



**HAL**  
open science

# Évaluation de médiateurs chimiques seuls ou en combinaison de lutte biologique pour la gestion du thrips en culture de poivrons sous serre

Emma Albertelli

► **To cite this version:**

Emma Albertelli. Évaluation de médiateurs chimiques seuls ou en combinaison de lutte biologique pour la gestion du thrips en culture de poivrons sous serre. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04769358

**HAL Id: dumas-04769358**

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04769358v1>

Submitted on 6 Nov 2024

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

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

L'Institut Agro Rennes-Angers  
 Site d'Angers  Site de Rennes

Année universitaire : 2023-2024

Spécialité :

Ingénieur en horticulture

Spécialisation (et option éventuelle) :

Protection des Plantes et de l'Environnement  
appliquée à l'Horticulture (PPEH)

### Mémoire de fin d'études

d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)

de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)

de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

# Évaluation de médiateurs chimiques seuls ou en combinaison de lutte biologique pour la gestion du thrips en culture de poivrons sous serre

Par : Emma Albertelli



**Soutenu à Angers le 11/09/2024**

**Devant le jury composé de :**

Président : Yann Tricault

Maître de stage : Benjamin Gard

Enseignant référent : Nicolas Chen

Autres membres du jury : Tom Hebbinckuys  
(Astredhor)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce rapport.

Avant tout, j'adresse mes remerciements à mon professeur Mr Nicolas Chen pour sa disponibilité et ses conseils qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Son avis et son expérience m'ont guidé dans l'organisation et la rédaction de ce rapport.

Je tiens vivement à remercier mon équipe du quotidien. Tout d'abord, mon maître de stage Mr Benjamin Gard ainsi que Mme Amélie Bardel, pour leur accueil, le partage de leur expertise au quotidien et leur confiance. Je suis particulièrement reconnaissante envers Benjamin pour ses connaissances en traitement statistique et sa patience qui m'ont permis de me perfectionner en analyse statistique et en interprétation des résultats. Leurs nombreux conseils ont grandement participé à la rédaction de ce rapport et à son amélioration. Je remercie également mon amie Solenn Caulet avec qui j'ai travaillé sur nos essais respectifs. Ses réflexions et son soutien m'ont été d'une grande aide dans cette étude.

Je remercie enfin toute l'équipe du CTIFL ainsi que mes colocataires pour leur accueil, les bons moments passés à leurs côtés et tout ce qu'ils ont pu m'apporter tant au niveau professionnel que personnel.



## Table des matières

<b>I. État de l'art .....</b>	<b>1</b>
<b>A. La culture de poivrons .....</b>	<b>1</b>
1. Fiche technique du poivron .....	1
2. Contexte économique .....	1
3. Problématiques sur poivron.....	2
<b>B. Le thrips .....</b>	<b>3</b>
1. Caractéristiques générales .....	3
2. Le thrips californien ( <i>Frankliniella occidentalis</i> ) .....	4
a) La morphologie de F. occidentalis .....	4
b) Cycle biologique de F. occidentalis .....	4
3. Le thrips du tabac ( <i>Thrips tabaci</i> ) .....	5
a) La morphologie de T. tabaci .....	5
b) Cycle biologique de T. tabaci .....	5
<b>C. Dégâts et moyen de protection contre le thrips.....</b>	<b>5</b>
1. Les dégâts causés sur poivron .....	5
2. Les moyens de protection contre le thrips.....	6
a) Monitoring .....	6
b) La lutte chimique .....	8
c) L'utilisation de plants résistants.....	8
d) La lutte biologique.....	9
e) Les méthodes alternatives.....	10
<b>D. L'utilisation de molécules chimiques dans la lutte contre le thrips .....</b>	<b>10</b>
1. Les médiateurs chimiques .....	10
a) Définitions .....	10
b) Interactions plante-insecte .....	11
2. La méthode push-pull.....	11
a) Les molécules attractives.....	11
b) Les molécules répulsives .....	12
3. Avantage et biais .....	12
<b>E. Intégration du stage .....</b>	<b>13</b>
1. HEALTHI 1 .....	13
2. HEALTHI 2 : essai sur verveine et poivrons.....	13
a) Objectif de l'essai .....	13
b) Les composés de Russel IPM .....	13
c) Résultats sur verveine et poursuite de l'essai .....	14
<b>II. Matériel et méthode.....</b>	<b>14</b>
<b>A. Matériel Végétal .....</b>	<b>14</b>
<b>B. Matériel Biologique .....</b>	<b>14</b>
1. Le thrips, ravageur cible.....	14
2. <i>Amblyseius swirskii</i> .....	15
<b>C. Modalités .....</b>	<b>15</b>
<b>D. Dispositif expérimental .....</b>	<b>15</b>
<b>E. Observations et mesures .....</b>	<b>15</b>
1. Observation des plants .....	15



2.	Observation des bandes engluées .....	16
<b>F.</b>	<b>Traitement des données.....</b>	<b>16</b>
1.	Analyse du push-pull sur les thrips dans les feuilles et les fleurs .....	16
2.	Analyse des dégâts .....	16
3.	Analyse des roller trap.....	16
<b>III.</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>17</b>
<b>A.</b>	<b>Climat .....</b>	<b>17</b>
<b>B.</b>	<b>Évolution des populations de thrips en fonction des modalités .....</b>	<b>17</b>
1.	Pression des thrips sur feuilles .....	17
a)	Les adultes .....	17
b)	Les larves.....	17
2.	Pression des thrips sur fleurs .....	18
a)	Les adultes .....	18
b)	Les larves.....	18
3.	Pression du ravageur au cours de l'essai .....	18
4.	Analyse des dégâts .....	19
5.	Analyse des roller trap.....	19
a)	Efficacité du Thripnok.....	19
<b>IV.</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>23</b>
<b>V.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>23</b>
	<b>Bibliographie</b>	
	<b>Sitographie</b>	
	<b>Annexes</b>	



## **Liste des abréviations**

AB : Agriculture biologique

AMM : Autorisation de mise sur le marché

CMV : Virus de la mosaïque du concombre (Cucumber Mosaic Virus)

COV : Composé organique volatil

GRSV : Virus des taches annulaires nécrotiques des Prunus (Groundnut ringspot virus)

HE : Huile essentielle

HEALTHI : Huiles Essentielles comme Alternative à la Lutte contre le THrIps

Projet HEALTHI 2 : Alternative à la Lutte contre le THrIps - Accompagner l'usage des médiateurs chimiques par le développement d'une stratégie de biocontrôle "push-pull" contre le thrips en cultures sous serre

IM : Isonicotinate de méthyle

INSV : Virus de la tache nécrotique de l'impatiens (Impatiens Necrotic Spot Virus)

IPM : Lutte intégrée contre les ravageurs (Integrated Pest Management)

IRAC : Insecticide Resistance Action Committee

PC : Composés phénoliques (Phenolic Compounds)

PP : Push-pull

PP + AP : Push-pull + Acarien prédateur

PVY : Virus Y de la pomme de terre (Potato Yellow Virus)

RPH : Résistance de la Plante Hôte

SDD : Stratégie stimulo-dissuasion (Stimulo-Deterrent Diversion)

TSWV : Virus de la maladie bronzée de la tomate (Tomato Spotted Wilt Virus)

TCSV : Virus des taches chlorotiques de la tomate (Tomato chlorotic spot virus)

TNT : Témoin non traité

## **Glossaire**

**Chimiotaxie** : Mouvement non orienté d'une cellule ou d'un organisme en réponse à un stimulus chimique.

**Diapause** : Arrêt temporaire de l'activité ou du développement chez les insectes

**Kairomones** : Une kairomone est une substance sémiochimique volatile ou mobile, produite par un être vivant (émetteur), libérée dans l'environnement, qui déclenche une réponse comportementale chez une autre espèce (récepteur)

**Nymphe** : Phase du développement des insectes située entre la larve et l'imago caractérisée par une métamorphose partielle

**Ovipositeur** : est l'appendice abdominal, généralement long et effilé, à l'aide duquel de nombreuses femelles d'insectes déposent leurs œufs

**Parthénogenèse arrhénotoque** : Forme de parthénogenèse qui aboutit à une descendance uniquement composée de mâles.



**Parthénogenèse thélytoque** : Forme de parthénogenèse (mode de reproduction indépendant de toute sexualité permettant le développement d'un individu à partir d'un ovule non fécondé) qui aboutit à une descendance uniquement composée de femelles.

**Phéromones** : Une phéromone est une substance chimique émise par la plupart des animaux et certains végétaux, et qui agit comme un message entre les individus d'une même espèce.

**Phytophage** : Se dit d'un organisme, tel qu'un insecte, un poisson ou un gastéropode, qui se nourrit principalement de matières végétales

**Polyphagie** : Un organisme est qualifié de polyphage s'il se nourrit d'aliments divers et ne se restreint pas à une seule catégorie

**Protonymphe** : Premier stade de la nymphe

**Push-pull** : introduire des stimuli répulsifs ayant la propriété d'éloigner (push) les ravageurs de la culture et par des stimuli attractifs de les attirer (pull) en dehors de la culture

**Sémiochimie** : substance chimique émise par un organisme dans l'environnement et qui a valeur de signal entre les êtres vivants.

**Tospovirus** : Les tospovirus sont des virus phytopathogènes d'importance économique de l'ordre des *Bunyavirales* et sont exclusivement transmis par les vecteurs de thrips.



## Liste des illustrations

Figure 1: Exportations totales de l'UE à 28 (moyenne 2017-2019) [2] .....	1
Figure 2: <i>Frankliniella occidentalis</i> trouvés sur des plants de poivrons infectés par le TSWV dans une serre commerciale en Alberta (Mishra, Ellouze, Zhang 2016). .....	14
Figure 3: <i>Bemisia tabaci</i> adulte (Castañé, van der Blom, Nicot 2020).....	1
Figure 4 : <i>Aphidus matricariae</i> parasitant <i>Myzus persicae</i> sur une fleur de poivron (Messelink et al. 2020).....	1
Figure 5 : <i>Tetranychus urticae</i> [4].....	1
Figure 6 : Photographie de <i>T. tabaci</i> (à gauche) et de <i>F. occidentalis</i> (à droite) [5] .....	2
Figure 7 : Cycle de <i>Frankliniella occidentalis</i> (Lublinhof, Foster 1977) .....	2
Figure 8 : Photographie de <i>F. occidentalis</i> adulte [6].....	3
Figure 9 : Dégâts de <i>Frankliniella occidentalis</i> sur feuille de poivron ( <i>Capsicum annuum</i> L.) (Watt [sans date]).....	4
Figure 10 : Symptômes causés par l'oviposition de <i>Frankliniella occidentalis</i> sur feuilles de poivrons [8] .....	4
Figure 11 : Infection par le TSWV, transmis par le thrips, montrant des tâches circulaires sur les feuilles et des lésions sur les fruits [9] .....	4
Figure 12 : <i>Orius laevigatus</i> prédatant <i>Frankliniella occidentalis</i> (Messelink et al. 2020).....	8
Figure 13 : <i>Amblyseius swirskii</i> [15].....	8
Figure 14 : <i>Ceranisus menes</i> (Coleman, Wood 2016).....	8
Figure 15 : <i>Macrocheles robustulus</i> [16] .....	8
Figure 16 : Distribution des acariens prédateurs (moyennes $\pm$ se) dans les plants de concombre. À la fin de l'expérience, la quantité de thrips sur une feuille pour chacune des 5 hauteurs (5, 8, 11, 14 et 17) est analysée. <i>Typhlodromips swirskii</i> (= <i>Amblyseius swirskii</i> ), a montré une efficacité significativement plus élevée que <i>N. cucumeris</i> et <i>E. ovalis</i> (Messelink, Van Steenpaal, Ramakers 2006) .....	9
Figure 17 : Facteurs intrinsèques et extrinsèques susceptibles d'influencer l'utilisation par les thrips d'indices olfactifs et visuels pour localiser des plantes hôtes potentielles (Nielsen 2013) .....	11
Figure 18 : Stratégie push-pull contre les foreurs des céréales (Abd El-Ghany 2023).....	11
Figure 19: Schéma illustrant l'effet attractif/répulsif du MAGIPAL (Russell IPM 2021) .....	12
Figure 20 : Schéma du design expérimental des 3 compartiments de serre.....	13
Figure 21 : Calendrier de l'essai .....	16
Figure 22 : Photos de la mise en place des diffuseurs MagiPal® et Thripnok® .....	16
Figure 23 : Schéma des plants notés dans les 3 compartiments.....	17
Figure 24 : Photographie des carrés de notation sur les bandes engluées bleues.....	17
Figure 25 : Courbes des températures moyennes sur 24h (en °C) pour chaque compartiment lors de la 1 <sup>ère</sup> et 2 <sup>ème</sup> répétition. ....	17
Figure 26 : Évolution du nombre moyen de thrips (adultes en bleu et larves en orange) et d'acariens prédateurs (formes mobiles) présents sur les feuilles pour les 3 modalités étudiées en fonction du temps (semaines de notation : Sn). .....	18
Figure 27 : Évolution du nombre moyen de thrips (adultes en bleu et larves en orange) et d'acariens prédateurs (formes mobiles) présents sur les fleurs pour les 3 modalités étudiées en fonction du temps (semaines de notation : Sn). ....	18



Figure 29 : Cartographie des moyennes de thrips adultes par fleurs pour chaque plant et chaque modalité pour les semaines 1, 3 et 6. Les couleurs ont été déterminées selon le seuil de nuisibilité de 2,8 thrips par fleurs.....	19
Figure 31 : Pourcentage de plants avec dégâts par modalités en fonction du temps (semaines de notation : Sn).....	19
Figure 30 : Graphique illustrant la quantité de dégâts présent pour chaque modalité. Il s'agit d'une notation binaire avec 1 : nombre de plants endommagés (rouge) et 0 : nombre de plants sans dégâts (bleu).....	19
Figure 32 : Nombre de thrips piégés sur les pièges englués selon les modalités en fonction du temps (semaines de notation : Sn).....	20
Figure 33:Nombre de thrips capturés en fonction de la position du piège par rapport à l'attractif (THRIPNOK).....	20

## **Liste des tableaux**

Tableau 1: Durée du cycle du poivron en fonction des différentes étapes culturales et biologique de la plante (Lecerf 2016) .....	1
Tableau 2 : Données sur la production de poivrons dans l'Union Européenne à 28 (moyenne 2017-2019) [2].....	1
Tableau 3: Principales zones de production française (moyenne 2017-2019) [2] .....	1
Tableau 4 : Cycle de développement de <i>F. occidentalis</i> et <i>T. tabaci</i> en fonction de la température (Deligeorgi et al. 2005) .....	2
Tableau 5 : Substances actives autorisées contre le thrips sur poivrons [11] [12] .....	6
Tableau 6 : Synthèse des composés sémiochimiques affectant <i>Frankliniella occidentalis</i> (Kirk et al. 2021).....	12
Tableau 7: Résumé d'essais "push-pull" dans différentes cultures (Sampson, Griffiths, Hassan 2020).....	13
Tableau 8 : Les différentes modalités de l'essai .....	15
Tableau 9 : Produits Russel IPM utilisés dans les stratégies push pull de l'essai, caractéristiques et choix des quantités (Legrand 2023) .....	15

Tableau 1: Durée du cycle du poivron en fonction des différentes étapes culturales et biologique de la plante (Lecerf 2016)

Levée	Repiquage	Plantation	1 <sup>ères</sup> fleurs	Début récolte	Fin récolte
10 jours	2 à 3 semaines	1,5 mois	2,5 mois	3,5 mois	5,5 mois

Tableau 2 : Données sur la production de poivrons dans l'Union Européenne à 28 (moyenne 2017-2019) [2]

Pays	Milliers de tonnes	%
<b>UE 28</b>	<b>2,679</b>	<b>100%</b>
Espagne	1,318	49%
Pays-bas	367	14%
Italie	197	7%
Pologne	164	6%
Grèce	150	6%
Roumanie	134	5%
Hongrie	108	4%
Bulgarie	57	2%
Portugal	45	2%
France	31	1%
Belgique	27	1%
Royaume-uni	21	1%
Autriche	16	1%
Autres pays	45	2%

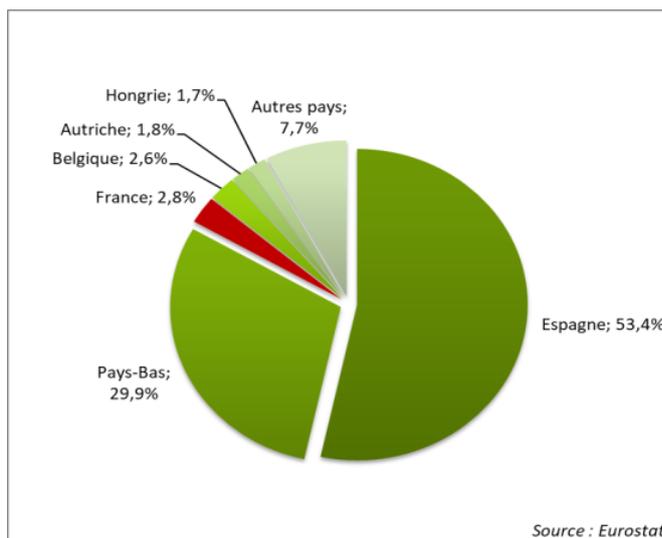


Figure 1: Exportations totales de l'UE à 28 (moyenne 2017-2019) [2]

Tableau 3: Principales zones de production française (moyenne 2017-2019) [2]

Principaux bassins et départements de production	Part de la Production nationale	Zones de production ou de commercialisation
<b>Provence-Alpes-Côte d'Azur</b>		
Bouches-du-Rhône	14%	Châteaurenard, Carpentras, Cavaillon
Vaucluse	5%	
<b>Aquitaine</b>		
Lot-et-Garonne	16%	Agen, Marmande, Villeneuve-sur-Lot
Pyrénées-Atlantiques	2%	
<b>Autres régions de production</b>		
Languedoc-Roussillon	11%	
Bretagne	7%	
Centre (Loiret)	9%	
Midi-Pyrénées	6%	
Pays de la Loire	5%	

Sources : Agreste - Statistique Agricole Annuelle, CTIFL

# I. État de l'art

## A. La culture de poivrons

### 1. Fiche technique du poivron

Le « poivron » est l'appellation française du piment doux à gros fruits. De son nom latin, *Capsicum annuum L.*, il appartient à la famille des Solanacées qui regroupe d'autres espèces comme la tomate, l'aubergine ou encore le tabac. Sa culture s'est tout d'abord développée dans la zone centrale du continent sud-américain avant d'être introduite en Europe à la fin du 15<sup>ème</sup> siècle (Erard 2002).

Le poivron se cultive sous nos climats comme une plante herbacée annuelle bien qu'elle puisse produire plusieurs années consécutives dans les zones tropicales. Son cycle dure en moyenne 5 mois (tableau 1) (Lecerf 2016). La levée est assez longue, les graines mettent une dizaine de jour à germer. Pendant un peu plus d'un mois il est conseillé d'élever les plantules en pépinière. Après la plantation il faudra aux plantes un mois également pour fleurir puis un second mois pour produire des fruits (Lecerf 2016).

