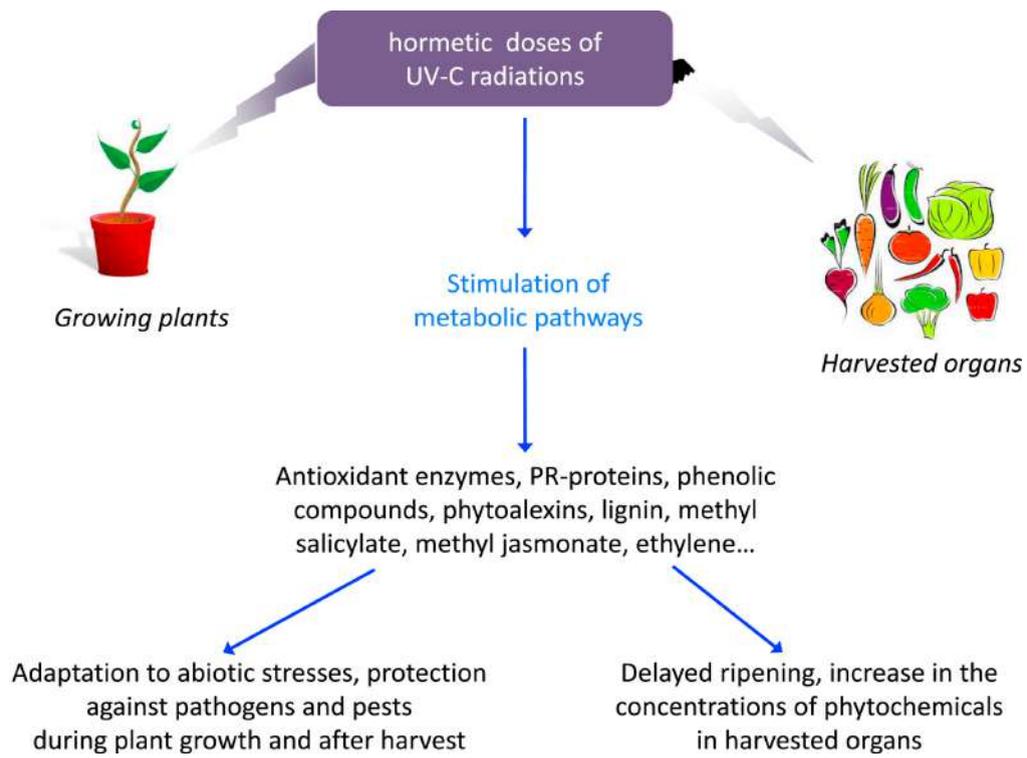


Figure 5 : Résumé des effets attendus de l'application de doses hormétiques UV-C sur les plantes (Source : Urban et al., 2016).

de la réduction de la sensibilité aux pathogènes sont encore à l'étude, mais les résultats de Xu et al. (2019) sur fraise démontrent l'action d'espèces réactives de l'oxygène, ainsi que l'implication de molécules connues pour leur rôle dans l'induction des défenses des plantes, telles que l'acide salicylique et l'acide jasmonique (Figure 5).

Les études récentes mettent l'accent sur l'emploi de flashes lumineux d'une seconde, répétés plusieurs fois sur la plante à intervalle de temps fixé (Aarrouf & Urban, 2020; Ledermann et al., 2021). Une exposition à un flash d'une ou deux secondes très concentré en énergie répétée trois fois a suffi à induire les défenses dans les systèmes *B. cinerea*-tomate, *Phytophthora capsici*-poivron et *Plasmopara viticola*-vigne en montrant de meilleurs résultats qu'une exposition d'une minute, pour les mêmes longueurs d'onde et énergies (Aarrouf & Urban, 2020). Leur emploi doit cependant être contrôlé, puisqu'en excès, des traitements UV-C inhibent la photosynthèse et déclenchent des changements de type apoptotique dans les cellules du mésophylle (Vass et al., 2005; Wituszyńska et al., 2015). Ainsi, chaque espèce / variété doit passer une phase de tests afin de déterminer sa sensibilité (Duarte-Sierra et al., 2020) et in fine sa dose hormétique, la dose applicable sans avoir d'effet délétère pour la plante. Pour la tomate et la fraise, des doses de 0.85 kJ/m² ont permis d'améliorer la résistance à *B.cinerea* sans effet négatif apparent (Forges et al., 2018; Vásquez et al., 2020).

3.2. Lésions mécaniques (LM)

La plante peut aussi faire l'objet de stress mécaniques (frottements, lésions, etc), blessants ou non, la plupart du temps appliqués de façon artificielle à la plante, une ou plusieurs fois (Coutand, 2020). Les lésions mécaniques (LM) sont capables d'enclencher différents mécanismes de défense, qui peuvent faire intervenir la voie de signalisation *COII* médiée par l'acide jasmonique (Brenya et al., 2020), les protéines liées à la parthénogenèse (Billet et al., 2018), et les espèces réactives de l'oxygène (Benikhlef et al., 2013; Coutand, 2020), qui sont résumées par Coutand, 2020 (Annexe I).

Les LM de feuilles d'*Arabidopsis thaliana* ont par exemple induit une immunité forte et transitoire contre la pourriture grise *Botrytis cinerea* (Benikhlef et al., 2013). D'autres rapports ont montré une augmentation du nombre total de nectaires extra floraux suite à un dommage foliaire de *Vicia faba*, et suggèrent une réponse adaptative inductible permettant d'attirer récompenser et retenir des ennemis naturels lorsque le risque d'herbivorie augmente (Heil, 2015; Mondor & Addicott, 2003).

Tableau II : Conditions de culture des plantes de service utilisées pour tester l'effet des flashes UV-C ou de lésions sur leur émission de COV et la longévité d'*Aphidius matricariae* (Angers du 19/06/2023 au 07/07/2023).

Nom commun	Nom latin	Variété	Origine des plantes	Lieu de culture	Stade phénologique au moment des tests	Date de semis
Basilic	<i>Ocimum basilicum</i>	Pistou	Semences de HM Clause (1)	Semées à l'INRAE d'Avignon	Végétatif	05/01/2023
Lavandin	<i>Lavandula x intermedia</i>	Séguret	EARL Eric Moulin Loriol-du-Comtat (2)	Achetées en pépinière	Végétatif	Arrivée le 19/02/2023
				Semées à l'INRAE d'Avignon	En fleur	05/01/2023
CEillet d'Inde / Tagète	<i>Tagetes patula</i>	Nana	Semences de Graines Girerd (3)	Semées à l'Institut Agro Rennes-Angers	Végétatif	09/05/2023
				Semées à l'Institut Agro Rennes-Angers	En fleur	27/03/2023 + 24/04/2023

Enfin, des études récentes ont révélé un effet des LM sur les profils de COV de maïs et de fève, suffisant pour diminuer l'attraction des pucerons vis-à-vis de ces plantes. Certains COV comme le (E)-néridiol et (E)-béta-caryophyllène ont pu être identifiés dans cette différenciation des plantes (Markovic et al., 2014).

4. Objectifs du stage et questions de recherche

Mon sujet s'inscrit dans la continuité des travaux réalisés par l'UR PSH pour trouver des solutions alternatives à l'usage de pesticides pour lutter contre les pucerons. Il fait suite au stage de M2 de Claire Perrin en 2022 sur l'identification de PdS capables de réguler *D. plantaginea*, et s'insère dans le sujet de thèse de Louna Rizzi (*Effets de l'introduction et de la gestion de plantes de services sur le paysage olfactif et la régulation de pucerons en arboriculture fruitière*). Ce levier "PdS" sera combiné à d'autres traitements (UVC, fertilisation azotée, ...) appliqués au pommier pour optimiser le contrôle du puceron cendré. Les PdS se trouvant potentiellement exposées à ces traitements et à des lésions lors du passage de tracteur, se posent alors les questions suivantes :

L'application de flash d'UV-C ou de lésion sur les PdS modifie-t-elle leur production de COV ? Ceci a-t-il une incidence sur l'effet de ces PdS sur le comportement et les performances du puceron cendré élevé sur pommier ?

Pour le savoir, j'ai étudié l'effet des lésions mécaniques et des flashes UV-C sur lavandin, tagète et basilic, (i) les COV ont été prélevés et analysés pour vérifier leur variabilité selon le traitement, (ii) des tests de fécondité ont ensuite été réalisés sur *D. plantaginea* élevé sur pommier.

En complément, nous avons voulu savoir si les PdS favorisaient la présence des EN du puceron cendré en produisant du nectar, ce qui renforcerait leur intérêt pour réguler ce ravageur. J'ai donc testé en laboratoire la capacité des tagètes à attirer et accroître la longévité du parasitoïde *Aphidius matricariae*.

Matériel et méthodes

1. Obtention du matériel biologique

1.1. Production des plantes

Les plants de tagètes et basilics sont obtenus à partir de semis (Tableau II), puis repotés dans des pots de 1L. Les lavandins sont achetés à l'EARL Moulin Loriol du Comtat



Figure 6 : Pommiers (porte-greffes M106 et M116) en serre (gauche, milieu) et en cage dans l'insectarium (droite).



Figure 7 : Disposition des plantes de service en serre. Tagètes et basilics à gauche le 06/04/2023 ; lavandins à droite le 05/05/2023.

Pour chaque modalité (Témoin, Lésion, UV-C et UV-C + Lésion), 6 plantes sont placées en serre. Pour des raisons techniques, seules 3 plantes sont suivies pour les COV durant les semaines 1 et 2. En semaine 3, les 6 plantes des modalités Lésion et UV-C + Lésion sont suivies.

dans des pots de 3L. Tous les pots contiennent du terreau “spécial mixture” Klasman Deilmann 564®, et sont placés sous irrigation au goutte-à-goutte, 70mL distribués en 2 minutes, 3 fois par jour. La solution nutritive utilisée est le Liquoplant Rose®. Les prélèvements de COV ont été réalisés sur 24 plants par espèce.

Les tagètes utilisées pour la longévité des parasitoïdes sur le campus de l’Institut Agro Rennes-Angers et du Centre INRAE Pays de la Loire ont été semées à 3 dates distinctes (Tableau II), afin d’obtenir les stades végétatifs et fleuris pour la date du 19/06/2023, début des manipulations. (T° : 20 ± 2 °C, L/D 18 : 6 ; HR: 65 ± 15 %, lx: 125 ± 25 $\mu\text{mol/s.m}^2$), avec une transition d’une heure entre le jour (T° : 22°C) et la nuit (T° : 18°C). Les semis sont placés en conditions contrôlées, puis repotés dans des pots de 1L une semaine après leur levée et placés en serre dans des conditions identiques.

Les plants de pommiers utilisés pour l’élevage des pucerons et la fécondité proviennent des porte-greffes M106 et M116, ils sont stockés en chambre froide (T° : 3 ± 1 °C) pendant 14 jours, puis sortis et stratifiés. Ils sont repotés dans des pots de 1L, et placés sous irrigation goutte-à-goutte de la même façon que les plantes de service (Figure 6).

1.2. Elevage des pucerons : *Dysaphis plantaginea*

Les populations de *D. plantaginea* proviennent de fondatrices récupérées dans un verger du domaine Saint-Paul (Avignon), sur la variété de pommier Ariane à la date du 31/03/2023. Les individus sont donc des clones aptères issus de cette fondatrice, élevés sur pommier en conditions contrôlées dans l’insectarium de PSH (T° : 19 ± 1 °C, L/D 16:8). Ces conditions permettent de maintenir des populations de pucerons aptères par parthénogénèse. Pour obtenir des cohortes, un total de 120 femelles est utilisé, à raison d’environ 10 femelles par boîte de Pétri (12cm x 12cm x 1,5cm). Elles sont placées sur une feuille de pommier, elle-même déposée sur un papier filtre humide. Les femelles sont déplacées après 24h pour prendre les larves pondues pendant cette période. Les larves pondues sont déposées sur pommier et utilisées après 7 à 10 jours.

Une autre méthode de production de cohortes de pucerons a été utilisée pendant le stage à partir de fin mai. Une cinquantaine de femelles est déposée sur un pommier en cage (Figure 6). Elles sont récupérées après 8h ou 24h, puis déposées sur de vieilles feuilles de pommier, elles-mêmes déposées sur un nouveau pommier. Au bout d’une semaine, les pucerons produits selon ces deux méthodes ont été observés, et nous avons constaté une taille de pucerons plus importante avec la seconde méthode.

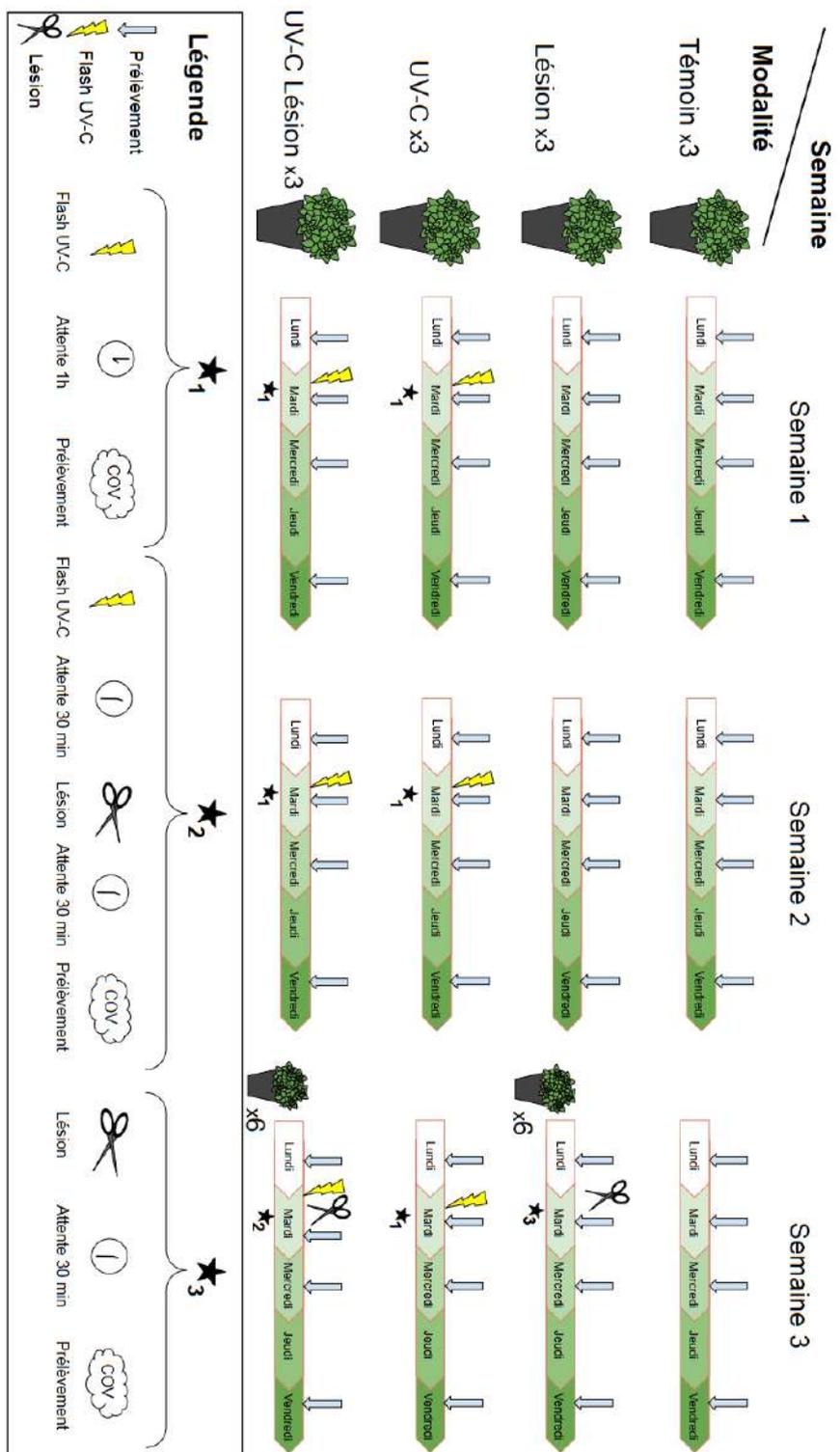


Figure 8 : Design expérimental suivi pour tester les effets de traitements UV-C et de lésions mécaniques sur les COV de Pds.

Les mêmes 3 plantes sont utilisées pour les prélèvements pour chaque modalité pendant 3 semaines. Pendant les semaines 1 et 2, il n'y a pas de lésion, donc les individus de la modalité Lésion et ceux de la modalité UV-C Lésion sont considérés respectivement comme des Témoins ou UV-C. En semaine 3, 3 plantes sont ajoutées au 3 déjà suivies pour les modalités Lésion et UV-C Lésion. Ces plantes proviennent du même lot que les autres plantes de la modalité.

1.3. Elevage des parasitoïdes : *Aphidius matricariae*

Les parasitoïdes *Aphidius matricariae* proviennent de plantes sentinelles posées en vergers de pommes à cidre chez les producteurs de l'association "Ponceau Charmilles" à la Selle Craonnaise, du 26/04/2023 au 03/05/2023. Un pommier infesté de *D. plantaginea* est ajouté en cas de besoin, et arrosé quand nécessaire. Pour l'expérience, un total de 88 momies a été prélevé entre les 26 et 28/06/2023.

2. Effets des traitements UV-C et des lésions sur l'émission de COV par les PdS

2.1. Principe de la manipulation

L'objectif de ce test est de comparer les émissions de COV des plantes selon le traitement subi : témoins (aucun traitement); flashées aux UV-C; après lésions; après flashes UV-C et lésions. Pour chaque plante testée (Figure 7), on suit le mode opératoire suivant (Figure 8). Les tests sont effectués dans les serres du Pôle Agrosociétés de l'Université d'Avignon, 84140 Avignon, qui dispose du dispositif permettant de flasher les plantes aux UV-C (Pascal et al., 2018) (Annexe II).

2.2. Détermination des doses de traitement UV-C

Pour déterminer la dose et la durée du traitement UV-C non délétère pour la plante, des tests ont été réalisés entre le 27/03/2023 et le 30/03/2023 sur 20 plantes de chaque espèce. Les tests ont consisté en l'application d'une gamme de flashes UV-C de 400 J/m², 800 J/m² et 1200 J/m² et les plantes témoins déplacées mais ne recevant pas de flashes, soit 4 modalités. 30 min après les flashes, les mesures de la fluorescence de la feuille ont été réalisées afin d'estimer la dose maximale n'ayant pas affecté la fluorescence de la chlorophylle. Pour chaque modalité, 5 plantes sont utilisées, et 6 pinces sont appliquées par plante, soit 30 pinces par modalité. Elles permettent de maintenir à l'obscurité les feuilles avant de réaliser les mesures de fluorescence de la chlorophylle avec le matériel Handy PEA (Hansatech, Norfolk, U. K). Les mesures ont été analysées à l'aide du logiciel intégré PEA+. Les doses retenues sont de 800 J/m², administrées en flashes de 2 secondes, décrites par certains travaux (Ledermann et al., 2021). Ces doses sont inférieures aux doses hormétiques, mais sont retenues pour des contraintes techniques, et proviennent de communications personnelles avec Laurent Urban et Jawad Aarouf.



Figure 9 : Prélèvements de COV de plantes de service sous cloche. Photographies prises le 05/04/2023.

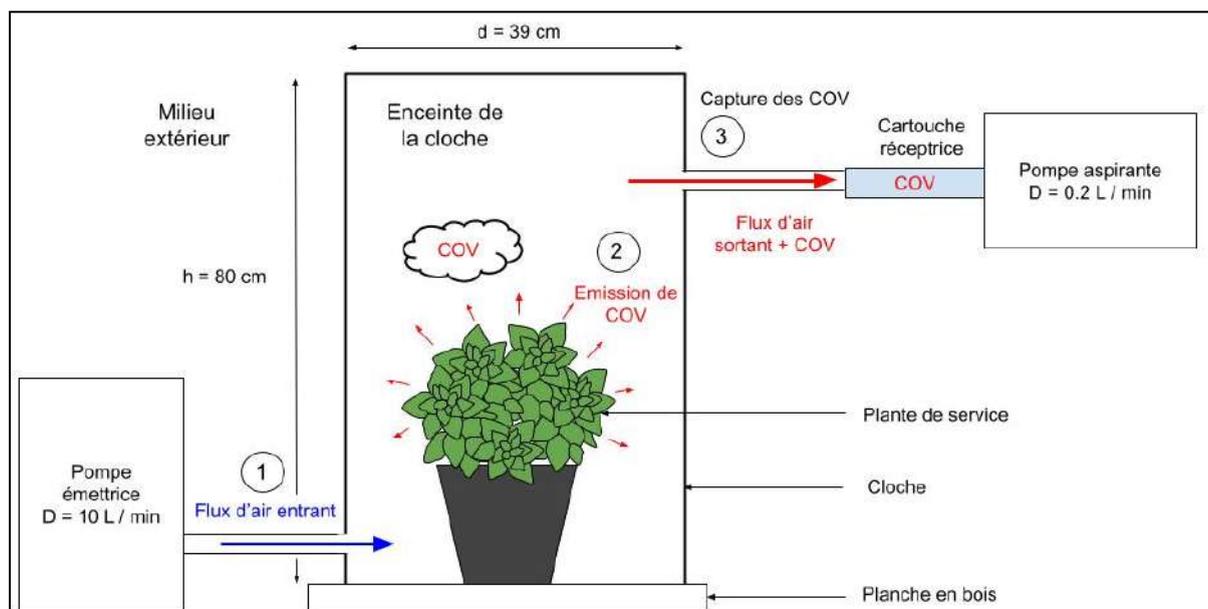


Figure 10 : Dispositif de prélèvement des COV des plantes de service sous cloche.

3. Analyse et identification des COV émis par les PdS

3.1. Prélèvements des COV

Pour capturer les COV émis par une PdS, celle-ci est mise sous cloche (Figures 9 et 10) ce qui permet de l'isoler de l'air extérieur. Un flux d'air est formé par l'installation d'une pompe (débit 10 L/min) émettrice et d'une micro-pompe aspirante (PAS-500 Micro Air Sampler). Une cartouche cylindrique Porapak® est reliée à la micro-pompe aspirante. Les propriétés du Tenax contenu dans la cartouche permettent de fixer des molécules en phase gazeuse, et donc de capturer les COV émis par la plante. Chaque prélèvement dure 25 minutes avec un débit de 0.2 L/min de la micro-pompe. La durée a été déterminée par un pré-test, afin d'obtenir le maximum de COV sans saturer la cartouche. Après le prélèvement, la cartouche est récupérée et stockée à 4°C jusqu'à son passage en chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS).

3.2. Analyse des COV par GC-MS (Gas Chromatography – Mass Spectrometry)

La détection des COV contenus dans les cartouches est réalisée par GC-MS, une technique d'analyse et de quantification des composés organiques volatils et semi-volatils. À l'aide d'un thermodésorbiteur PerkinElmer®, et un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse Thermo scientific®. Ces machines séparent les composés par chromatographie selon l'affinité des composés à une phase stationnaire et une phase mobile. Ensuite, par spectrométrie de masse (rapport masse sur charge), les composés élués sont détectés et identifiés (Figure 11).

Le résultat d'un prélèvement de cartouche est un graphique de la forme suivante (Figure 11). Les pics correspondent à des composés captés. Une partie est associée au bruit de fond, et donc à une pollution de l'échantillon, les autres pics aux COV émis par la plante.

3.3. Interprétation des chromatogrammes

L'interprétation des profils COV émis par les PdS est réalisée sur les logiciels AMDIS Version 2.73 et Thermo Scientific Xcalibur 4.1.31.9, en couplant une analyse non ciblée à partir de la banque de données internationales (NIST Mass Spectrometry Data Center, 1990), à une analyse ciblée, en créant une banque de données personnalisée pour chaque plante étudiée à partir de la première analyse. Cette approche permet de créer une bibliothèque de données simplifiée et propre à chaque espèce, qui est susceptible de produire des COV différents.