Son développement optimal se situe à des températures entre 23 et 25°C le jour, et 18 - 20°C la nuit (Erard 2002). L'optimum d'humidité se situe entre 50 et 70%, mais les racines sont sensibles à l'asphyxie (Erard 2002; Lecerf 2016). Concernant les fruits, ils doivent être à l'ombre au moment le plus chaud car ils craignent les coups de soleil (Lecerf 2016). Les poivrons sont au départ tous verts, ils sont récoltés à différents stades de maturité pour obtenir des couleurs et des saveurs variées. Les poivrons verts sont plus amers mais plus croquants, les jaunes plus juteux et les rouges sont plus doux voire plus sucrés [1].

### 2. Contexte économique

La production mondiale de poivron et de piment atteint plus de 37,3 millions de tonnes [2]. La Chine représente 45% de cette production ce qui fait d'elle le premier producteur mondial [3]

L'Union Européenne produit pour sa part 2,7 millions de tonnes, dont 49 % en Espagne qui est le premier exportateur mondial (tableau 2) [2]. Ce pourcentage, en constante augmentation, est lié au développement des rendements et des cultures sous abris plastiques, dont près de 11 000 hectares se concentrent aujourd'hui en Andalousie, dans la province d'Almeria. Les Pays-Bas atteignent la deuxième place des pays producteurs de poivrons de l'UE avec 360 000 tonnes obtenues sur 1 300 hectares (+ 8 % par rapport à il y a dix ans (Serrurier 2020)).

La production de poivron en France se localise dans le Sud-Est (surtout les Bouches-du-Rhône) et dans le Sud-Ouest (Lot-et-Garonne) (tableau 3). En 2022, elle était de 25 957 tonnes sur une superficie d'environ 1290 ha (Agreste 2023). Mais La France importe un peu plus de 150 000 tonnes de poivrons par an d'Espagne, du Maroc et des Pays-Bas dont une bonne partie est réexportée (40 000 tonnes) (figure 1). Ces importations sont beaucoup plus importantes au cours des mois d'hiver. Le marché du frais est donc alimenté pour plus de 80% par des importations [2]. L'offre française sur le marché national reste faible, malgré une augmentation des surfaces et de la production sur les dix dernières années.



Figure 2: *Frankliniella occidentalis* trouvé sur des plants de poivrons infectés par le TSWV dans une serre commerciale en Alberta (Mishra, Ellouze, Zhang 2016).



Figure 3: *Bemisia tabaci* adultes (Castañé, van der Blom, Nicot 2020)



Figure 5 : *Tetranychus urticae* [4]

Concernant la consommation du poivron, sa taille de clientèle a atteint son plus haut niveau en 2018, avec 67,4 % de ménages acheteurs (+ 1,3 point par rapport à la moyenne 2013-2017). Son prix moyen d'achat a augmenté (3,20 €/kg en 2018, soit + 4 % par rapport à la moyenne 2013-2017) ce qui n'a pour autant pas freiné son développement, ni celui de son volume d'achat (+ 6 %) (Serrurier 2020).

Le poivron se développe donc au niveau mondial et européen, avec une augmentation des surfaces de production ainsi que des échanges entre les pays. La demande, quant à elle, augmente également, ce qui fait du poivron une culture en plein essor.

### 3. Problématiques sur poivron

Le poivron est attaqué par différents bioagresseurs. Les thrips (figure 2), en particulier *F. occidentalis* et *T. tabaci*, sont les ravageurs numéro un des cultures en serre dans différentes régions climatiques du monde (Dekebo 2022). Ils causent des dégâts sur les feuilles, fleurs et fruits. Les piqûres d'alimentation provoquent des ponctuations dorées sur les fruits, principalement au niveau du collet. Ces dégâts esthétiques diminuent la valeur commerciale des fruits et entraînent leur déclassement. Le thrips est également vecteur de virus tel que TSWV (Tomato Spotted Wilt Virus).

Dans certains pays, comme en Espagne, les aleurodes sont un fléau important, en particulier *Bemisia tabaci* (figure 3) (Stansly, Calvo, Urbaneja 2005). Ces insectes qui se nourrissent du phloème causent de graves dommages aux cultures par l'excrétion de miellat, un substrat favorisant le développement de la fumagine. Ces champignons réduisent la capacité photosynthétique des plantes, ce qui provoque une réduction du rendement (Messelink et al. 2020). En France, l'aleurode des serres *Trialeturodes vaporariorum* peut poser ponctuellement problème en culture de poivron, provoquant le même type de dégâts que *B. tabaci*.

Les pucerons causent aussi de gros dégâts sur poivrons en zones tempérées. Parmi les plus importants on trouve *Myzus persicae*, *Aulacorthum solani* et *Aphis gossypii* (figure 4). Les piqûres et la ponction de phloème provoquent un affaiblissement de la plante. La production de miellat provoque l'apparition de fumagine. En cas de forte attaque, les feuilles se recroquevillent, les apex cessent de se développer ce qui conduit à un arrêt du développement et une forte baisse du rendement. Les dégâts sont accrus du fait de la précocité ou de la densité élevée des populations de pucerons (Messelink et al. 2020). Les pucerons sont aussi d'importants vecteurs de virus comme le CMV (Cucumber Mosaic Virus), le PVY (Potato Yellow Virus).

Enfin, l'acararien tétranyque (*Tetranychus urticae*) (figure 5) est un ravageur important en cas de forte pression. Il pique la face supérieure des feuilles et les vides de leur contenu cellulaire. Les dégâts se traduisent par un dessèchement des feuilles avec la présence de toiles fines sur les organes touchés (Erard 2002).

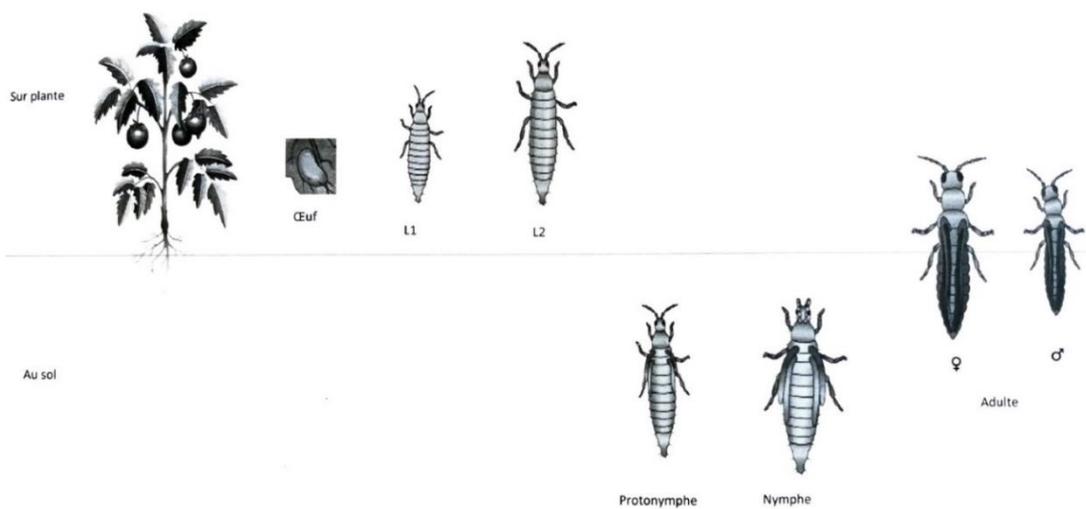
En ce qui concerne les maladies fongiques, les principales maladies aériennes sont l'oïdium (*Leveillula taurica*) et la pourriture grise (*Botrytis cinerea*). L'Oïdium provoque des tâches jaunes qui finissent par se nécroser au centre, avec un feutrage blanc à la surface inférieure. *B. cinerea* est un champignon nécrotrophe qui provoque le flétrissement et la pourriture des organes touchés (Erard 2002). Les champignons telluriques tels que la fusariose et la verticilliose sont également des problématiques importantes en culture en sol.

Tableau 4 : Cycle de développement de *F. occidentalis* et *T. tabaci* en fonction de la température (Deligeorgi et al. 2005)

	Température (°C)	Jours Selon Deligeorgidis
<i>F. occidentalis</i>	15	33.99
	20	19.53
	25	15.45
	30	11.99
<i>T. tabaci</i>	15	32.76
	20	19.23
	25	15.65
	30	11.78



Figure 6 : Photographie de *T. tabaci* (à gauche) et de *F. occidentalis* (à droite) [5]



## B. Le thrips

### 1. Caractéristiques générales

Le thrips appartient à l'ordre des thysanoptères. C'est un insecte piqueur suceur qui mesure entre 1 et 4 mm (en France) (Martinez 2023). Ses pièces buccales sont asymétriques, du fait de la disparition de la mandibule droite. Les antennes ont de 6 à 9 articles. Les ailes sont linéaires, étroites, bordées de soies et repliées sur le dos au repos (Martinez 2023) (Annexe I). Cette famille est divisée en 2 sous-ordres : les Tripidae et les Phlaeothripidae (Chamont 2021). *Frankliniella occidentalis* et *T. tabaci* font partie de la famille des thripidae (figure 6) (Bournier 2000).

Chez les Tripidae, le développement des thrips, avant l'obtention de l'imago, passe par 5 stades (contre 6 chez les Phlaeothripidae (figure 7) (Martinez 2023). Les femelles pondent généralement des œufs d'environ 200 µm dans le parenchyme des feuilles, les fleurs et les fruits (Berger 2005). Il s'ensuit deux stades larvaires (L1, L2) s'alimentant activement (Giraud 2019; Castañé, Riudavets, Yano 1999), le premier étant d'un blanc transparent et le second de couleur jaune doré (Berger 2005). Les larves de 2<sup>ème</sup> stade sont très actives et recherchent des sites bien enfermés pour s'alimenter. Elles finissent, généralement, par migrer vers la base de la plante et pénètrent dans le milieu de culture pour se nymphoser (Cloyd 2009). On trouve chez les thysanoptères deux stades nymphaux : la protonymphe et la nymphe (Ebener 1989). Ces deux derniers stades ne s'alimentent pas, et sont totalement inactifs. Les adultes émergent approximativement en 6 jours (Giraud 2019). Les adultes de *F. occidentalis* sont pollinophages et se regroupent dans les fleurs pour se nourrir et s'accoupler, tandis que *T. palmi* et *T. tabaci* se regroupent principalement dans les feuilles (Castañé, Riudavets, Yano 1999). Les thysanoptères ont des régimes alimentaires variés. Certains se nourrissent du contenu des cellules des plantes, d'autres sont pollinivores (polliniphages) ou mycétophages. Enfin, quelques-uns sont carnivores (prédateurs) (Martinez 2023).

La température influence la durée du cycle biologique (tableau 4) (Deligeorgi et al. 2005; Lublinhof, Foster 1977). D'autres cycles sont donnés pour *F. occidentalis* par Berger et Ebener annonçant que la durée totale du cycle est de 44,1; 22,4; 18,2 et 15 jours pour les mêmes températures. Le temps de développement moyen (de l'œuf à l'adulte) est donc trois fois plus long à 15°C qu'à 30°C (Kumm, Moritz 2010). Les femelles adultes, vivent plus longtemps que les mâles et ont une durée de vie plus longue aux températures basses qu'aux températures hautes. (Ebener 1989; Cloyd 2009).

Le sex-ratio du thrips varie en fonction de différents paramètres biotiques et abiotiques tels que la température, l'humidité relative, la photopériode et le stade phénologique de la plante. Ils influencent son développement, l'augmentation de la population et même les caractéristiques morphologiques et biologiques (Elimem et al. 2018). Kumm et Moritz (2010) montrent l'influence de la température sur le sex-ratio : aux saisons fraîches, lorsque la densité de population est faible, les femelles pondent plus de mâles. En saison chaude, quand la population augmente, les femelles *F. occidentalis* pondent plus de femelles (Elimem et al. 2018; Kumm, Moritz 2010). Le même scénario est retrouvé sur *T. tabaci* (Kumm, Moritz 2010).



Figure 8 : Photographie de *F. occidentalis* adulte [6]

## 2. Le thrips californien (*Frankliniella occidentalis*)

Jusqu'en 1960 environ, la répartition du thrips californien (*Frankliniella occidentalis* (Pergande)) était limitée à l'Ouest de l'Amérique du Nord (Kirk, Terry 2003). Sa dissémination dans le monde est due à une augmentation massive des échanges internationaux de produits horticoles (bouture, semis, plantes en pot) transportant accidentellement de nombreux insectes entre les continents à la fin des années 1970 (Park, Lee 2020). La propagation des insectes par le commerce n'est pas nouvelle. Cependant, de nos jours, les voyages sont plus rapides ce qui augmente la probabilité que les insectes survivent et les différences climatiques entre les pays ont peu d'effets lorsque les déplacements se font entre serres. De plus, le thrips est phytophage, de petite taille, à un mode de vie cryptique, un taux intrinsèque d'accroissement naturel élevé et réalise de la parthénogenèse et de l'haplodiploïdie. Tous ces facteurs font qu'il est difficile de totalement l'éradiquer (Kirk, Terry 2003). Le thrips californien est devenu l'un des ravageurs agricoles les plus importants sur le plan économique dans le monde, car il s'attaque à un large éventail de cultures maraîchères et horticoles (He et al. 2020).

Il s'agit de l'espèce de thrips principale ravageur du poivron. Cependant, le poivron peut également être attaqué par d'autres espèces tel que *T. tabaci*, *T. palmi* ou encore *F. schultzei* (Funderburk et al. 2009 ; Bosco, Giacometto, Tavella 2008 ; Mound, Marullo 2002).

### a) La morphologie de *F. occidentalis*

Les adultes mesurent 1,2 mm pour les femelles et 0,9 pour les mâles. Le mâle a un abdomen étroit à l'extrémité arrondie et jaune pâle, presque blanc. La femelle a un abdomen plus arrondi avec une pointe à l'extrémité et sa couleur est variable (Berger 2005) (figures 8). On distingue 3 couleurs différentes chez les femelles : jaune pâle, intermédiaire et sombre dont la fréquence varie en fonction de la saison. La forme foncée prédomine pendant l'hiver et le printemps, la forme pâle quant à elle apparaît au début de l'été. La forme intermédiaire reste au même niveau pendant toute l'année (Elimem, Harbi, Chermiti 2011).

Le genre *Frankliniella* se distingue des autres genres de thrips par les caractéristiques suivantes : la nervure principale des ailes antérieures porte des soies régulièrement espacées de la base à l'extrémité (de 14 à 19 chez *F. occidentalis*) ; la bordure antérieure du prothorax porte une paire de soies visiblement plus longues que les autres ; les antennes ont 8 segments (Berger 2005) (Annexe II).

### b) Cycle biologique de *F. occidentalis*

Le thrips californien a un mode de reproduction arrhénotoque, c'est-à-dire que la parthénogenèse engendre exclusivement des mâles. Les mâles haploïdes sont issus d'œufs non fécondés et les femelles, diploïdes, d'œufs fécondés (haplodiploïdie) (Ding et al. 2018).

Si la reproduction est sexuelle, elle donne 4 fois plus de femelles que de mâles (Ebener 1989).

*Frankliniella occidentalis* réalise 12 à 15 générations par an (Wera et al. 2021). Selon les températures, le cycle de *F. occidentalis* varie de 12 ou 30 jours environ.



Figure 9 : Dégâts de *Frankliniella occidentalis* sur feuille de poivron (*Capsicum annuum L.*) [7]



Figure 10 : Symptômes causés par l'oviposition de *Frankliniella occidentalis* sur feuilles de poivrons [8]



Figure 11 : Infection par le TSWV, transmis par le thrips, montrant des tâches circulaires sur les feuilles et des lésions sur les fruits [9]



### 3. Le thrips du tabac (*Thrips tabaci*)

Avec environ 280 espèces décrites, le genre *Thrips* est de loin le plus important du sous-ordre Terebrantia. Il est présent sur tous les continents et dans des biotopes très divers (Bournier 2000). Le thrips de l'oignon, *T. tabaci* Lindeman, est cosmopolite et provient probablement d'Asie centrale (Morse, Hoddle 2006; Castañé, Riudavets, Yano 1999).

#### a) La morphologie de *T. tabaci*

Sa taille varie de 0,8 à 1,2 mm en moyenne, possédant deux paires d'ailes frangées lui permettant de se déplacer grâce aux vents dominants (Schwartz 2015). Comme pour *F. occidentalis*, il est jaune clair en été et plutôt brun en hiver (Roberto, Gonzales 1996; Bournier 2000). Il se distingue par des antennes à 7 segments et une bordure antérieure du prothorax dépourvu de soies (Roberto, Gonzales 1996) (Annexe III).

#### b) Cycle biologique de *T. tabaci*

Contrairement à *F. occidentalis*, *T. tabaci* se reproduit essentiellement par parthénogénèse thélytoque, c'est-à-dire que la parthénogénèse donne exclusivement des femelles (Koch 2015; Castañé, Riudavets, Yano 1999). Une reproduction sexuée a lieu dans des proportions assez faibles. La longévité des femelles *T. tabaci* est légèrement inférieure à *F. occidentalis* (Deligeorgi et al. 2005).

## C. Dégâts et moyen de protection contre le thrips

### 1. Les dégâts causés sur poivron

Le thrips se nourrit du contenu cellulaire et non de la sève (Hanafi, Lacham 2002). Pour cela, il commence par piquer à l'aide des stylets buccaux (Ebener 1989). Ceux-ci traversent l'épiderme et atteignent les premières cellules du parenchyme. L'insecte injecte alors sa salive, ce qui produit une lyse de la cellule puis grâce à sa pompe pharyngienne aspire le contenu cellulaire (Giraud 2019). Les larves comme les adultes sont équipées du même appareil buccal et s'alimentent sur la plante. Tous les stades actifs sont donc susceptibles de provoquer des dégâts sur les plantes. Ces insectes colonisent les milieux par le vent qui les transporte sur de longues distances. Les adultes peuvent se déplacer sur de très courtes distances par le vol (< 0,3 m/jour) (Reitz et al. 2020).

Les dommages provoqués par le thrips sont plutôt de l'ordre esthétique que sur la physiologie du plant (Zrubecz, Tóth 2008). Sur poivrons, si la densité de thrips est forte même sur une courte période, les dégâts peuvent être conséquents, surtout entre la troisième à la cinquième semaine avant la récolte, lorsque la croissance des fruits est rapide (Zrubecz, Tóth 2008). On retrouve des cicatrices sur les feuilles et des taches brunes sur les fleurs qui séchent et se perforent (figure 9). Les feuilles peuvent également être endommagées lorsque les femelles, à l'aide de leur ovipositeur pointu, insèrent leurs œufs dans les tissus végétaux (figure 10) (Cloyd 2009).



Le thrips n'effectue pas de diapause, par conséquent le développement se produit chaque fois que les températures dépassent un seuil minimal de 8 à 10°C (Reitz 2009; Jenser, Szénási 2004; Morse, Hoddle 2006). Les dommages occasionnés sont donc visibles quasiment toute l'année (Giraud 2019).

Le thrips est également source de dommages indirects en étant vecteur de tospovirus (Blancard 2009; Bosco, Tavella 2010). Seuls les thrips adultes qui ont acquis le virus au cours de leurs stades larvaires peuvent transmettre les tospovirus (Ullman et al. 2002; Moritz, Kumm, Mound 2004; Jones 2005; Whitfield, Ullman, German 2005). Il n'existe aucune méthode de contrôle des maladies à virus à l'heure actuelle, à l'exception de la résistance génétique et d'une lutte très agressive vis-à-vis des insectes vecteurs. Le TSWV (Tomato Spotted Wilt Virus) est le plus répandu des tospovirus. Il est répliatif et persistant, c'est-à-dire que le virus se réplique dans les tissus internes de l'insecte et que les thrips gardent le virus tout au long de leur vie (Funderburk et al. 2009). Chez le poivron il provoque une chlorose, un jaunissement et un brunissement soudains ainsi que des anneaux chlorotiques sur les feuilles. Les fruits présentent des tâches et des stries chlorotiques ou nécrotiques avec des motifs en mosaïque et en anneaux concentriques (figure 11) (Kenyon et al. 2014). L'INSV (Impatiens Necrotic Sport Virus) est le deuxième des tospovirus à avoir été identifié mais reste moins présent que le TSWV sur la culture (Giraud 2019; Kenyon et al. 2014). D'autres virus sont nuisibles sur le poivron comme le GRSV (Groundnut ringspot virus) ou encore le TCSV (Tomato chlorotic spot virus).