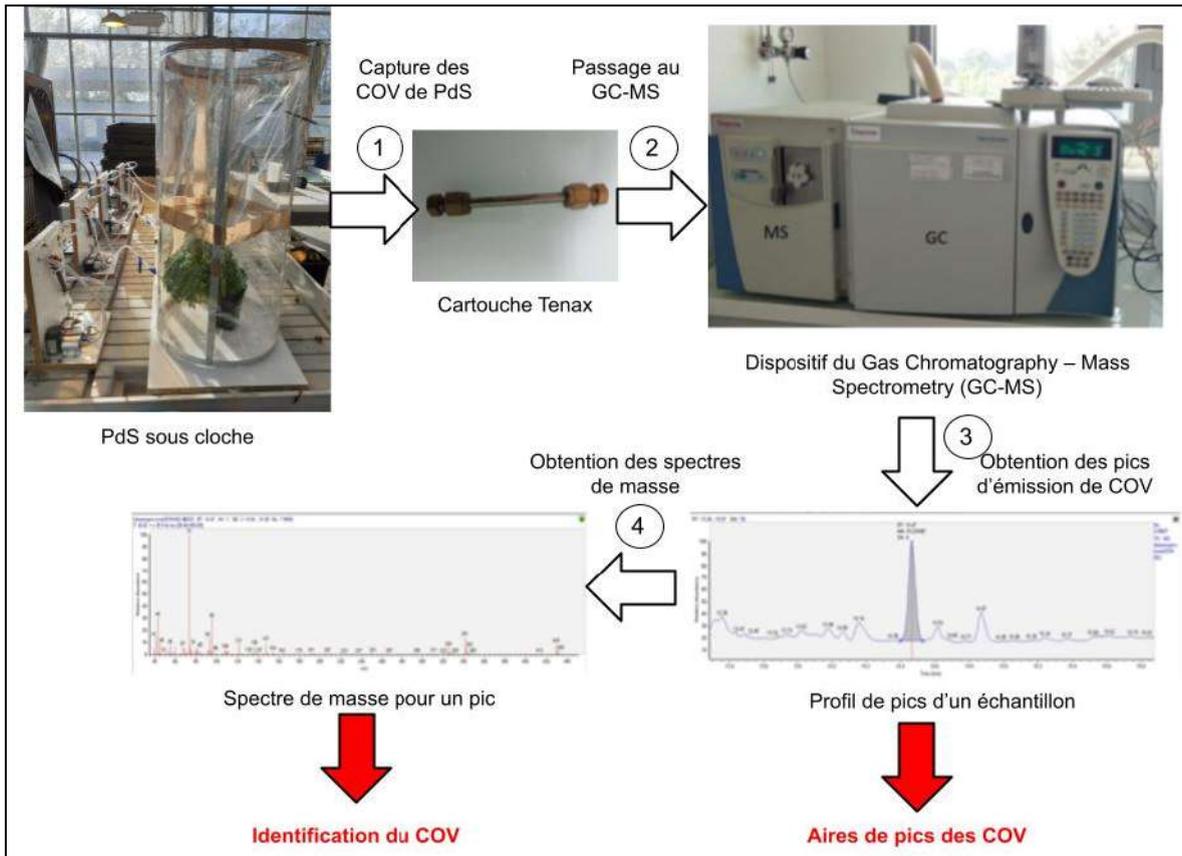


Figure 11: Étapes du prélèvement à l'analyse des COV. Crédits photographie : L. Jeandroz.

Légende :

COV = Composé Organique Volatil ; GC-MS = Gas Chromatography – Mass Spectrometry ; PdS = Plante de service

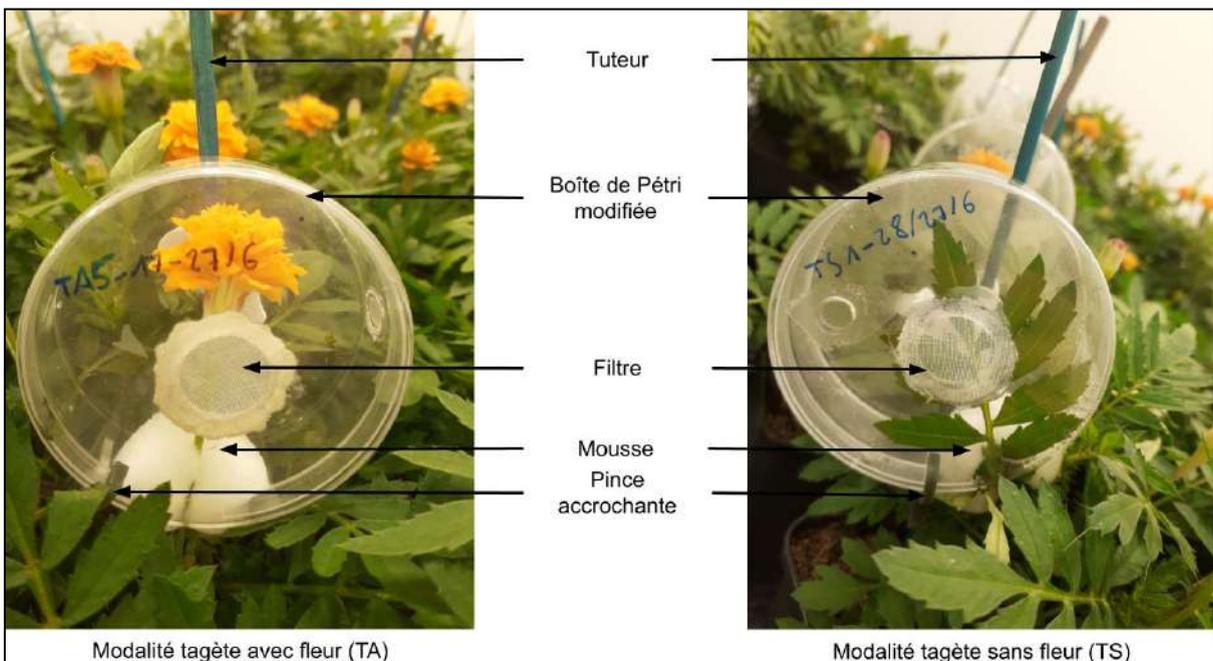


Figure 12 : Dispositif expérimental pour mesurer la longévité des parasitoïdes en présence d'une feuille ou d'une fleur de tagète (*Tagetes patula nana*).

Pour analyser les résultats, l'aire sous la courbe de chaque composé est mesurée. Cette aire est calculée par le logiciel, et proportionnelle à l'affinité de la molécule pour le substrat de la chromatographie. Il est donc possible de comparer l'émission du même COV selon les dates et/ou traitements.

3.4. Production d'un tableau de données COV

Pour discuter les effets des traitements physiques sur les PdS via leur émission de COV, j'ai cherché des informations concernant les rôles biologiques des COV produits par les plantes, qui sont résumées dans le [tableau I et l'annexe III](#).

Pour produire ce tableau, j'ai utilisé le moteur de recherche Google Scholar, en ne gardant que les articles de la première page. J'ai utilisé des mots-clés tels que le nom de la molécule associé aux termes "against aphids", "repulse", "companion plant". Le choix des molécules provient de mes analyses R. La première vingtaine de COV émis responsables de la différence entre les modalités de basilic ont été gardés. J'ai ensuite recherché au moins un article pour chaque COV, mais s'ils apparaissent dans plusieurs études, ils sont gardés. Je me suis aussi basé sur les études de Dardouri et al., 2019b réalisées au sein de l'unité de recherche PSH à l'INRAE d'Avignon, et celle de Hijaz et al., 2013, dont la discussion était très fournie en références bibliographiques, que j'ai donc ajoutées à ce corpus. Un autre stagiaire en Master 2, Thomas Lepers, a également ajouté une dizaine de références concernant des COV d'intérêt pour son étude tel que l'anéthole ([Annexe III](#)). Ce corpus n'est pas exhaustif, mais il met en avant la diversité des rôles que certains COV peuvent prendre, et doit me servir comme base pour ma discussion.

4. Tests de longévité des parasitoïdes avec les PdS

L'objectif de cette expérience est de déterminer si la présence de fleurs sur la tagète *patula nana* est favorable aux EN. Pour cela, on étudie leur effet sur la longévité d'*A. matricariae*. 88 momies ont été prélevées de l'élevage de parasitoïdes. Chaque jour, les émergences sont observées, et les adultes sont sexés. Seules les femelles sont récupérées. Elles sont ensuite placées dans des clip cages que j'ai conçues et construites pendant mon stage et qui permettent de placer le parasitoïde sur une fleur ou une feuille de tagète ([Figure 12](#)). Chaque jour, la longévité des individus est relevée, et les morts sont récupérés, pour estimer leur taille à partir de la mesure de la longueur de leur tibia postérieur droit sous loupe binoculaire. Cette mesure est courante, elle est utilisée comme indicateur de la taille du

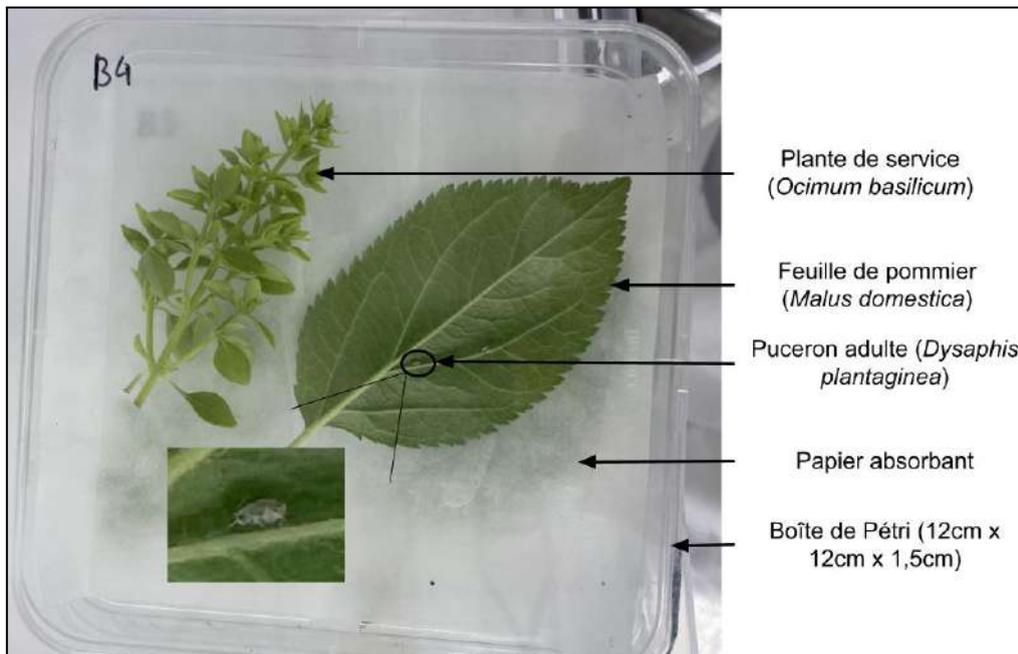


Figure 13 : Exemple d'une boîte pour les tests de fécondité, avec basilic comme plante de service. Crédits photographie : L. Rizzi.

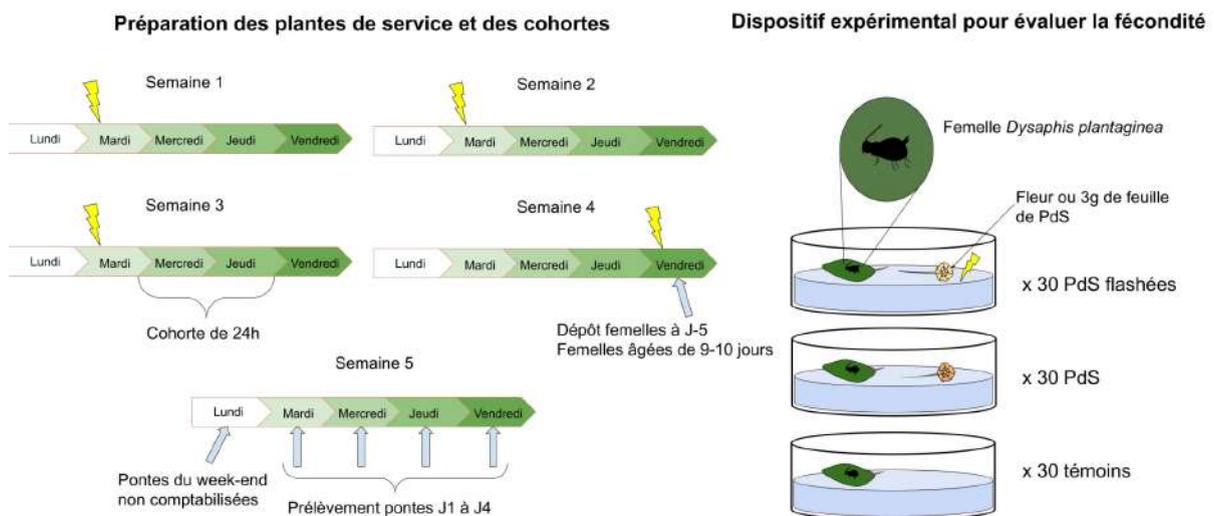


Figure 14 : Dispositif expérimental pour évaluer la fécondité du puceron cendré du pommier.

Légende :

J = Jour ; PdS = Plante de service.

Les plantes utilisées pour les prélèvements de COV sont réemployées pour évaluer la fécondité du puceron. La modalité flashée reçoit un flash le mardi pendant 3 semaines, puis un dernier le vendredi de semaine 4, avant de couper une partie de la plante pour son utilisation dans la manipulation. Des cohortes de femelles sont produites pour avoir un lot homogène de 9-10 jours lors de leur dépôt.

parasitoïde comme dans le travail de Tougeron et al., 2021. Un mode opératoire plus précis est présenté en [Annexe IV](#).

5. Tests de fécondité

Ce test vise à étudier l'influence des traitements UV-C appliqués sur une PdS sur la fécondité de *D. plantaginea*. Dans chaque boîte (12cm x 12cm x 1,5cm) sont installées un papier absorbant humidifié et une feuille de pommier, ainsi qu'une femelle de *D. plantaginea* ([Figure 13](#)). Les femelles proviennent de cohortes de 24h, et sont âgées de 9 ou 10 jours lorsqu'elles sont déposées ([Figure 14](#)). Selon la modalité, environ 3g de feuille de PdS et/ou une fleur (provenant d'une plante ayant reçu ou non des flashes UVC) sont disposés dans la boîte. Les PdS utilisées sont les modalités flashées et non flashées aux UV-C pendant les expériences de prélèvements de COV ([Figure 8](#)). Les plantes flashées le sont une dernière fois le matin du vendredi, environ 8h avant le dépôt des femelles. Les pontes sont relevées entre le mardi et le vendredi de la même semaine, ainsi que l'état mort ou vivant de la femelle ([Figure 14](#)). Certaines femelles deviennent ailées pendant la période de test. Elles cessent alors de pondre. Elles ne sont plus comptabilisées, et enlevées du total d'individus pour ne pas biaiser le nombre de pontes.

6. Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées sur le logiciel RStudio Version 2022.12.0 + 353, en utilisant les packages suivants : car, corrplot, DHARMA, dplyr, dunn.test, FactoMineR, forcats, ggplot2, ggpubr, grid, gridExtra, Hotelling, knitr, lattice, lme4, lmerTest, MuMIn, plot3D, PMCMRplus, predictmeans, rcompanion, readxl, reshape2, rsq, RVAideMemoire, stats, survival, tinytex, vegan, viridis. Tous ces packages sont présentés dans la bibliographie. Toutes les données sont considérées comme significativement différentes lorsque $p < 0,05$.

Les comparaisons de moyennes de pontes ont été réalisées pour le basilic, la tagète et le lavandin par des tests de Wilcoxon-Mann-Whitney entre deux modalités, et par un test de Kruskal-Wallis autrement. La survie des pucerons a été analysée en utilisant un modèle mixte linéaire généralisé (GLMM) en prenant en compte l'effet de la boîte comme effet aléatoire. Ce GLMM a été comparé à un modèle linéaire généralisé (GLM), et le modèle dont l'AIC était le plus faible a été retenu.

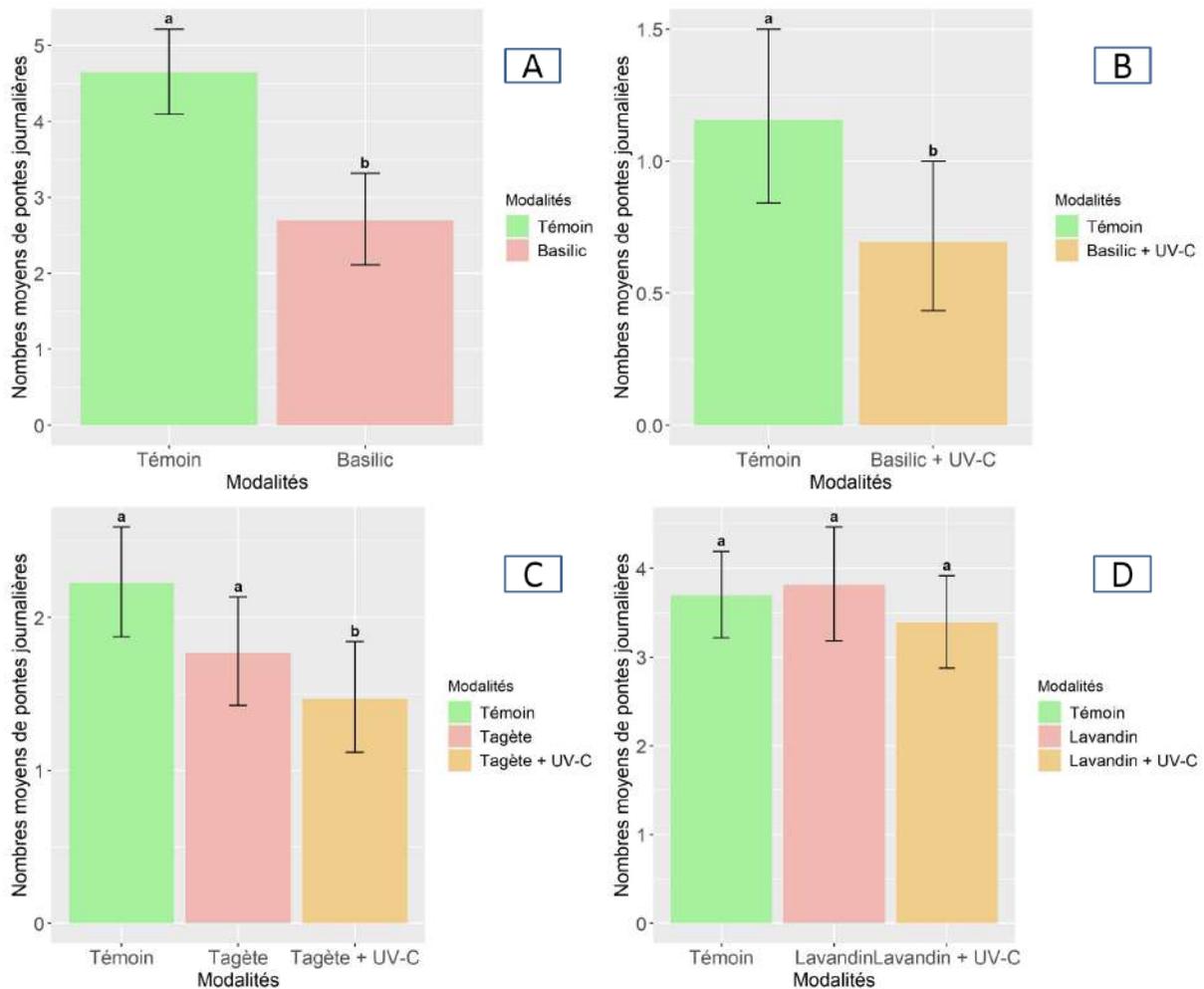


Figure 15 : Comparaisons de pontes de *D. plantaginea* en présence ou non de PdS ou de PdS flashées au UV-C (A, B: Basilic, C: Tagète, D: Lavandin).

La comparaison des pontes entre basilic et témoin, et celle entre basilic flashé et témoin ont eu lieu pendant des semaines différentes à cause de problèmes techniques. Les 4 graphiques sont indépendants. Les valeurs de p sont calculées à l'aide d'un test de Wilcoxon-Mann-Whitney $p < 0,05$, les lettres a et b désignent des modalités dont la moyenne est différente.

Pour la suite des analyses des prélèvements de COV, seul le basilic sera traité, même si les autres PdS ont aussi été prélevées. Les effets du traitement, de la journée et de leur interaction ont été analysés en utilisant une Redundancy Analysis (RDA), préférable aux analyses discriminantes lorsque l'expérience comporte plus d'un facteur, comme l'indique l'article Hervé et al., 2018, Table 1. La RDA décompose la variation expliquée et inexpliquée à partir du plan expérimental. Cette variation expliquée est elle-même décomposée en fonction de l'effet individuel de chaque variable contrôlée et du terme d'interaction. Les variations de COV entre deux dates de prélèvements ont été produites après un test de Wilcoxon-Mann-Whitney.

Différents modèles ont été testés pour représenter les variations de la longévité d'*A. matricariae* en fonction de sa modalité et de sa taille. Des analyses de covariance (ANCOVA) et des GLMM ont été testés, et leur R^2 comparés.

Résultats

1. Tests des effets des traitements UV-C sur la fécondité du puceron cendré

Les effets des PdS avec ou sans flash sur le nombre de pontes de *D. plantaginea* sont représentés [figure 15](#). Le lavandin n'a montré aucun effet sur les pontes des pucerons. Les basilics et tagètes flashés ont permis de réduire le nombre de pontes moyen par rapport à leurs témoins respectifs. Cependant, seule la modalité flashée a permis de réduire les pontes chez la tagète, il y a donc un effet des flashes UV-C sur la toxicité de la tagète. Il faudrait retester ensemble les modalités basilic flashé et non flashé pour déterminer si les flashes UV-C ont un effet ou non. La figure XX illustre les effets significatifs des PdS sur les dynamiques de ponte ([Figure 16](#)).

Pour la tagète ([Figure 16](#)), on peut remarquer que pendant les deux premiers jours de relevés, les pontes des pucerons en présence de PdS ou PdS flashées sont plus faibles que celles des témoins. L'effet de la PdS non flashée est donc significatif sur deux jours mais pas globalement. Pour le basilic, une diminution significative du nombre de pontes est visible pendant les trois premiers jours de prélèvement, notamment J2, tandis que l'effet des basilics flashés est uniquement visible le premier jour.

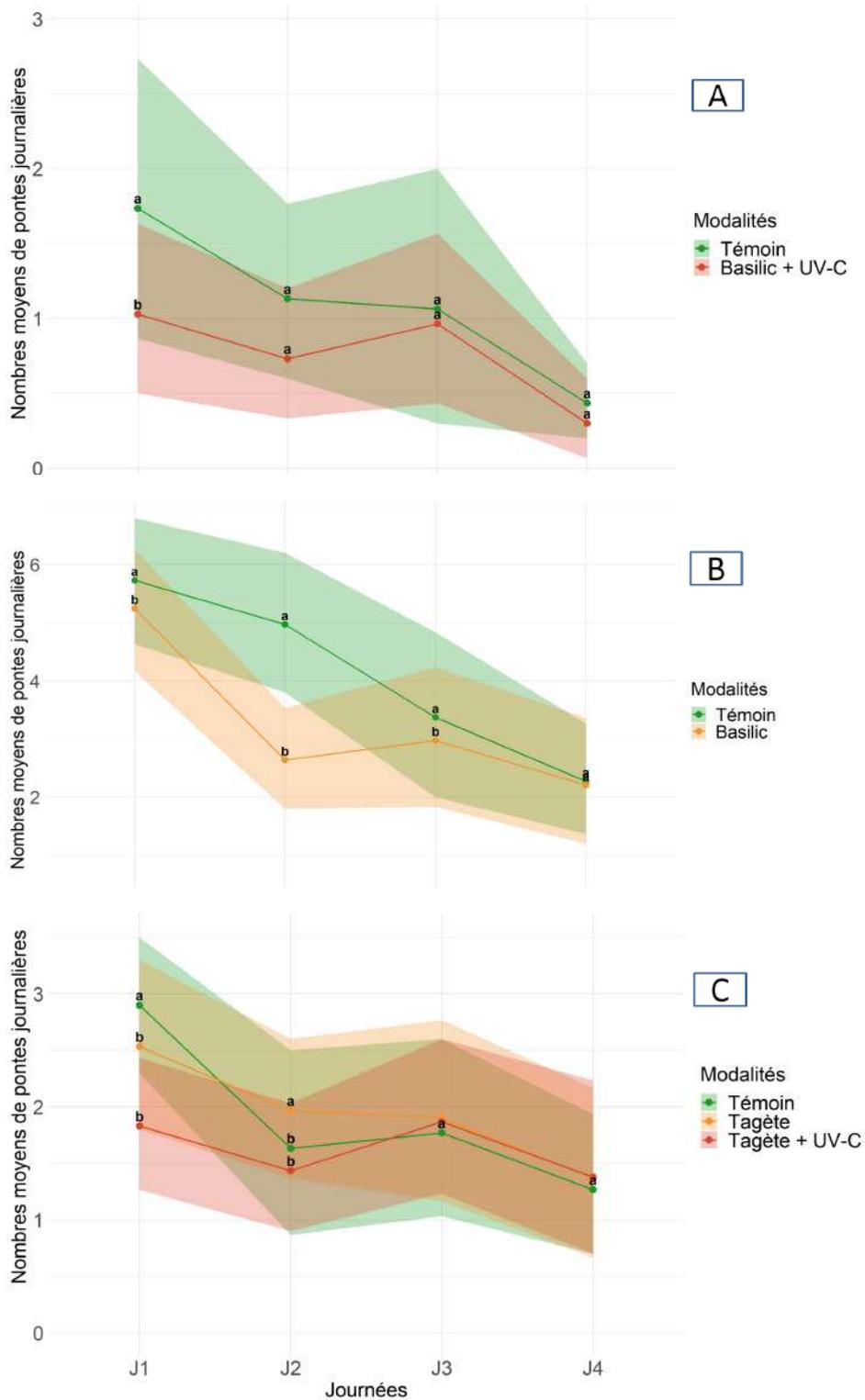


Figure 16 : Cinétique des pontes avec le basilic et la tagète.

Légende :

J1 = Jour 1 ... J4 = Jour 4

Les valeurs de p sont calculées à l'aide d'un test de Wilcoxon-Mann-Whitney $p < 0,05$ pour les graphiques A et B, et à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis $p < 0,05$ pour le graphique C. Les lettres désignent des résultats différents à $p < 0,05$ sur une même journée.

Concernant la survie des pucerons, les résultats sont présentés sous forme graphique [figure 17](#). Les tests statistiques associés sont présentés dans le [tableau III](#). On peut noter que malgré la forte mortalité le premier jour de collecte pour le basilic ([Figure 17](#)), l'effet du basilic sur la survie des pucerons n'est pas significatif ($p = 0,336$). Plus généralement, seuls les basilics flashés diminuent la survie des pucerons significativement ($p = 0,002$). Pour le lavandin et la tagète, le R^2 du modèle est important, il explique bien la variation des données, mais la partie fixe est faible, inférieure à 0,01, ce qui indique que les effets fixes du modèle, ici la plante, n'expliquent pas les variations.

Faute de temps, seul le basilic, dont le potentiel avec et sans UV-C sur *D. plantaginea* a pu être mis en évidence sera traité dans la suite de ce rapport, bien que les prélèvements COV aient été réalisés sur les trois espèces.

2. Tests des effets des traitements UV-C et lésions mécaniques sur les COV du basilic pistou

2.1. Objectif 1 : déterminer les effets des modalités sur les émissions globales de COV

D'abord, l'effet des modalités sur les aires de pics de COV captés par le GC-MS est testé chaque jour pendant les trois semaines de prélèvement ([Tableau IV](#)). En semaine 1, il n'y a pas d'effet significatif le lundi, 24h avant le flash (F-Test de la RDA, $p = 0,087$). Il n'y a pas de différence significative le mardi, 1h après le flash (F-Test de la RDA, $p = 0,138$), mais il y a un effet significatif 24h et 72h après le premier flash UV-C. Le premier flash a donc un effet différé dans le temps sur l'émission des COV. En revanche, cet effet n'est pas durable sur le long terme, les effets ne sont pas visibles en semaine 2 et 3. L'application des deuxième et troisième flashes, et de la lésion mécanique ne permettent pas de différencier les COV émis dans une journée.

2.2. Objectif 2 : déterminer les COV associés à chaque modalité

Pour aller plus loin, une RDA complémentaire réalisée uniquement en utilisant les prélèvements de la semaine 1 est effectuée ([Figure 18](#)). La modalité est significative (F-Test de permutation, $p = 0,001$), ainsi que l'interaction entre le jour et la modalité ([Figure 18-C](#)). La [figure 18-A](#) permet de visualiser deux groupes, les témoins et UV-C, qui sont différenciés par l'axe 1 de la RDA, explicatif de 42,8 % de la variabilité expliquée par le modèle ([Figure 18-C](#)). Certains COV parmi les 30 émis par le basilic peuvent être associés aux témoins,

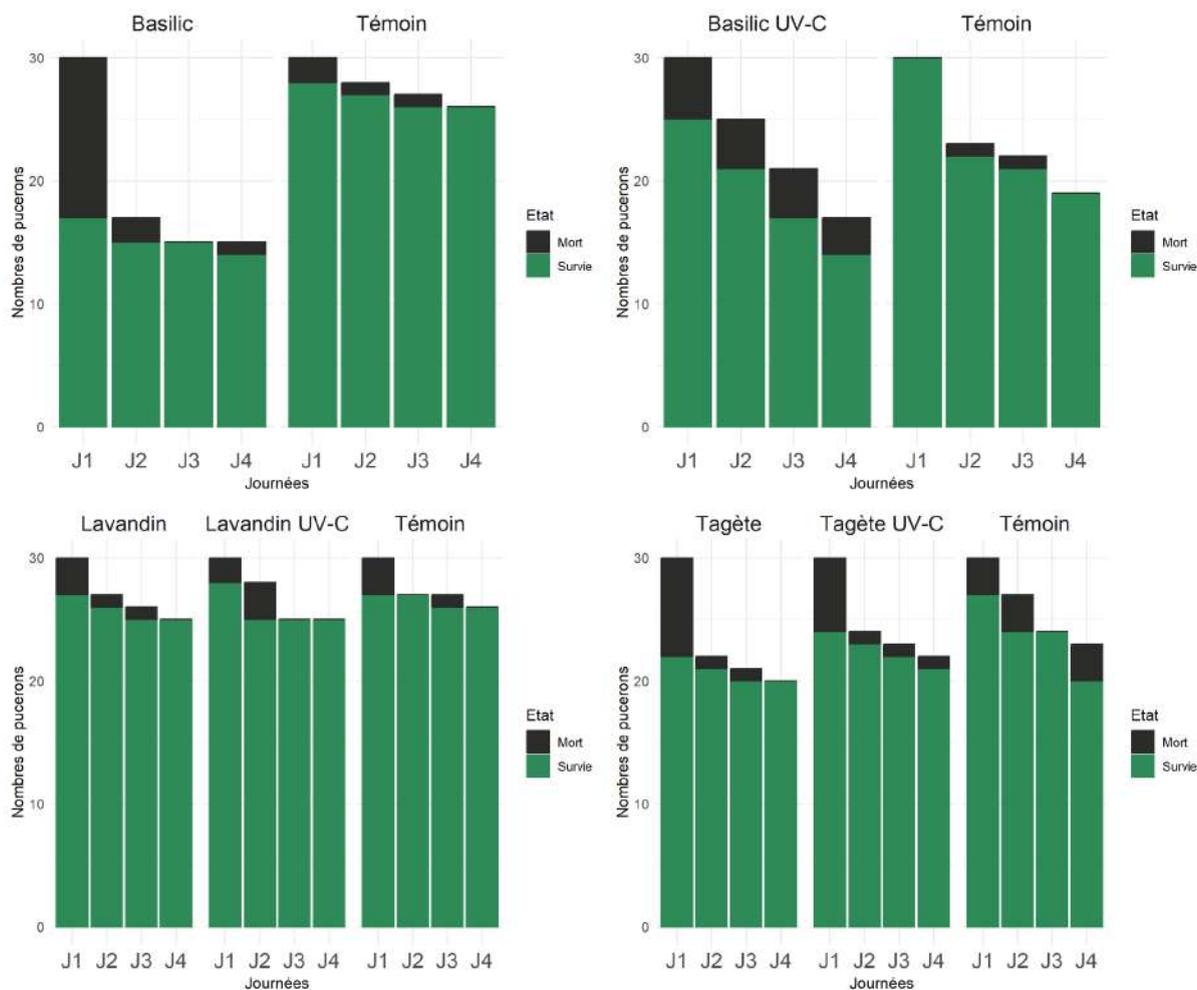


Figure 17 : Survie des pucerons sur différentes plantes de service.

Tableau III : Valeurs de p des de l'effet des PdS sur la survie des pucerons.

Les valeurs de p sont calculées à l'aide d'un GLMM (Generalized Linear Mixed Model) en prenant l'effet aléatoire de la boîte. Les pseudo R^2 du modèle mesurent la variation expliquée par le modèle dans les données. Le pseudo R^2 fixe quantifie la variation expliquée par les effets fixes du modèle. Le pseudo R^2 aléatoire quantifie la variation expliquée par les effets aléatoires du modèle.

** signifie $p < 0,01$.

Plante testée	Valeur de p	Pseudo R^2 modèle	Pseudo R^2 fixe	Pseudo R^2 aléatoire
Basilic	0,336	0,92	0,18	0,74
Basilic UV-C	0,002 **	0,69	0,12	0,57
Lavandin	0,949	0,88	0,001	0,87
Lavandin UV-C	0,985	0,88	0,001	0,87
Tagète	0,809	0,86	0,009	0,85
Tagète UV-C	0,933	0,86	0,009	0,85

négatifs sur l'axe 1 sur la [figure 18-B](#) : γ -terpinène, sulcatone, nonanal, décanal, d-limonène, β -myrcène et benzaldéhyde. D'autres COV peuvent être liés aux individus UV-C : (E)- β -farnésène (EBF), eugénol, humulène, trans-calaménène, copaène, β -bisabolène, ∞ -terpinéol, linalol, trans- ∞ -bergamotène, alpha-guaiène, ∞ -terpinène.

2.3. Objectif 3 : étudier les variations d'émission des COV individuels

Pour les jours de prélèvements pour lesquels la modalité est significative ([Tableau IV](#)), les aires de pics des COV individuels ont été analysées en utilisant un test de Wilcoxon-Mann-Whitney. Seules les différences significatives ($p < 0,05$) ont été représentées sur les [figures 19 et 20](#), le mercredi et le vendredi de la semaine 1. Respectivement 20 et 23 des 30 COV émis sont affectés significativement. Dans chaque cas, les moyennes des aires de pics sont plus importantes pour la modalité UV-C. Le premier traitement UV-C augmente donc l'émission de ces COV après 24h, et 72h. Les COV associés aux groupes témoins sur la [figure 18-B](#) n'apparaissent pas sur ces figures, à l'exception du sulcatone. Ils ne sont donc pas émis en plus grande quantité par les témoins. En revanche, tous les COV mentionnés plus tôt associés à la modalité UV-C sur la [figure 18-B](#) sont davantage émis 24h et 72h après le premier flash par cette modalité à l'exception du linalol, seulement 72h après le flash.

Au sein de chaque modalité (témoin, lésion, UV-C et UV-C + lésion), les moyennes de chaque aire de pic de COV ont été comparées (test de Wilcoxon-Mann-Whitney, $p < 0,05$) entre deux dates de prélèvements consécutives pendant la semaine 1 ([Tableau V](#)) et pendant la semaine 3 ([Tableau VI](#)). La variation significative de l'aire de COV entre les jours de prélèvements au sein de la modalité témoin informe d'une hétérogénéité due à un effet jour. Il est cependant intéressant de noter qu'entre 1h et 24h après le flash, les témoins ne présentent aucune différence d'aire de COV, tandis que 20 des 30 COV émis par le basilic possèdent une aire de pic significativement plus grande 24h après le premier flash. Le premier traitement UV-C a engendré une augmentation de l'émission de $\frac{2}{3}$ des COV produits par le basilic.

2.4. Objectif 4 : déterminer s'il existe une variabilité intra-modalité expliquée par le traitement subi

Ensuite, on a cherché à vérifier les effets des flashes sur les émissions des COV dans le temps. Pour cela, les aires de pics de COV d'une même modalité sont comparées entre deux dates de prélèvements consécutives. Les résultats sont présentés dans le [tableau VII](#). La semaine 3 présente des résultats contrastés : pour les individus qui ont subi des lésions, ou un flash et des lésions, on peut constater que la valeur de p est inférieure entre 24h avant et 1h après ces

Tableau IV : Valeurs de p des comparaisons des aires de pics de COV entre deux modalités
pour une même date.

Légende : Modalités : T = Témoin ; U = UV-C ; L = Lésion ; UL = UV-C + Lésion . S = Semaine
 Jours : Lundi = 24h avant flash ; Mardi = 1h après flash ; Mercredi = 24h après flash ; Vendredi = 72h après
 flash ; Mardi S3 : 1h après flash, 30min après lésion

La valeur de p est obtenue en testant l'effet individuel de chaque variable contrôlée et de leurs interactions par un F-Test de permutation sur la RDA (Redundancy Analysis) comprenant toutes les données des trois semaines de prélèvements. Lorsque la valeur de p est inférieure ou égale à 0,05, la case est colorée.

Semaine	Modalités comparées	Jour de la semaine			
		Lundi	Mardi	Mercredi	Vendredi
S1	T - U	0,087	0,138	0,039	0,039
S2	T - U	-	0,536	0,799	0,982
S3	T - U	0,841	0,258	0,149	0,364
S3	T - L	0,949	0,202	0,644	0,749
S3	T - UL	0,469	0,301	0,489	0,808
S3	U - UL	0,498	0,749	0,193	0,149
S3	L - UL	0,636	0,876	0,867	0,848

traitements (entre le lundi et le mardi), puis entre 24h et 72h après (entre mercredi et vendredi).

Concernant la troisième semaine de prélèvements, aucune modification significative n'a été trouvée pour les modalités témoins et UV-C, ce qui confirme les analyses précédentes. Pour les modalités L et UL, on peut voir que l'EBF, l'humulène et le méthyleugénol sont davantage émis. Le trans-calaménène est davantage émis par la modalité L entre 24h avant et 30min après la lésion. Les variations ne sont plus significatives ensuite, l'effet des lésions ne persiste pas. Pour la modalité UL, 12 COV sur 30 sont davantage produits le mardi, soit 1h après le flash et 30min après la lésion. La combinaison des deux traitements mécaniques a permis d'augmenter l'émission directe de COV, alors que ce n'est pas le cas pour la modalité U. Cet effet semble durer, puisque les COV émis davantage le mardi sont aussi émis le mercredi, à l'exception du β -bisabolène. Entre 24 et 72h après le traitement, le décanal et le sulcatone sont davantage émis. Le détail est présenté en [annexe V](#).

3. Test de l'effet de fleurs sur la longévité des parasitoïdes

Aphidius matricariae

L'expérience avait initialement pour but de déterminer l'effet de la présence de fleurs de tagètes et basilics sur la longévité du parasitoïde *Aphidius matricariae*. Cependant, des problèmes techniques se sont posés, empêchant d'obtenir des basilics fleuris, et le nombre de femelles voulu. Il a donc été décidé de tester uniquement la tagète.

3.1. Difficultés d'obtention des femelles parasitoïdes pour la manipulation

Le mode opératoire utilisé pour récupérer des femelles *Aphidius matricariae* lors de leur émergence produit beaucoup de pertes. Les étapes nécessaires sont représentées en [figure 21](#). Le nombre de femelles recherché étant de 120, il est donc très difficile d'obtenir cette quantité. Ici, seules 20 femelles ont émergé.

3.2. Effet de la présence de fleurs sur la tagète (*Tagetes patula nana*) sur la longévité de femelles *Aphidius matricariae*

La longévité de *A. matricariae* a été relevée sur un ensemble de 9 femelles pour chaque modalité, soit 18 au total. L'effet de la modalité, avec ou sans fleur, a été obtenu par le modèle mixte (3) en prenant l'effet aléatoire de la longueur du tibia ([Tableau VIII](#)). La valeur de $p = 0,051$ est marginalement significative, et indique une tendance à la diminution de la longévité en présence de fleurs sur la tagète. Cependant, le modèle modalité n'explique que

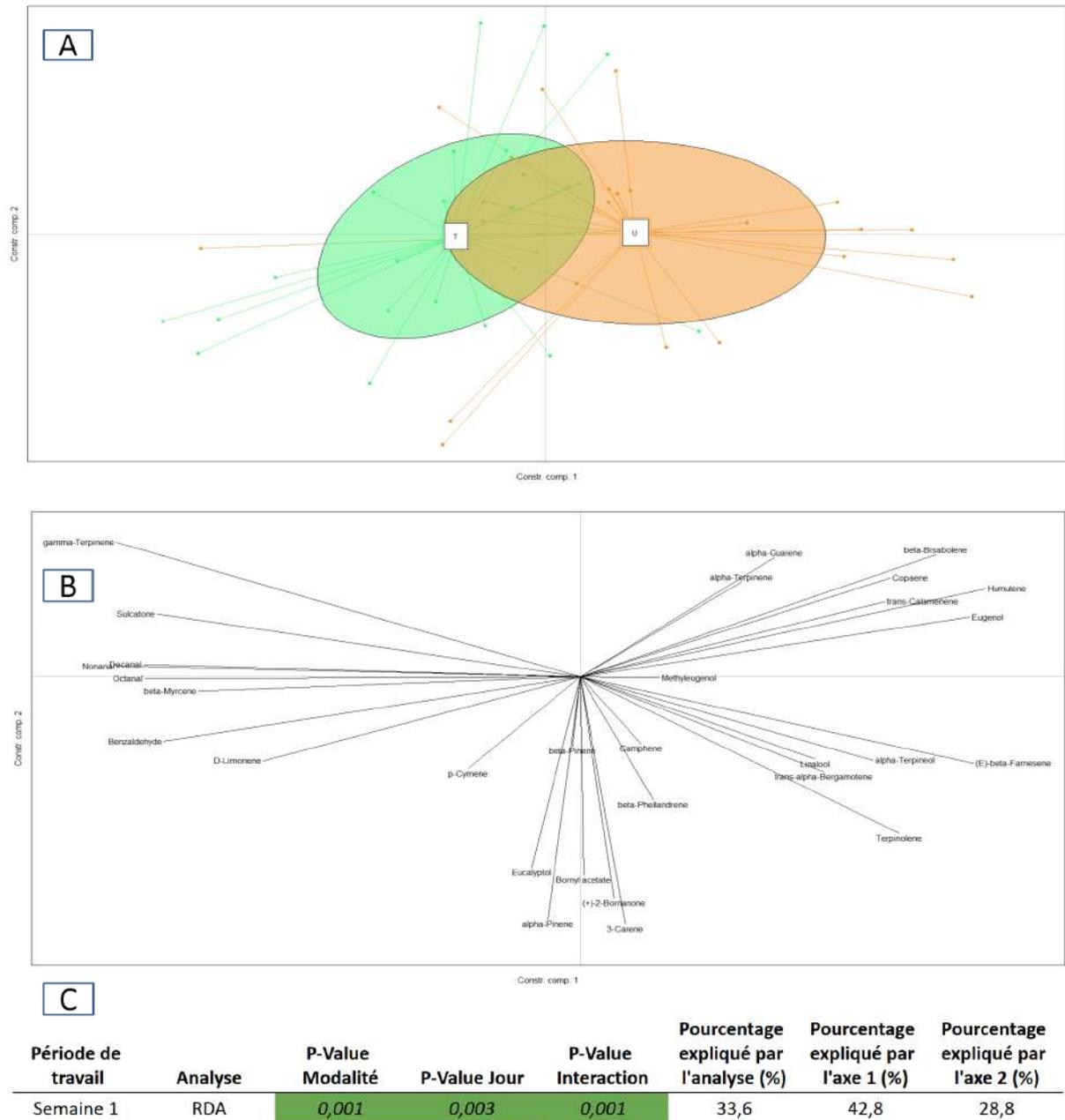


Figure 18 : Redundancy Analysis (RDA) pour la première semaine de prélèvements.

18-A) Graphique des individus sur l'axe 1 : 2 de la RDA réalisée avec les données de la semaine 1.

18-B) Graphique des variables sur l'axe 1 : 2 de la RDA réalisée avec les données de la semaine 1. Les 30 COV émis par le basilic sont représentés sur le graphique.

18-C) Tableau bilan de la RDA réalisée uniquement avec les prélèvements de la semaine 1.

Légende : Interaction = Jour * Modalité

La figure 13-c) présente un bilan d'une RDA réalisée uniquement avec les données de la semaine 1. Les pourcentages expliqués par les axes 1 et 2 se réfèrent à celui expliqué par l'analyse, soit 33,6 * 42,8 % de la variation expliquée par l'axe 1. La valeur de p est obtenue en testant l'effet individuel de chaque variable contrôlée et de leurs interactions par un F-Test de permutation sur la RDA (Redundancy Analysis) comprenant toutes les données de la première semaine de prélèvements.

20 % de la variance totale. De plus, l'effet de la modalité n'est plus significatif sur les ANCOVA (1) et (2). L'effet de la taille étant significatif lorsque la modalité est considérée comme variable aléatoire indique un fort effet de la taille sur la longévité. Il y a donc un effet lot. Ainsi, on ne peut pas conclure que la modalité a un effet sur la longévité. En revanche, l'effet de la taille du parasitoïde sur sa longévité est significatif sur le modèle (4), et le modèle explique le mieux la variance des données. La droite de régression explicative à 47% confirme ces résultats, plus la longueur du tibia postérieur droit augmente, plus la longévité augmente (Figure 22). Ainsi, les parasitoïdes les plus grands ont vécu plus longtemps dans l'expérience.

Discussion

Ce stage avait plusieurs objectifs : (1) tester les effets des traitements UV-C sur la fécondité de *Dysaphis plantaginea* ; (2) tester les effets des traitements UV-C et lésions mécaniques sur les émissions de COV de PdS et (3) étudier l'effet de la présence de fleurs sur la longévité du parasitoïde *Aphidius matricariae*.

1. Effets des UV-C sur les PdS et leur capacité à diminuer la fécondité et la survie des pucerons

1.1. Disparité des résultats des flashes UV-C sur les PdS et le comportement du puceron

La première expérience réalisée conjointement aux prélèvements COV avait pour objectifs de tester les effets des UV-C sur la capacité de différentes PdS à limiter la fécondité des pucerons et à diminuer leur longévité. Le premier point notable est la disparité des effets des traitements UV-C (Figure 15). Sur la fécondité des pucerons, les flashes n'ont eu d'effet que sur la tagète et pas sur le lavandin. Sur la survie (Figures 17), ils n'ont eu d'effet que sur le basilic. Bien qu'hétérogènes, les effets des UV-C ont donc été perçus sur le comportement du puceron. Or, dans l'expérience précédente, seul le premier des trois flashes a eu un effet sur les émissions de COV des PdS. Ici, l'effet toxique de la tagète et du basilic subsiste alors que les PdS ont été traitées une quatrième fois avant l'expérience (Figure 14). Il aurait pu être intéressant de prélever les COV émis à chaque collecte de pontes, à l'aide de systèmes de micropompes et cartouches Tenax. Ainsi, il aurait été possible de déterminer si l'action des UV-C se fait un niveau des COV, ou s'il s'agit d'un tout autre effet confondu ici. Comme les feuilles et/ou fleurs sont coupées avant la collecte des pontes, un effet lésion a pu s'ajouter à l'effet des UV-C.

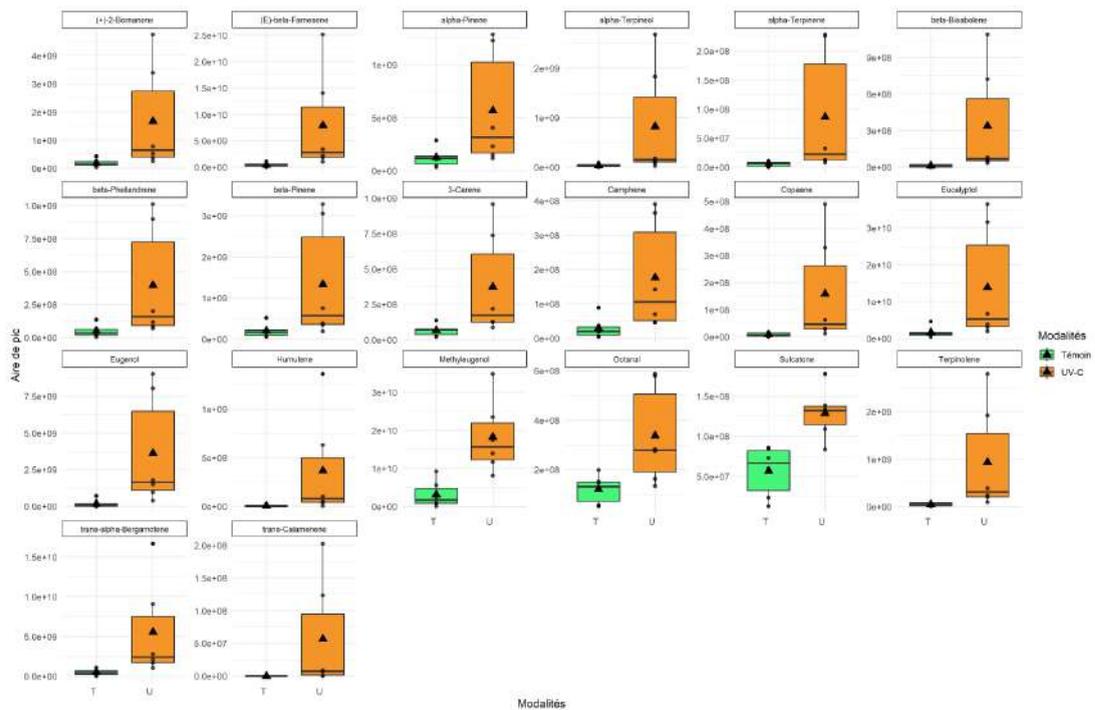


Figure 19 : Boxplots des aires de pics de COV pour lesquels la valeur de p est significative (test de Wilcoxon-Mann-Whitney, $p < 0.05$) 24h après le premier flash (mercredi S1).

Légende : Les points représentent les individus. Le triangle représente la moyenne de l'aire de pic de la modalité. La barre noire représente la médiane. Les limites du rectangle sont le premier et le troisième quartile. Le nombre total de COV émis par le basilic est de 30.