La densité de thrips adultes tolérable par fleur de poivron varie selon les sources : certains articles fixent le seuil critique à plus de trois individus par fleur, tandis que d'autres le situent au-delà de six. Dans tous les cas, dépasser ces seuils entraîne des dommages économiques significatifs pour les cultures de poivrons (Shipp et al. 1998; Funderburk et al. 2009). Les dégâts déprécient fortement la valeur commerciale des fruits pouvant provoquer dans des cas extrêmes des chutes de rendement jusqu'à 30% de la production (Hanafi, Lacham 2002).

## 2. Les moyens de protection contre le thrips

### a) *Monitoring*

La surveillance du thrips est basée sur l'observation régulière des adultes sur les fleurs et les fruits et/ou sur l'utilisation de pièges englués chromatiques (Mouden et al. 2017). Le piégeage est utile pour surveiller la présence d'adultes, en particulier à de faibles niveaux d'infestation. Les conclusions des nombreuses études comportementales sur la fonction de la vision des couleurs chez les thrips sont difficiles à interpréter en raison de la diversité de leurs méthodologies et de leurs résultats (Lopez-Reyes et al. 2022). De plus, au-delà de la composition de la longueur d'onde, l'intensité est également une conséquence sur la réponse des thrips à la lumière (Lopez-Reyes et al. 2022). D'après Stukenberg et al. (2020), le bleu et le vert ont été identifiés comme deux gammes attrayantes distinctes. La présence d'un photorécepteur sensible aux UV a également pu être confirmée.

A l'heure actuelle, le piégeage avec les plaques engluées bleues a montré une meilleure efficacité et reste la méthode de monitoring la plus répandue en cultures maraîchères (Röth 2016). Cette méthode de surveillance peut être améliorée par l'ajout de substances sémiochimiques augmentant le piégeage des thrips (Reitz et al. 2020).

Tableau 5 : Substances actives autorisées contre le thrips sur poivrons [11] [12]

<b>Substance active</b>	<b>Nom</b>	<b>Spécificité</b>
<b>Spinosad</b>	CAZSUORI, OSADIA, ROADSTER, SUCCESS 4	Utilisable en agriculture biologique (AB)
<b>Deltaméthrine</b>	DECIS PROTECH, PEARL PROTECH, SPLIT PROTECH	
<b>Spinetoram</b>	EXALT	
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i> souche FE 9901	FB FE9901 OD	Biocontrôle + AB
<i>Metarhizium anisopliae</i> var. <i>anisopliae</i> strain F52	LALGUARD M52 OD	AB
<b>Huile essentielle d'orange</b>	LIMOCIDE J	Biocontrôle
<i>Beauveria bassiana</i> strains ATCC 74040 and GHA	NATURALIS	Biocontrôle + AB
<b>Mélange de terpène (QRD 460)</b>	REQUIEM PRIME	Biocontrôle
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i> strain Fe9901	SUMIFLY	Biocontrôle + AB
<i>Beauveria bassiana</i> PPRI5339	VELIFER	Biocontrôle + AB

## *b) La lutte chimique*

La dépendance aux insecticides est forte, en particulier sur les plantes ornementales où la tolérance aux dommages est nulle (Mouden et al. 2017), mais elle n'est cependant pas la méthode la plus efficace et peu de substances sont autorisées (tableau 5). Tout d'abord, les adultes et les larves se rassemblent dans les fleurs ou dans d'autres zones abritées des plantes, comme les nervures du feuillage ou les boutons floraux en développement. Cette préférence pour résider dans des espaces étroitement clos et dissimulés est appelée comportement thigmotactique. Ce comportement limite fortement l'exposition directe du thrips aux applications d'insecticides (Reitz 2009). De plus, le thrips a un taux de croissance rapide (fécondité importante et cycle de développement court) avec sans cesse de nouveaux individus. Il est donc impossible de contrôler les populations même avec des applications répétées d'insecticides (Reitz 2009).

Le manque d'efficacité des insecticides est également dû au développement de nombreuses résistances, lié premièrement à sa polyphagie. En effet, le thrips est soit en contact avec différentes familles chimiques d'insecticides sur différentes cultures (Reitz 2009), sélectionnant ainsi les individus résistants, soit trouve refuge sur différentes plantes hôtes lui permettant d'échapper aux applications (Kliot et al. 2016). Deuxièmement, l'haploïdie des mâles favorise les allèles de résistance qui se fixent beaucoup plus rapidement que pour les individus diploïdes (Reitz 2009). Ces allèles persistent dans les générations. Troisièmement, les femelles peuvent vivre longtemps, de sorte que les générations se chevauchent. Cela permet aux femelles résistantes de s'accoupler avec leur progéniture résistante également, renforçant ainsi la sélection d'allèles résistants dans la population (Gao, Lei, Reitz 2012). Enfin le thrips a développé de nombreuses voies de détoxification pour faire face aux différents modes d'action des insecticides chimiques (Gao, Lei, Reitz 2012).

La base de données sur la résistance des arthropodes aux pesticides de l'Université d'État du Michigan [10] répertorie au moins 183 cas documentés de résistance aux insecticides chez les populations de thrips californiens du monde entier. Ces cas de résistance concernent des insecticides appartenant à au moins quinze des classes chimiques actuellement reconnues par l'Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) (Annexe IV).

## *c) L'utilisation de plants résistants*

La Résistance de la Plante Hôte (RPH) comprend des variétés qui entravent la préférence, la reproduction, l'alimentation et/ou la transmission d'agents pathogènes transmis par les insectes (Mouden, Leiss 2021). Elle peut se focaliser sur les défenses constitutives comme la modification des traits morphologiques : des cuticules cireuses ou des trichomes mais cet axe est peu efficace sur le thrips. On se base donc sur les résistances chimiques impliquant la production de métabolites secondaires par la plante (Mouden et al. 2017). Cependant, peu d'études sont disponibles sur la résistance chimique des plantes hôtes au thrips.

La RPH s'exprime aussi vis-à-vis du pathogène directement et notamment des virus, avec différents mécanismes biologiques impliqués. Cependant, les virus sont capables de contourner ces résistances et leur durabilité au champ est très variable.



Figure 13 : *Amblyseius swirskii* [15]



Figure 12 : *Orius laevigatus*  
prédatant *Frankliniella occidentalis*  
(Messelink et al. 2020)



Figure 14 : *Ceranisus menes*  
(Coleman, Wood 2016)



Figure 15 : *Macrocheles*  
*robustulus* [16]

Par exemple, le gène Tsw utilisé pour protéger les cultures de poivrons contre le TSWV illustre bien le schéma caractéristique des gènes de résistance, connu sous le nom « boom and bust ». Les cultivars résistants sont d'abord déployés à grande échelle (la phase « boom ») puis s'ensuit l'apparition de rupture de résistance (la phase « bust »). Les premières ruptures de la résistance Tsw ont été observées seulement un an après leur introduction initiale en 1999 en Italie et en Espagne (Tentchev et al. 2011; Namesny 2006). Il existe donc peu voir aucun cultivar commercial de poivrons résistant au TSWV (Pernezny et al. 2005). Les recherches se poursuivent afin de trouver des plants avec un niveau de résistance plus élevé et plus stable (Namesny 2006). Aujourd'hui, de nombreuses variétés commerciales de poivron (lignées F1) présentent une résistance intermédiaire au TSWV mais pas de résistance haute. Les principales résistances hautes introgressées en culture de poivron concernent les Tobamovirus (Tm) et le virus Y de la pomme de terre (PVY) [13] [14].

#### d) *La lutte biologique*

- Lutte biologique par inondation/lutte biologique augmentative

La lutte biologique augmentative utilise des ennemis naturels (parasitoïdes, prédateurs, nématodes) et des agents de lutte microbien (bactéries entomopathogènes, virus et champignons) élevés en masse pour être disséminés en grand nombre dans les cultures. Le but est d'« augmenter » les populations d'auxiliaires ou d'« inonder » les populations de ravageurs avec ces auxiliaires pour assurer le contrôle du bioagresseur.

Les principaux ennemis naturels connus à l'heure actuelle pour la gestion du thrips en culture sont les suivants :

- Les punaises anthocorides du genre *Orius* (figure 12) (Reitz et al. 2020), qu'il est très intéressant de mettre en combinaison avec les acariens prédateurs du genre *Amblyseius* pour une meilleure efficacité (figure 13) (Farkas et al. 2016).
- Les nématodes entomopathogènes du genre *Thripinema* sont des parasites obligatoires qui stérilisent les thrips. Le parasitisme de *Thripinema* réduit l'alimentation et la capacité de transmettre les tospovirus (Reitz et al. 2020).
- Les parasitoïdes, *Ceraninus menes* et *C. americensis* sont utilisés contre le thrips (figure 14) (Loomans 2006). Ces guêpes pondent dans les larves du premier stade, entraînant la mort au stade prénympheal. Cependant, la lenteur du temps de développement des guêpes est problématique (Mouden et al. 2017).
- Les champignons entomopathogènes tels que *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* et *Lecanicillium lecanii* infectent les thrips en pénétrant dans leur cuticule pour obtenir des nutriments nécessaires à leur croissance et à leur reproduction (Zhang et al. 2015; Skinner et al. 2012). En général, les thrips adultes sont plus sensibles que les stades larvaires et nymphaux.
- Les acariens prédateurs vivant dans le sol comme *Macrocheles robustulus* (figure 15) (Messelink, van Holstein-Saj 2008), *Stratiolaelaps scimitus* et *Gaeolaelaps aculeifer* ainsi que le coléoptère *Dalotia coriaria*. Ces prédateurs s'attaquent à *F. occidentalis* lors de sa phase de nymphose dans le sol et se sont avérés efficaces (Mouden et al. 2017).

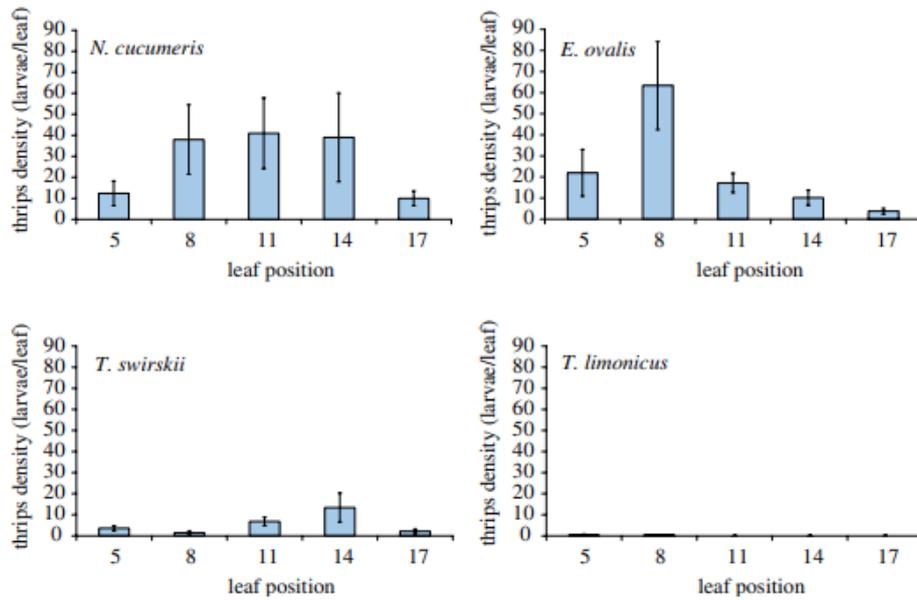


Figure 56 : Distribution des thrips (moyennes  $\pm$  se) dans les plants de concombre. À la fin de l'expérience, la quantité de thrips sur une feuille pour chacune des 5 hauteurs (5, 8, 11, 14 et 17) est analysée. *Typhlodromips swirskii* (= *Amblyseius swirskii*), a montré une efficacité significativement plus élevée que *N. cucumeris* et *E. ovalis* (Messelink, Van Steenpaal, Ramakers 2006)

- Cas de *Amblyseius swirskii*

*Amblyseius swirskii* est un acarien prédateur généraliste s'attaquant principalement aux thrips et aux aleurodes. Messelink et al. (2006), ont montré une performance relativement bonne sur *F. occidentalis* principalement (figure 16). Cependant, les thrips, contrairement aux pollens ou aux aleurodes, ont une faible valeur nutritive et un comportement défensif /agressif (Wimmer, Hoffmann, Schausberger 2008; Buitenhuis et al. 2015) ce qui engendre plus de mortalité chez l'acarien prédateur, un faible taux de ponte (1 œufs par femelle par jour) et un développement long (Wimmer, Hoffmann, Schausberger 2008). L'accroissement des populations de *A. swirskii* est donc compliqué. *Amblyseius swirskii* s'attaque principalement aux larves de premier et parfois de second stade (Parrella, Lewis 2017). Les femelles sont également plus agressives (Wimmer, Hoffmann, Schausberger 2008).

Néanmoins *A. swirskii* s'adapte mieux aux conditions sous serre et aux climats chauds que d'autres prédateurs (*N. cucumeris* par exemple). Les températures optimales de développement se trouvent entre 25 et 28°C et l'humidité relative doit être d'environ 70% (Biobest 2012; Goleva, Zebitz 2013).

Outre le fait de réaliser des lâchers fréquents pour garder une pression constante du prédateur, de la nourriture complémentaire peut être apportée pour combler le déficit alimentaire d'*A. swirskii* (Buitenhuis et al. 2015). Le pollen fournit des nutriments, comme le sucre, qui sont pauvres dans les proies, ce qui permet au prédateur d'être plus performant (Goleva, Zebitz 2013). Les pollens de nombreuses plantes se sont montrés efficaces sur *A. swirskii* comme *Aesculus hippocastanum*, *Crocus vernus*, *Echinocereus sp*, *Paulownia tomentosa*, *Ricinus communis*, *Zea mays* ou encore *Typha latifolia* (Goleva, Zebitz 2013; Park et al. 2011). Il existe tout de même un risque que le pollen soit également bénéfique pour le thrips. Des études ont montré l'efficacité d'autres sources de nourriture non liées aux plantes comme des cystes d'Artémie (Vangansbeke et al. 2016), des proies factices telles que les acariens astigmatés *Suidasia medanensis* et *Carpoglyphus lactis* (Buitenhuis et al. 2015). Ces compléments sont intéressants pour *A. swirskii* et ont peu d'impact sur le thrips.

Contrairement à d'autres cultures, le poivron fournit une quantité importante de pollen permettant au prédateur de persister et de bien se développer (Buitenhuis et al. 2015). Il peut rester dans la culture de la première introduction jusqu'à la fin de la saison de culture sans réintroduction (Delisle, Shipp, Brodeur 2015). La quantité de prédateurs introduits doit être d'environ 20 individus/m<sup>2</sup> pour du préventif, 50 individus/m<sup>2</sup> pour du curatif léger et 100 individus/m<sup>2</sup> pour du curatif lourd (Biobest 2012).



### e) *Les méthodes alternatives*

Il existe d'autres méthodes pour lutter contre le thrips. L'utilisation de kaolin (argile) par exemple, crée une barrière physique, empêchant ainsi les insectes piqueurs-suceurs d'atteindre les tissus végétaux (Roy et al. 2016). L'utilisation de filet insecte proof est une seconde méthode envisagée permettant de réduire l'usage de produits phytosanitaires, cependant les mailles des filets ne sont souvent pas assez fines et les thrips peuvent passer à travers (Roy et al. 2016; Koch 2015). Les mailles très fines anti-thrips posent des problèmes de ventilation dans les serres ce qui peut conduire à une perturbation du climat sous l'abri et engendrer des désordres physiologiques dans la culture ou favoriser le développement de certains pathogènes.

Le développement de mesures alternatives inclut des stratégies de biocontrôle basées sur l'utilisation d'huile essentielle (HE), constituées de molécules sémiochimiques (attractives et répulsives). La recherche de tels composés biaisant le paysage olfactif des adultes afin qu'ils trouvent un autre site de ponte ou d'alimentation, est d'un grand intérêt (Outchkourov et al., 2004). Ainsi, ces molécules sont utilisées dans diverses stratégies de contrôle dans le programme de lutte intégrée comprenant le monitoring, l'« attract and kill », le « push-pull » ou encore la confusion sexuelle (Abd El-Ghany, 2019). Ces molécules ont connu un vrai succès dans le contrôle de certains ravageurs (Witzgall et al., 2010 ; Soroker et al., 2015 ; ElShafie et Faleiro, 2017). Cependant, aujourd'hui, les études sur l'application de telles substances dans la lutte contre le thrips restent peu nombreuses.

## **D.L'utilisation de molécules chimiques dans la lutte contre le thrips**

### 1. Les médiateurs chimiques

Les signaux chimiques représentent la forme de communication la plus ancienne dans la biosphère. La majorité des organismes, dont les insectes, dépendent de ces signaux pour réguler leur comportement. Ces signaux, appelés médiateurs chimiques ou substances sémiochimiques sont vitaux pour la survie des ravageurs, notamment pour la localisation de l'habitat, de la nourriture ou des partenaires (Soroker, Harari, Faleiro 2015). La sémiochimie est devenue une catégorie importante de la lutte intégrée (Integrated Pest Management) et est développée depuis plus de 100 ans (Soroker, Harari, Faleiro 2015; Kirk et al. 2021).

#### a) *Définitions*

Les substances sémiochimiques sont des molécules informatives présentes dans l'environnement, utilisées dans les interactions plantes-insectes ou insectes-insectes (Abd El-Ghany 2023). Elles sont classées en plusieurs catégories selon le type de signal qu'elles expriment et la relation entre le récepteur et l'émetteur. On trouve :

- Les phéromones qui correspondent à la communication intraspécifique (entre la même espèce). Elles jouent un rôle sur le comportement de l'insecte et sont classées en huit types comme les phéromones d'agrégation, d'alarme ou encore sexuelle.
- Les substances allélochimiques qui correspondent à la communication interspécifique (entre les différentes espèces). On trouve les allomones, les kairomones ou encore les synomones.