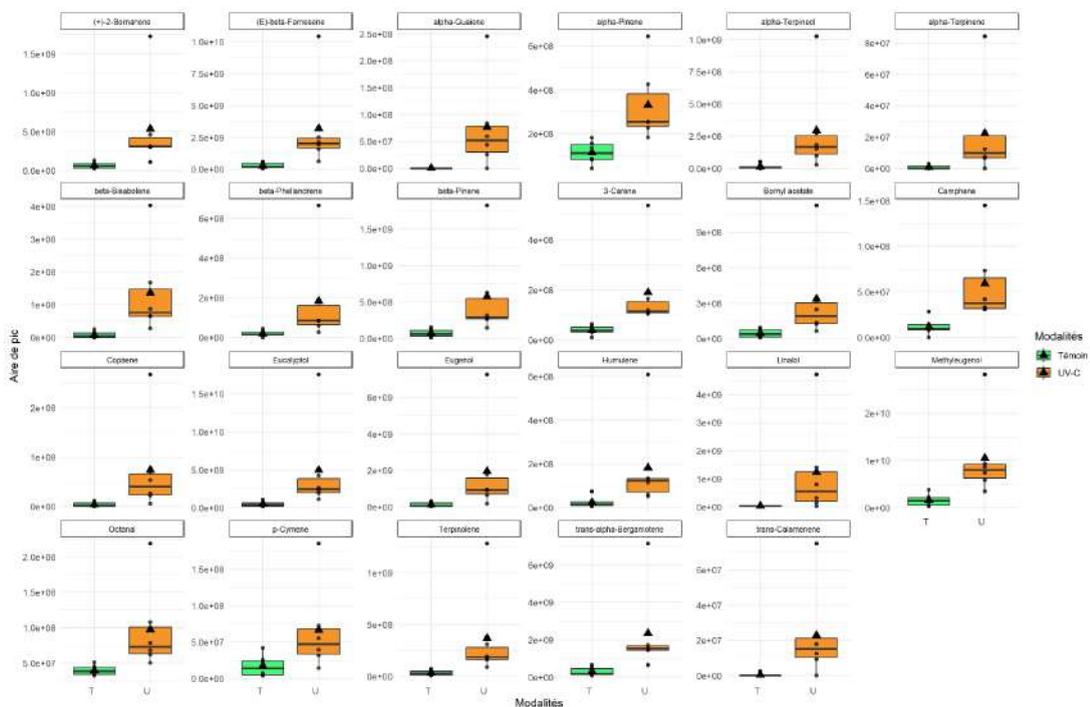


Figure 20: Boxplots des aires de pics de COV pour lesquels la valeur de p est significative (test de Wilcoxon-Mann-Whitney, $p < 0.05$) 72h après le premier flash (vendredi S1).

Le design expérimental pourrait aussi expliquer la dynamique des effets observés sur les pontes. En effet, sur le basilic et la tagète, l'effet toxique de la PdS est visible lors des premiers jours de l'expérience, mais se perd à la fin des 4 jours de collecte de pontes. Or, les PdS sont coupées le vendredi, et les pontes sont comptées du mardi suivant au vendredi suivant, soit une semaine après le dépôt des feuilles (Figure 14). Les PdS coupées peuvent s'assécher, ce qui peut modifier la composition et la proportion des COV (Copolovici et al., 2014). Chez le romarin, le pourcentage relatif des terpènes a même augmenté lors d'un déficit hydrique (Jamaladdeen et al., 2023). Cela pourrait expliquer une forte émission quelques jours après le dépôt, avant que les feuilles ne se dégradent. Pour vérifier cela, il faudrait comparer les quantités et la composition des COV chaque jour. De plus, certains COV stockés dans des structures foliaires étant émises lors de l'alimentation de phytophage (Ninimets & Monson, 2013; Pare & Tumlinson, 1997; Walling, 2000), ces COV ont peut-être été émis uniquement au début de l'expérience.

1.2. Comparaison des données obtenues avec les travaux précédents

L'expérience permet aussi de vérifier l'effet des PdS seules sur la fécondité et la survie. On retrouve l'effet toxique du basilic pistou, ce qui se rapproche des résultats de Basedow et al. (2006) et Dardouri et al. (2019b), mais diffère de ceux sur *D. plantaginea* (Dieudonné et al., 2022). En revanche, le lavandin et la tagète n'ont pas montré d'effet sur la fécondité sur *D. plantaginea* contrairement aux derniers travaux réalisés (Dieudonné et al., 2022). Aucune plante non flashée n'a permis de réduire la survie des pucerons, mais le flash UV-C a engendré un effet toxique du basilic. Pour compléter cette expérience, il serait aussi possible de tester les effets de différentes doses sur les PdS, comme le font certains travaux (Forges et al., 2018). Ici, il s'agirait de tester ces effets sur la fécondité et la survie des pucerons, et comparer les COV émis. Cela pourrait permettre de différencier des COV associés à des effets toxiques responsables de la diminution de la fécondité du puceron, ou responsables d'une mort précoce du puceron. En outre, l'étude plus poussée des COV émis par la tagète au cours de l'expérience menée ici (Figure 8) permettra de mieux comprendre les différences fondamentales entre tagète et basilic. Par faute de temps, seule l'analyse des COV du basilic, qui présente le profil le plus intéressant sera discuté.

2. Analyse des effets des traitements UV-C et lésions mécaniques sur les profils COV

2.1. Différences des profils COV avec les flashes UV-C

Tableau V : Liste des COV pour lesquels la valeur de p est significative (test de Wilcoxon-Mann-Whitney, $p \leq 0,05$) entre deux prélèvements consécutifs pour une même modalité en semaine 1.

Légende : Modalités : T = Témoin ; U = UV-C ; Lu = Lundi ; Ma = Mardi ; Me = Mercredi ; Ve = Vendredi ; S1 = Semaine 1 ; x+ = augmentation de la moyenne entre les deux dates ; x- = diminution de la moyenne entre les deux dates ; - = pas de différence significative.

Les valeurs de p sont calculées à l'aide d'un test de Wilcoxon-Mann-Whitney.

Composés organiques volatils (COV)	T - T			U - U		
	Lu S1 - Ma S1	Ma S1 - Me S1	Me S1 - Ve S1	Lu S1 - Ma S1	Ma S1 - Me S1	Me S1 - Ve S1
(+)-2-Bornanone	-	-	x-	x-	x+	-
(E)-beta-Farnesene	-	-	-	-	x+	-
alpha-Guaiene	x-	-	-	-	-	-
alpha-Pinene	-	-	-	-	x+	-
alpha-Terpineol	-	-	-	-	x+	-
alpha-Terpinene	-	-	-	-	x+	-
beta-Bisabolene	x-	-	-	-	x+	-
beta-Phellandrene	-	-	-	x-	x+	-
beta-Pinene	-	-	-	-	x+	-
gamma-Terpinene	-	-	x-	-	-	x-
3-Carene	-	-	-	x-	x+	-
Benzaldehyde	x-	-	x-	x-	-	-
Bornyl acetate	-	-	-	-	x+	-
Camphene	-	-	-	-	x+	-
Copaene	-	-	-	-	x+	-
Decanal	x-	-	x-	x-	-	-
D-Limonene	-	-	-	-	-	-
Eucalyptol	-	-	x-	-	x+	-
Eugenol	-	-	-	-	x+	-
Humulene	x-	-	-	-	x+	-
Methyleugenol	-	-	-	-	x+	-
Nonanal	x-	-	x-	x-	-	x-
Octanal	-	-	x-	-	x+	x-
Sulcatone	-	-	x-	-	x+	x-
Terpinolene	-	-	-	x-	x+	-
trans-alpha-Bergamotene	-	-	-	x-	x+	-
n = Nombre de COV émis différemment	6	0	8	6	20	4

Les prélèvements COV de cette expérience avaient plusieurs objectifs. Tout d'abord, il s'agissait de tester les effets des UV-C sur le profil des COV de PdS suivies pendant trois semaines. Le nombre d'applications de traitements UV-C, la quantité émise et la durée d'exposition sont des données sujettes à de nombreuses critiques. Ici, nos traitements se sont basés sur des travaux précédents et des communications personnelles (L. Urban) qui préconisent l'utilisation de flashes concentrés pendant deux secondes, une fois par semaine pendant trois semaines (Aarrouf & Urban, 2020; Ledermann et al., 2021). Seul le premier flash UV-C a montré des résultats significatifs, ce qui diffère des résultats de Aarrouf & Urban, 2020 sur poivrons, tomates, laitues et vignes. Une heure après le premier flash, certains COV ont été moins abondamment émis (Tableau V), mais il n'y a pas de différence généralisée des profils COV émis. L'effet du premier flash est apparu une journée plus tard (Tableau IV). Cela peut s'expliquer par la synthèse de monoterpènes et sesquiterpènes *de novo* par des voies complexes qui peuvent durer de quelques minutes à plusieurs jours (Paré & Tumlinson, 1999). Par exemple, l'EBF et le linalol, deux sesquiterpènes synthétisés *de novo* après une attaque d'insectes (Pare & Tumlinson, 1997) ont été davantage émis pour la modalité UV-C (Figures 19 et 20).

Les COV discriminant la modalité témoin de la RDA sur la figure 18-B sont des carbonyles et monoterpènes, mais aucun d'eux n'est davantage produit par la modalité témoin. Il ne semble donc pas y avoir une réduction de l'émission de certains COV au profit d'autres composés lors du flash. Au contraire, environ 2/3 des COV captés sur le basilic sont produits en plus grande quantité par les individus flashés 24h et 72h après le traitement (Tableau V ; Figures 19 et 20). Particulièrement, l'EBF et l'eugénol ont déjà démontré des effets répulsifs à toutes les concentrations testées sur *M. persicae* (Dardouri et al., 2019b), l' α -terpinéol et le linalol ont également montré ces effets à haute concentration (Dardouri et al., 2019b) et le β -bisabolène dans une autre étude (Gutiérrez et al., 1997). L' α -terpinène a quant à lui montré des effets sur plusieurs espèces de pucerons (Bleeker et al., 2009; Yarou et al., 2020). Ce dernier est synthétisé *de novo* à partir de la voie des monoterpènes (Lichtenthaler et al., 1997). Ainsi, le premier flash d'UV-C a probablement activé les voies de synthèse des monoterpènes et des sesquiterpènes en réponse au stress reçu, et permis d'émettre des COV répulsifs en quantité plus importante.

Comme une plus grande quantité de COV est émise pendant cette période, on peut s'attendre à un effet répulsif plus fort de ces PdS. Or, certaines molécules répulsives seules sont également présentes chez des variétés non répulsives (Hori, 1998). De plus, les

Tableau VI : Liste des COV pour lesquels la valeur de p est significative (test de Wilcoxon-Mann-Whitney, $p \leq 0,05$) entre deux prélèvements consécutifs pour une même modalité en semaine 3.

Légende : Modalités : T = Témoin ; U = UV-C ; L = Lésion ; UL = UV-C + Lésion ; Lu = Lundi ; Ma = Mardi ; Me = Mercredi ; Ve = Vendredi ; S3 = Semaine 3 ; x+ = augmentation de la moyenne entre les deux dates ; x- = diminution de la moyenne entre les deux dates ; - = pas de différence significative. Les valeurs de p sont calculées à l'aide d'un test de Wilcoxon-Mann-Whitney.

Composés organiques volatils (COV)	L - L			UL - UL		
	Lu S3 - Ma S3	Ma S3 - Me S3	Me S3 - Ve S3	Lu S3 - Ma S3	Ma S3 - Me S3	Me S3 - Ve S3
(+)-2-Bornanone	-	-	-	x+	-	-
(E)-beta-Farnesene	x+	-	-	x+	-	-
alpha-Guaiene	-	-	-	x+	-	-
beta-Bisabolene	-	-	-	x+	x-	-
3-Carene	-	-	-	x+	-	-
Decanal	-	-	-	-	-	x+
D-Limonene	-	-	-	x+	-	-
Eucalyptol	-	-	-	x+	-	-
Eugenol	-	-	-	x+	-	-
Humulene	x+	-	-	x+	-	-
Linalol	-	-	-	x+	-	-
Methyleugenol	x+	-	-	x+	-	-
Sulcatone	-	-	-	-	-	x+
trans-alpha-Bergamotene	-	-	-	x+	-	-
trans-Calamenene	x+	-	-	-	-	-
n = Nombre de COV émis différemment	4	0	0	12	1	2

Tableau VII : Valeurs de p des comparaisons des aires de pics de COV émis entre deux dates de prélèvements au sein d'une modalité.

Légende : Modalités : T = Témoin ; U = UV-C ; L = Lésion ; UL = UV-C + Lésion
 Jours : Lu = Lundi ; Ma = Mardi ; Me = Mercredi ; Ve = Vendredi
 Semaines : S1 = Semaine 1 ; S2 = Semaine 2 ; S3 = Semaine 3

La valeur de p est obtenue en testant l'effet individuel de chaque variable contrôlée et de leurs interactions par un F-Test de permutation sur la RDA (Redundancy Analysis) comprenant toutes les données des trois semaines de prélèvements. Lorsque la valeur de p est inférieure ou égale à 0,05, la case est colorée.

Modalités comparées	Jours comparés									
	Lu S1 - Ma S1	Ma S1 - Me S1	Me S1 - Ve S1	Ve S1 - Ma S2	Ma S2 - Me S2	Me S2 - Ve S2	Ve S2 - Lu S3	Lu S3 - Ma S3	Ma S3 - Me S3	Me S3 - Ve S3
T - T	0,029	0,850	0,218	0,029	0,252	0,511	0,821	0,258	0,926	0,258
U - U	0,370	0,089	0,098	0,029	0,436	0,945	0,469	0,149	0,149	0,149
L - L	-	-	-	-	-	-	-	0,034	0,258	0,034
UL - UL	-	-	-	-	-	-	-	0,029	0,377	0,034

interactions au sein d'un mélange de COV sont complexes. Certains COV peuvent interagir entre eux par des effets antagonistes, comme le caryophyllène connu comme principal inhibiteur de l'EBF (Dardouri, 2018; Dawson et al., 1984). Ainsi, il aurait pu être intéressant de compléter ces résultats en testant la capacité répulsive des PdS flashées ou non sur *D. plantaginea*. En effet, l'olfactomètre tubulaire dynamique de l'unité PSH est un dispositif qui a permis de vérifier la répulsion de mélange de COV de PdS entières sur les pucerons (Dieudonné et al., 2022). Il aurait pu permettre de vérifier l'effet des traitements sur la répulsivité totale du mélange de COV émis par les PdS sur les pucerons.

Les deuxième et troisième flash n'ont pas eu d'effet significatif sur les COV captés par le GC-MS (Tableau IV). La plante a pu développer une résistance face à ce stimulus. Pour vérifier cela, des analyses de la composition foliaire après extraction à l'acétate d'éthyl des PdS pourraient être effectuées (Joel & Bhimba, 2010). Cela permettrait de vérifier s'il y a bien un effet sur la composition foliaire, sans pour autant avoir de répercussion sur l'émission de COV. Cela permettrait également de relier les effets des UV-C aux voies de synthèse engagées par les PdS, de la même façon que cela a été réalisé pour les LM (Annexe I).

2.2. Effets des lésions sur le profil des COV

Le deuxième objectif de l'expérience était de tester les effets des lésions mécaniques sur le profil des COV de PdS suivies pendant trois semaines. Les prélèvements n'ont pas permis de discriminer les individus ayant subi des coupures des autres pendant une même journée (Tableau IV). Des variations intra-modalités restent visibles dans les tableaux VI et VII. Parmi les molécules davantage émises 30min après la lésion, le méthyleugénol n'a montré aucun effet répulsif contre *M. persicae*, et seul l'EBF a montré des effets répulsifs (Dardouri et al., 2019b). Ces effets ne persistent pas, mais sont quasiment immédiats, ce qui est en accord avec la bibliographie (Ninkovic et al., 2021). On peut s'interroger sur l'intensité du stress reçu. En effet, les plantes n'émettent pas de la même façon des COV selon l'intensité perçue du stress (Grote et al., 2019), il est donc possible que les 40 demi-feuilles coupées pour chaque basilic n'aient pas été suffisantes pour induire les défenses des plantes.

2.3. Combinaison des traitements physiques et analyse critique du protocole

Enfin, l'expérience consistait à comparer les effets individuels des UV-C et lésions aux effets de leur combinaison sur les COV des PdS. Comme pour les lésions, il n'a pas été possible de différencier les individus UL (modalité ayant subi les flashes et la lésion) des autres. Cependant, les UV-C et la lésion ont bien eu un effet combiné. Pour la modalité UL,

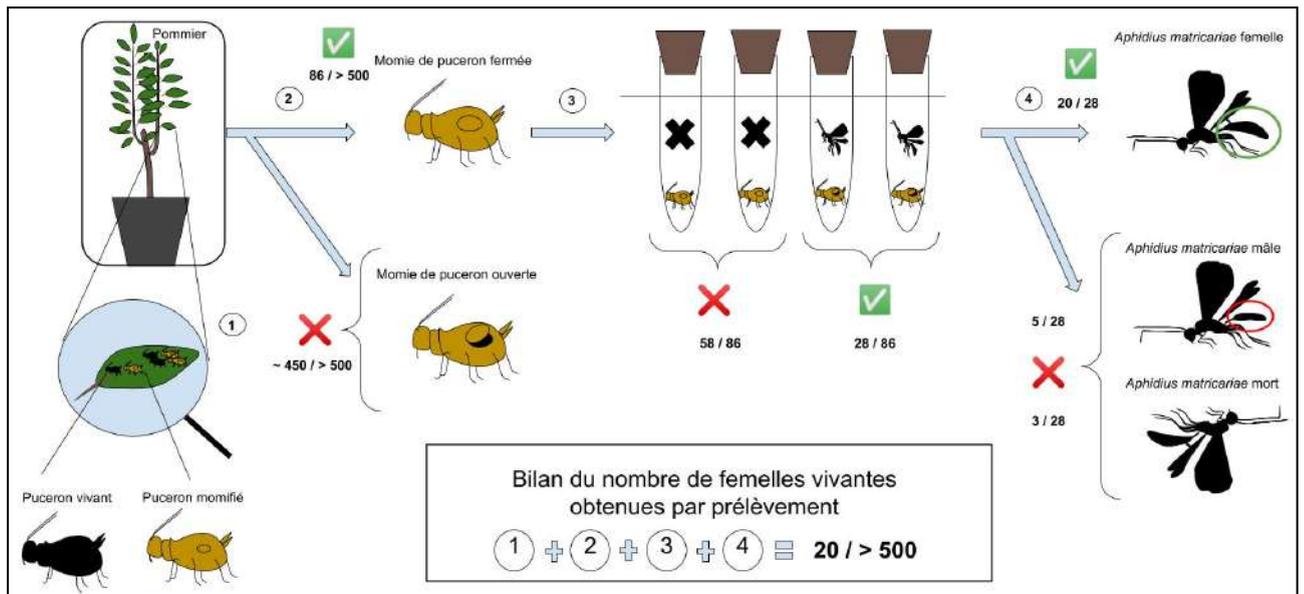


Figure 21: Pertes de chaque étape de prélèvement des parasitoïdes.

Légende :

- 1 → Prélèvement des feuilles de pommier, en enlevant les pucerons vivants
 - 2 → Tri des momies
 - 3 → Vérification des émergences
 - 4 → Sexage des individus à l'émergence
- Pour l'étape 1, le chiffre de 500 est approximatif, d'où un bilan approximatif.

Tableau VIII : Effets de la modalité (avec ou sans fleur) et de la taille du parasitoïde sur la longévité selon différents modèles.

Légende : ** si $p < 0,01$; . si $0,05 < p < 0,1$; $R^2 =$ Adjusted R squared sur l'ANCOVA ; $R^2m =$ R-squared marginal donc la proportion de la variance totale expliquée par la partie fixe du modèle ; $R^2c =$ R-squared conditional, donc la proportion de la variance totale expliquée par l'ensemble du modèle.

4 modèles sont utilisés ici : 2 ANCOVA et 2 modèles mixtes. Le modèle (1) prend en compte les effets de la modalité et de la taille, mais pas de leur interaction, et ne prend pas en compte d'effet aléatoire. Le modèle (2) fait la même chose que le premier mais y ajoute l'effet de l'interaction entre modalité et taille. Le modèle (3) est un modèle mixte qui évalue l'effet de la modalité en prenant en compte la taille en effet aléatoire. Le modèle (4) évalue l'effet de la taille en prenant en compte la modalité en effet aléatoire.

Type d'analyse	Modèle	Significativité de l'effet taille	Significativité de l'effet modalité	Significativité de l'interaction	Qualité du modèle
ANCOVA (1)	'Longévité' ~ Modalité + Taille	0,004 **	0,125	-	$R^2 = 0,49$
ANCOVA (2)	'Longévité' ~ Modalité * Taille	0,077 .	0,184	0,138	$R^2 = 0,53$
Modèle mixte (3)	'Longévité' ~ Modalité + (1 Taille)	-	0,051 .	-	$R^2m = 0,20$; $R^2c = 0,33$
Modèle mixte (4)	'Longévité' ~ Taille + (1 Modalité)	0,003 **	-	-	$R^2m = 0,40$; $R^2c = 0,50$

12 COV sur 30 sont davantage produits le mardi, soit 1h après le flash et 30min après la lésion. Parmi eux, on retrouve des COV répulsifs davantage produits lors du premier flash comme l'EBF, l'eugénol, le linalol ou le β -bisabolène, mais aussi d'autres molécules comme l'eucalyptol, ayant probablement un effet toxique et répulsif (Omara et al., 2018). D'autres COV comme le 3-carène ou le (+)-2-bornanone n'ont pas d'effet répulsif à ma connaissance. En reprenant l'hypothèse selon laquelle la lésion mécanique n'a pas été un stress suffisant pour induire les défenses des plantes, l'action combinée du flash et de la lésion a pu augmenter l'intensité globale du stress perçu par les PdS (Grote et al., 2019), d'où une augmentation de l'émission des COV pouvant être rapprochée à l'effet du premier flash UV-C. Il n'y a pas eu d'apparition de nouveaux COV avec cette combinaison, ni plus généralement avec les traitements individuels, ce qui semble indiquer une stabilité du corpus de molécules émises par le basilic, qui renforce l'idée d'une uniformité structurelle des émissions chimiques et l'activation de voies de biosynthèses partagées (Paré & Tumlinson, 1999).

Néanmoins, on pourrait aussi expliquer ces résultats par design expérimental choisi. En semaine 1 et 2, chaque modalité est composée de 6 individus. En semaine 3, pour permettre un roulement des cartouches Tenax nécessaires aux prélèvements, il n'était pas possible de faire cela. Il a donc été décidé de privilégier les modalités lésion et UV-C + lésion (Figure 8). Or, ce sont uniquement ces modalités qui montrent une différence significative (Tableau VII). Les éventuels effets des UV-C et lésions pourraient ainsi être cachés par une variabilité intra modalité due au manque de répétitions. Il faudrait donc confirmer les résultats obtenus par d'autres expériences avec davantage de répétitions.

Certains COV, comme le linalol, (E)- β -ocimène et l'EBF ont un profil d'émission proche du cycle de la lumière, avec de faibles émissions la nuit et des niveaux élevés pendant les périodes de photosynthèse maximale (Paré & Tumlinson, 1999). Le moment du prélèvement des COV a donc pu jouer un rôle dans la variabilité des données entre les individus.

3. Effets de la présence de fleurs sur la longévité de *Aphidius matricariae*

Enfin, la dernière expérience visait à vérifier si la fourniture de nectar pouvait favoriser la présence d'un EN du puceron cendré, *A. matricariae*. Pour cela, il s'agissait de

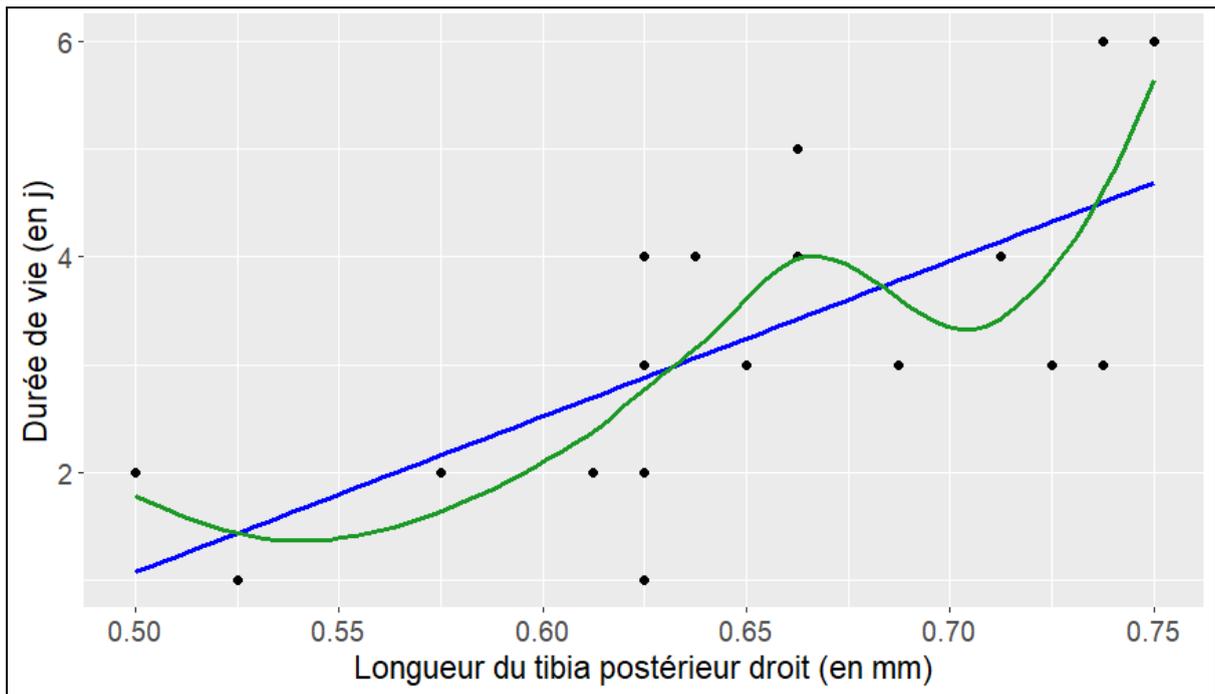


Figure 22 : Longévité des parasitoïdes *Aphidius matricariae* en fonction de leur longueur de tibia postérieur droit.