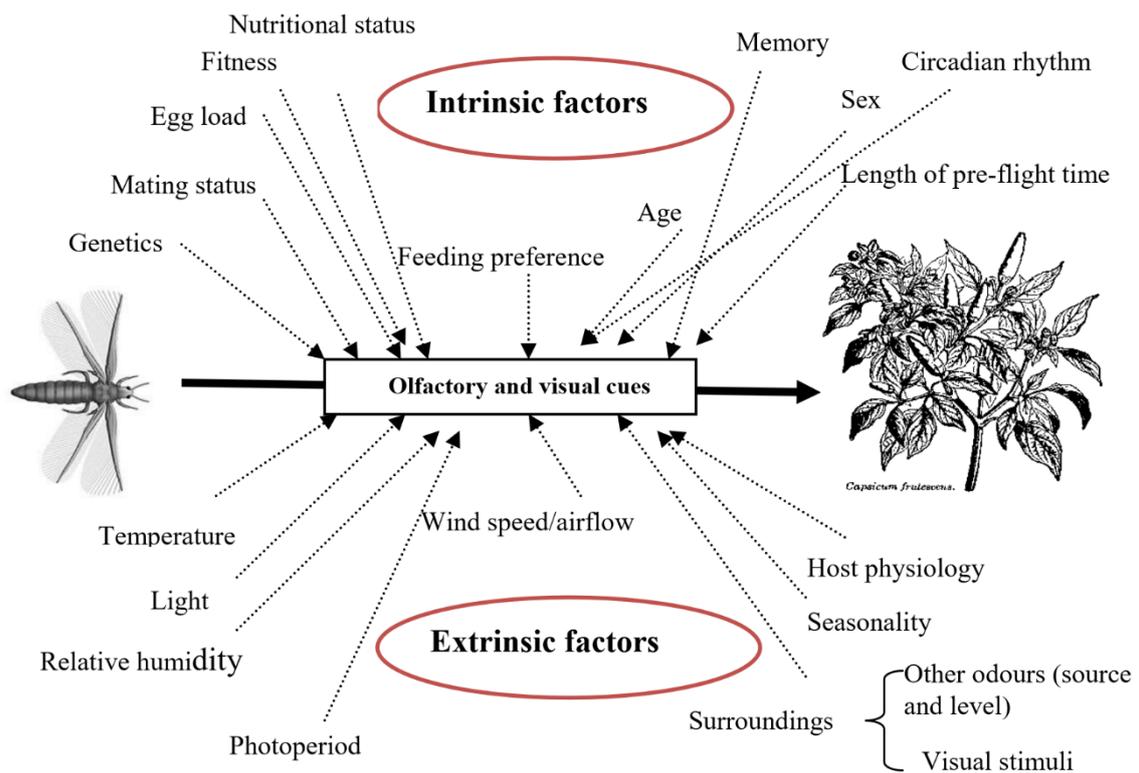


Figure 67 : Facteurs intrinsèques et extrinsèques susceptibles d'influencer l'utilisation par les thrips d'indices olfactifs et visuels pour localiser des plantes hôtes potentielles (Nielsen 2013)

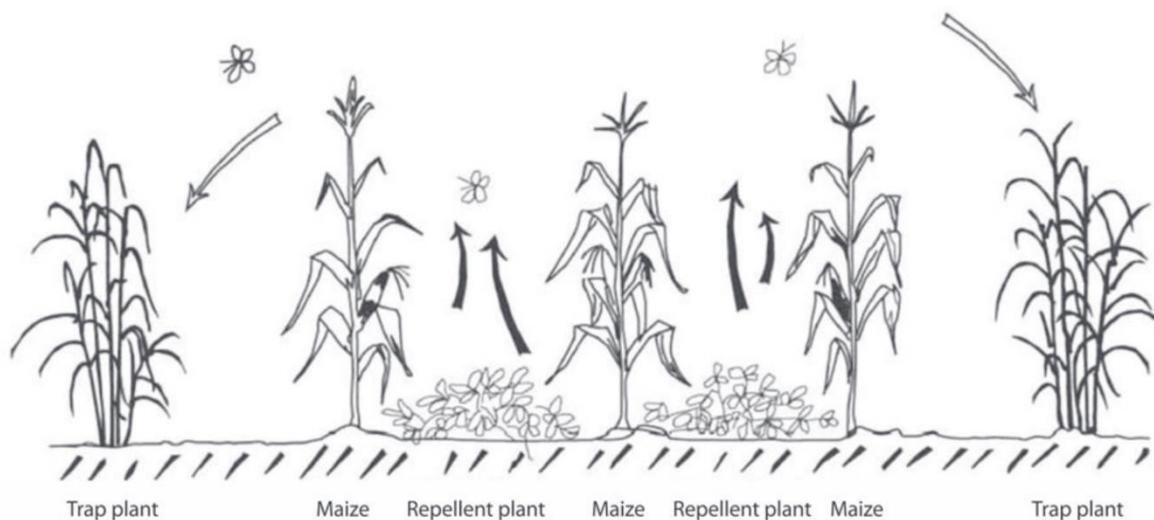


Figure 7 : Stratégie push-pull contre les foreurs des céréales (Abd El-Ghany 2023)

## b) *Interactions plante-insecte*

Les kairomones émises par les plantes sont utilisées par les insectes dans le but de sélectionner les plantes hôtes attractives (stimuli d'alimentation et de ponte). Les thrips localisent leurs hôtes grâce à des récepteurs périphériques selon la couleur, la forme, la taille et les substances volatiles émises (Nielsen 2013). L'olfaction est une voie très exploitée par la recherche car considérée comme le trait le plus important chez les insectes, cependant, certaines espèces de thrips privilégient la couleur dans leur orientation (Nielsen 2013). Les thrips polyphages sont le plus souvent attirés par les couleurs jaunes, blanches et bleues. La couleur du feuillage constitue également un stimulus potentiel pour localiser la plante hôte. Malgré la couleur verte commune à toutes les plantes, l'intensité de la lumière réfléchiée par le feuillage, ainsi que la teinte varient d'une espèce à l'autre (Legrand 2023).

Le comportement de recherche d'une plante hôte diffère par le type de déplacement du thrips : en marchant ou en volant (Legrand 2023). Un thrips au sol se dirige essentiellement par chimiotaxie, tandis qu'en vol, il se fie à divers indices de la plante tels que la couleur, l'odeur et la forme (Kirk et al. 2021). La réponse des thrips à ces stimuli est influencée par des facteurs intrinsèques, comme son âge, son état nutritionnel, sa préférence alimentaire ; ainsi que par des facteurs extrinsèques, comme la température du milieu, la vitesse du vent et les éventuels mélanges avec d'autres odeurs environnantes (figure 17) (Nielsen 2013).

## 2. La méthode push-pull

La stratégie « push-pull » (également nommée « détournement stimulo-dissuasif ») utilise des techniques sémiouchimiques pour éloigner les ravageurs des cultures et les attirer sur des pièges (Abd El-Ghany 2023; Sampson, Griffiths, Hassan 2020). Grâce à l'utilisation de stimuli répulsifs, les insectes ravageurs sont repoussés loin de la culture principale (push) et sont attirés (pull) par des stimuli attractifs dans les zones adjacentes où ils sont collectés, contrôlés puis détruits la majorité du temps (Abd El-Ghany 2023; Reddy 2016). Les premières études ont montré que les stratégies push-pull sont utiles aux programmes de lutte intégrée contre les ravageurs (IPM) en augmentant les ennemis naturels et en réduisant le nombre de ravageurs de 39 à 95 % (Sampson, Griffiths, Hassan 2020). La figure 18 illustre la stratégie push-pull pour la lutte contre les foreurs de tiges de céréales.

### a) *Les molécules attractives*

Les composés sémiouchimiques libérés par les plantes, comme les kairomones ou les synomones peuvent être de puissants attractifs d'insectes. Ils ont également l'avantage de piéger plusieurs espèces de thrips ainsi que les deux sexes (Kirk et al. 2021). L'isonicotinate de méthyle (IM) est probablement la substance sémiouchimique la plus étudiée. Il permet l'augmentation de la capture d'au moins 12 espèces de thrips (Kirk et al. 2021; Teulon, Davidson, Nielsen 2014). L'IM remplit toutes les caractéristiques nécessaires à l'efficacité d'un leurre contre les thrips : faible toxicité pour l'homme, volatile, stable dans le temps, peu coûteux et efficace (Kirk et al. 2021).

Lors de l'attraction olfactive, la concentration semble jouer un rôle crucial : le p-anysaldéhyde est un attractif bien connu de *F. occidentalis* mais seulement à faible concentration (Koschier 2008).

Tableau 6 : Synthèse des composés sémiocchimiques affectant *Frankliniella occidentalis* (Kirk et al. 2021)

NATURE DU SIGNAL CHIMIQUE		MOLECULES SEMIOCHIMIQUES		
Composés organiques volatils produits par les thrips (7 COVs)	Phéromone d'alarme	▪ decyl acetate	▪ dodecyl acetate	
	Phéromone d'agrégation	▪ neryl (S)-2-methylbutanoate	▪ (R)-lavandulyl acetate	
	Phéromone de contact	▪ 7-methyltricosane	▪ 7-methylpentacosane	▪ 9-methylpentacosane
Composés organiques volatils attractifs de thrips (34 COVs augmentant la capture au champ des thrips)		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ o-anisaldehyde</li> <li>▪ p-anisaldehyde</li> <li>▪ benzaldehyde alicylaldehyde</li> <li>▪ eugenol</li> <li>▪ 3-phenylpropionaldehyde</li> <li>▪ (+)-citronellol</li> <li>▪ 1,8-cineole</li> <li>▪ geraniol</li> <li>▪ linalool</li> <li>▪ linalool oxide pyran</li> <li>▪ nerol</li> <li>▪ (E)-β-farnesene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ethyl isonicotinate</li> <li>▪ carboxylate</li> <li>▪ 4-(2-hydroxyethyl) pyridine</li> <li>▪ ethyl nicotinate</li> <li>▪ methyl isonicotinate</li> <li>▪ isopropyl isonicotinate</li> <li>▪ di-isopropyl isonicotinamide</li> <li>▪ n-propyl isonicotinate</li> <li>▪ ethyl 4-pyridyl ketone</li> <li>▪ methyl 4-pyridyl ketone</li> <li>▪ ethyl picolinate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ethyl 2-chloropyridine</li> <li>▪ 4-formyl pyridine</li> <li>▪ δ-decalactone</li> <li>▪ γ-decalactone</li> <li>▪ (S)-(-)-verbenone</li> <li>▪ (±)-theaspirane</li> <li>▪ Nonanal</li> <li>▪ (Z)-3-hexenyl-acetate</li> <li>▪ (-)-(E)-caryophyllene</li> <li>▪ β-caryophyllene</li> <li>▪ 2-phenylethyl acetate</li> <li>▪ caryophyllene oxide</li> </ul>
	Substances sémiocchimiques répulsives/dissuasives de thrips produites par les plantes (57 plantes sources ou métabolites secondaires de plantes)		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aconitum soongaricum (root extract)</li> <li>▪ Acorus calamus (essential oil)</li> <li>▪ Ailanthus altissima (leaf extract)</li> <li>▪ Allium sativum (whole plants)</li> <li>▪ Anabasis aphylla (seed or twig extract)</li> <li>▪ Anaphalis roseo-alba (aerial plant part extract)</li> <li>▪ Anthochlamys tjanschanica (aerial plant part extract)</li> <li>▪ Apium graveolens (whole plants)</li> <li>▪ Filipendula ulmaria (extract fraction)</li> <li>▪ Gaultheria procumbens (essential oil)</li> <li>▪ Juniperus virginiana (essential oil)</li> <li>▪ Lavandula angustifolia (essential oil)</li> <li>▪ Litsea cubeba (essential oil)</li> <li>▪ Melissa officinalis (essential oil)</li> <li>▪ Mentha pulegium (essential oil)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mentha spicata (essential oil)</li> <li>▪ Mentha x piperita (essential oil)</li> <li>▪ Nepeta cataria (essential oil)</li> <li>▪ Nepeta tenuifolia (volatiles from vegetative and flowering plants)</li> <li>▪ Ocimum basilicum (volatiles from vegetative and flowering plants; essential oil)</li> <li>▪ Origanum compactum (essential oil)</li> <li>▪ Origanum vulgare (essential oil)</li> <li>▪ Pelargonium graveolens (essential oil)</li> <li>▪ Prangos lipskyi (aerial plant part extract)</li> <li>▪ Rosa spp. (flower heads)</li> <li>▪ Satureja montana (essential oil)</li> <li>▪ Tanacetum cinerariifolium (oil extract flowers)</li> <li>▪ Thymus serpyllum (essential oil)</li> <li>▪ Thymus vulgaris (essential oil)</li> <li>▪ Ungernia sewertzowii (root extract)</li> <li>▪ Vinca erecta (aerial plant part extract)</li> </ul>

Le tableau 6 fournit une liste complète des composés qui ont été rapportés pour attirer *F. occidentalis* lors d'essais en laboratoire ou pour augmenter la capture des pièges à thrips sur le terrain (Legrand 2023).

### b) Les molécules répulsives

Contrairement à la large gamme d'attractifs, seuls quelques répulsifs ont été identifiés. Certaines analyses en laboratoire ont montré l'effet répulsif du salicylaldéhyde et le salicylate de méthyle (Koschier, De Kogel, Visser 2000; Chermenskaya et al. 2001). Les substances volatiles du romarin (*Rosmarinus officinalis*) et de l'ail (*Allium sativum* L.) se sont révélées répulsives sur le thrips (Li et al. 2021). Concernant les huiles essentielles, jonc odorant (*Acorus calamus* L.), genévrier (*Juniperus virginiana* L.) et mélisse (*Melissa officinalis*) ont un effet répulsif sur les larves de *F. occidentalis* (Li et al. 2021). Les huiles essentielles de genévrier (*J. virginiana*), de menthe (*Mentha spicata*), de cataire (*Nepeta cataria*) et de litsée (*Litsea cubeba*) ont repoussé les femelles des thrips à de fortes concentrations (Stepanycheva et al. 2018). D'après Picard et al. (2012), le thym (*Thymus vulagris* L.) et la sariette (*Satureja montana* L.) sont également des huiles essentielles répulsives. Pour ce qui est de *T. tabaci*, l'origan (*Origanum majorana* L.) et le romarin (*R. officinalis*) sont des répulsifs prometteurs. De plus, les huiles essentielles de plantes appartenant à la famille des Lamiacées (Labiatae) ont affecté la survie, l'alimentation et le comportement de ponte de *T. tabaci* (Li et al. 2021).

## 3. Avantage et biais

Les produits sémiochimiques utilisés dans les stratégies de lutte intégrée offrent de multiples avantages, notamment pour leur haute volatilité favorisant une dispersion sur de longues distances, une utilisation à des concentrations faibles, et une dissipation rapide qui diminue les risques pour la santé et l'environnement comparativement aux pesticides chimiques (Abd El-Ghany 2023). Teulon et al. (2007), ont montré l'efficacité des phéromones. Lorsque des pièges appâtés (avec phéromones) et non appâtés étaient placés à plus de 20 m les uns des autres, dans de grandes serres et/ou avec des densités relativement faibles de pièges appâtés, plus de thrips ont été capturés dans des pièges appâtés que dans des pièges non appâtés (entre 4 et 10 fois plus).

L'efficacité des produits sémiochimiques repose principalement sur leurs propriétés physiques, telles que leur structure moléculaire, leur volatilité, leur solubilité et leur persistance dans l'environnement. La température, par exemple, joue un rôle crucial en influençant la stabilité, avec une augmentation de la diffusion des composés volatils qui entraîne une réduction de la durée de vie des molécules dans l'environnement (Abd El-Ghany 2023). La concentration est également un facteur non négligeable. Une augmentation de la dose équivaut généralement à une augmentation des taux de captures (Teulon, Davidson, Nielsen 2014; Kirk et al. 2021). Cependant, en libérant des quantités importantes, les produits peuvent devenir répulsifs à proximité immédiate du piège. Par conséquent, les taux de libération doivent être optimisés pour améliorer les performances et l'efficacité des pièges à phéromones (Abd El-Ghany 2023). Les fortes odeurs dégagées par les plantes hôtes peuvent également concurrencer ou masquer l'effet des phéromones et donc diminuer l'efficacité du piège (Kirk et al. 2021)

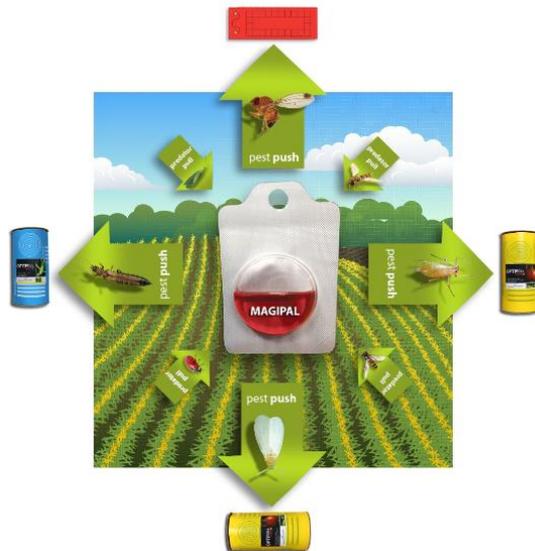


Figure 89: Schéma illustrant l'effet attractif/répulsif du MAGIPAL (Russell IPM 2021)

Tableau 7: Résumé d'essais "push-pull" dans différentes cultures (Sampson, Griffiths, Hassan 2020)

CROP	TRAPS & LURES (PULL)	MAGIPAL (PUSH-PULL)	PEST	NATURAL ENEMY	RESULTS
Strawberry	 Optroll super plus blue		 Thrips	 Predatory mites	95% reduction in thrips numbers
Strawberry	 Green-vane bucket trap		 Capsids	 lacewing	65% reduction in capsid damage
Blueberry	 Optroll super midge white		 Blueberry midge	 Hoverfly	65% reduction in blueberry midge larvae
Pear	 Impact board-yellow		 Pear sucker	 Ladybird	60% reduction in pear sucker nymphs
Cabbage	 Impact board-yellow		 Cabbage whitefly	 Parasitic wasp	39% reduction in cabbage whitefly
Tomato	 Tuta rot Black		 Tuta absoluta	 Macrolophus	Trials in progress
Palm	 Bucket trap and Phylure		 Red palm weevil	 Earwig	55% increase in trap catch of red palm weevil

## E. Intégration du stage

### 1. HEALTHI 1

Le projet HEALTHI 1 (Huile Essentielle comme Alternative à la Lutte contre le THrips) a eu lieu entre 2018 et 2020. L'objectif était de tester des huiles essentielles comme répulsifs sur le thrips par diffusion dans la serre. Les HE de thym à thymol et de gaulthérie ont montré des effets intéressants en impactant la reproduction et perturbant l'orientation du thrips. Mais différentes contraintes ont freiné l'avancée du projet, comme l'obtention d'une Autorisation de mise sur le marché (AMM), des problèmes de formulation de produit et enfin le fait que l'HE thym n'est pas vraiment compatible avec les auxiliaires, très utilisés en lutte biologique contre le thrips.

### 2. HEALTHI 2 : essai sur verveine et poivrons

#### a) *Objectif de l'essai*

Un nouveau projet appelé HEALTHI 2 a été lancé pour 2023-2025. L'objectif est de tester des COVs développés par AGRIODOR pour lutter contre le thrips. En attendant l'aboutissement des travaux de recherche d'AGRIODOR, une stratégie push-pull a été mise en place avec des produits commercialisés par la société Russel IPM, sur verveine et poivron. Ces essais permettront d'avoir un point de comparaison avec les composés développés par AGRIODOR.

#### b) *Les composés de Russel IPM*

Les produits commercialisés par Russel IPM contre le thrips sont THIRPNOK, composé principalement d'anisaldéhyde (56%) et de verbénone (39%), qui est la kairomone attractive et MAGIPAL, composé de méthyl-salicylate, la kairomone répulsive (Legrand 2023).