Légende :

Chaque point noir est un individu. La courbe de tendance a été tracée en vert en utilisant une méthode de régression non paramétrique locale, LOESS (LOcally Estimated Scatterplot Smoothing). Elle combine plusieurs modèles de régression multiple au sein d'un méta-modèle qui repose sur la méthode des k plus proches voisins.

La droite de régression vaut $\text{Longévité} = -6,15 + 14,4 \times \text{Taille}$. Son $R^2 = 0,47$.

La longueur du tibia postérieur droit est utilisée comme indicateur de taille du parasitoïde.

tester les effets de la présence de fleurs, et donc de nectar sur tagète sur la longévité du parasitoïde. Les premiers résultats semblent montrer un effet négatif de la présence des fleurs sur la longévité du parasitoïde. Ces premiers résultats sont en contradiction avec les précédents travaux réalisés sur des parasitoïdes du genre *Aphidius*. En effet, Araj et al., 2006 et Goelen et al., 2018 ont déjà montré des accroissements de la longévité d'*A. ervi* et *A. matricariae* lors de la fourniture de nourriture. Cependant, il faut rester prudent sur les résultats, puisque ce sont des tendances qui n'ont pas pu être validées ou invalidées. De plus, il a été noté une plus grande humidité dans les boîtes de cette modalité, qui pourrait différer des conditions de vie optimales du parasitoïde. On peut supposer que dans ces conditions *A. matricariae* n'a pas accès au nectar, puisque la fleur est composée. Il serait intéressant de reproduire l'expérience en prenant en compte les modifications matérielles préconisées dans le mode opératoire plus précis construit ici.

L'expérience permet cependant de retrouver les relations bien connues entre la taille des insectes et leur longévité. En effet, la fécondité et la longévité augmentent généralement avec la taille adulte (Cloutier et al., 1981; Ellers et al., 2001; Roitberg et al., 2001). Il est donc cohérent de retrouver cette relation dans les expériences menées. Ces individus plus grands ont également des ressources énergétiques plus importantes, ce qui peut expliquer l'augmentation de leur longévité (Colinet et al., 2007). Cependant, d'autres points sont à prendre en considération, puisqu'une taille plus importante ne signifie pas un parasitoïde plus performant (Bochdanovits & De Jong, 2003). La température joue un effet majeur sur le cycle de vie du parasitoïde et sur sa performance (Le Lann et al., 2011) ainsi que sur sa capacité à réguler *D. plantaginea* (Tougeron et al., 2021). Ce sont donc des conditions majeures à prendre en compte aussi bien pour un élevage futur que pour la régulation en champ du puceron cendré.

Conclusion et perspectives

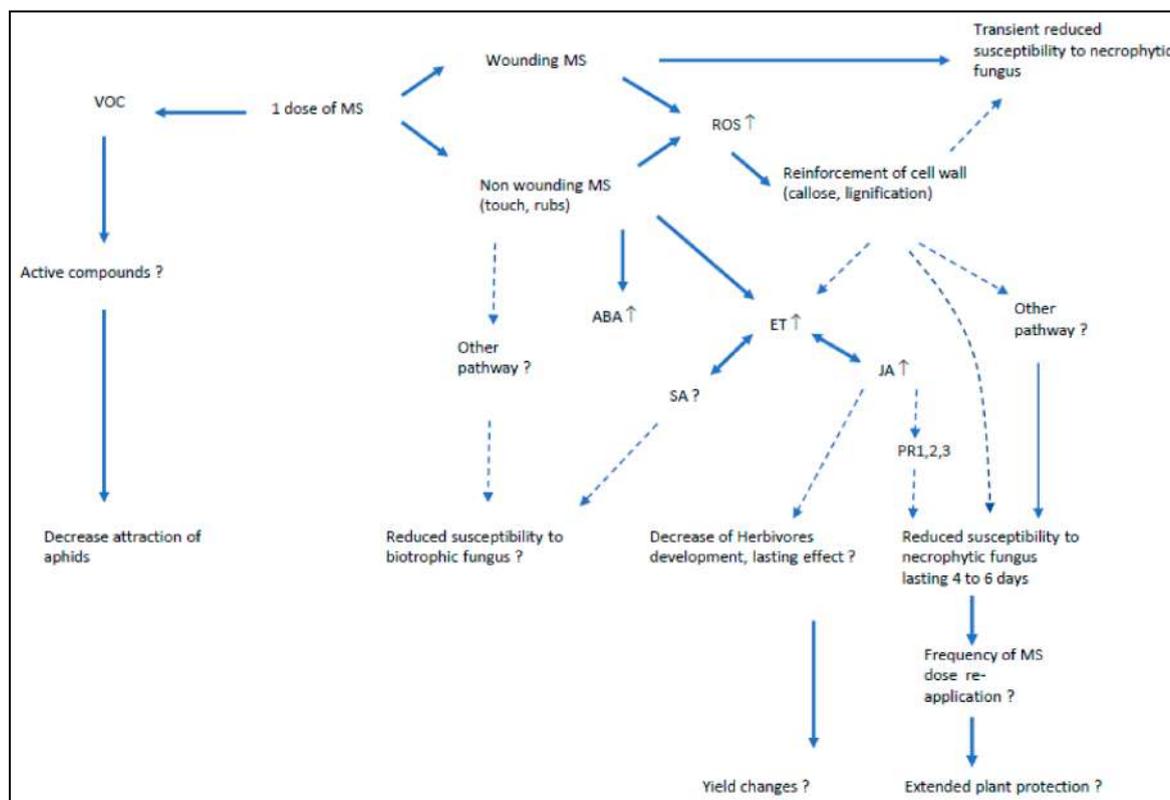
Les objectifs de deux de mes expériences étaient de déterminer si des traitements UV-C et des LM, seuls ou couplés, modifient l'émission des COV des PdS, ainsi que leurs propriétés toxiques. Enfin, la troisième expérience avait pour but de déterminer si la présence de fleurs et nectar favorise la longévité d'*A. matricariae*.

Les résultats montrent un effet du premier flash administré sur le basilic entre 24 et 72h après le traitement. L'émission de 2/3 des COV captés a augmenté, dont celle de molécules répulsives connues comme l'EBF, l'eugénol, l' α -terpinéol, le linalol, le β -bisabolène et α -terpinène (Bleeker et al., 2009; Dardouri et al., 2019; Gutiérrez et al., 1997; Yarou et al., 2020). En revanche, les effets des deuxième et troisième flashes ainsi que celui des lésions n'ont pas pu être validés. Des expériences supplémentaires avec plus de répétitions permettraient de vérifier une tendance observée lors du couplage de la lésion et du flash. Les résultats du premier flash suggèrent l'activation des voies de biosynthèse des monoterpènes et sesquiterpènes (Paré & Tumlinson, 1999). Une analyse de la composition foliaire permettrait de vérifier cette hypothèse en reliant les effets des UV-C aux voies de synthèse engagées par les PdS. Les flashes UV-C ont également eu un effet négatif sur la tagète et le basilic, engendrant respectivement une diminution de la fécondité et une mort précoce chez les pucerons *D. plantaginea*, mais ces résultats restent hétérogènes, et ne peuvent pas être liés directement aux émissions de COV, faute de prélèvements pendant la période de tests. Les résultats produits révèlent un potentiel agronomique sur les PdS des flashes UV-C qu'il conviendrait de consolider par une recherche plus approfondie, en laboratoire et en champ.

Les expériences menées sur *A. matricariae* n'ont pas montré d'effet de la présence de fleurs sur sa longévité, mais ont permis de retrouver les relations connues entre la taille du parasitoïde et sa longévité (Cloutier et al., 1981; Colinet et al., 2007; Roitberg et al., 2001). Ils ont aussi permis de produire un mode opératoire plus précis, qui permettra de réitérer l'expérience avec davantage de facilité.

Annexes

Annexe I : Récapitulatif de l'effet du stress mécanique dans l'objectif de la protection des cultures. Source : (Coutand, 2020).



Récapitulatif de l'effet du stress mécanique (MS) dans l'objectif de la protection des cultures. COV = composés organiques volatils ; ROS = espèces réactives de l'oxygène ; ABA = acide abscissique ; ET = voie de l'éthylène ; JA = voie du jasmonate ; SA = voie de l'acide salicylique ; PR = protéines liées à la défense.

Annexe II : Périodes et stades de développement des PdS pendant les prélèvements de COV.

Nom de la plante	Période de prélèvement	Stade attendu
Basilic - <i>Ocimum basilicum</i>	03/04/2023 au 21/04/2023	Végétatif (sauf apparition de fleurs pendant l'expérience)
Œillet d'Inde - <i>Tagetes patula nana</i>	07/04/2023 au 28/04/2023	Fleuri
Lavandin - <i>Lavandula x intermedia</i>	02/05/2023 au 19/05/2023	Végétatif (taillés le 25/04/2023)

Annexe III : Tableau bibliographique de COV étudiés en gestion des phytophages ou des auxiliaires.

Légende : (1) nom du COV ; (2) appartenance chimique (monoterpène, sesquiterpène, composé carbonylé, alcool, acide carboxylique ou hydrocarbure pour les composés identifiés) ; (3) détail de l'appartenance chimique (monoterpène bicyclique par exemple) ; (4) substance ou plante émettrice du COV ; (5) espèce ciblée pour l'étude, ravageur ou ennemi naturel ; (6) famille de l'espèce ciblée ; (7) les effets trouvés dans l'étude ; (8) l'article.

Code couleur :

rouge : attractif pour un ennemi naturel ; bleu : aucun effet ; vert clair : répulsif et / ou toxique pour un ravageur ; vert foncé : répulsif selon certaines conditions ; blanc : présence du COV, mais pas d'information sur ses effets

COV	Appartenance chimique	Précision chimique	Substance émettrice (Plante, huile etc)	Espèce ciblée	Famille de l'espèce ciblée	Effets	Article
(Z)-3-Acétate d'hexényle	Esters		Mélange synthétique	<i>Cotesia vestalis</i>	Braconidae	Effet attractif EN	(Uefune et al., 2013)
(-)-trans-Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Hori, 1998)
(+)-Camphène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Hori, 1998)
(E,E)-4,8,12-Triméthyl-1,3,7,11-Tridécatriène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes tricycliques	<i>Solanum stoloniferum</i> (CGN18333, CGN22718, CGN23072) sauvages	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Diaeretiella rapae</i>	Aphididae ; Braconidae	Effet possible sur pucerons et EN	(Ali et al., 2022)
(E)-2-Hexenal	Carbonyles	Aldéhydes	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
(E)-Anéthole	Phenylpropènes		Pur	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Cantó-Tejero et al., 2022)
(E)-Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
(E)-Nérolidol	Sesquiterpènes		<i>Zea mays</i>	<i>Rhopalosiphum padi</i> ; <i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Markovic et al., 2014)
(E)-β-Farnésène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes linéaires	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Chrysomelidae	Présence	(Gosset et al., 2009)
(E)-β-Farnésène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes linéaires	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Présence	(Gosset et al., 2009)
(E)-β-Farnésène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes linéaires	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
(E)-β-Farnésène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes linéaires	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Togetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
(E)-β-Farnésène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes linéaires	<i>Solanum stoloniferum</i> (CGN18333, CGN22718, CGN23072) sauvages	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Diaeretiella rapae</i>	Aphididae ; Braconidae	Effet possible sur pucerons et EN	(Ali et al., 2022)
(R)-(-)-Linalol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
(S)-(-)-Germacrène D	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
(Z)-3-Hexène-1-ol	Alcools	Alcools gras	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
(Z)-Jasmon	Carbonyles	Cétones	Pur	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Cantó-Tejero et al., 2022)
1-Hexanol	Alcools	Hexanols	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
1,3-Cyclohexadiène	Hydrocarbures	Cyclohexanes	<i>Eucalyptus saligna</i>	<i>Sitophilus zeamais</i>	Curculionidae	Présence	(Omara 2018)
1,6-Octadiène-3-ol	Alcools monoterpéniques		<i>Eucalyptus saligna</i>	<i>Sitophilus zeamais</i>	Curculionidae	Présence	(Omara 2018)
1,8-Cinéole	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Hori, 1998)
1R-∞-Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Eucalyptus saligna</i>	<i>Sitophilus zeamais</i>	Curculionidae	Présence	(Omara 2018)
1R-∞-Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Eucalyptus saligna</i>	<i>Sitophilus zeamais</i>	Curculionidae	Effet répulsif et toxique probable	(Omara 2018)
2-Bornanone	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
2-Carène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
3-Carène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Clausena excavata</i>	<i>Aedes aegypti</i> ; <i>Aedes albopictus</i>	Culicidae	Effet larvicide	(Cheng et al., 2009)
4-Carène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
4-Carène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
6-Méthyl-5-heptène-2-one	Carbonyles	Cétones	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
6-Méthyl-5-heptène-2-one	Carbonyles	Cétones	<i>Blé (Triticum)</i>	-	-	Présence	(Xiao et al., 2022)
6-Méthyl-5-heptène-2-one	Carbonyles	Cétones	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Rhopalosiphum padi</i> ; <i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Markovic et al., 2014)
Acétate d'isoamyle	Alcools	Alcools gras	-	<i>Harmonia axyridis</i> ; <i>Coccinella septempunctata (parasitoïdes)</i>	Coccinellidae	Effet attractif EN	(Zhao et al., 2020)
Acétate de (Z)-3-hexen-1-yl	Acides carboxyliques	Acétates	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
Acétate de bornyle	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Hori, 1998)
Alcool Benzylque	Alcools		Mélange synthétique	<i>Manduca sexta</i>	Sphingidae	Effet attractif insecte	(Riffell et al., 2009)

COV	Appartenance chimique	Précision chimique	Substance émettrice (Plante, huile etc)	Espèce ciblée	Famille de l'espèce ciblée	Effets	Article
Anéthole	Phenylpropènes		<i>Foeniculum vulgare</i> (huile essentielle)	<i>Aphis gossypii</i>	Aphididae	Répulsif	(Taglienti et al., 2023)
Anéthole	Phenylpropènes		<i>Foeniculum vulgare</i> (huile essentielle)	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Toxique	(Pavela et al., 2018)
Benzaldéhyde	Carbonyles	Aldéhydes	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
Benzaldéhyde	Carbonyles	Aldéhydes	Mélange synthétique	<i>Manduca sexta</i>	Sphingidae	Effet attractif insecte	(Riffell et al., 2009)
Bisabolène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	Isolé depuis <i>Sonchus palmensis</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Gutiérrez et al., 1997)
Bornéol	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Hori, 1998)
Camphène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Eucalyptus saligna	<i>Sitophilus zeamais</i>	Curculionidae	Présence	(Omara 2018)
Camphène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Camphène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Carvéol	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	Blé (Triticum)	-	-	Présence	(Xiao et al., 2022)
Carvone	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Aphididae	Présence	(Gupta et al., 2017)
Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	Eucalyptus saligna	<i>Sitophilus zeamais</i>	Curculionidae	Présence	(Omara 2018)
Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Copacamphène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes tricycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Copacamphène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes tricycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Copaène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes tricycliques	<i>Tanacetum vulgare</i>	<i>Metopeurum fuscoviride</i>	Aphididae	Effet possiblement attractif sur <i>Myzus persicae</i>	(Clancy et al., 2016)
Curcumène	Sesquiterpènes		<i>Solanum pennellii</i> LA716 × <i>Solanum lycopersicum</i> "Moneyberg"	<i>Bemisia tabaci</i>	Aleyrodidae	Effet répulsif	(Bleeker et al., 2009)
Cyclohexanol	Alcools	Alcools gras	Eucalyptus saligna	<i>Sitophilus zeamais</i>	Curculionidae	Présence	(Omara 2018)
D-(+)-Limonène	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Hori, 1998)
D-Limonène	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	Blé (Triticum)	-	-	Présence	(Xiao et al., 2022)
D,L-Camphre	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Hori, 1998)
Décanal	Carbonyles	Aldéhydes	Blé (Triticum)	<i>Meloidogyne incognita</i>	Heteroderidae	Présence	(Shi et al., 2022)
Décanal	Carbonyles	Aldéhydes	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
Eucalyptol	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	Eucalyptus saligna	<i>Sitophilus zeamais</i>	Curculionidae	Présence	(Omara 2018)
Eucalyptol	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	Eucalyptus saligna	<i>Sitophilus zeamais</i>	Curculionidae	Effet répulsif et toxique probable	(Omara 2018)
Eucarvone	Monoterpènes	Monoterpénoïdes	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
Eugénoïl	Acides carboxyliques	Cinnamates	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Action répulsive à toutes les concentrations	(Dardouri et al., 2019)
Farnésol	Alcools	Prénols	Pur	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Cantó-Tejero et al., 2022)
Farnésol	Alcools	Prénols	Pur	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Aphididae	Effet attractif EN	(Cantó-Tejero et al., 2022)
Farnésol	Alcools	Prénols	Sigma Chemical Co.	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Gutiérrez et al., 1997)
Fenchol	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Eucalyptus saligna	<i>Sitophilus zeamais</i>	Curculionidae	Présence	(Omara 2018)
Fenchone	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Foeniculum vulgare</i> (EO)	<i>Aphis gossypii</i>	Aphididae	Répulsif	(Taglienti et al., 2023)
Fenchone	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Foeniculum vulgare</i> (EO)	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Toxique	(Pavela et al., 2018)
Géranioïl	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Pur	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Cantó-Tejero et al., 2022)
Géranioïl	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Aphididae	Présence	(Gupta et al., 2017)
Géranioïl	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Sigma Chemical Co.	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Gutiérrez et al., 1997)
Géranylacétone	Monoterpènes	Monoterpénoïdes cétoniques	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
Hexadécane	Hydrocarbones	Alcanes	Blé (Triticum)	<i>Meloidogyne incognita</i>	Heteroderidae	Présence	(Shi et al., 2022)
Humulène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Limonène	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	<i>Clausena excavata</i>	<i>Aedes aegypti</i> ; <i>Aedes albopictus</i>	Culicidae	Effet larvicide	(Cheng et al., 2009)

COV	Appartenance chimique	Précision chimique	Substance émettrice (Plante, huile etc)	Espèce ciblée	Famille de l'espèce ciblée	Effets	Article
Limonène	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
Limonène	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Aphididae	Présence	(Gupta et al., 2017)
Limonène	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Chrysomelidae	Présence	(Gosset et al., 2009)
Linalol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
Linalol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Aphididae	Présence	(Gupta et al., 2017)
Linalol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Hori, 1998)
Linalol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Blé (Triticum)	-	-	Présence	(Xiao et al., 2022)
Linalol	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Mélange synthétique	<i>Manduca sexta</i>	Sphingidae	Effet attractif insecte	(Riffell et al., 2009)
Longicyclène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes tétracycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Longicyclène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes tétracycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Longifolène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes tricycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Longifolène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes tricycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
m-Diéthylbenzène	Hydrocarbures	Xylènes	Pur	<i>Aphidius gifuensis</i>	Braconidae	Effet attractif EN	(Xiao et al., 2022)
m-Diéthylbenzène	Hydrocarbures	Xylènes	Blé (Triticum)	-	-	Présence	(Xiao et al., 2022)
Menthone	Alcools	Alcools gras	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Aphididae	Présence	(Gupta et al., 2017)
Méthyleugénol	Acides carboxyliques	Cinnamates	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
Myrcène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Aphididae	Présence	(Gupta et al., 2017)
Myrcène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Hori, 1998)
Myrcène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
n-Heptanal	Carbonyles	Aldéhydes	Mélange synthétique	<i>Cotesia vestalis</i>	Braconidae	Effet attractif EN	(Uefune et al., 2013)
Népétalactone	Monoterpènes	Cyclopentane Monoterpènes	<i>Nepeta cataria (composé)</i>	<i>Brevicoryne brassicae</i>	Aphididae	Attire mâle puceron	(Gabrvs et al. 1997)
Népétalactone	Monoterpènes	Cyclopentane Monoterpènes	<i>Nepeta cataria (composé synthétique)</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Effet attractif EN	(Hardie et al. 1991)
Népétalactone	Monoterpènes	Cyclopentane Monoterpènes	<i>Nepeta cataria (production industrielle)</i>	-	-	Utile autant en synthèse que naturelle	(Birckett et al., 2003)
Nonanal	Carbonyles	Aldéhydes	Blé (Triticum)	-	-	Présence	(Xiao et al., 2022)
Nonanal	Carbonyles	Aldéhydes	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Chrysomelidae	Effet attractif EN	(Gosset et al., 2009)
Nonanal	Carbonyles	Aldéhydes	-	<i>Harmonia axyridis</i> ; <i>Coccinella septempunctata</i>	Coccinellidae	Effet attractif EN	(Zhao et al., 2020)
Ocimène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
Octanal	Carbonyles	Aldéhydes	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
p-Cymén-7-ol	Alcools	Alcools benzyls	<i>Solanum stoloniferum</i> (CGN18333, CGN22718, CGN23072) sauvages	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Diaeretiella rapae</i>	Aphididae ; Braconidae	Effet possible sur pucerons et EN	(Ali et al., 2022)
p-Cymène	Monoterpènes	Monoterpénoïdes monocycliques	<i>Clausena excavata</i>	<i>Aedes aegypti</i> ; <i>Aedes albopictus</i>	Culicidae	Effet larvicide	(Cheng et al., 2009)
p-Cymène	Monoterpènes	Monoterpénoïdes monocycliques	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
p-Cymène	Monoterpènes	Monoterpénoïdes monocycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Hori, 1998)
p-Cymène	Monoterpènes	Monoterpénoïdes monocycliques	Pur	<i>Aphidius gifuensis</i>	Braconidae	Effet attractif EN	(Xiao et al., 2022)
p-Cymène	Monoterpènes	Monoterpénoïdes monocycliques	Blé (Triticum)	-	-	Présence	(Xiao et al., 2022)
p-Cymène	Monoterpènes	Monoterpénoïdes monocycliques	<i>Solanum pennellii</i> LA716 × <i>Solanum lycopersicum</i> 'Moneyberg'	<i>Bemisia tabaci</i>	Aleyrodidae	Effet répulsif	(Bleeker et al., 2009)
Pentadécane	Hydrocarbures	Alcanes	Blé (Triticum)	<i>Meloidogyne incognita</i>	Heteroderidae	Présence	(Shi et al., 2022)
Pipéritone	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
Pulégone	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Aphididae	Présence	(Gupta et al., 2017)
R-Limonène	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	<i>Cucurbita pepo</i>	<i>Diaphania nitidalis</i>	Pyralidae	Effet attractif ravageur	(Francis et al., 2005)
S-Limonène	Monoterpènes	Menthane Monoterpénoïdes	<i>Cucurbita pepo</i>	<i>Diaphania nitidalis</i>	Pyralidae	Effet attractif ravageur	(Francis et al., 2005)