Les plantes réagissent aux attaques d'insectes en synthétisant des composés phénoliques (PC), qui leur offrent une certaine protection (Sampson, Griffiths, Hassan 2020). Les prédateurs utilisent les PC comme indice pour trouver des proies ou des hôtes ce qui entraîne une augmentation de la prédation et une diminution du nombre d'organismes nuisibles au niveau des sites attaqués (Sampson, Griffiths, Hassan 2020). Selon Russell IPM, MAGIPAL est spécialement formulé pour donner une libération uniforme des PC pendant une période de 2 à 3 mois en fonction de la température. MAGIPAL serait donc un attractif pour les prédateurs et les parasitoïdes et un répulsif pour les ravageurs permettant de réduire leur nombre de 40 à 80% lors d'essais sur le terrain (figure 19) [17]. Sampson, Griffiths, Hassan (2020), répertorie l'efficacité de MAGIPAL sur différentes cultures et ravageurs (tableau 7).

THRIPNOK, lui, se compose de deux parfums floraux attirants différentes espèces de thrips [18]. D'après Sampson et al. (2023), l'utilisation de THIRPNOK sur un piège multiplierait la capture des thrips par deux ou trois. Les produits attractifs et répulsifs sont associés à bandes engluées bleues qui constituent la composante « kill » de la stratégie permettant de piéger les thrips adultes.



Ces produits sont composés de verbénone, d'anisaldéhyde et de méthyl-salicylate. La verbénone appartient à la classe des terpénoïdes et est tirée de la verveine et du romarin (Legrand 2023). Ce composé organique mentionne des dangers : il est nocif en cas d'ingestion, provoque une irritation de la peau ainsi que des yeux et est nocif en cas d'inhalation [19]. Le méthyl-salicylate quant à lui est nocif en cas d'ingestion, peut provoquer une allergie cutanée, est susceptible de nuire à la fertilité du fœtus et enfin est nocif pour les organismes aquatiques (ANSES 2020) [20]. Il a été classé produit CMR de catégorie 2 en 2019 (Bernauer et al. 2023). Enfin, l'anisaldéhyde ne semble pas avoir d'effet phytotoxique sur la santé ou l'environnement [21] (LobaChemie 2022).

### c) *Résultats sur verveine et poursuite de l'essai*

Un premier essai a été mis en place sur verveine par Astredhor en 2023 et les résultats ont été concluants. Le nombre de thrips a été diminué de 70 à 90% en milieu confiné par l'utilisation de la stratégie push-pull. L'objectif est maintenant de répéter cet essai sur la culture de poivron, afin d'appuyer l'efficacité de la stratégie push-pull développée par Russel IPM, contre une large gamme de thrips, comme *F. occidentalis* et *T. tabaci*. Cet essai permettra également d'évaluer la combinaison entre la stratégie push-pull et la lutte biologique.

## II. Matériel et méthode

### A. Matériel Végétal

La variété de poivrons choisie est Palombo, variété  $\frac{3}{4}$  long avec des fruits d'environ 11 cm de long. Cette variété est tolérante au TmV (Tomato mosaic Virus), au CMV (Cucumber Mosaic Virus) et au TSWV (Tomato Spotted Wilt Virus). Les plantes sont cultivées en pot de 5L sur des tablards de subirrigation, avec 2 tablards de 45 plantes, dans chacun des 3 compartiments. La fertirrigation se fait par subirrigation avec 2 à 3 arrosages par jour, en fonction des besoins de la culture.

### B. Matériel Biologique

#### 1. Le thrips, ravageur cible

Le ravageur ciblé est le thrips, en particulier *F. occidentalis* et *T. tabaci*, où tous les stades sont nuisibles sur poivron. Le ravageur est élevé sur le site du CTIFL de Balandran sur des plants de poivrons, sous serre, sous filet insect-proof avec une température moyenne 24h de 25°C. La population fondatrice de *T. tabaci* a été collectée sur ail sur le centre de Balandran en 2024. La population de *F. occidentalis* a été fournie par ASTREDHOR. Les deux populations sont élevées en mélange. L'infestation artificielle est réalisée de façon homogène sur l'ensemble des parcelles de l'essai au stade de floraison BBCH 62 602, (+/- 7 jours). Trois plants de poivron infestés par le thrips sont disposés sur chaque tablard. Une moyenne du nombre de thrips par plante contaminatrice est mesurée en amont de la contamination afin d'en estimer le nombre introduit dans la culture. Pour la première introduction, on compte une cinquantaine de thrips par plant. Pour la seconde, on estime 40 individus par plant.

	Modification
<b>Modalité 1 : Push-pull (médiateurs chimiques + piégeage)</b>	M1 : PP
<b>Modalité 2 : Pull-pull + Acarien prédateur (lâcher d'<i>A. swirskii</i>)</b>	M2 : PP + AP
<b>Modalité 3 : Témoin non traité</b>	M3 : TNT

Tableau 9 : Produits Russel IPM utilisés dans les stratégies push pull de l'essai, caractéristiques et choix des quantités (Legrand 2023)

Produit	Fournisseur	Formulation	Durée de diffusion	Prix	Description	Dose d'usage
<b>MAGIPAL</b>	Russel IPM	Gel	2-3 mois	3€	Solution de tanins attractive d'auxiliaires et répulsive de thrips	100-120 diffuseurs/ha espacés de 10m
<b>Optiroll Blue</b>	Russel IPM	Bande supportant de la colle épaisse	-	40€	Bande de couleur bleue engluée attractive de thrips	30cm x 100m
<b>Thripnok</b>	Russel IPM	Tampon imbibé	2-3 mois	3,5€	Kairomones attractives de thrips combinant deux odeurs florales, verbenone (verveine) et anisaldehyde (chrysanthème)	120 diffuseurs/ha espacés de 10m

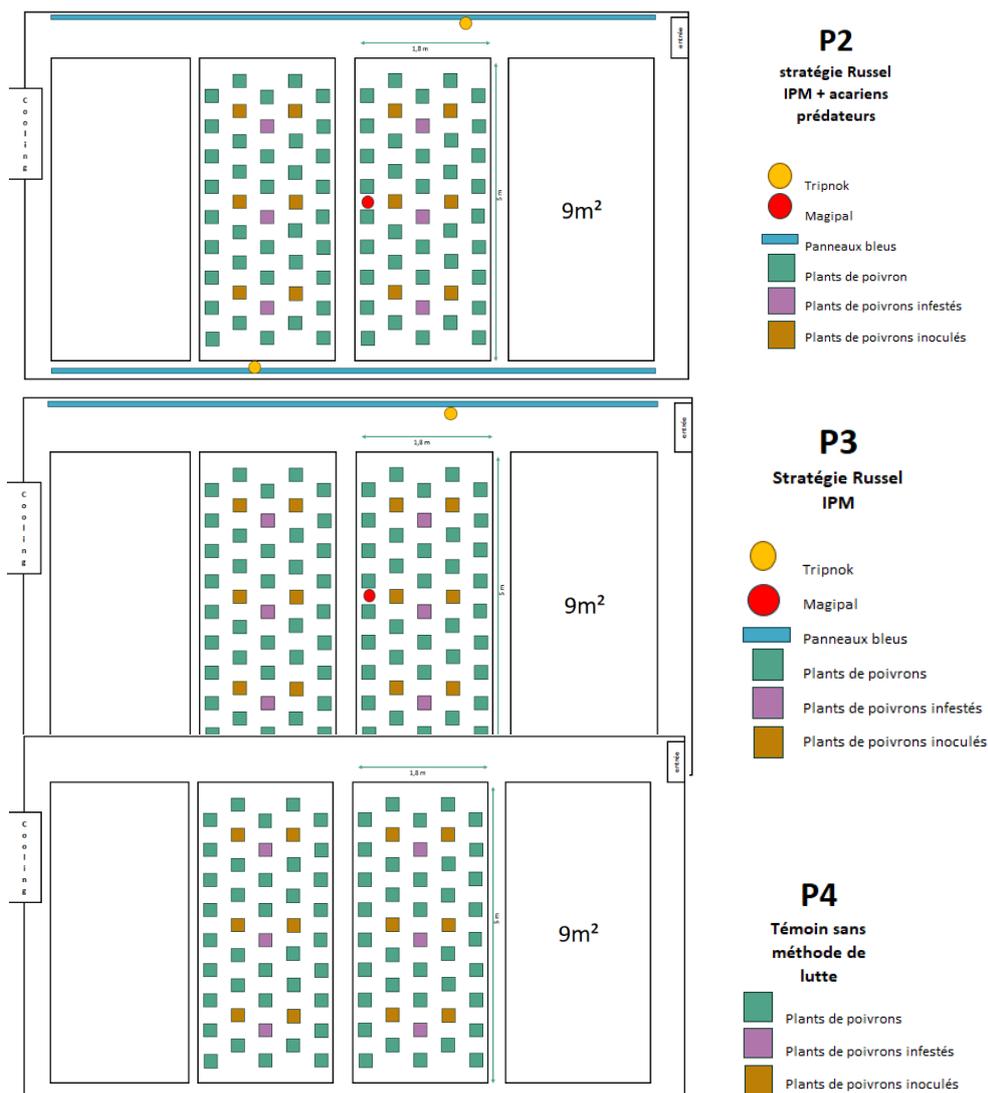


Figure 20 : Schéma du design expérimental des 3 compartiments de serre

## 2. *Amblyseius swirskii*

*Amblyseius swirskii* est un acarien prédateur du thrips. Il est fourni par la société Koppert dans des bouteilles de 25000 individus. Ils sont ensuite lâchés en vrac sur chacun des plants. Pour la première répétition, trois lâchers ont été réalisés. Le premier lâcher d'auxiliaires a eu lieu le 05/04 à la dose de 25 individus/m<sup>2</sup> (25 individus dans 2,25g à mettre sur chaque table de 9 m<sup>2</sup>). Le second lâcher a été réalisé le 12/04 à la dose de 30 individus/m<sup>2</sup> et le dernier à la dose de 25 individus/m<sup>2</sup> le 03/05. Pour la seconde répétition, deux lâchers ont été faits à la dose de 25 individus/m<sup>2</sup>, le 29/05 et le 06/06. L'acarien prédateur est nourri avec du pollen de *T. angustifolia* (NUTRIMITE) à la dose de 0,45g/table, pour assurer une bonne installation.

### C. Modalités

Trois modalités sont étudiées dans cet essai (tableau 8). Une modalité Push-Pull avec la combinaison des médiateurs chimiques et du piégeage, une modalité qui associe le Push-Pull avec la lutte biologique à l'aide de l'acarien prédateur *A. swirskii*. Et une modalité témoin sans protection contre le thrips. Les produits utilisés proviennent de Russel IPM, on trouve : les diffuseurs MAGIPAL (répulsif), les diffuseurs THRIPNOK (attractif), et les bandes engluées bleues (tableau 9).

### D. Dispositif expérimental

L'essai est localisé au CTIFL de Balandran, dans 3 compartiments de serres verre de 65 m<sup>2</sup> chacun (figure 20). Chaque modalité se trouve isolée dans un compartiment afin d'éviter les interactions. Une modalité est représentée par 90 plantes de poivrons dont 31 sont observés entièrement. Les plants sont disposés sur deux tables de 9 m<sup>2</sup> chacune. Les répétitions sont temporelles avec deux essais identiques d'une durée de 6 semaines chacun. La totalité de l'essai se déroule sur la période d'avril à juillet 2024. Les plants ont été placés dans les compartiments le 14/02 pour la 1<sup>ère</sup> répétition et le 23/05 pour la 2<sup>ème</sup> répétition (figure 21).

Les deux compartiments testant la stratégie push-pull contiennent 2 bandes engluées (une au nord, une au sud) sur lesquelles sont disposés les diffuseurs THRIPNOK. Pour respecter la dose nous ne devons mettre qu'un THRIPNOK dans 65m<sup>2</sup>, mais pour équilibrer la diffusion d'odeur 2 THRIPNOK sont installés sur les bandes. Un diffuseur MAGIPAL est suspendu au milieu de la culture (figure 22).

### E. Observations et mesures

#### 1. Observation des plants

Une notation hebdomadaire est réalisée sur 31 plants choisis en amont, par compartiment (figure 23). Les 3 compartiments ont le même design de notation. Trois feuilles (bas, milieu, haut) et une fleur par plants sont observées. Sont notés : le nombre de larves et d'adulte de thrips, la présence/absence de dégâts et le nombre d'acarien prédateurs (pour la modalité 2) pour chaque feuille et fleur observées. Pour la seconde répétition, une notation de la plante entière a également été réalisée à la seconde, quatrième et sixième notation afin d'établir un bilan global de l'installation.

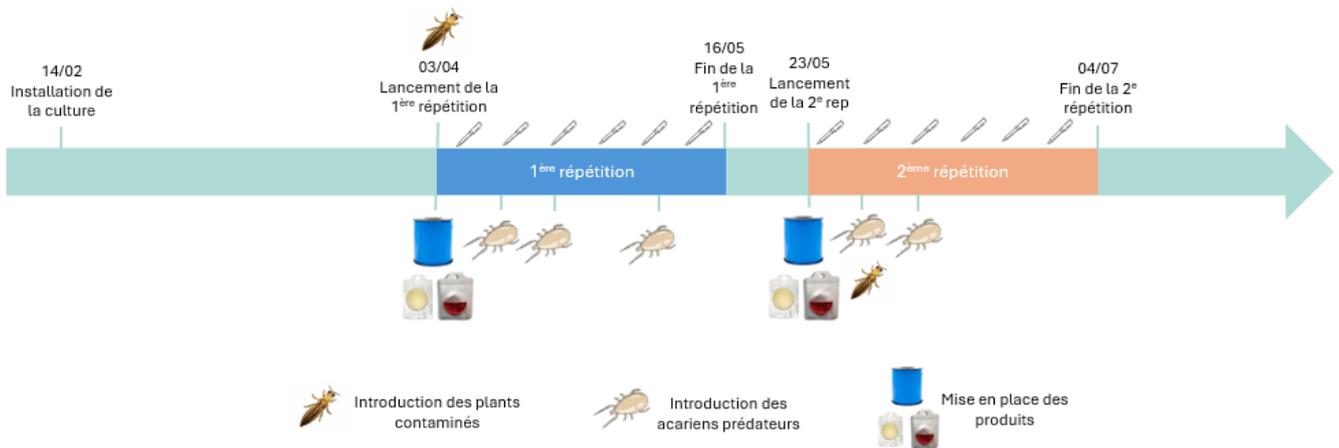


Figure 21 : Calendrier de l'essai



Figure 22 : Photos de la mise en place des diffuseurs MagiPal® et Thripnok®

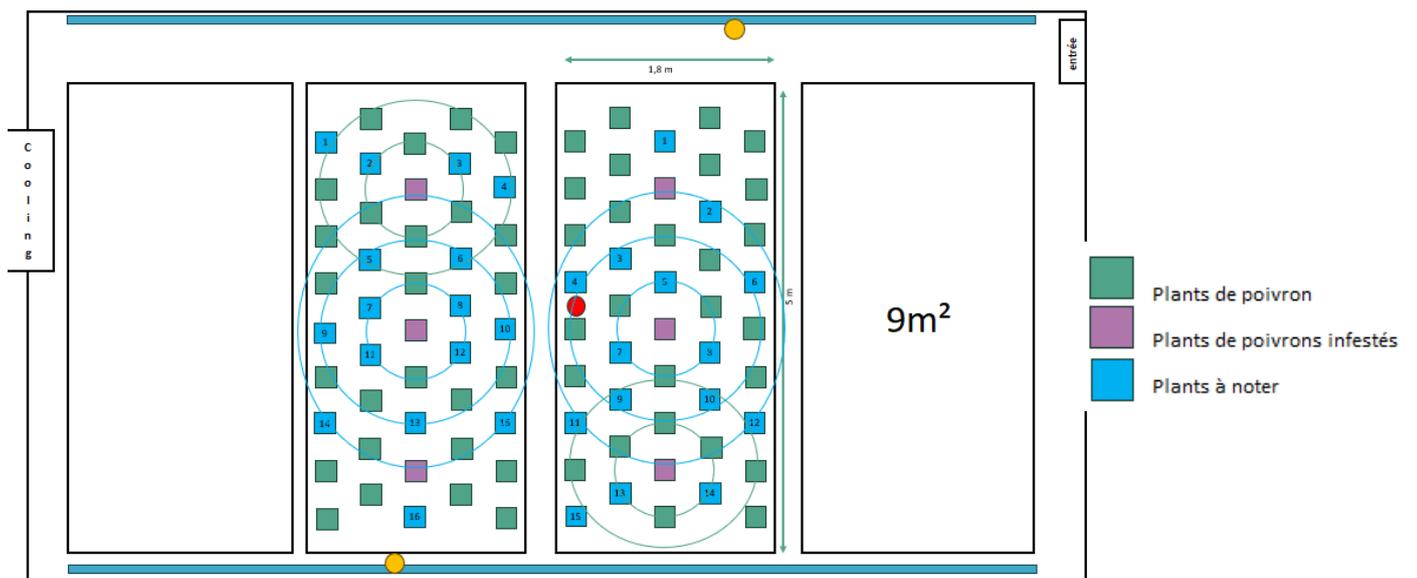


Figure 23 : Schéma des plants notés dans les 3 compartiments

## 2. Observation des bandes engluées

Chaque semaine, les bandes bleues sont également observées. Cinq carrés de 15x15cm ont été préalablement définis et dessinés sur les 4 bandes bleues des compartiments push-pull pour analyser le nombre de thrips adultes piégés chaque semaine (figure 24). Pour la seconde répétition, un sixième piège a été placé au plus loin du THRIPNOK afin d'observer son degré d'attractivité.

### F. Traitement des données

*Les données sont importées et analysées sur RStudio sous la version R 4.4.1.*

Une étude préliminaire descriptive est effectuée par visualisation de boxplots, barplots ou courbes de moyennes avec représentation des erreurs standard. Tous les tests statistiques sont basés sur un risque  $\alpha$  de 5%.

#### 1. Analyse du push-pull sur les thrips dans les feuilles et les fleurs

Afin de comparer les populations de thrips sur feuilles et fleurs dans chaque traitement, un Modèle Linéaire Généralisé (GLM) mixte avec une distribution de poisson est réalisé. En effet, les données sont de type comptage où l'on compte peu et ne suivent pas une loi normale. Un effet aléatoire est ajouté sur la répétition, le plant (pour les feuilles) et la table, le traitement et les observations sont des effets fixes. Différents modèles sont réalisés, en retirant des effets aléatoires, puis comparés grâce à l'AIC afin de choisir le meilleur modèle. Une fois le modèle choisi, on teste la surdispersion. Dans le cas où il n'y a pas de surdispersion, un test post hoc avec le package 'emmeans' est réalisé. Il permet une comparaison multiple et l'interprétation simplifiée des résultats de l'analyse de variance. Dans le cas où il y a surdispersion, on observe s'il y a une surreprésentation de zéro. Si le cas est vérifié une Zero Inflated Poisson (ZIP) est réalisée. Cette méthode permet de gérer la surdispersion des données. Dans l'autre cas, une quasipoisson est réalisée.

#### 2. Analyse des dégâts

La notation des dégâts a nécessité une réponse binaire (présence/absence). Les données ont été transformées afin d'obtenir une nouvelle matrice « y » contenant le nombre de plants avec et sans dégâts par traitement. Elles sont ensuite traitées avec une GLMM (Modèle Linéaire Généralisé Mixte) de type binomial. Dans le cas où il n'y a pas de surdispersion, un test post hoc avec le package 'emmeans' est réalisé. En cas de surdispersion, une quasibinomial est réalisée.

#### 3. Analyse des roller trap

Afin d'observer l'efficacité du THRIPNOK, un test se basant seulement sur la seconde répétition est réalisé. Celui-ci consiste à comparer 3 carrés placés sur chacun des rollers trap, un proche du produit, un second au milieu et le dernier éloigné.