COV	Appartenance chimique	Précision chimique	Substance émettrice (Plante, huile etc)	Espèce ciblée	Famille de l'espèce ciblée	Effets	Article
Sabinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
Sabinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Mélange synthétique	<i>Cotesia vestalis</i>	Braconidae	Effet attractif EN	(Uefune et al., 2013)
Salicylate de méthyle	Acides carboxyliques	Benzoates	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
Salicylate de méthyle	Acides carboxyliques	Benzoates	-	<i>Harmonia axyridis</i> ; <i>Coccinella septempunctata</i>	Coccinellidae	Effet attractif EN	(Zhao et al., 2020)
Salicylate de méthyle	Acides carboxyliques	Benzoates	-	<i>Harmonia axyridis</i> ; <i>Coccinella septempunctata</i>	Coccinellidae	Effet attractif EN	(Zhao et al., 2020)
Scopolétine	Coumarins		<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Aphididae	Présence	(Gupta et al., 2017)
Styrène	Hydrocarbones	Dérivés benzéniques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Styrène	Hydrocarbones	Dérivés benzéniques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Sulcatone	Carbonyles	Cétones	-	<i>Rhopalosiphum padi</i>	Aphididae	Effet attractif pucerons	(Ban et al., 2008)
Terpinolène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Clausena excavata</i>	<i>Aedes aegypti</i> ; <i>Aedes albopictus</i>	Culicidae	Effet larvicide	(Cheng et al., 2009)
Terpinolène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
Tétradécane	Hydrocarbones	Alcanes	Blé (Triticum)	<i>Meloidogyne incognita</i>	Heteroderidae	Présence	(Shi et al., 2022)
trans-3-Hexén-1-ol	Alcools	Alcools gras	-	<i>Harmonia axyridis</i> ; <i>Coccinella septempunctata</i>	Coccinellidae	Effet attractif EN	(Zhao et al., 2020)
trans-3-Hexén-1-ol	Alcools	Alcools gras	-	<i>Harmonia axyridis</i> ; <i>Coccinella septempunctata</i>	Coccinellidae	Effet attractif EN	(Zhao et al., 2020)
trans- α -Bergamotène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>Solanum stoloniferum</i> (CGN18333, CGN22718, CGN23072) sauvages	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Diaeretiella rapae</i>	Aphididae ; Braconidae	Effet possible sur pucerons et EN	(Ali et al., 2022)
Tricyclène	Monoterpènes	Monoterpènes tricycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
Undécanal	Carbonyles	Aldéhydes	<i>Vicia faba</i>	<i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Webster et al., 2008)
Verbénone	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Dardouri et al., 2019)
Zingibérène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>Solanum pennellii</i> LA716 \times <i>Solanum lycopersicum</i> "Moneyberg"	<i>Bemisia tabaci</i>	Aleyrodidae	Effet répulsif	(Bleeker et al., 2009)
α -Bulnésène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	Obtenu à partir de la coccinelle	<i>Harmonia axyridis</i>	Coccinellidae	Phéromone sexuelle coccinelle	(Fascotte et al. 2014)
α -Guaiène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Solanum carolinense</i>	-	-	Présence	(Kariyat et al., 2012)
α -Humulène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	-	<i>Harmonia axyridis</i> ; <i>Coccinella septempunctata</i>	Coccinellidae	Effet attractif EN	(Zhao et al., 2020)
α -Humulène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	-	<i>Harmonia axyridis</i> ; <i>Coccinella septempunctata</i>	Coccinellidae	Effet attractif EN	(Zhao et al., 2020)
α -Humulène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Aphididae	Effet toxique	(Wang et al., 2021)
α -Longipinène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
α -Longipinène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
α -Phellandrène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
α -Phellandrène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
α -Phellandrène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Solanum pennellii</i> LA716 \times <i>Solanum lycopersicum</i> "Moneyberg"	<i>Bemisia tabaci</i>	Aleyrodidae	Effet répulsif	(Bleeker et al., 2009)
α -Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Hori, 1998)
α -Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Chrysomelidae	Présence	(Gosset et al., 2009)
α -Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)

COV	Appartenance chimique	Précision chimique	Substance émettrice (Plante, huile etc)	Espèce ciblée	Famille de l'espèce ciblée	Effets	Article
α-Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Mélange synthétique	<i>Cotesia vestalis</i>	Braconidae	Effet attractif EN	(Jefune et al., 2013)
α-Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	-	<i>Thanasimus dubius</i>	Cleridae	Effet attractif prédateur	(Erbilgin et al., 2003)
α-Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	-	<i>Ips pini</i>	Curculionidae	Effet répulsif	(Erbilgin et al., 2003; Hijaz et al., 2013)
α-Terpinène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Solanum pennellii</i> LA716 × <i>Solanum lycopersicum</i> "Moneyberg"	<i>Bemisia tabaci</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Bleeker et al., 2009)
α-Terpinène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Ocimum</i> spp.	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Répulsif	(Yarou et al., 2020)
α-Terpinéol	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
α-Terpinéol	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Hori, 1998)
α-Thujène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Ocimum</i> spp.	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Répulsif	(Yarou et al., 2020)
β-Bisabolène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>Solanum stoloniferum</i> (CGN18333, CGN22718, CGN23072) sauvages	<i>Myzus persicae</i> ; <i>Diaeretiella rapae</i>	Aphididae ; Braconidae	Effet possible sur pucerons et EN	(Ali et al., 2022)
β-Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Ocimum basilicum</i> ; <i>Tagetes patula nana</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Dardouri et al., 2019)
β-Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Présence	(Gosset et al., 2009)
β-Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Aphididae	Effet répulsif	(Wang et al., 2021)
β-Caryophyllène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes bicycliques	<i>Zea mays</i>	<i>Rhopalosiphum padi</i> ; <i>Aphis fabae</i>	Aphididae	Présence	(Markovic et al., 2014)
β-Élémiène	Sesquiterpènes	Sesquiterpènes monocycliques	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Présence	(Gosset et al., 2009)
β-Myrcène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Clausena excavata</i>	<i>Aedes aegypti</i> ; <i>Aedes albopictus</i>	Culicidae	Effet larvicide	(Cheng et al., 2009)
β-Myrcène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
β-Myrcène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
β-Myrcène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	<i>Solanum pennellii</i> LA716 × <i>Solanum lycopersicum</i> "Moneyberg"	<i>Bemisia tabaci</i>	Aleyrodidae	Aucun effet	(Bleeker et al., 2009)
β-Ocimène	Monoterpènes	Monoterpènes acycliques	Tabac transgénique qui a émit du beta-Ocimène, et les observations ont été fait sur les tomates	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Aphididae	Eliciteur défense des plantes, diminution taille des pucerons, et attraction A. ervi	(Cascone et al., 2015)
β-Phellandrène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
β-Phellandrène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
β-Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	Huile de romarin	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Aucun effet	(Hori, 1998)
β-Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
β-Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
β-Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	-	<i>Harmonia axyridis</i> ; <i>Coccinella septempunctata</i>	Coccinellidae	Effet attractif EN	(Zhao et al., 2020)
β-Pinène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	-	<i>Harmonia axyridis</i> ; <i>Coccinella septempunctata</i>	Coccinellidae	Effet attractif EN	(Zhao et al., 2020)
β-Sesquiphellandrène	Sesquiterpènes	Cyclohexane Sesquiterpènes	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Présence	(Gosset et al., 2009)
γ-Terpinène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Clausena excavata</i>	<i>Aedes aegypti</i> ; <i>Aedes albopictus</i>	Culicidae	Effet larvicide	(Cheng et al., 2009)
γ-Terpinène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Aphididae	Effet toxique	(Gupta et al., 2017)
γ-Terpinène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Citrus limon</i>	<i>Macrosiphum roseiformis</i>	Aphididae	Présence	(Gupta et al., 2017)
γ-Terpinène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
γ-Terpinène	Monoterpènes	Cyclohexane Monoterpènes	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)
δ-3-Carène	Monoterpènes	Monoterpènes bicycliques	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Chrysomelidae	Présence	(Gosset et al., 2009)
o-Cymène	Monoterpènes	Monoterpénoïdes monocycliques	<i>Pinus massoniana</i>	<i>Monochamus alternatus</i>	Cerambycidae	Présence	(Li et al., 2017)

Annexe IV : Mode opératoire du test de longévité des parasitoïdes *A. matricariae*.

Objectif : déterminer si la présence de nectar de plantes de service permet d'augmenter la longévité de parasitoïdes.

Matériel :

Œillet d'Inde - *Tagetes patula nana* (avec x 30 et sans fleur x 30)

Parasitoïdes (x 30 femelles par modalité)

Clip cages modifiées (d : 6 cm x h : 2 cm)

Tubes en verre

Loupe binoculaire, loupe de précision

Tuteurs

Ciseaux

Pinceaux fins

Boîtes de Pétri

Pinces

Étapes :

1. Récupération des momies :

Objectif secondaire : obtenir les momies parasitées, qui serviront de stock pour les émergences de parasitoïdes.

Dans les cages des parasitoïdes, repérer les feuilles sur lesquelles de nombreuses momies sont présentes.

Enlever les derniers pucerons de ces feuilles à l'aide d'un pinceau fin.

A l'aide des ciseaux, prélever ces feuilles des plantes d'élevage (attention à ne pas prélever trop de feuilles ni trop de momies, il est essentiel d'en laisser assez pour maintenir l'élevage).

Éventuellement, récupérer les feuilles sèches ou déjà coupées présentes dans la cage (qui ne servent pas de stock de nourriture de pucerons, et qu'il est donc possible de prélever sans risquer de mettre à mal la source de nourriture pour l'élevage).

Placer les feuilles récupérées dans des boîtes de Pétri ou tout autre contenant refermable pour le transport.

Remarques : 1) Il est nécessaire d'observer l'élevage dans son ensemble, présence de larves de pucerons, de parasitoïdes adultes, état des plantes etc. pour se faire une idée de l'état de l'élevage. En fonction de cela, il sera possible de prélever plus ou moins de parasitoïdes, sans poser de risques pour l'élevage.

2) Pour éviter que les parasitoïdes ailés ne sortent de leur cage, orienter le fond de la cage pour qu'il donne sur une source lumineuse (soleil, lampe, autre). Les adultes sont attirés par la lumière, ce qui limite le risque de sortie des individus de leur cage.

2. Tri des momies :

Objectif secondaire : trier les momies vides et parasitées pour obtenir le stock pour les émergences.

Sous une loupe binoculaire, observer les momies (Figure 1) afin de distinguer les vides (présence d'un opercule ouvert) des pleines, généralement plus sombres.

Prélever les momies pleines à l'aide d'un pinceau. Elles peuvent être collées, il faut veiller à les décoller délicatement au pinceau, et éviter l'usage de pinces qui risqueraient d'écraser les momies, plutôt fragiles.

Placer chaque momie dans un tube (Figure 1), et annoter le tube (date, numéro, éventuellement espèce ou numéro de l'élevage).

Jeter les restes de plantes et momies vides, éventuellement pucerons vivants dans des poubelles adaptées.

Remarque : veiller à ne pas remettre les plantes et pucerons dans les élevages, même s'ils ne sont pas utilisés, afin de limiter tout risque de contamination.

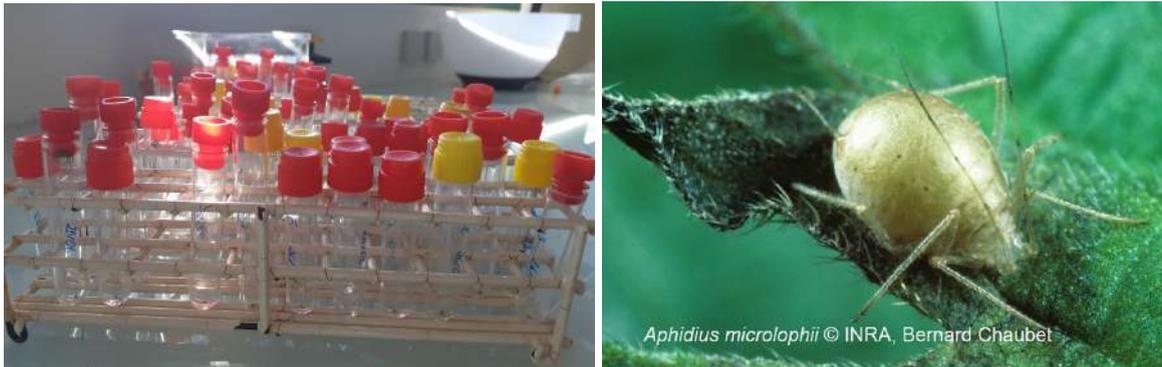


Figure 1 : Tubes en verre avec momies de pucerons *Dysaphis plantaginea* (gauche) et momie de *Aphidius microlophii*, très proche des momies de *Aphidius matricariae*, parasitée (droite). Crédits : B. Chaubet.

3. Tri des émergences et sexage des parasitoïdes

Objectif secondaire : trier les parasitoïdes et récupérer les femelles.

Chaque jour, au même créneau, vérifier les émergences au sein des tubes.

Noter la date d'émergence, et vérifier le sexe du parasitoïde.

A la loupe binoculaire, les femelles ont un abdomen long en goutte d'eau, (finissant en pointe), tandis que l'abdomen des mâles est plus court et arrondi.

Récupérer les femelles. Les mâles ne sont pas utilisés.

Les femelles nouvellement nées doivent avoir une journée ou moins (selon le type de cohorte réalisé), et doivent être placées dans le dispositif le jour même (étape 4).

Remarque : les parasitoïdes peuvent beaucoup bouger, ce qui complexifie le sexage. Pour simplifier l'observation, il est possible d'attirer les parasitoïdes avec une lumière vive. Il est également possible de prendre un pain de glace et le placer au contact du tube, pour réduire la température et l'activité du parasitoïde. Attention, dans ce dernier cas, il faut veiller à ne pas congeler le parasitoïde, et ne pas givrer le tube.

4. Mise en place des parasitoïdes

Objectif secondaire : mettre en place chaque femelle pour tester leur longévité selon la modalité.

Chaque parasitoïde femelle du jour même est disposée dans une clip cage (Figure 2). Ici, le matériel a été modifié pour pouvoir faire passer une tige et une fleur d'œillet d'Inde *Tagetes patula nana*.

Ouvrir le tube et attirer le parasitoïde vers le clip cage.

Une fois le parasitoïde dans la clip cage, fermer le dispositif, l'annoter, puis ouvrir la clip cage pour faire passer la tige de fleur et la fleur, ou bien la tige et les feuilles selon la modalité.

Refermer rapidement le dispositif.

Ajouter une pince pour fermer le dispositif.

Avec un tuteur et un morceau de pâte à fixe, coller la clip cage .

Remarques : 1) Ces sous étapes peuvent être interchangeables selon la convenance de chacun. Les boîtes peuvent être annotées avant, les fleurs et tiges placées avant, afin de ne plus ouvrir le dispositif une fois le parasitoïde dedans.

2) Il peut être contraignant de manipuler ainsi le parasitoïde. Il faut éviter de le toucher. Il est possible de l'attirer avec de la lumière, et recouvrir une partie du tube pour cacher la lumière, afin de l'attirer ailleurs. Il faut être minutieux pour éviter que le parasitoïde ne sorte.

3) Limites : Le dispositif peut être amélioré. Une meilleure façon de mettre le parasitoïde sans risquer sa sortie peut être envisagée. Il faudrait aussi veiller à trouver un dispositif qui évite d'appliquer une pression sur les tiges, notamment de feuilles, et éviter l'accumulation d'humidité dans les clips cages (modalité avec feuilles).

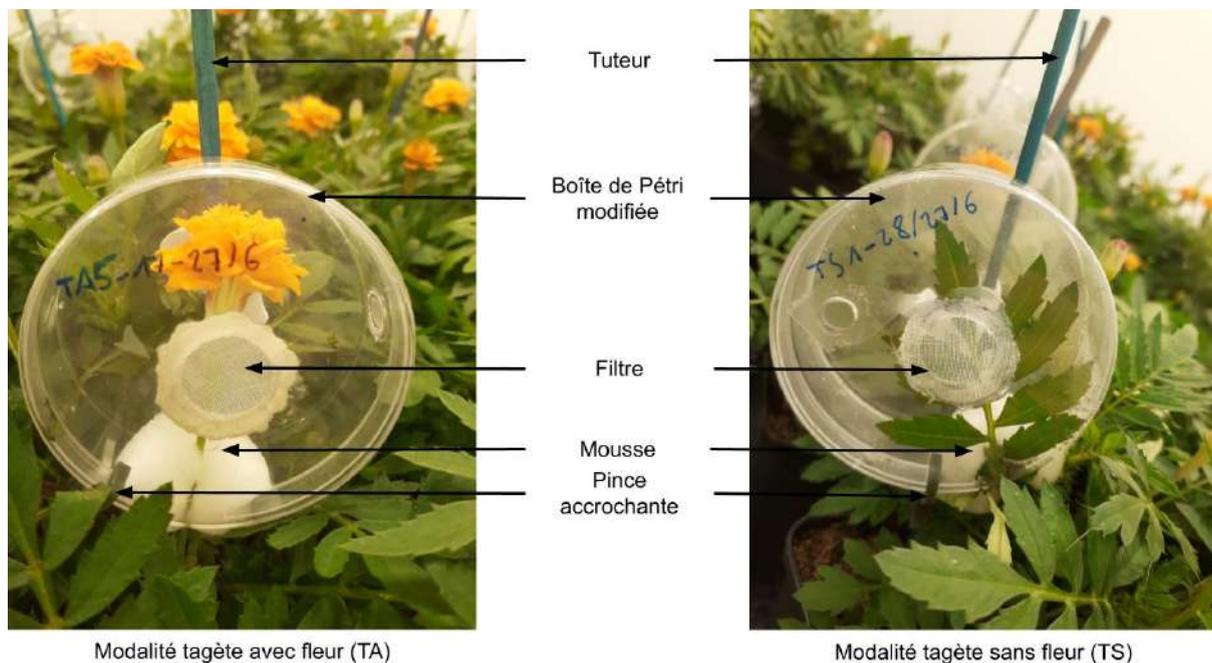


Figure 2 : Dispositif expérimental, pour la tagète sans fleur et tagète fleurie.

5. Repérage de la survie des parasitoïdes

Objectif secondaire : déterminer si les parasitoïdes sont en vie.

Chaque jour, pour chaque individu marqué dans le dispositif (Figure 3), vérifier l'état des parasitoïdes, en vie ou mort. Noter la date de la mort des individus.

Récupérer la femelle sans l'abîmer.

Remarque : Il est déjà arrivé qu'une femelle sorte du dispositif malgré les précautions, il faudra donc veiller à limiter ces risques.



Figure 3 : Zoom d'une femelle *Aphidius matricariae*.

6. Mesure du tibia postérieur droit

Objectif secondaire : connaître la taille de l'individu après sa mort.

A la loupe binoculaire ou loupe de précision, placer la femelle décédée (Figure 4) pour voir son tibia postérieur droit, et délicatement arracher la patte entière à l'aide de pincettes. Une fois la patte isolée, se placer à un grossissement connu.

Utiliser la graduation pour mesurer le tibia postérieur droit de chaque femelle morte (Figure 4).

Déterminer la taille du tibia postérieur droit à l'aide de la mesure et du grossissement.



Figure 4 : Observation d'une femelle *Aphidius matricariae* à la loupe binoculaire (gauche) ; Observation de la patte postérieure droite de cette femelle (droite, G = x 80).

Limites / perspectives:

1) Trouver un système de clip cage fonctionnel pour :

- éviter un risque de sortie du parasitoïde pendant sa période de vie ;

- faciliter la mise en place de la femelle sans risque qu'elle sorte ;
- éviter l'accumulation d'humidité dans la clip cage.

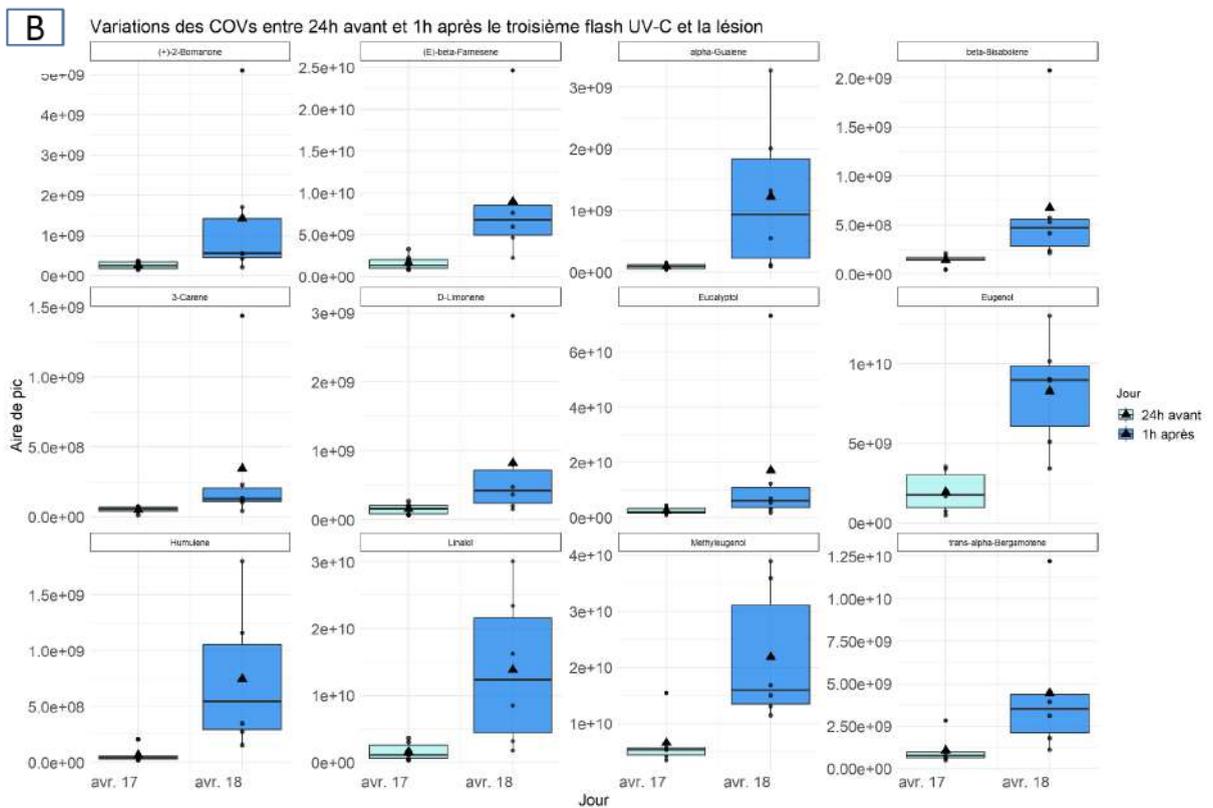
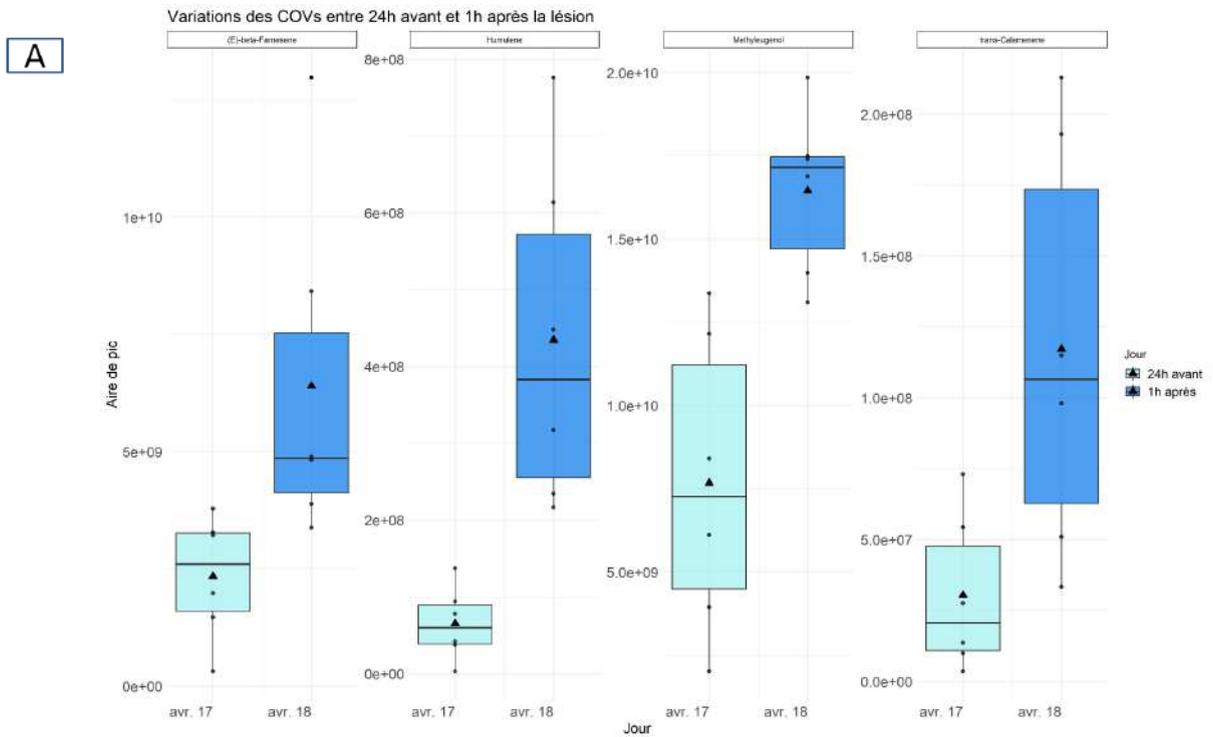
2) Concernant les modalités :

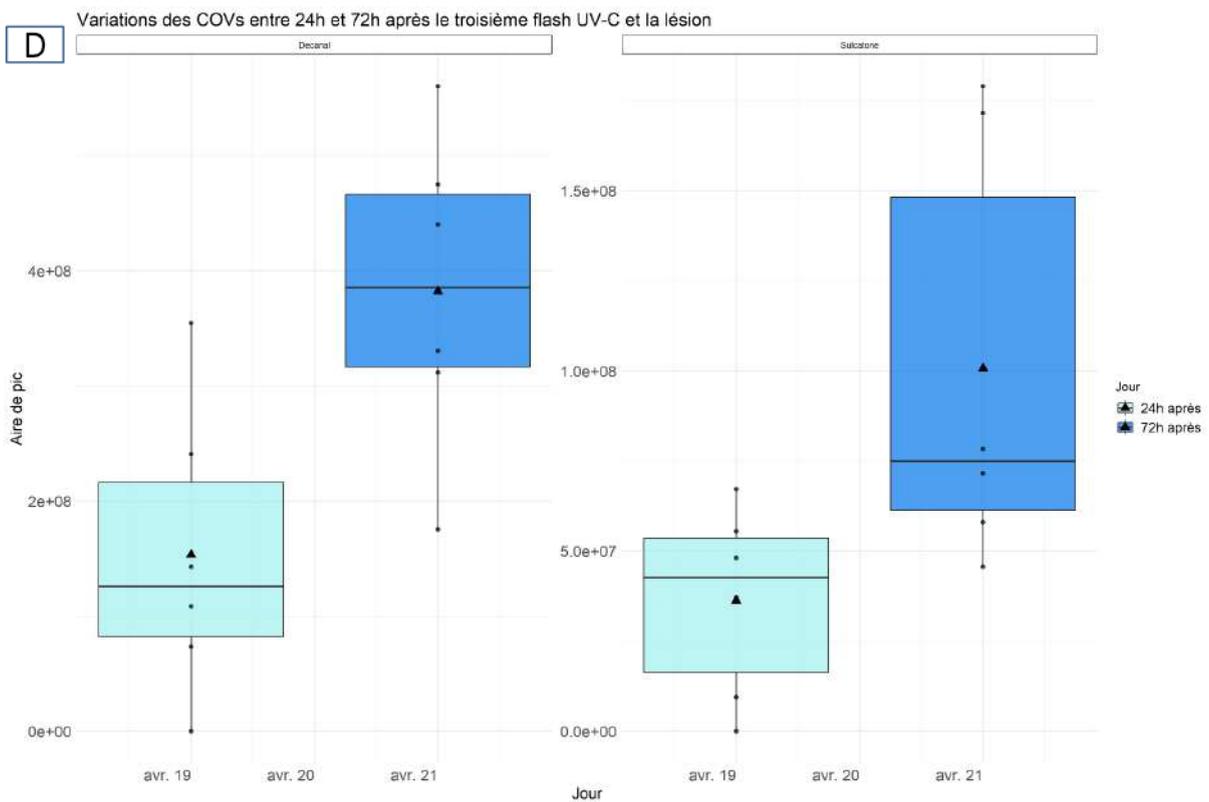
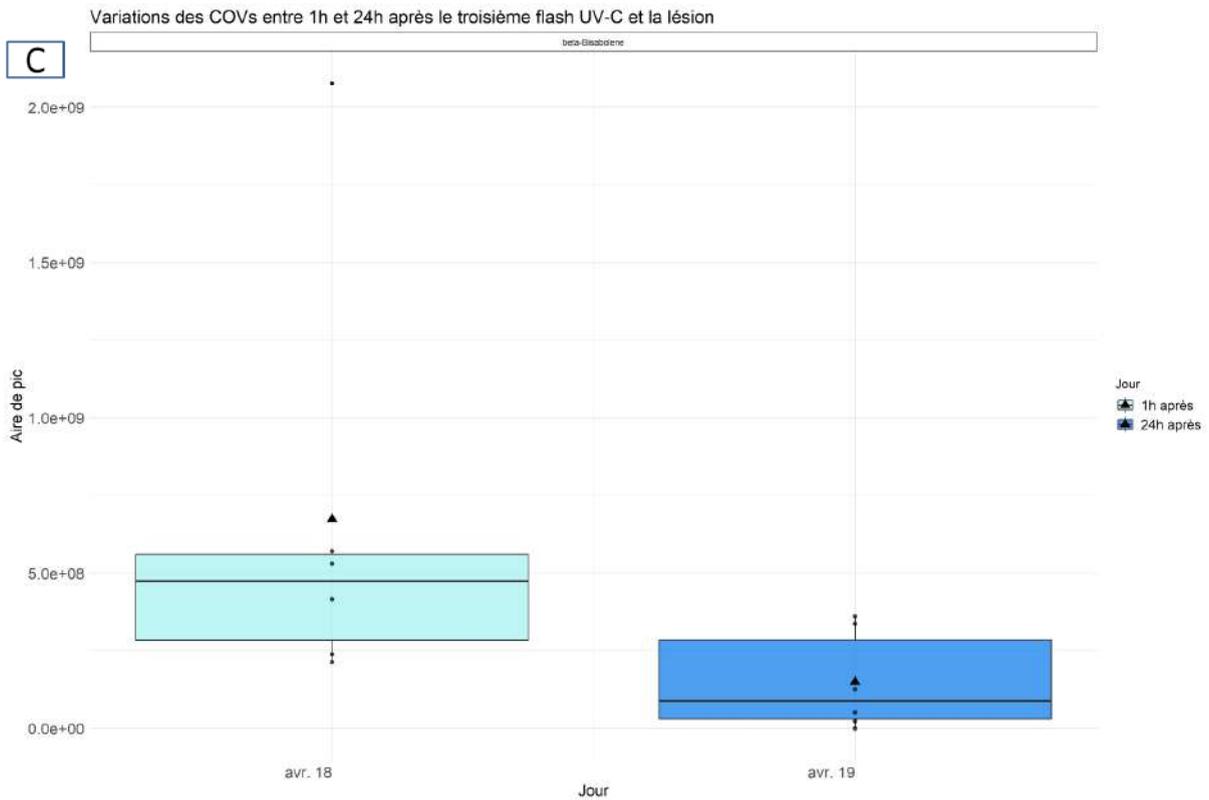
- utiliser des fleurs plus simples, dont le nectar est plus accessible (autre espèce, comme le basilic pistou initialement prévu) ;
- utiliser un témoin négatif avec de l'eau ou rien du tout dans la clip cage ;
- utiliser un témoin positif avec nectar sans plante dans la clip cage.

3) Organiser la conduite de l'élevage pour permettre le prélèvement d'un grand nombre de momies et obtenir un nombre suffisant de parasitoïdes.

Remarque : pour l'étape du tri des momies, fermées et ouvertes, je n'ai pas compté exactement le nombre de momies ouvertes. Il y a donc une incertitude importante. Selon le moment du prélèvement, il est possible que ce nombre de momies déjà ouvertes soit bien plus faible, mais il ne m'est pas possible de donner un nombre exact. Il faut donc prendre avec précaution la proportion finale de femelles qui émerge dans l'élevage.

Annexe V : Aires de pics de COV dont la variation est significative (test de Wilcoxon, $p < 0,05$) entre deux prélèvements consécutifs au sein d'une modalité pendant la semaine 3.





Légende :

A : entre 24h avant et 1h après la lésion (entre lundi et mardi S3).

B : entre 24h avant et 1h après le flash UV-C et la lésion à droite (entre lundi et mardi S3).

C : entre 1h et 24h après le flash UV-C et la lésion (entre mardi et mercredi S3).

D : entre 24 et 72h après le flash UV-C et la lésion (entre mercredi et vendredi S3).

Bibliographie

- Aarouf, J., & Urban, L. (2020). Flashes of UV-C light : An innovative method for stimulating plant defences. *PLOS ONE*, 15(7), e0235918. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235918>
- Ali, J., Sobhy, I. S., & Bruce, T. J. (2022). Wild potato ancestors as potential sources of resistance to the aphid *Myzus persicae*. *Pest Management Science*, 78(9), 3931-3938. <https://doi.org/10.1002/ps.6957>
- Ameye, M., Allmann, S., Verwaeren, J., Smaghe, G., Haesaert, G., Schuurink, R. C., & Audenaert, K. (2018). Green leaf volatile production by plants : A meta-analysis. *New Phytologist*, 220(3), 666-683. <https://doi.org/10.1111/nph.14671>
- Angeli, G., & Simoni, S. (2006). Apple cultivars acceptance by *Dysaphis plantaginea* Passerini (Homoptera : Aphididae). *Journal of Pest Science*, 79(3), 175-179. <https://doi.org/10.1007/s10340-006-0129-6>
- Araj, S. A., Wratten, S. D., A, A. J. L., & Buckley, H. L. (2006). Floral nectar affects longevity of the aphid parasitoid *Aphidius ervi* and its hyperparasitoid *Dendrocerus aphidum*. *New Zealand Plant Protection*, 59, 178-183. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2006.59.4537>
- Auguie, B., & Antonov, A. (2017). *gridExtra : Miscellaneous Functions for « Grid » Graphics* (2.3) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/gridExtra/index.html>
- Azzouz, H., Giordanengo, P., Wäckers, F. L., & Kaiser, L. (2004). Effects of feeding frequency and sugar concentration on behavior and longevity of the adult aphid parasitoid : *Aphidius ervi* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Control*, 31(3), 445-452. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.07.013>
- Baker, A. C. (1916). *Rosy Apple Aphis* (A. C. Baker & W. F. Turner, Trad.; COLL00002). 321-344. plates. Nalco.
- Ban, L., Ahmed, E., Ninkovic, V., Delp, G., & Glinwood, R. (2008). Infection with an insect virus affects olfactory behaviour and interactions with host plant and natural enemies in an aphid. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 127(2), 108-117. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00675.x>
- Bartoń, K. (2023). *MuMIn : Multi-Model Inference* (1.47.5) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/index.html>
- Basedow, T., Hua, L., & Aggarwal, N. (2006). The infestation of *Vicia faba* L. (Fabaceae) by *Aphis fabae* (Scop.) (Homoptera : Aphididae) under the influence of *Lamiaceae* (*Ocimum basilicum* L. and *Satureja hortensis* L.). *Journal of Pest Science*, 79(3), 149-154. <https://doi.org/10.1007/s10340-006-0128-7>
- Bates, D., Maechler, M., Bolker [aut, B., cre, Walker, S., Christensen, R. H. B., Singmann, H., Dai, B., Scheipl, F., Grothendieck, G., Green, P., Fox, J., Bauer, A., & simulate.formula), P. N. K. (shared copyright on. (2023). *lme4 : Linear Mixed-Effects Models using « Eigen » and S4* (1.1-34) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/index.html>

Beizhou, S., Jie, Z., Wiggins, N. L., Yuncong, Y., Guangbo, T., & Xusheng, S. (2012). Intercropping With Aromatic Plants Decreases Herbivore Abundance, Species Richness, and Shifts Arthropod Community Trophic Structure. *Environmental Entomology*, *41*(4), 872-879. <https://doi.org/10.1603/EN12053>

Ben Issa, R., Gautier, H., Costagliola, G., & Gomez, L. (2016). Which companion plants affect the performance of green peach aphid on host plants? Testing of 12 candidate plants under laboratory conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *160*(2), 164-178. <https://doi.org/10.1111/eea.12473>

Ben Issa, R., Gautier, H., & Gomez, L. (2017). Influence of neighbouring companion plants on the performance of aphid populations on sweet pepper plants under greenhouse conditions : Effectiveness of companion plant under greenhouse. *Agricultural and Forest Entomology*, *19*(2), 181-191. <https://doi.org/10.1111/afe.12199>

Benelli, G., Giunti, G., Tena, A., Desneux, N., Caselli, A., & Canale, A. (2017). The impact of adult diet on parasitoid reproductive performance. *Journal of Pest Science*, *90*(3), 807-823. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0835-2>

Benikhlef, L., L'Haridon, F., Abou-Mansour, E., Serrano, M., Binda, M., Costa, A., Lehmann, S., & Métraux, J.-P. (2013). Perception of soft mechanical stress in Arabidopsis leaves activates disease resistance. *BMC Plant Biology*, *13*(1), 133. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-133>

Billet, K., Houillé, B., Besseau, S., Mélin, C., Oudin, A., Papon, N., Courdavault, V., Clastre, M., Giglioli-Guivarc'h, N., & Lanoue, A. (2018). Mechanical stress rapidly induces E-resveratrol and E-piceatannol biosynthesis in grape canes stored as a freshly-pruned byproduct. *Food Chemistry*, *240*, 1022-1027. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.105>

Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2000). *Aphids on the world's crops : An identification and information guide* (2nd ed). Wiley.

Bleeker, P. M., Diergaarde, P. J., Ament, K., Guerra, J., Weidner, M., Schütz, S., De Both, M. T. J., Haring, M. A., & Schuurink, R. C. (2009). The Role of Specific Tomato Volatiles in Tomato-Whitefly Interaction. *Plant Physiology*, *151*(2), 925-935. <https://doi.org/10.1104/pp.109.142661>

Blommers, L. H. M., Helsen, H. H. M., & Vaal, F. W. N. M. (2004). Life history data of the rosy apple aphid *Dysaphis plantaginea* (Pass.) (Homopt., Aphididae) on plantain and as migrant to apple. *Journal of Pest Science*, *77*(3). <https://doi.org/10.1007/s10340-004-0046-5>

Bochdanovits, Z., & De Jong, G. (2003). Temperature dependence of fitness components in geographical populations of *Drosophila melanogaster* : Changing the association between size and fitness: TEMPERATURE DEPENDENCE OF FITNESS COMPONENTS IN DROSOPHILA. *Biological Journal of the Linnean Society*, *80*(4), 717-725. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2003.00271.x>

Bodelot, A., Fortier, M., Laurini, F., Maron, J., & Ballini, E. (2019). *Les plantes prennent la parole ; les composés organiques volatils : Une alternative aux pesticides ?*

Bolar, K. (2019). *STAT : Interactive Document for Working with Basic Statistical Analysis* (0.1.0) [Logiciel].

<https://cran.r-project.org/web/packages/STAT/index.html>

Bonnemaison, L. (1959). Le puceron cendré du pommier (*Dysaphis plantaginea* Pass.). Morphologie et biologie. Méthodes de lutte. *Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique, Série C, Epiphyties*, 3, 257-322.

Brenya, E., Chen, Z.-H., Tissue, D., Papanicolaou, A., & Cazzonelli, C. I. (2020). Prior exposure of *Arabidopsis* seedlings to mechanical stress heightens jasmonic acid-mediated defense against necrotrophic pathogens. *BMC Plant Biology*, 20(1), 548. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02759-9>

Brown, A. E. (2008). *Variability in abundance of the rosy apple aphid (Dysaphis plantaginea), the role of its alternate host (Plantago major), and potential control strategies in organic apple orchards in British Columbia*. <https://doi.org/10.14288/1.0066883>

Cabrol, M. (2019). *Etude de l'effet de plantes de service sur la dynamique de population du puceron cendré du pommier (Dysaphis plantaginea) et de ses ennemis naturels*. (p. 76) [Mémoire de stage].

Cantó-Tejero, M., Casas, J. L., Marcos-García, M. Á., Pascual-Villalobos, M. J., Florencio-Ortiz, V., & Guirao, P. (2022). Essential oils-based repellents for the management of *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae*. *Journal of Pest Science*, 95(1), 365-379. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01380-5>

Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48-60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>

Cheng, S.-S., Chang, H.-T., Lin, C.-Y., Chen, P.-S., Huang, C.-G., Chen, W.-J., & Chang, S.-T. (2009). Insecticidal activities of leaf and twig essential oils from *Clausena excavata* against *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* larvae. *Pest Management Science*, 65(3), 339-343. <https://doi.org/10.1002/ps.1693>

Cicolella, A. (2008). Les composés organiques volatils (COV) : Définition, classification et propriétés. *Revue des Maladies Respiratoires*, 25(2), 155-163. [https://doi.org/10.1016/S0761-8425\(08\)71513-4](https://doi.org/10.1016/S0761-8425(08)71513-4)

Clancy, M. V., Zytynska, S. E., Senft, M., Weisser, W. W., & Schnitzler, J.-P. (2016). Chemotypic variation in terpenes emitted from storage pools influences early aphid colonisation on tansy. *Scientific Reports*, 6(1), 38087. <https://doi.org/10.1038/srep38087>

Cloutier, C., McNeil, J. N., & Regnière, J. (1981). FECUNDITY, LONGEVITY, AND SEX RATIO OF *APHIDIUS NIGRIPES* (HYMENOPTERA : APHIDIIDAE) PARASITIZING DIFFERENT STAGES OF ITS HOST, *MACROSIPHUM EUPHORBIAE* (HOMOPTERA: APHIDIDAE). *The Canadian Entomologist*, 113(3), 193-198. <https://doi.org/10.4039/Ent113193-3>

Colinet, H., Boivin, G., & Hance, Th. (2007). Manipulation of parasitoid size using the temperature-size rule : Fitness consequences. *Oecologia*, 152(3), 425-433. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0674-6>

Copolovici, L., Kännaste, A., Rimmel, T., & Niinemets, Ü. (2014). Volatile organic compound emissions from *Alnus glutinosa* under interacting drought and herbivory stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 100, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.011>

- Coutand, C. (2020). The Effect of Mechanical Stress on Plant Susceptibility to Pests : A Mini Opinion Review. *Plants*, 9(5), 632. <https://doi.org/10.3390/plants9050632>
- Cross, J. V., Cubison, S., Harris, A., & Harrington, R. (2007). Autumn control of rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* (Passerini), with aphicides. *Crop Protection*, 26(8), 1140-1149. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.10.007>
- Curran, J., & Hersh, T. (2021). *Hotelling : Hotelling's T^2 Test and Variants* (1.0-8) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/Hotelling/index.html>
- Dardouri, T., Gautier, H., Ben Issa, R., Costagliola, G., & Gomez, L. (2019). Repellence of *MYZUS PERSICAE* (Sulzer) : Evidence of two modes of action of volatiles from selected living aromatic plants. *Pest Management Science*, 75(6), 1571-1584. <https://doi.org/10.1002/ps.5271>
- Dardouri, T., Gomez, L., Ameline, A., Costagliola, G., Schoeny, A., & Gautier, H. (2021). Non-host volatiles disturb the feeding behavior and reduce the fecundity of the green peach aphid, *MYZUS PERSICAE* . *Pest Management Science*, 77(4), 1705-1713. <https://doi.org/10.1002/ps.6190>
- Dardouri, T., Gomez, L., Schoeny, A., Costagliola, G., & Gautier, H. (2019). Behavioural response of green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer) to volatiles from different rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) clones. *Agricultural and Forest Entomology*, afe.12336. <https://doi.org/10.1111/afe.12336>
- Dawson, G. W., Griffiths, D. C., Pickett, J. A., Smith, M. C., & Woodcock, C. M. (1984). Natural inhibition of the aphid alarm pheromone. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 36(2), 197-199. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1984.tb03427.x>
- De Berardinis, E., Baronio, P., & Baumgärtner, J. (1994). The effect of aphid (*Dysaphis plantaginea* pass., Hom., Aphididae) feeding on apple fruit growth. *Ecological Modelling*, 72(1-2), 115-127. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(94\)90147-3](https://doi.org/10.1016/0304-3800(94)90147-3)
- Delorme, R., Auge, D., Touton, P., & Villatte, F. (1997). *Insecticide resistance in Dysaphis plantaginea in France*. Association nationale de protection des plantes.
- Dib, H. (2010). *Rôle des ennemis naturels dans la lutte biologique contre le puceron cendré, Dysaphis plantaginea Passerini (Hemiptera aphididae) en vergers de pommiers*.
- Dieudonné, E. (2018). *Etude du comportement de Dysaphis plantaginea, le puceron cendré du pommier, en présence de plantes aromatiques*. [Mémoire de stage].
- Dieudonné, E., Gautier, H., Dardouri, T., Staudt, M., Costagliola, G., & Gomez, L. (2022). Establishing repellent effects of aromatic companion plants on *Dysaphis plantaginea* , using a new dynamic tubular olfactometer. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 170(8), 727-743. <https://doi.org/10.1111/eea.13194>
- Dinno, A. (2017). *dunn.test : Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums* (1.3.5) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/dunn.test/index.html>

Dray, S., Dufour, A.-B., Thioulouse, J., Jombart, with contributions from T., Pavoine, S., Lobry, J. R., Ollier, S., Borcard, D., Legendre, P., & Chessel, S. B. and A. S. B. on earlier work by D. (2023). *ade4 : Analysis of Ecological Data: Exploratory and Euclidean Methods in Environmental Sciences* (1.7-22) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/ade4/index.html>

Duarte-Sierra, A., Charles, M. T., & Arul, J. (2019). UV-C hormesis : A means of controlling diseases and delaying senescence in fresh fruits and vegetables during storage. In *Postharvest Pathology of Fresh Horticultural Produce* (1st ed, p. 539-594). <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781315209180-17/uv-hormesis-arturo-duarte-sierra-marie-th%C3%A9r%C3%A8se-charles-joseph-arul>

Eilenberg, J., Hajek, A., & Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46(4), 387-400. <https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>

Ellers, J., Bax, M., & Van Alphen, J. J. M. (2001). Seasonal changes in female size and its relation to reproduction in the parasitoid *Asobara tabida*. *Oikos*, 92(2), 209-314. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.920213.x>

Erbilgin, N., Powell, J. S., & Raffa, K. F. (2003). Effect of varying monoterpene concentrations on the response of *Ips pini* (Coleoptera : Scolytidae) to its aggregation pheromone: implications for pest management and ecology of bark beetles. *Agricultural and Forest Entomology*, 5(4), 269-274. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2003.00186.x>

Fang, Y., Li, S., Xu, Q., Wang, J., Yang, Y., Mi, Y., Jin, Z., Desneux, N., & Wang, S. (2022). Optimizing the Use of Basil as a Functional Plant for the Biological Control of Aphids by *Chrysopa pallens* (Neuroptera : Chrysopidae) in Greenhouses. *Insects*, 13(6), 552. <https://doi.org/10.3390/insects13060552>

Forges, M., Bardin, M., Urban, L., Aarouf, J., & Charles, F. (2020). Impact of UV-C Radiation Applied during Plant Growth on Pre- and Postharvest Disease Sensitivity and Fruit Quality of Strawberry. *Plant Disease*, 104(12), 3239-3247. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-20-0306-RE>

Forges, M., Vásquez, H., Charles, F., Sari, D. C., Urban, L., Lizzi, Y., Bardin, M., & Aarouf, J. (2018). Impact of UV-C radiation on the sensitivity of three strawberry plant cultivars (*Fragaria x ananassa*) against *Botrytis cinerea*. *Scientia Horticulturae*, 240, 603-613. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.063>

Fox, J., Weisberg, S., Price, B., Adler, D., Bates, D., Baud-Bovy, G., Bolker, B., Ellison, S., Firth, D., Friendly, M., Gorjanc, G., Graves, S., Heiberger, R., Krivitsky, P., Laboissiere, R., Maechler, M., Monette, G., Murdoch, D., Nilsson, H., ... R-Core. (2023). *car : Companion to Applied Regression* (3.1-2) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/car/index.html>

Francis, F., Vandermoten, S., Verheggen, F., Lognay, G., & Haubruge, E. (2005). Is the (E)- β -farnesene only volatile terpenoid in aphids? : (E)- β -farnesene : The only volatile terpenoid in aphids. *Journal of Applied Entomology*, 129(1), 6-11. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2005.00925.x>

Garnier, S., Ross, N., Rudis, B., Sciaini, M., Camargo, A. P., & Scherer, C. (2023). *viridis : Colorblind-Friendly Color Maps for R* (0.6.4) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/viridis/index.html>

Goelen, T., Baets, D., Kos, M., Paulussen, C., Lenaerts, M., Rediers, H., Wäckers, F., Jacquemyn, H., & Lievens, B. (2018). Gustatory response and longevity in *Aphidius* parasitoids and their hyperparasitoid *Dendrocerus aphidum*. *Journal of Pest Science*, *91*(1), 351-360. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0907-3>

Gosset, V., Harmel, N., Gobel, C., Francis, F., Haubruge, E., Wathelet, J.-P., Du Jardin, P., Feussner, I., & Fauconnier, M.-L. (2009). Attacks by a piercing-sucking insect (*Myzus persicae* Sultzer) or a chewing insect (*Leptinotarsa decemlineata* Say) on potato plants (*Solanum tuberosum* L.) induce differential changes in volatile compound release and oxylipin synthesis. *Journal of Experimental Botany*, *60*(4), 1231-1240. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp015>

Grote, R., Sharma, M., Ghirardo, A., & Schnitzler, J.-P. (2019). A New Modeling Approach for Estimating Abiotic and Biotic Stress-Induced de novo Emissions of Biogenic Volatile Organic Compounds From Plants. *Frontiers in Forests and Global Change*, *2*, 26. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00026>

Guide Eco-Fruits—Stimulateurs de Défense des Plantes (SDP). (2020, juillet 13). Ephytia. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/22210/Guide-Eco-Fruits-Stimulateurs-de-Defense-des-Plantes-SDP>

Gupta, G., Agarwal, U., Kaur, H., Kumar, N. R., & Gupta, P. (2017). Aphicidal effects of terpenoids present in Citrus limon on *Macrosiphum roseiformis* and two generalist insect predators. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *20*(4), 1087-1095. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.08.007>

Gurr, G. M., Read, D. M. Y., Catindig, J. L. A., Cheng, J., Liu, J., Lan, L. P., & Heong, K. L. (2012). Parasitoids of the rice leafhopper *Cnaphalocrocis medinalis* and prospects for enhancing biological control with nectar plants. *Agricultural and Forest Entomology*, *14*(1), 1-12. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2011.00550.x>

Gutiérrez, C., Fereres, A., Reina, M., Cabrera, R., & González-Coloma, A. (1997). Behavioral and Sublethal Effects of Structurally Related Lower Terpenes on *Myzus persicae*. *Journal of Chemical Ecology*, *23*(6), 1641-1650. <https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000006428.00568.c5>

Hassanali, A., Herren, H., Khan, Z. R., Pickett, J. A., & Woodcock, C. M. (2008). Integrated pest management : The push-pull approach for controlling insect pests and weeds of cereals, and its potential for other agricultural systems including animal husbandry. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *363*(1491), 611-621. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2173>

Heil, M. (2015). Extrafloral Nectar at the Plant-Insect Interface : A Spotlight on Chemical Ecology, Phenotypic Plasticity, and Food Webs. *Annual Review of Entomology*, *60*(1), 213-232. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-020753>

Heil, M., & Silva Bueno, J. C. (2007). Within-plant signaling by volatiles leads to induction and priming of an indirect plant defense in nature. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(13), 5467-5472. <https://doi.org/10.1073/pnas.0610266104>

- Heimpel, G. E. (2019). Linking parasitoid nectar feeding and dispersal in conservation biological control. *Biological Control*, 132, 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.01.012>
- HERVE, M. (2023). *RVAideMemoire : Testing and Plotting Procedures for Biostatistics* (0.9-83-2) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/RVAideMemoire/index.html>
- Hervé, M. R., Nicolè, F., & Lê Cao, K.-A. (2018). Multivariate Analysis of Multiple Datasets : A Practical Guide for Chemical Ecology. *Journal of Chemical Ecology*, 44(3), 215-234. <https://doi.org/10.1007/s10886-018-0932-6>
- Hijaz, F., El-Shesheny, I., & Killiny, N. (2013). Herbivory by the insect *d iaphorina citri* induces greater change in citrus plant volatile profile than does infection by the bacterium, *Candidatus Liberibacter asiaticus*. *Plant Signaling & Behavior*, 8(10), e25677. <https://doi.org/10.4161/psb.25677>
- Hori, M. (1998). Repellency of Rosemary Oil Against *Myzus persicae* in a Laboratory and in a Screenhouse. *Journal of Chemical Ecology*, 24(9), 1425-1432. <https://doi.org/10.1023/A:1020947414051>
- Husson, F., Josse, J., Le, S., & Mazet, J. (2023). *FactoMineR : Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining* (2.8) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/index.html>
- Installing, loading and citing the package.* (s. d.). [Logiciel]. Consulté 30 août 2023, à l'adresse <https://cran.r-project.org/web/packages/DHARMA/vignettes/DHARMA.html>
- Jamaladdeen, R., Coudour, B., Dédaldéchamp, F., Lemée, L., Thibault, F., Garo, J.-P., & Wang, H.-Y. (2023). Influence of combined hydric and thermal stresses on *Rosmarinus officinalis* and *Cistus albidus*. *International Journal of Wildland Fire*. <https://doi.org/10.1071/WF22146>
- Joel, E. L., & Bhimba, V. (2010). Isolation and characterization of secondary metabolites from the mangrove plant *Rhizophora mucronata*. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 3(8), 602-604. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(10\)60146-0](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(10)60146-0)
- Karban, R., Baldwin, I. T., Baxter, K. J., Laue, G., & Felton, G. W. (2000). Communication between plants : Induced resistance in wild tobacco plants following clipping of neighboring sagebrush. *Oecologia*, 125(1), 66-71. <https://doi.org/10.1007/PL00008892>
- Kariyat, R. R., Mauck, K. E., De Moraes, C. M., Stephenson, A. G., & Mescher, M. C. (2012). Inbreeding alters volatile signalling phenotypes and influences tri-trophic interactions in horsenettle (*Solanum carolinense* L.) : Inbreeding impacts plant volatiles and insect attraction. *Ecology Letters*, 15(4), 301-309. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01738.x>
- Kassambara, A. (2023). *ggpubr : « ggplot2 » Based Publication Ready Plots* (0.6.0) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/ggpubr/index.html>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., Christensen, R. H. B., & Jensen, S. P. (2020). *ImerTest : Tests in Linear Mixed Effects Models* (3.1-3) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/ImerTest/index.html>

Lathrop, F. H. (1928). *The Biology of Apple Aphids*. 4.