Il s'agit également d'une variable de type comptage où l'on compte peu. Un Modèle Linéaire Généralisé (GLM) avec une distribution de poisson est donc réalisé. En cas de surdispersion, une GLM de type binomial négative est envisagée.



Figure 24 : Photographie des carrés de notation sur les bandes engluées bleues

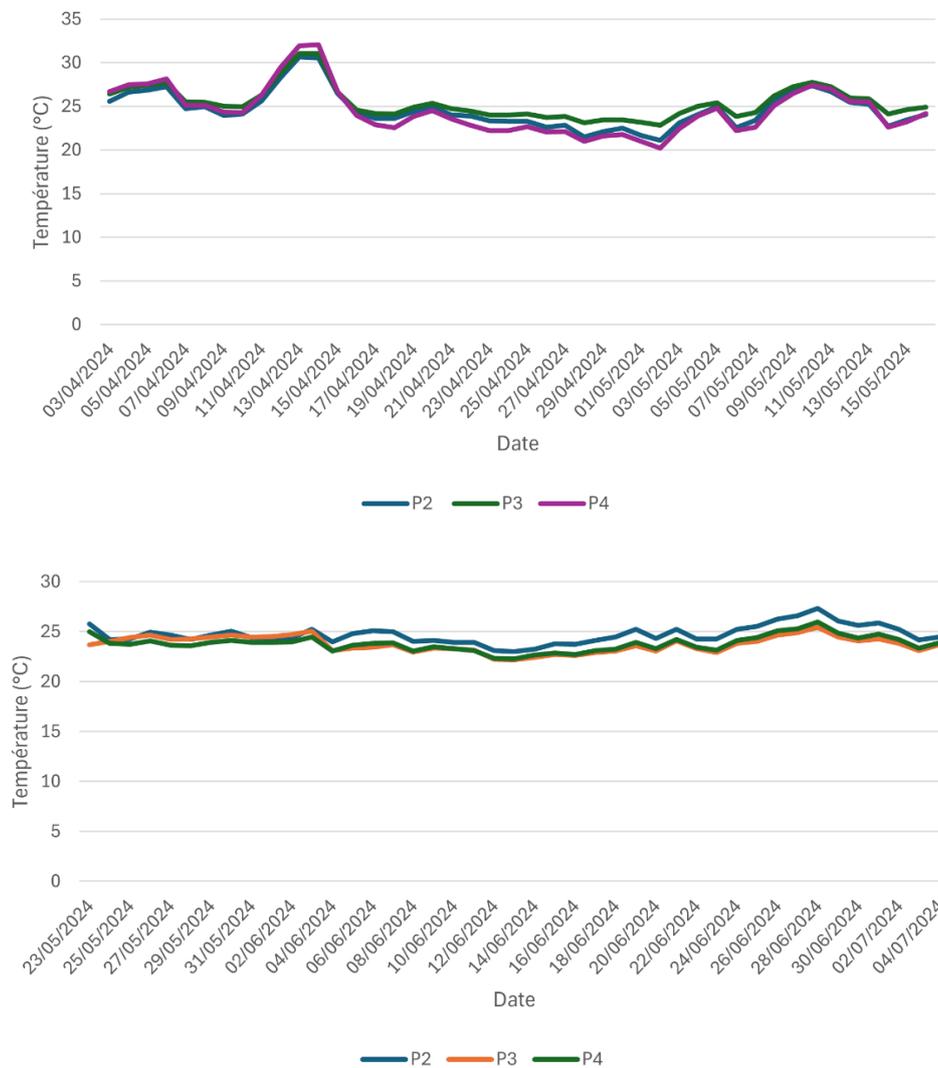


Figure 259 : Courbes des températures moyennes sur 24h (en °C) pour chaque compartiment lors de la 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> répétition.

Chaque compartiment de serre accueille une modalité de l'essai :

Répétition n°1 : P2 = PP + AP, P3 = PP, P4 = TNT

Répétition n°2 : P2 = TNT, P3 = PP + AP, P4 = PP

### III. Résultats

#### A. Climat

Au cours de l'essai, la température de l'air a été en moyenne de 24,7°C dans le compartiment 2, de 24,6°C dans le compartiment 3 et de 24,2°C dans le compartiment 4. La température moyenne 24h n'est pas différente entre les compartiments au sein d'une répétition, ni entre les répétitions (figure 25). Globalement, les courbes de températures suivent toutes la même tendance ce qui suggère une bonne homogénéité du climat entre les modalités étudiées au cours de l'essai. On observe toutefois un pic de température autour de 32°C pendant 2 à 3 jours lors de la 1<sup>ère</sup> répétition, à la mi-avril. Ceci peut être expliqué par l'absence du système de refroidissement (pad-cooling) lors de la première répétition ce qui n'a pas permis de réguler correctement le climat lors de ces journées particulièrement ensoleillées. Les températures semblent plus variables lors de la première répétition (allant de 20°C à 32 °C) que lors de la seconde (allant de 23°C et 27°C).

#### B. Évolution des populations de thrips en fonction des modalités

Les figures 26 et 27 montrent les nombres moyens de thrips aux stades adulte et larvaire et d'acarien prédateur, sur les feuilles et les fleurs pour chaque semaine de notation et chaque modalité. Les courbes d'évolution du ravageur possèdent généralement le même motif, avec une pression plus importante dans la modalité témoin et une pression largement amoindrie dans la modalité avec acariens prédateurs. On observe une diminution du nombre de larves à partir de la 4<sup>ème</sup> semaine (sur feuilles et fleurs) lorsque la population d'acariens prédateurs devient importante.

##### 1. Pression des thrips sur feuilles

###### a) *Les adultes*

On observe en moyenne très peu de thrips adultes sur les feuilles, de l'ordre de  $0,02 \pm 0,004$  individu pour la modalité Push-Pull + Acariens Prédateurs (PP + AP), de  $0,03 \pm 0,006$  pour la modalité Push-Pull (PP) et de  $0,06 \pm 0,008$  pour le Témoin (TNT). Mais les populations sont significativement différentes entre les modalités étudiées ( $\chi^2 = 20.944$ ,  $df = 2$ ,  $p\text{-value} = 2.832e-05$ ) (figure 26). Le nombre moyen de thrips adulte sur les feuilles est significativement plus élevé dans le TNT, en comparaison de la modalité PP ( $p = 0.0031$ ) et de la modalité PP + AP ( $p = 0.0001$ ). En revanche, les modalités avec contrôle (PP et PP + AP) ne semblent pas se différencier ( $p = 0.6260$ ).

###### b) *Les larves*

La population de larves de thrips sur les feuilles est plus importante que celle des adultes et augmente de façon linéaire dans le témoin jusqu'à la dernière notation (figure 26). En revanche, cette augmentation reste faible dans la modalité PP et quasi nulle dans la modalité PP + AP.

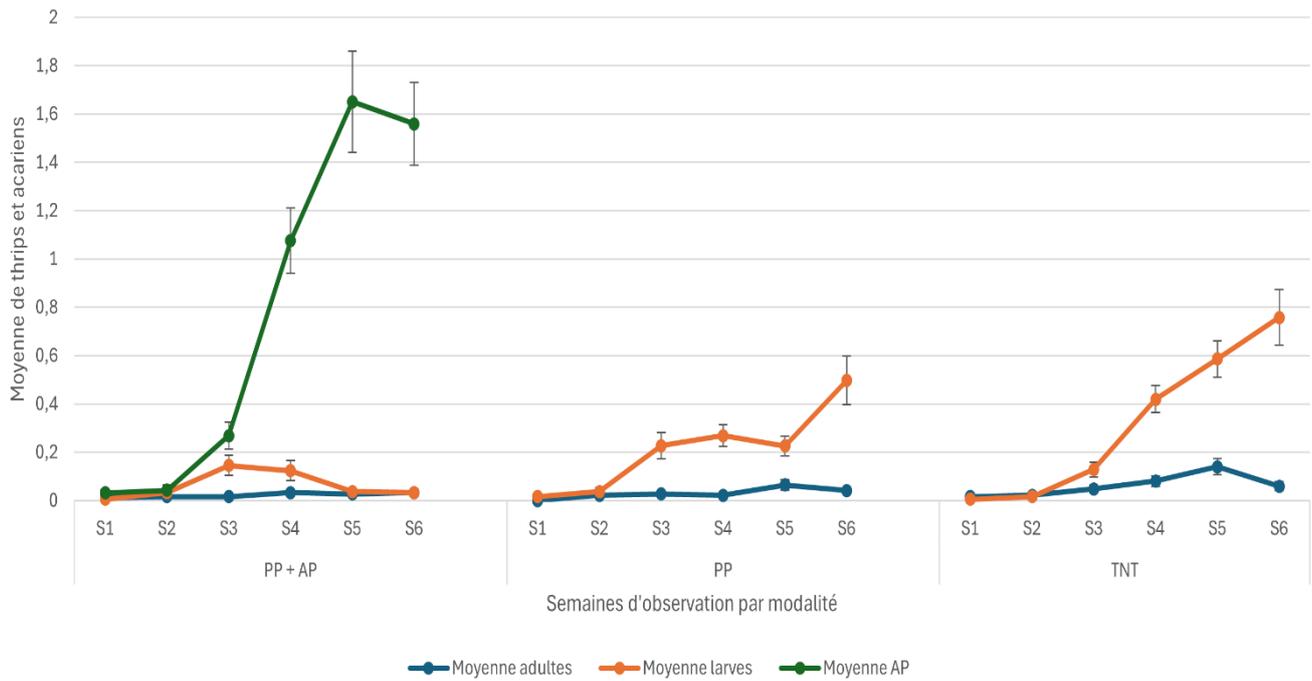


Figure 106 : Évolution du nombre moyen de thrips (adultes en bleu et larves en orange) et d'acariens prédateurs (formes mobiles) présent sur les feuilles pour les 3 modalités étudiées en fonction du temps (semaines de notation : Sn).

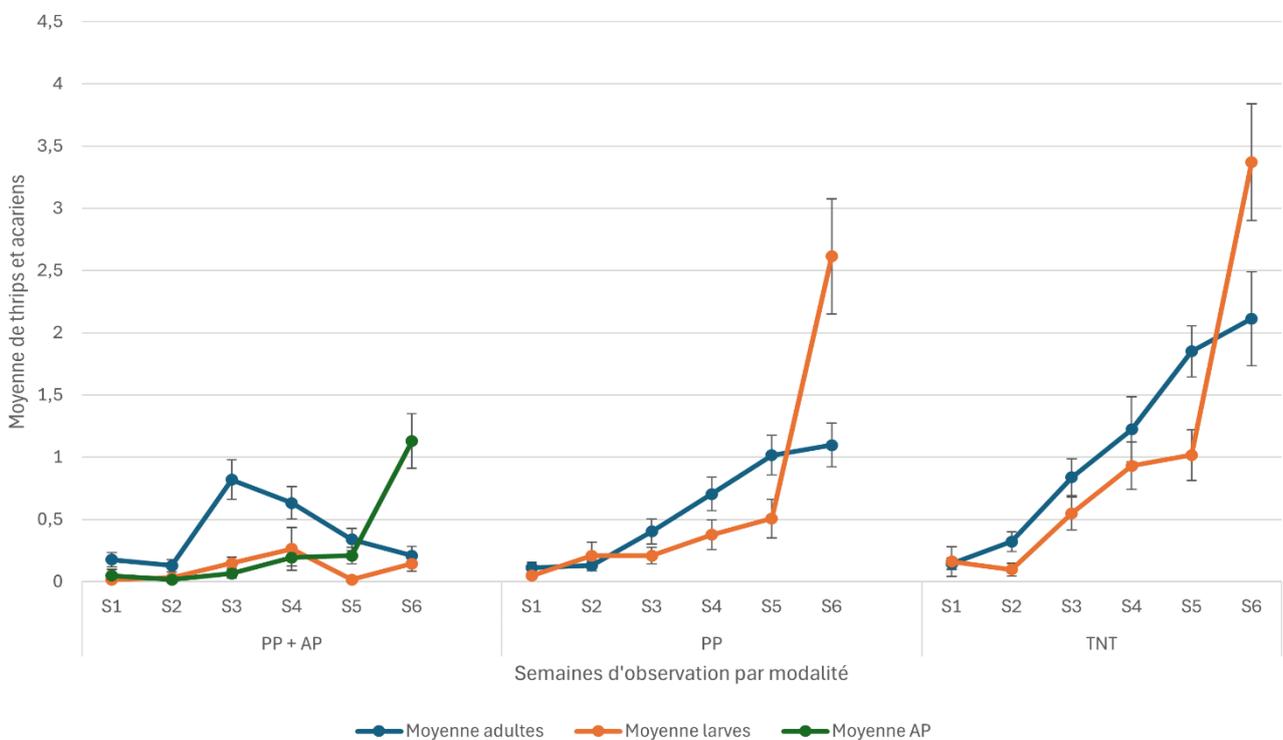


Figure 117 : Évolution du nombre moyen de thrips (adultes en bleu et larves en orange) et d'acariens prédateurs (formes mobiles) présent sur les fleurs pour les 3 modalités étudiées en fonction du temps (semaines de notation : Sn).

Les populations moyennes de larves sont significativement différentes entre les modalités étudiées ( $\chi^2 = 159.66$ ,  $df = 2$ ,  $p\text{-value} < 2.2e-16$ ), avec plus de larves observées dans la modalité témoin ( $0,32 \pm 0,03$  larves/feuille), en comparaison des modalités PP ( $p < 0.0001$ ) et PP + AP ( $p < 0.0001$ ). De plus, la modalité associant acariens prédateurs et push-pull présente significativement moins de larves ( $0,02 \pm 0,01$  larves/feuille) que la modalité avec push-pull seul ( $0,21 \pm 0,02$  larves/feuille,  $p < 0.0001$ ).

## 2. Pression des thrips sur fleurs

La quantité de thrips observée dans les fleurs est beaucoup plus importante que sur les feuilles. On observe comme pour les feuilles, une population de thrips plus élevée dans le témoin, suivi de la modalité Push-Pull et de la modalité Push-Pull + Acariens prédateurs.

### a) *Les adultes*

La population de thrips adultes sur fleur augmente régulièrement dans la modalité témoin, également dans la modalité PP mais de façon moins importante. Dans la modalité PP + AP, après une légère augmentation sur les 3 premières semaines d'observation, la population d'adultes diminue de nouveau pour redescendre au niveau observé en S1 (figure 27). On observe en moyenne  $0,38 \pm 0,04$  adulte/fleur pour la modalité PP + AP,  $0,57 \pm 0,05$  adulte/fleur pour la modalité PP et  $1,08 \pm 0,10$  adulte/fleur pour la modalité TNT. Les modalités sont toutes significativement différentes entre elles ( $\chi^2 = 56.056$ ,  $df = 2$ ,  $p\text{-value} = 6,725e-13$ ), avec la population la plus faible observée dans la modalité PP + AP comparée à la modalité PP ( $p = 0.0195$ ) et au TNT ( $p < .0001$ ).

### b) *Les larves*

La population de larves de thrips sur fleurs augmente régulièrement dans la modalité témoin et la modalité PP avec un pic observé à la dernière notation (S6) alors qu'elle reste globalement très faible et stable dans la modalité PP + AP, tout au long de l'essai (figure 27). Les populations observées sont significativement différentes entre les modalités étudiées ( $\chi^2 = 71,906$ ,  $df = 2$ ,  $p\text{-value} = 2.431e-16$ ). Comme pour la population d'adultes, on observe significativement moins de larves sur les fleurs dans la modalité PP + AP ( $0,10 \pm 0,03$  larve/fleur) en comparaison du témoin ( $1,02 \pm 0,11$  larve/fleur) ( $p < .0001$ ) et de la modalité PP seule ( $0,66 \pm 0,10$  ;  $p < .0001$ ). De plus, on n'observe pas de différence significative entre les modalités PP et TNT ( $p = 0.1061$ ), contrairement aux populations d'adultes ( $p < 0.0001$ ).

## 3. Pression du ravageur au cours de l'essai

Le seuil de nuisibilité des thrips sur les poivrons est très variable en fonction des études (Shipp et al. 1998; Funderburk et al. 2009; Park, Lee, Uhm 2007; Park et al. 2009). En combinant les différentes informations, le seuil de nuisibilité du thrips sur poivron peut être établi à 2,8 thrips par fleurs. La figure 28 permet de visualiser la pression du ravageur sur chaque plant, dans le temps et pour chaque modalité. Les semaines 1, 3 et 6 sont représentées.

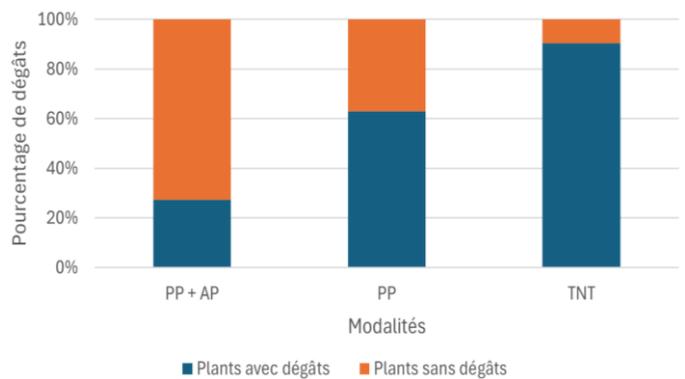
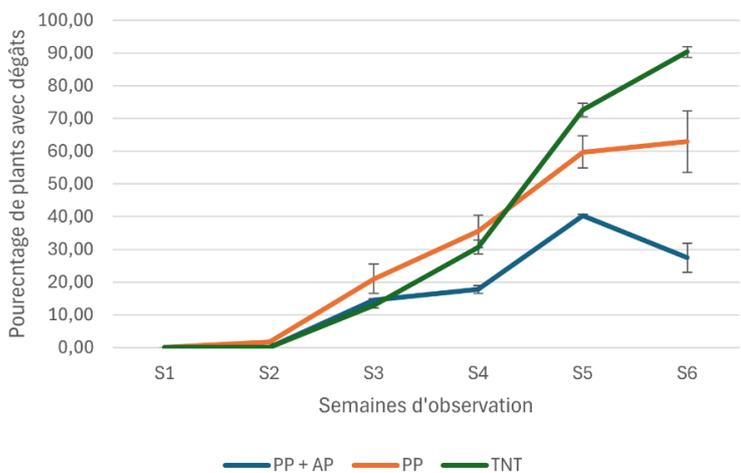


Figure 138 : Cartographie des moyennes de t

Figure 12 : Pourcentage de plants avec dégâts par modalité en fonction du temps (semaines de notation : Sn). Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard

Figure 30 : Pourcentage moyen de dégâts présents sur feuille pour chaque modalité à la fin de l'essai. Bleu : présence de dégâts et orange : absence de dégât.

On observe une augmentation du nombre de thrips par fleurs dans le témoin passant de 0,16 thrips en moyenne par fleur la 1<sup>ère</sup> semaine, à 2,1 thrips par fleur en moyenne à la 6<sup>ème</sup> semaine de notation. Dans la modalité Push-Pull, la moyenne de thrips par fleurs est de 0,19 la 1<sup>ère</sup> semaine et de 1,1 la 6<sup>ème</sup> semaine. Enfin, pour la modalité avec acariens prédateurs, le nombre de thrips moyen par fleur est de 0,18 la 1<sup>ère</sup> semaine et de 0,2 à la 6<sup>ème</sup> semaine. En six semaines, la population de thrips adultes dans les fleurs a donc fortement augmenté dans le témoin (92%) et dans la modalité PP (82%) alors qu'elle est restée stable dans la modalité PP + AP (10%).