Le Lann, C., Wardziak, T., Van Baaren, J., & Van Alphen, J. J. M. (2011). Thermal plasticity of metabolic rates linked to life-history traits and foraging behaviour in a parasitic wasp : Temperature affects physiology and behaviour of a parasitoid. *Functional Ecology*, 25(3), 641-651.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01813.x>

Le puceron cendré du pommier | FREDON Corse. (2021). FREDON Corse.

<https://fredon.fr/corse/techniques/ravageurs/le-puceron-cendre-du-pommier>

Ledermann, L., Daouda, S., Gouttesoulard, C., Aarouf, J., & Urban, L. (2021). Flashes of UV-C Light Stimulate Defenses of *Vitis vinifera* L. ‘Chardonnay’ Against *Erysiphe necator* in Greenhouse and Vineyard Conditions. *Plant Disease*, 105(8), 2106-2113. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-20-2229-RE>

L’Haridon, F., Besson-Bard, A., Binda, M., Serrano, M., Abou-Mansour, E., Balet, F., Schoonbeek, H.-J., Hess, S., Mir, R., Léon, J., Lamotte, O., & Métraux, J.-P. (2011). A Permeable Cuticle Is Associated with the Release of Reactive Oxygen Species and Induction of Innate Immunity. *PLoS Pathogens*, 7(7), e1002148.

<https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002148>

Li, X.-J., Dong, G.-P., Fang, J.-M., Liu, H.-J., & Guo, W.-L. (2017). Comparison of volatile organic compounds from uninfested and *Monochamus alternatus* Hope infested *Pinus massoniana* Lamb. : VOCs induced by *Monochamus alternatus*. *Entomological Research*, 47(3), 203-207. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12209>

Lichtenthaler, H. K., Rohmer, M., & Schwender, J. (1997). Two independent biochemical pathways for isopentenyl diphosphate and isoprenoid biosynthesis in higher plants. *Physiologia Plantarum*, 101(3), 643-652.

<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb01049.x>

Liland, K. H., Mevik, B.-H., Wehrens, R., & Hiemstra, P. (2023). *pls : Partial Least Squares and Principal Component Regression (2.8-2)* [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/pls/index.html>

Lombaert, E., Boll, R., & Lapchin, L. (2006). Dispersal strategies of phytophagous insects at a local scale : Adaptive potential of aphids in an agricultural environment. *BMC Evolutionary Biology*, 6(1), 75.

<https://doi.org/10.1186/1471-2148-6-75>

Luo, D., & Koolaard, S. G. and J. (2022). *predictmeans : Predicted Means for Linear and Semi Parametric Models (1.0.8)* [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/predictmeans/index.html>

Luquet, M., Peñalver-Cruz, A., Satour, P., Anton, S., Cortesero, A.-M., Lavandero, B., & Jaloux, B. (2021). Aphid honeydew may be the predominant sugar source for *Aphidius* parasitoids even in nectar-providing intercrops. *Biological Control*, 158, 104596. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104596>

Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., de Tourdonnet, S., & Valantin-Morison, M. (2009). *Sustainable agriculture*. Springer Verlag.

Mangiafico, S. (2023). *rcompanion : Functions to Support Extension Education Program Evaluation (2.4.30)*

[Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/rcompanion/index.html>

Markovic, D., Glinwood, R., Olsson, U., & Ninkovic, V. (2014). Plant response to touch affects the behaviour of aphids and ladybirds. *Arthropod-Plant Interactions*, 8(3), 171-181. <https://doi.org/10.1007/s11829-014-9303-6>

Miñarro, M., & Dapena, E. (2007). Resistance of Apple Cultivars to *Dysaphis plantaginea* (Hemiptera : Aphididae): Role of Tree Phenology in Infestation Avoidance. *Environmental Entomology*, 36(5), 1206-1211. [https://doi.org/10.1603/0046-225X\(2007\)36\[1206:ROACTD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0046-225X(2007)36[1206:ROACTD]2.0.CO;2)

Mondor, E. B., & Addicott, J. F. (2003). Conspicuous extra-floral nectaries are inducible in *Vicia faba*. *Ecology Letters*, 6(6), 495-497. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00457.x>

Nagy, C., Cross, J. V., & Markó, V. (2015). Can artificial nectaries outcompete aphids in ant-aphid mutualism? Applying artificial sugar sources for ants to support better biological control of rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* Passerini in apple orchards. *Crop Protection*, 77, 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.07.015>

Niinemets, Ü., & Monson, R. K. (Éds.). (2013). *Biology, Controls and Models of Tree Volatile Organic Compound Emissions* (Vol. 5). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6606-8>

Ninkovic, V., Markovic, D., & Rensing, M. (2021). Plant volatiles as cues and signals in plant communication. *Plant, Cell & Environment*, 44(4), 1030-1043. <https://doi.org/10.1111/pce.13910>

Obeng-Ofori, D., & Reichmuth, Ch. (1997). Bioactivity of eugenol, a major component of essential oil of *Ocimum suave* (Wild.) against four species of stored-product Coleoptera. *International Journal of Pest Management*, 43(1), 89-94. <https://doi.org/10.1080/096708797229040>

Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Carvalho, G., Chirico, M., Caceres, M. D., Durand, S., ... Weedon, J. (2022). *vegan : Community Ecology Package* (2.6-4) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>

Omara, T., Kizza Kateeba, F., Musau, B., Kigenyi, E., Adupa, E., & Kagoya, S. (2018). Bioinsecticidal Activity of Eucalyptol and 1R-Alpha-Pinene Rich Acetonic Oils of *Eucalyptus saligna* on *Sitophilus zeamais* (Coleoptera : Curculionidae). *Journal of Health and Environmental Research*, 4(4), 153. <https://doi.org/10.11648/j.jher.20180404.15>

Orozco-Cardenas, M., & Ryan, C. A. (1999). Hydrogen peroxide is generated systemically in plant leaves by wounding and systemin via the octadecanoid pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11), 6553-6557. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.11.6553>

Ouhibi, C., Attia, H., Nicot, P., Lecompte, F., Vidal, V., Lachaâl, M., Urban, L., & Aarrouf, J. (2015). Effects of nitrogen supply and of UV-C irradiation on the susceptibility of *Lactuca sativa* L to *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia minor*. *Plant and Soil*, 393(1-2), 35-46. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2458-9>

- Ouhibi, C., Attia, H., Rebah, F., Msilini, N., Chebbi, M., Aarouf, J., Urban, L., & Lachaal, M. (2014). Salt stress mitigation by seed priming with UV-C in lettuce plants : Growth, antioxidant activity and phenolic compounds. *Plant Physiology and Biochemistry*, *83*, 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.07.019>
- Paiva, N. L. (2000). An Introduction to the Biosynthesis of Chemicals Used in Plant-Microbe Communication. *Journal of Plant Growth Regulation*, *19*(2), 131-143. <https://doi.org/10.1007/s003440000016>
- Pare, P. W., & Tumlinson, J. H. (1997). De Novo Biosynthesis of Volatiles Induced by Insect Herbivory in Cotton Plants. *Plant Physiology*, *114*(4), 1161-1167. <https://doi.org/10.1104/pp.114.4.1161>
- Paré, P. W., & Tumlinson, J. H. (1999). Plant Volatiles as a Defense against Insect Herbivores. *Plant Physiology*, *121*(2), 325-332. <https://doi.org/10.1104/pp.121.2.325>
- Pascal, F., Forges, M., Bastien, J.-M., Charles, F., Aarouf, J., & Bardin, M. (2018). *Fabrication d'une enceinte UV-C pour le traitement des plantes*.
- Perrin, C. (2022). *Sélection de plantes de service pour la régulation de Dysaphis plantaginea, ravageur du pommier* [Mémoire de stage].
- Pickett, J. A., Woodcock, C. M., Midega, C. A., & Khan, Z. R. (2014). Push-pull farming systems. *Current Opinion in Biotechnology*, *26*, 125-132. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.12.006>
- Pohlert, T. (2023). *PMCMRplus : Calculate Pairwise Multiple Comparisons of Mean Rank Sums Extended (1.9.7)* [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/PMCMRplus/index.html>
- Qubbaj, T., Reineke, A., & Zebitz, C. P. W. (2005). Molecular interactions between rosy apple aphids, *Dysaphis plantaginea*, and resistant and susceptible cultivars of its primary host *Malus domestica*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *115*(1), 145-152. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2005.00255.x>
- Riffell, J. A., Lei, H., & Hildebrand, J. G. (2009). Neural correlates of behavior in the moth *Manduca sexta* in response to complex odors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(46), 19219-19226. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910592106>
- Roitberg, B. D., Boivin, G., & Vet, L. E. M. (2001). Fitness, parasitoids, and biological control : An opinion. *The Canadian Entomologist*, *133*(3), 429-438. <https://doi.org/10.4039/Ent133429-3>
- Sarkar, D., Andrews, F., Wright (documentation), K., Klepeis, N., improvements), J. L. (miscellaneous, code), Z. (Jason) W. (filled contour, Murrell, P., improvements), S. E. (violin plot, & colors), A. Z. (modern. (2023). *lattice : Trellis Graphics for R (0.21-8)* [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/lattice/index.html>
- Shi, J.-H., Liu, H., Pham, T. C., Hu, X.-J., Liu, L., Wang, C., Foba, C. N., Wang, S.-B., & Wang, M.-Q. (2022). Volatiles and hormones mediated root-knot nematode induced wheat defense response to foliar herbivore aphid. *Science of The Total Environment*, *815*, 152840. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152840>
- Silveira, L. C. P., Berti Filho, E., Pierre, L. S. R., Peres, F. S. C., & Louzada, J. N. C. (2009). Marigold (*Tagetes erecta* L.) as an attractive crop to natural enemies in onion fields. *Scientia Agricola*, *66*(6), 780-787.

<https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000600009>

Simpson, M., Gurr, G. M., Simmons, A. T., Wratten, S. D., James, D. G., Leeson, G., Nicol, H. I., & Orre-Gordon, G. U. S. (2011). Attract and reward : Combining chemical ecology and habitat manipulation to enhance biological control in field crops: Chemical ecology and habitat manipulation. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 580-590. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01946.x>

Soetaert, K. (2021). *plot3D : Plotting Multi-Dimensional Data* (1.4) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/plot3D/index.html>

Song, B., Tang, G., Sang, X., Zhang, J., Yao, Y., & Wiggins, N. (2013). Intercropping with aromatic plants hindered the occurrence of *Aphis citricola* in an apple orchard system by shifting predator–prey abundances. *Biocontrol Science and Technology*, 23(4), 381-395. <https://doi.org/10.1080/09583157.2013.763904>

Souza, I. L., Marucci, R. C., Silveira, L. C. P., de Paulo, N. C. P., & Lee, J. C. (2018). Effects of marigold on the behavior, survival and nutrient reserves of *Aphidius Platensis*. *BioControl*, 63(4), 543-553. <https://doi.org/10.1007/s10526-018-9882-8>

Table of Contents. (s. d.). [Logiciel]. Consulté 30 août 2023, à l'adresse <https://cran.r-project.org/web/packages/corrplot/vignettes/corrplot-intro.html>

Therneau, T. M., until 2009), T. L. (original S.->R port and R. maintainer, Elizabeth, A., & Cynthia, C. (2023). *survival : Survival Analysis* (3.5-7) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/survival/index.html>

Thorsteinson, A. J. (1960). Host Selection in Phytophagous Insects. *Annual Review of Entomology*, 5(1), 193-218. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.05.010160.001205>

Tougeron, K., Ferrais, L., Renard, M.-E., & Hance, T. (2021). Effects of Constant versus Fluctuating Temperatures on Fitness Indicators of the Aphid *Dysaphis plantaginea* and the Parasitoid *Aphidius matricariae*. *Insects*, 12(10), 855. <https://doi.org/10.3390/insects12100855>

Turpeau, E., Hullé, M., & Chaubet, B. (2018, août 29). *Encyclop'Aphid : L'encyclopédie des pucerons—Aphidius matricariae*. Encyclop'Aphid : l'encyclopédie des pucerons. <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Especies/Parasitoides/Braconidae-Aphidiinae/Aphidius-matricariae>

Turpeau, E., Hullé, M., & Chaubet, B. (2020, mars 20). *Encyclop'Aphid : L'encyclopédie des pucerons—D. plantaginea*. Encyclop'Aphid : l'encyclopédie des pucerons. <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Especies/Pucerons/Dysaphis/D.-plantaginea>

Uefune, M., Kugimiya, S., Ozawa, R., & Takabayashi, J. (2013). Parasitic wasp females are attracted to blends of host-induced plant volatiles : Do qualitative and quantitative differences in the blend matter? *F1000Research*, 2, 57. <https://doi.org/10.12688/f1000research.2-57.v2>

Urban, L., Charles, F., De Miranda, M. R. A., & Aarouf, J. (2016). Understanding the physiological effects of UV-C light and exploiting its agronomic potential before and after harvest. *Plant Physiology and Biochemistry*,

105, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.04.004>

UV-C | *Ecophytopic*. (2021, novembre 30). EcophytoPIC le portail de la Protection Intégrée des Cultures. <https://ecophytopic.fr/cuivre-viticulture/protoger/uv-c>

Van Emden, H. F., & Harrington, R. (Éds.). (2017). *Aphids as crop pests* (Second edition). CABI.

Vásquez, H., Ouhibi, C., Forges, M., Lizzi, Y., Urban, L., & Aarouf, J. (2020). Hormetic doses of UV-C light decrease the susceptibility of tomato plants to *Botrytis cinerea* infection. *Journal of Phytopathology*, 168(9), 524-532. <https://doi.org/10.1111/jph.12930>

Vásquez, H., Ouhibi, C., Lizzi, Y., Azzouz, N., Forges, M., Bardin, M., Nicot, P., Urban, L., & Aarouf, J. (2017). Pre-harvest hormetic doses of UV-C radiation can decrease susceptibility of lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.) to *Botrytis cinerea* L. *Scientia Horticulturae*, 222, 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.017>

Vass, I., Szilárd, A., & Sicora, C. (2005). Adverse Effects of UV-B Light on the Structure and Function of the Photosynthetic Apparatus. In M. Pessarakli (Éd.), *Handbook of Photosynthesis, Second Edition* (Vol. 20051262). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420027877.ch43>

Walling, L. L. (2000). The Myriad Plant Responses to Herbivores. *Journal of Plant Growth Regulation*, 19(2), 195-216. <https://doi.org/10.1007/s003440000026>

Wang, F., Park, Y.-L., & Gutensohn, M. (2021). Glandular Trichome-Derived Mono- and Sesquiterpenes of Tomato Have Contrasting Roles in the Interaction with the Potato Aphid *Macrosiphum euphorbiae*. *Journal of Chemical Ecology*, 47(2), 204-214. <https://doi.org/10.1007/s10886-021-01243-4>

Webster, B., Bruce, T., Dufour, S., Birkemeyer, C., Birkett, M., Hardie, J., & Pickett, J. (2008). Identification of Volatile Compounds Used in Host Location by the Black Bean Aphid, *Aphis fabae*. *Journal of Chemical Ecology*, 34(9), 1153-1161. <https://doi.org/10.1007/s10886-008-9510-7>

Wickham, H. (2020). *reshape2 : Flexibly Reshape Data: A Reboot of the Reshape Package* (1.4.4) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/reshape2/index.html>

Wickham, H., Bryan, J., Posit, attribution), P. (Copyright holder of all R. code and all C. code without explicit copyright, code), M. K. (Author of included R., code), K. V. (Author of included libxls, code), C. L. (Author of included libxls, code), B. C. (Author of included libxls, code), D. H. (Author of included libxls, & code), E. M. (Author of included libxls. (2023). *readxl : Read Excel Files* (1.4.3) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/readxl/index.html>

Wickham, H., Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H., Dunnington, D., Posit, & PBC. (2023). *ggplot2 : Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics* (3.4.3) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>

Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K., Vaughan, D., Software, P., & PBC. (2023). *dplyr : A Grammar of Data Manipulation* (1.1.2) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html>

Wickham, H., & RStudio. (2023). *forcats : Tools for Working with Categorical Variables (Factors)* (1.0.0) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/forcats/index.html>

Wituszyńska, W., Szechyńska-Hebda, M., Sobczak, M., Rusaczonek, A., Kozłowska-Makulska, A., Witoń, D., & Karpiński, S. (2015). LESION SIMULATING DISEASE 1 and ENHANCED DISEASE SUSCEPTIBILITY 1 differentially regulate UV-C-induced photooxidative stress signalling and programmed cell death in *A. thaliana* : New regulators of UV-induced programmed cell death. *Plant, Cell & Environment*, 38(2), 315-330. <https://doi.org/10.1111/pce.12288>

Xiao, D., Liu, J., Liu, Y., Wang, Y., Zhan, Y., & Liu, Y. (2022). Exogenous Application of a Plant Elicitor Induces Volatile Emission in Wheat and Enhances the Attraction of an Aphid Parasitoid *Aphidius gifuensis*. *Plants*, 11(24), 3496. <https://doi.org/10.3390/plants11243496>

Xie [aut, Y., cre, cph, Software, P., PBC, Dervieux, C., Ryan, D., Heinzen, E., & Cagua, F. (2023). *tinytex : Helper Functions to Install and Maintain TeX Live, and Compile LaTeX Documents* (0.46) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/tinytex/index.html>

Xie [aut, Y., cre, Sarma, A., Vogt, A., Andrew, A., Zvoleff, A., Al-Zubaidi, A., <http://www.andre-simon.de>), A. S. (the C. files under inst/themes/ were derived from the H. package, Atkins, A., Wolen, A., Manton, A., Yasumoto, A., Baumer, B., Diggs, B., Zhang, B., Yapparov, B., Pereira, C., Dervieux, C., Hall, D., ... PBC. (2023). *knitr : A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R* (1.43) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/knitr/index.html>

Xu, Y., Charles, M. T., Luo, Z., Mimee, B., Tong, Z., Véronneau, P.-Y., Roussel, D., & Rolland, D. (2019). Ultraviolet-C priming of strawberry leaves against subsequent *Mycosphaerella fragariae* infection involves the action of reactive oxygen species, plant hormones, and terpenes : Priming of strawberry plants by ultraviolet light. *Plant, Cell & Environment*, 42(3), 815-831. <https://doi.org/10.1111/pce.13491>

Yarou, B. B., Bokonon-Ganta, A. H., Verheggen, F. J., Lognay, G. C., & Francis, F. (2020). Aphid Behavior on *Amaranthus hybridus* L. (Amaranthaceae) Associated with *Ocimum* spp. (Lamiaceae) as Repellent Plants. *Agronomy*, 10(5), 736. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050736>

Zhang, D. (2022). *rsq : R-Squared and Related Measures* (2.5) [Logiciel]. <https://cran.r-project.org/web/packages/rsq/index.html>

Zhao, J., Wang, Z., Li, Z., Shi, J., Meng, L., Wang, G., Cheng, J., & Du, Y. (2020). Development of lady beetle attractants from floral volatiles and other semiochemicals for the biological control of aphids. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(4), 1023-1029. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2020.08.005>

Nom et Prénom de l'auteur : **Mardoc Gabin**

Titre du mémoire : **Étude des effets de traitements physiques sur les empreintes de composés organiques volatils de plantes de service, et leurs conséquences potentielles sur *Dysaphis plantaginea*, puceron cendré du pommier.**

Ecole d'inscription : **L'Institut Agro de Montpellier**

Lieu du stage : UR PSH INRAE PACA , 228, route de l'aérodrome Domaine St Paul Site Agroparc, 84140 Avignon, France

RÉSUMÉ

L'intégration de pratiques agroécologiques dans la gestion des ravageurs représente une approche innovante de la lutte intégrée contre les ravageurs. Ce stage a étudié les effets de deux de ces pratiques, les traitements UV-C et les lésions mécaniques (LM), sur des plantes de service (PdS) aromatiques dans le but de contrôler *Dysaphis plantaginea*, le puceron cendré du pommier. Pendant une période de trois semaines, nous avons collecté les émissions de composés organiques volatils (COV) des PdS, puis étudié le comportement des pucerons. Les prélèvements indiquent que le premier flash UV-C a augmenté l'émission de COV répulsifs par le basilic pistou (*Ocimum basilicum*). Toutefois, il reste à confirmer si la combinaison des UV-C et LM a des effets similaires sur les émissions de COV. Les traitements UV-C ont également eu un impact sur la tagète nana (*Tagetes patula*) et le basilic, entraînant une diminution de la fécondité des pucerons et une réduction de leur survie. Parallèlement à ces expériences, des tests de longévité ont été menés sur *Aphidius matricariae*, un parasitoïde du puceron cendré. La présence de fleurs de tagète n'a pas eu d'effet significatif, mais ces expériences ont permis de définir un mode opératoire plus approprié pour pallier aux difficultés de l'élevage.

Mots-clés : agroécologie - plante de service - COV - lésions mécaniques - UV-C

ABSTRACT

The integration of agroecological practices in pest management represents an innovative approach to integrated pest control. This internship investigated the effects of two such practices, UV-C treatments and mechanical lesions (ML), on aromatic companion plants (CP) in the aim of controlling *Dysaphis plantaginea*, the rosy apple aphid. We collected volatile organic compounds (VOC) emissions for three weeks and then studied aphid behavior. The experiments indicate that the first UV-C application increased the emission of repellent VOC from basil pistou (*Ocimum basilicum*). However, it remains to be confirmed whether the combination of UV-C and ML has similar effects on VOC emissions. UV-C treatments also had an impact on tagetes nana (*Tagetes patula*) and basil, leading to a decrease in aphid fecundity and a reduction in their survival. In a parallel experiment, longevity tests were carried out on *Aphidius matricariae*, an aphid parasitoid. The presence of tagetes flowers did not reveal any significant effect, however, these experiments did help to define a more appropriate operating procedure to overcome the difficulties of breeding.

Keywords : agroecology - companion planting - VOC - mechanical wounding - UV-C