#### 4. Analyse des dégâts

La quantité de plants présentant des dégâts caractéristiques de thrips (argenteure) se stabilise sur plusieurs semaines pour chaque modalité. On remarque une différenciation nette à partir de la 5<sup>ème</sup> semaine. Les plants du TNT semblent avoir plus de dégâts que ceux du PP et du PP + AP (figures 29 et 30). En effet, le nombre de plants avec dégâts a été réduit de 69% entre le témoin et la modalité PP + AP et de 30% entre le témoin et le push-pull. La proportion de plants attaqués est significativement différente entre les modalités ( $\chi^2 = 18,451$ ,  $df = 2$ ,  $p\text{-value} = 9.849e-05$ ). On observe significativement moins de dégâts dans la modalité PP + AP que dans la modalité PP ( $p = 0.0227$ ) ainsi qu'entre PP + AP et le TNT ( $p = 0.0028$ ). Cependant il n'y a pas de différence significative entre PP et le TNT ( $p = 0.6145$ ).

#### 5. Analyse des bandes bleues engluées (roller trap)

On observe une tendance à l'augmentation des captures de thrips au fil des semaines (figure 31). Le schéma est le même pour les deux modalités jusqu'à la semaine 4 avec une augmentation du piégeage puis une légère diminution. A la semaine 5, le nombre de thrips piégés augmente fortement pour la modalité PP alors qu'il stagne pour la modalité PP + AP. En combinant les deux modalités, la moyenne de piégeage sur 6 semaines est de  $4,08 \pm 0,67$  pour une zone de  $225 \text{ cm}^2$ , ce qui revient à 181,3 thrips piégés au  $\text{m}^2$ .

##### a) *Efficacité du THRIPNOK*

L'objectif ici, est de montrer l'efficacité du THRIPNOK par comparaison de 3 zones de  $225 \text{ cm}^2$  positionnées plus ou moins loin de l'attractif. La surface de bande engluée proche de l'attractif à capturé en moyenne 4,3 thrips, celle au milieu 5,3 thrips et la plus éloignée 2,7 thrips (figure 32).

Le nombre de thrips piégés est significativement différent entre les zones observées ( $\chi^2 = 10.354$ ,  $df = 2$ ,  $p\text{-value} = 0.0056$ ). Le test montre une différence significative entre la zone éloignée du produit et la zone du milieu ( $p = 0.0045$ ) mais ne montre pas de différence significative entre la zone éloignée et la zone proche ( $p = 0.0653$ ) et entre la zone proche du produit et celle du milieu ( $p = 0.6086$ ).

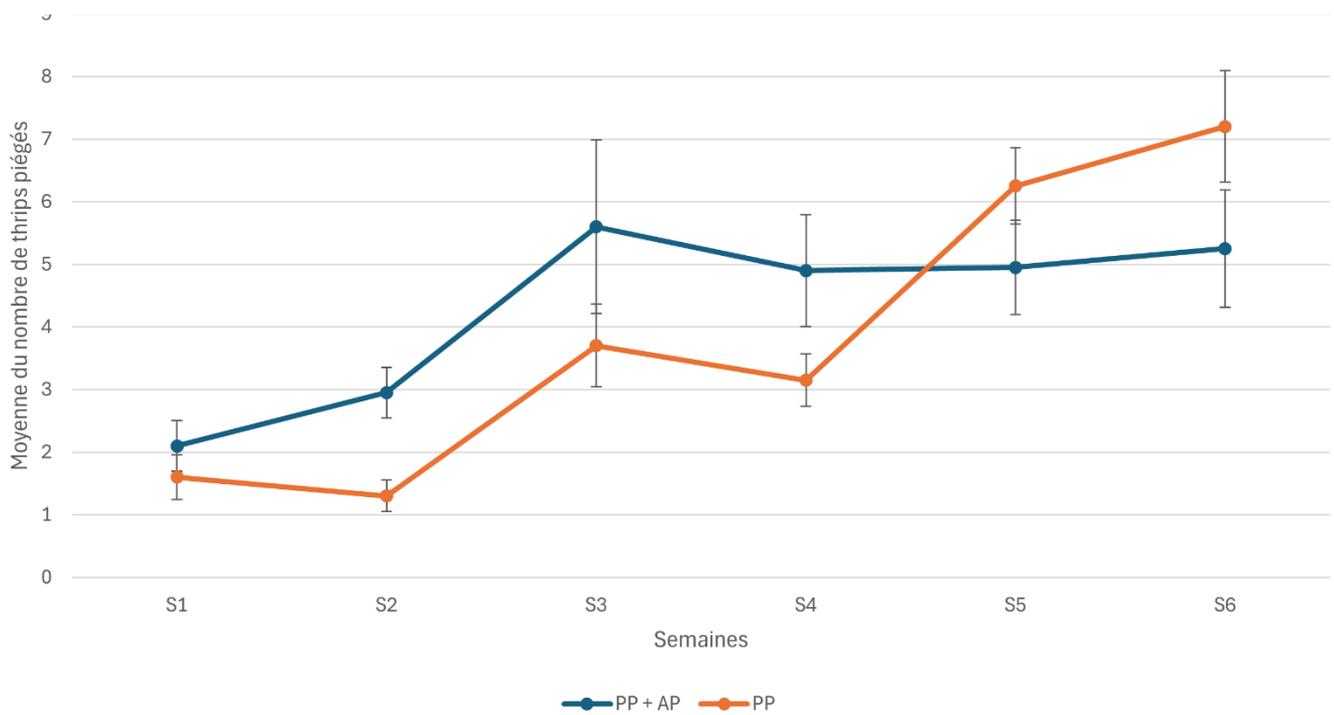


Figure 31 : Nombre de thrips piégés sur les bandes engluées selon les modalités en fonction du temps (semaines de notation : Sn).

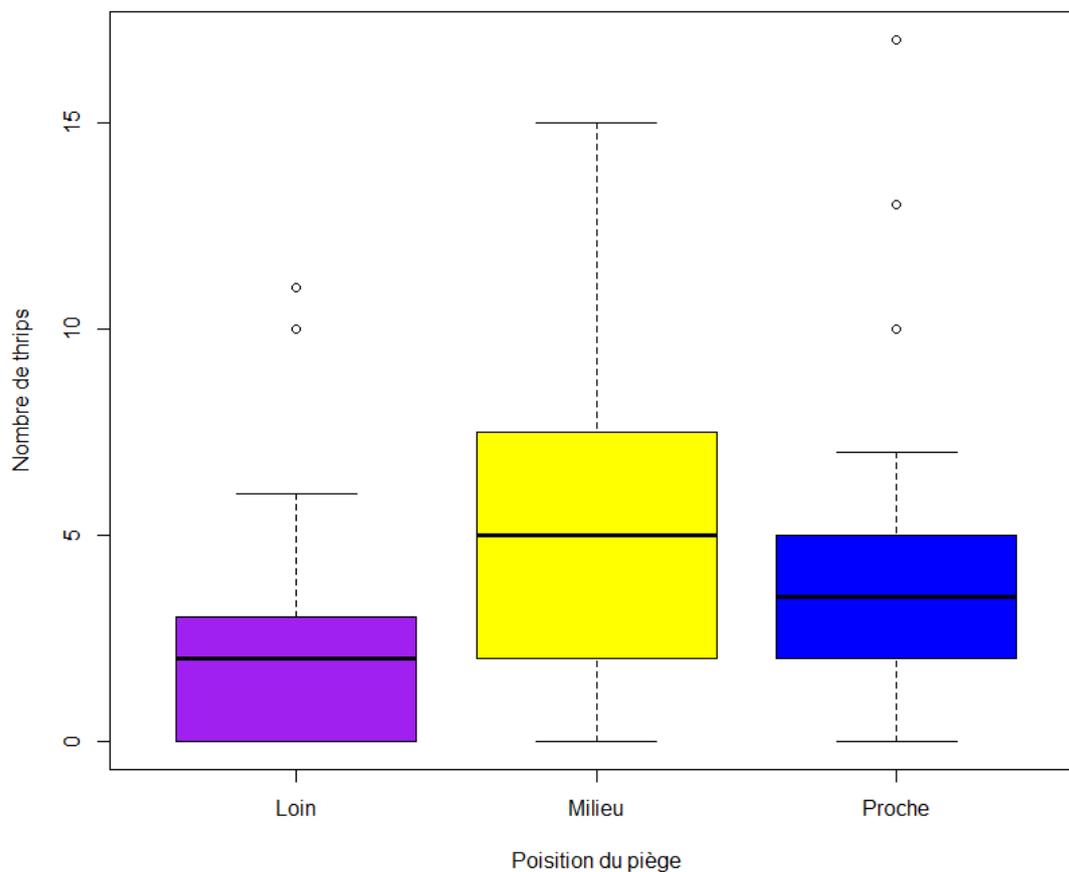


Figure 32 : Nombre de thrips capturés sur la bande engluée bleue en fonction de la distance à l'attractif (THRIPNOK) de la zone d'observation. Proche = 20cm ; Milieu = 3m ; Loin = 6m

## IV. Discussion

L'étude présentée a pour objectif de tester deux moyens de lutte contre *F. occidentalis* et *T. tabaci*, ravageurs des cultures de poivrons. L'ensemble des résultats met en évidence l'efficacité de la modalité PP + AP pour la gestion des thrips que ce soit sur feuilles ou sur fleurs, sur les adultes ou sur les larves. La combinaison des médiateurs chimiques, attractifs et répulsifs, avec la lutte biologique aboutit à un contrôle efficace et complet du ravageur permettant de réduire significativement les dégâts sur les plantes. Ce résultat confirme ceux de l'étude menée sur le thrips sur verveine par Legrand (2023).

La notation des bandes engluées, ne piégeant que les adultes, permet de dessiner clairement le cycle du thrips. Une augmentation du piégeage a eu lieu lors de l'introduction des adultes jusqu'à la 3<sup>ème</sup> semaine de notation, s'ensuit une diminution du nombre d'adultes à la 4<sup>ème</sup> semaine. Ce premier schéma représente la première génération de thrips. Une nouvelle augmentation des piégeages, jusqu'à la 6<sup>ème</sup> semaine, montre le développement des adultes de la seconde génération. Le cycle du thrips, pour les 2 espèces étudiées, semble durer une quinzaine de jours, avec des températures comprises entre 23 et 25°C dans la serre. Ainsi, la durée du cycle mesurée dans nos conditions correspond à celle déjà décrite par de précédentes études (Lublinhof, Foster 1977; McDonald, Bale, Walters 1998; Deligeorgi et al. 2006 ; Ullah, Lim 2015).

Les signaux visuels émis par les plantes sont essentiels pour la localisation de l'hôte. Cette caractéristique a été utilisée dans des programmes de surveillance et de piégeage d'insectes nuisibles (Atakan, Canhilal 2004 ; Demirel, Cranshaw 2006 ; Roubos, Liburd 2008). Cette méthode est utilisée sur le thrips. Sampson, Kirk (2013) et Harbi, Elimem, Chermiti (2012) ont montré que les pièges collants bleus réduisent le nombre de thrips adultes par fleur de 61% et 68% respectivement. Les résultats obtenus dans cette étude montrent que la combinaison de différents leviers aboutit à la meilleure gestion du thrips. L'association entre des signaux visuels et des COV, permet d'augmenter l'attractivité des pièges et d'avoir une meilleure gestion des ravageurs ciblés. Du fait, de son efficacité, elle est développée sur un nombre important de bioagresseurs (Demirel, Cranshaw 2006; Agelopoulos et al. 1999; Whitfield et al. 2019; Piñero, Prokopy 2003; Wallbank, Wheatley 1979). Concernant la gestion du thrips, les études précédentes ont permis de démontrer l'intérêt de la combinaison des signaux visuels (couleur bleu des panneaux) avec la présence d'odeur attractive (kairomones) pour améliorer le piégeage, permettant de doubler le taux de capture par rapport au piège sans attractif (Sampson, Kirk, 2013 et Harbi, Elimem, Chermiti, 2013 ; Muvea et al. 2014).

Différents produits attractifs existent pour le thrips qui ont été évalués dans différentes études ce qui peut expliquer les différences d'attractions obtenues entre notre étude les autres. Dans cette étude, l'attractif utilisé (THRIPNOK®) est un mélange de p-anysaldéhyde et de verbénone, composés identifiés comme attractant du thrips (Kirk et al., 2021). Cette attractivité a également été démontrée par Sampson et al. (2023) sur fraisiers en Angleterre. Nous avons mesuré l'efficacité de l'attraction en fonction de la distance au diffuseur, et aucune différence significative n'a pu être montrée entre les différentes zones établies sur la bande engluée. On peut conclure qu'à la dose recommandée de 120 diffuseurs/ha, le diffuseur



assure une attraction homogène et efficace du thrips sur la bande engluée. La zone ayant comptabilisé le plus de thrips est la partie centrale de la bande qui correspond à la zone la plus proche de la culture.

L'amélioration continue des connaissances en écologie chimique, et des voies de communication plantes-insectes et insectes-insectes permet d'utiliser de nouvelles composantes comme la répulsion, dans les stratégies de gestion des ravageurs. Associer des stimuli attractifs et répulsifs, dans une stratégie push-pull, pour la gestion des ravageurs est une méthode de plus en plus testée montrant des résultats très prometteurs (Cook, Khan, Pickett, 2007). La mise en place de plantes hôtes et non hôtes, par exemple dans les cultures de maïs et de sorgho contre les lépidoptères foreur de tiges (Agelopoulos et al. 1999; Khan et al. 2014) est une méthode couramment utilisée en Afrique. En se concentrant sur les fleurs (où le thrips est le plus présent), la stratégie push-pull, associant MAGIPAL (méthyl salicylate, composante push), et THRIPNOK + piège englué bleu (composante pull), permet de réduire de presque 50% le nombre d'adultes par rapport au témoin. Sur un dispositif similaire, Legrand (2023) montre une réduction du nombre de thrips par fleur de 84% et Sampson, Griffiths, Hassan (2020), une réduction de 95%. Ces différences peuvent s'expliquer par le type de culture testée, avec des cultures possiblement plus appétentes, ou par le matériel. En effet, dans le cas où la molécule attractive est directement intégrée à la glue du panneau, la diffusion peut être plus homogène ou supérieure au dispenseur et aboutir à un meilleur piégeage.

La quantité de dégâts mesurée dans notre essai est quasiment identique entre la modalité PP et le TNT. En effet, le traitement réduit certes le nombre d'adultes, mais ne permet pas une éradication totale. Les adultes restants continuent de se reproduire et causent des dommages aux plants. De plus, la modalité PP ne permet pas une gestion des larves, or tous les stades du thrips sont ravageurs. Le contrôle du ravageur reste donc partiel. La lutte biologique avec l'acarien prédateur *A. swirskii* améliore la gestion du thrips sur poivron (Messelink, Van Steenpaal, Ramakers, 2006 ; Messelink et al. 2008). Ce prédateur s'attaque exclusivement au jeune stade larvaire. Il constitue donc un levier complémentaire à la stratégie push-pull dirigée contre les adultes. Dans notre étude, la combinaison du levier push-pull avec le levier lutte biologique (avec *A. swirskii*) a permis de réduire de 92% (adultes et larves confondus) la quantité de thrips par rapport au témoin. Cela s'observe sur les rollers trap où la modalité PP + AP, une fois le stade larvaire atteint à la 3<sup>ème</sup> semaine ils ne piège que très peu de thrips adulte du fait de la régulation par les acariens prédateurs. L'efficacité de la gestion par combinaison de plusieurs leviers a également été démontré par (Legrand 2023) qui affirme un « gain d'efficacité supplémentaire » par la lutte biologique. Ces résultats montrent l'intérêt de l'approche combinatoire de la protection biologique intégrée.

L'étude a été menée sur deux répétitions afin d'obtenir une meilleure fiabilité des résultats. Néanmoins, on trouve une variabilité importante entre les répétitions et on sous évalue l'efficacité de la stratégie. La modalité push-pull a montré une efficacité de 16% par rapport au témoin pour la première répétition et 68% pour la seconde répétition. Le nombre de répétitions représente donc une limite. Une 3<sup>ème</sup> voire une 4<sup>ème</sup> répétition aurait permis de mieux apprécier la variabilité inhérente aux systèmes biologiques et ainsi confirmer l'efficacité mesurée de cette stratégie. L'étude menée par Legrand (2023) montre une bonne visualisation de l'évolution de la pression des thrips tout le long de l'essai du fait d'une



période d'observation de 9 semaines. Dans notre cas, l'essai a été mené sur une période de 12 semaines, avec 6 semaines d'observation par répétition. Il aurait été plus intéressant d'augmenter les périodes d'observation à 8 semaines afin de s'assurer de la bonne gestion du thrips sur une période prolongée. Cependant, augmenter le nombre de répétitions et les durées d'observations entraînent de longues périodes d'essais. Avec le même design expérimental, prolonger la durée des observations augmente le risque des biais (température et ensoleillement différents) et donc des problèmes de comparaison au sein de l'expérimentation. Une façon de fiabiliser les résultats serait d'avoir plus d'espace afin de faire plus de répétitions ou de réaliser cet essai sur deux ans (2 essais/an) de début avril à mi-juillet pour avoir 8 semaines d'observation pour chaque répétition. Réaliser cet essai en compartiments de serre a montré de nombreux avantages : une gestion du climat, de l'irrigation et de la fertilisation, une bonne séparation des modalités afin d'éviter les mélanges d'odeurs et une gestion des introductions d'insectes. La température est un facteur important dans le développement du thrips (Deligeorgidis et al. 2006). Elle a été équivalente entre les 3 compartiments et sur les deux répétitions ce qui limite la variabilité entre répétition, liée à ce facteur. Cependant, ce type d'essai a quelques inconvénients, tout d'abord au niveau du maintien des plants. Commencer les essais tôt, avec des plants de petites tailles et utiliser du tuteurage permettrait d'allonger le nombre de semaines d'observation (notation plus simple) et d'observer les fruits afin d'estimer les dégâts sur le rendement. Un point d'améliorer serait l'ajout de modalités de vraisemblance : une modalité avec seulement les acariens prédateurs et une modalité avec uniquement les pièges englués bleus. Toutefois, l'efficacité de ces types de lutte a pu être démontrée dans des études précédentes (Messelink, Van Steenpaal, Ramakers 2006; Sampson, Kirk 2013; Harbi, Elimem, Chermiti 2012). Enfin, cette méthode a été réalisée sous serre verre, sous tunnel avec trois cultures différentes (verveine, fraise, poivron) et a montré une bonne efficacité (Sampson, Griffiths, Hassan 2020; Sampson et al. 2023; Legrand 2023). On trouve cependant une variabilité des résultats selon les cultures, il pourrait être intéressant de tester ce dispositif sur d'autres espèces. Une autre limite concerne la diffusion des molécules. Comme énoncé précédemment, les produits sémiachimiques offrent de nombreux avantages. Ils sont cependant dépendants de facteurs extérieurs comme la température qui, si elle est importante, entraîne une augmentation de la diffusion des composés volatils qui engendre une réduction de la durée de vie des molécules dans l'environnement (Abd El-Ghany 2023). Il faudra donc changer les produits plus régulièrement. Une solution serait d'utiliser des produits plus concentrés, mais certaines molécules attractives pour le thrips deviennent répulsives à forte concentration et le risque toxicologique augmente. Le MAGIPAL, composé de méthyl salicylate, est classé comme produit CMR de catégorie 2 (Bernauer et al. 2023). Trouver des molécules répulsives et non toxique serait également un objectif à envisager.

Le principal objectif de cette étude est de mettre en place une stratégie sans impact négatif sur la santé et l'environnement, efficace contre le thrips avec un coût raisonnable. Les frais constituent souvent un obstacle à l'adoption de nouvelles pratiques. Estimons une production de poivron avec une période d'infestation potentielle de 6 mois. La stratégie push-pull coûte 0,19 €/m<sup>2</sup> soit 1900 €/ha pour 6 mois d'utilisation. Le lâcher d'acariens prédateurs est adapté en fonction de son implantation dans la culture, mais nous pouvons l'estimer à un lâcher de 30 individus/m<sup>2</sup> grand maximum toutes les deux semaines, ce qui revient à un coût total 0,20 €/m<sup>2</sup>, hors main d'œuvre. L'ajout de pollen comme complément alimentaire revient à 0,03 €/m<sup>2</sup> et de cyste d'artémie à 0,001€/m<sup>2</sup>.



## V. Conclusion

Dans cette étude, nous avons évalué l'efficacité de différents moyens de lutte contre le thrips sur la culture de poivron sous serre. La première stratégie est une méthode push-pull avec un répulsif placé au milieu de la culture et un attractif collé sur un piège chromatique englué bleu hors de la culture. Cette méthode a entraîné une diminution du nombre de thrips dans la culture par rapport au témoin. Les pièges ont montré un taux important de capture. Cependant, le piégeage ne permet pas d'être suffisamment inférieur au seuil de nuisibilité estimé à 2,8 individus par fleur. De plus, il ne cible que les adultes laissant les larves causer des dégâts aux plantes.

La seconde stratégie consiste à utiliser une méthode push-pull couplée à une lutte biologique avec l'acarien prédateur *A. swirskii*. Cet acarien prédateur a montré son efficacité sur les larves lors de précédentes études, mais ne permet pas une totale gestion des populations de thrips à lui seul. Cette modalité est la plus efficace, réduisant les populations de thrips et la quantité de dégâts à un niveau bien inférieur comparé aux modalités témoin et push-pull seul. En effet, la combinaison de deux moyens de lutte avec d'un côté les acariens ciblant les larves et de l'autre le push-pull ciblant les adultes, permet une bonne gestion des populations. La combinaison de leviers complémentaires au sein d'une protection biologique intégrée permet la réduction des infestations de thrips et des dommages aux cultures, tout en contribuant à une production plus saine et durable.

L'application de la méthode push-pull dans différentes conditions de culture, telles que les serres en verre et les tunnels, a montré des résultats prometteurs, bien que des études supplémentaires soient nécessaires pour confirmer son efficacité avec plus de répétitions et de plus longs essais. De plus, il serait intéressant de tester ces produits sur d'autres cultures maraichères sous abris, notamment la tomate ou l'aubergine, deux cultures importantes où le thrips pose un problème. Par ailleurs, une observation des dégâts sur fruits pourrait être intéressante afin d'affiner l'efficacité de la stratégie et d'observer un impact sur le rendement. Enfin, le coût de mise en place de cette stratégie est estimé à environ 40 centimes du m<sup>2</sup>.

En conclusion, cette étude propose une approche intégrée et économique pour la gestion des thrips en culture de poivron, minimisant l'impact environnemental et favorisant des pratiques agricoles durables. Les résultats obtenus soulignent l'importance de combiner différentes méthodes de lutte (ici lutte biologique et push-pull) pour optimiser la protection des cultures contre les ravageurs. La suite prévue à cet essai sera une comparaison avec les médiateurs chimiques développés par AGRIODOR, une entreprise française spécialisée dans la création de molécules afin de gérer les ravageurs de cultures. L'objectif est d'obtenir une stratégie plus efficace ou équivalente avec des molécules ayant un profil toxicologique plus favorable et un coût tout aussi accessible par rapport à ce qui est actuellement commercialisé.



## Bibliographie

- ABD EL-GHANY, Nesreen M., 2023. Semiochemicals for controlling insect pests. *Journal of Plant Protection Research* [en ligne]. 26 juillet 2023. [Consulté le 8 avril 2024]. DOI 10.24425/jppr.2019.126036. Disponible à l'adresse : <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/126036/edition/109966/content>
- AGELOPOULOS, Nicky, BIRKETT, Michael A, HICK, Alastair J, HOOPER, Anthony M, PICKETT, John A, POW, Eleanor M, SMART, Lesley E, SMILEY, Diane W M, WADHAMS, Lester J et WOODCOCK, Christine M, 1999. Exploiting semiochemicals in insect control. *Pesticide Science*. Mars 1999. Vol. 55, n° 3, pp. 225-235. DOI [10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199903\)55:3<225::AID-PS887>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199903)55:3<225::AID-PS887>3.0.CO;2-7).
- AGRESTE, 2023. *Statistique agricole annuelle 2022-chiffres définitifs* [en ligne]. Décembre 2023. Disponible à l'adresse : [https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2319/cd2023-19\\_SAA2022-D%C3%A9finitive.pdf](https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2319/cd2023-19_SAA2022-D%C3%A9finitive.pdf)
- ANSES, 2020. *AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'évaluation du salicylate de méthyle (n° CAS 119-36-8) dans le cadre de l'évaluation des substances sous REACH* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.anses.fr/fr/system/files/REACH2015SA0219.pdf>
- ATAKAN, Ekrem et CANHILAL, Ramazan, 2004. Evaluation of yellow sticky traps at various heights for monitoring cotton insect pests. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*. 1 janvier 2004. Vol. 21, pp. 15-24.
- BERGER, Bernhard, 2005. Organisme de quarantaine OEPP. 2005.
- BERNAUER, U., BODIN, L., CHAUDHRY, Q., COENRAADS, P.J., DUSINSKA, M., EZENDAM, J., GAFFET, E., GALLI, C. L., PANTERI, E., ROGIERS, V., ROUSSELLE, Ch., STEPNIK, M., VANHAECKE, T., WIJNHOFEN, S., BENFENTATI, E., CABATON, N., CORSINI, E., KOUTSODIMOU, A., LOURO, H., UTER, W., GOETZ, N. Von et SCIENTIFIC COMMITTEE FOR CONSUMER SAFETY (SCCS, EC), 2023. *SCIENTIFIC ADVICE – Children exposure on Methyl salicylate (methyl 2-hydroxybenzoate) - SCCS/1654/23 Final version* [en ligne]. Commission européenne. [Consulté le 26 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-04215942>
- BIOBEST, 2012. *Biological Systems for Sustainable Crop Management : Swirskii-system* [en ligne]. 2012. Disponible à l'adresse : <file:///S:/Lutte%20Integree/Emma/Rapport/Biblio/Management/Biobest.pdf>
- BLANCARD, Dominique, 2009. *Les maladies de la tomate*. ISBN 978-2-7592-0328-4.
- BOSCO, Lara, GIACOMETTO, Emanuela et TAVELLA, Luciana, 2008. Colonisation et prédation des thrips (Thysanoptera : Thripidae) par *Orius* spp. (Heteroptera : Anthocoridae) dans les serres de poivrons du nord-ouest de l'Italie. *Biological Control*. 1 mars 2008. Vol. 44, n° 3, pp. 331-340. DOI 10.1016/j.biocontrol.2007.10.027.
- BOSCO, Lara et TAVELLA, Luciana, 2010. Population dynamics and integrated pest management of Thrips tabaci on leek under field conditions in northwest Italy. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 2010. Vol. 135, n° 3, pp. 276-287. DOI 10.1111/j.1570-7458.2010.00991.x.

- BOURNIER, Jean-Paul, 2000. Les Thysanoptères de l'île de la Réunion : Terebrantia. *Bulletin de la Société entomologique de France*. 2000. Vol. 105, n° 1, pp. 65-108. DOI 10.3406/bsef.2000.16643.
- BUITENHUIS, Rosemarije, MURPHY, Graeme, SHIPP, Les et SCOTT-DUPREE, Cynthia, 2015. Amblyseius swirskii in greenhouse production systems: a floricultural perspective. *Experimental and Applied Acarology*. Avril 2015. Vol. 65, n° 4, pp. 451-464. DOI 10.1007/s10493-014-9869-9.
- CASTAÑÉ, Cristina, RIUDAVETS, Jordi et YANO, Eizi, 1999. Biological Control of Thrips. In : ALBAJES, R., LODOVICA GULLINO, M., VAN LENTEREN, J. C. et ELAD, Y. (éd.), *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops* [en ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands. pp. 244-253. Developments in Plant Pathology. [Consulté le 7 juin 2024]. ISBN 978-0-7923-5631-8. Disponible à l'adresse : [https://link.springer.com/10.1007/0-306-47585-5\\_17](https://link.springer.com/10.1007/0-306-47585-5_17)
- CASTAÑÉ, Cristina, VAN DER BLOM, Jan et NICOT, Philippe C., 2020. Tomatoes. In : GULLINO, Maria Lodovica, ALBAJES, Ramon et NICOT, Philippe C. (éd.), *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. pp. 487-511. [Consulté le 18 avril 2024]. ISBN 978-3-030-22304-5. Disponible à l'adresse : [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5_17)
- CHAMONT, S., 2021. Thysanoptères. [en ligne]. 4 novembre 2021. [Consulté le 7 juin 2024]. Disponible à l'adresse : <https://ephytia.inra.fr/fr/C/11164/Hypp-encyclopedie-en-protection-des-plantes-Thysanopteres>
- CHERMENSKAYA, T. D., BUROV, V. N., MANIAR, S. P., POW, E. M., RODITAKIS, N., SELYTSKAYA, O. G., SHAMSHEV, I. V., WADHAMS, L. J. et WOODCOCK, C. M., 2001. Behavioural Responses of Western Flower Thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), to Volatiles from Three Aromatic Plants. *International Journal of Tropical Insect Science*. mars 2001. Vol. 21, n° 1, pp. 67-72. DOI 10.1017/S1742758400020063.
- CLOYD, Raymond A, 2009. Western Flower Thrips (*Frankliniella occidentalis*) Management on Ornamental Crops Grown in Greenhouses: Have We Reached an Impasse? . 5 octobre 2009.
- COLEMAN, Peri et WOOD, Glenys, 2016. *Gahnia filum: Insect use of thatching grass*.
- COOK, Samantha M., KHAN, Zeyaur R. et PICKETT, John A., 2007. The Use of Push-Pull Strategies in Integrated Pest Management. *Annual Review of Entomology*. 1 janvier 2007. Vol. 52, n° 1, pp. 375-400. DOI [10.1146/annurev.ento.52.110405.091407](https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091407).
- DEKEBO, Aman, 2022. Major Pests and Pest Management Strategies in the Sweet Pepper (*Capsicum annuum*). In : *Capsicum - Current Trends and Perspectives* [en ligne]. IntechOpen. [Consulté le 18 avril 2024]. ISBN 978-1-80356-006-9. Disponible à l'adresse : <https://www.intechopen.com/chapters/82890>
- DELIGEORGI, P.N., L. Giakalis, G. Sidiropoulos, M. Vaiopoulou, G. Kaltsoudas et C.G. Ipsilandis, 2006. Longevity and Reproduction of *Frankliniella occidentalis* and Thrips *tabaci* on Cucumber under Controlled Conditions. *Journal of Entomology*. 2006. Vol. 3, n° 1, pp. 61-69. DOI 10.3923/je.2006.61.69.
- DELISLE, J. F., SHIPP, L. et BRODEUR, J., 2015. Apple pollen as a supplemental food source for the control of western flower thrips by two predatory mites, *Amblyseius swirskii* and *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae), on potted chrysanthemum. *Experimental and Applied Acarology*. Avril 2015. Vol. 65, n° 4, pp. 495-509. DOI 10.1007/s10493-014-9863-2.

- DEMIREL, N. et CRANSHAW, W., 2006. Relative attraction of color traps and plant extracts to the false chinch bug *Nysius raphanus* and its parasitoid, *Phasia occidentalis*, on brassica crops in Colorado. *Phytoparasitica*. 1 avril 2006. Vol. 34, n° 2, pp. 197-203. DOI [10.1007/BF02981320](https://doi.org/10.1007/BF02981320).
- DING, Tianbo, CHI, Hsin, GÖKÇE, Ayhan, GAO, Yulin et ZHANG, Bin, 2018. Demographic analysis of arrhenotokous parthenogenesis and bisexual reproduction of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Scientific Reports*. 20 février 2018. Vol. 8, n° 1, pp. 3346. DOI [10.1038/s41598-018-21689-z](https://doi.org/10.1038/s41598-018-21689-z).
- EBENER, Thierry, 1989. *Frankliniella Occidentalis Pergande : le cas en Suisse romande*.
- ELIMEM, M, HARBI, A, HAFSI, A, OTHMEN, S Ben, LIMEM-SELLEMI, E et CHERMITI, B, 2018. *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera; Thripidae) sex-ratio evaluation in pepper crop greenhouses in relation with biotic and abiotic parameters. . 2018. Vol. 49.
- ELIMEM, Mohamed, HARBI, Ahlem et CHERMITI, Brahim, 2011. Evaluation of *Frankliniella occidentalis* different body colours and their development in a pepper crop greenhouse in the Region of Moknine in Tunisia. [en ligne]. 2011. Disponible à l'adresse : <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol64-2011-009-013elimem.pdf>
- ERARD, Patricia, 2002. *Le poivron*. ISBN 2-87911-190-0.
- FARKAS, Péter, BAGI, Nóra, SZABÓ, Árpád, LADÁNYI, Márta, KIS, Krisztiánné, SOJNÓCZKI, Annamária, REITER, Dániel, PÉNZES, Béla et FAIL, József, 2016. Biological control of thrips pests (Thysanoptera: Thripidae) in a commercial greenhouse in Hungary. *Polish Journal of Entomology*. 1 décembre 2016. Vol. 85, n° 4, pp. 437-451. DOI [10.1515/pjen-2016-0028](https://doi.org/10.1515/pjen-2016-0028).
- FUNDERBURK, Joe, REITZ, Stuart, STANSLY, Phil, SCHUSTER, Dave, NUESSELY, Greg et LEPLA, Norm, 2009. Managing Thrips in Pepper and Eggplant: ENY-658/IN401, rev. 10/2009. *EDIS* [en ligne]. 31 octobre 2009. Vol. 2009, n° 9. [Consulté le 12 avril 2024]. DOI [10.32473/edis-in401-2009](https://doi.org/10.32473/edis-in401-2009). Disponible à l'adresse : <https://journals.flvc.org/edis/article/view/118153>
- GAO, Yulin, LEI, Zhongren et REITZ, Stuart R, 2012. Western flower thrips resistance to insecticides: detection, mechanisms and management strategies. *Pest Management Science*. août 2012. Vol. 68, n° 8, pp. 1111-1121. DOI [10.1002/ps.3305](https://doi.org/10.1002/ps.3305).
- GIRAUD, Marie, 2019. *Evaluation de l'intérêt des huiles essentielles dans la lutte contre le thrips, Frankliniella occidentalis, en cultures ornementales*.
- GOLEVA, Irina et ZEBITZ, Claus P. W., 2013. Suitability of different pollen as alternative food for the predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari, Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*. novembre 2013. Vol. 61, n° 3, pp. 259-283. DOI [10.1007/s10493-013-9700-z](https://doi.org/10.1007/s10493-013-9700-z).
- HANAFI, A. et LACHAM, A., 2002. Lutte intégrée contre le thrips californien (*Frankliniella occidentalis*) en culture de poivron sous serre dans la région du Souss. 2002. pp. 6.
- Harbi, A., Elimem, M., & Chermiti, B. (2013). Use of a synthetic kairomone to control *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera; Thripidae) in protected pepper crops in Tunisia. *African Journal of Plant Science and Biotechnology*, 7(1), 42-47.
- HE, Zhen, GUO, Jing-Fei, REITZ, Stuart R., LEI, Zhong-Ren et WU, Sheng-Yong, 2020. A global invasion by the thrip, *Frankliniella occidentalis*: Current virus vector status and its management. *Insect Science*. août 2020. Vol. 27, n° 4, pp. 626-645. DOI [10.1111/1744-7917.12721](https://doi.org/10.1111/1744-7917.12721).

- IPPC, 2016. *Thrips palmi* Karny [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/59e7354f-ebd9-4562-be48-c5223e778083/content>
- JENSER, G. et SZÉNÁSI, Á., 2004. Review of the biology and vector capability of *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*. mai 2004. Vol. 39, n° 1-3, pp. 137-155. DOI 10.1556/APhyt.39.2004.1-3.14.
- JONES, David R., 2005. Plant Viruses Transmitted by Thrips. *European Journal of Plant Pathology*. 1 octobre 2005. Vol. 113, n° 2, pp. 119-157. DOI 10.1007/s10658-005-2334-1.
- KENYON, Lawrence, KUMAR, Sanjeet, TSAI, Wen-Shi et HUGHES, Jacqueline d'A., 2014. Virus Diseases of Peppers (*Capsicum* spp.) and Their Control. In : *Advances in Virus Research* [en ligne]. Elsevier. pp. 297-354. [Consulté le 22 avril 2024]. ISBN 978-0-12-801246-8. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128012468000068>
- KHAN, Zeyaur R., MIDEGA, Charles A. O., PITTCHAR, Jimmy O., MURAGE, Alice W., BIRKETT, Michael A., BRUCE, Toby J. A. et PICKETT, John A., 2014. Achieving food security for one million sub-Saharan African poor through push-pull innovation by 2020. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 5 avril 2014. Vol. 369, n° 1639, pp. 20120284. DOI [10.1098/rstb.2012.0284](https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0284).
- KIRK, William D. J., DE KOGEL, Willem Jan, KOSCHIER, Elisabeth H. et TEULON, David A. J., 2021. Semiochemicals for Thrips and Their Use in Pest Management. *Annual Review of Entomology*. 7 janvier 2021. Vol. 66, n° 1, pp. 101-119. DOI 10.1146/annurev-ento-022020-081531.
- KIRK, William D. J. et TERRY, L. Irene, 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agricultural and Forest Entomology*. novembre 2003. Vol. 5, n° 4, pp. 301-310. DOI 10.1046/j.1461-9563.2003.00192.x.
- KLIOT, Adi, KONTSEDALOV, Svetlana, LEBEDEV, Galina et GHANIM, Murad, 2016. Advances in Whiteflies and Thrips Management. In : HOROWITZ, A. Rami et ISHAAYA, Isaac (éd.), *Advances in Insect Control and Resistance Management* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. pp. 205-218. [Consulté le 2 avril 2024]. ISBN 978-3-319-31798-4. Disponible à l'adresse : [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-31800-4\\_11](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-31800-4_11)
- KOCH, Theresa, 2015. *Comparaison du niveau d'activité de Thrips tabaci et de ses ennemis naturels entre une parcelle aménagée avec des plantes de service et une parcelle de poireaux traditionnell.*
- KOSCHIER, Elisabeth H., 2008. Essential Oil Compounds for Thrips Control – a Review. *Natural Product Communications*. juillet 2008. Vol. 3, n° 7, pp. 1934578X0800300. DOI 10.1177/1934578X0800300726.
- KOSCHIER, Elisabeth H., DE KOGEL, Willem Jan et VISSER, J. Hans, 2000. Assessing the Attractiveness of Volatile Plant Compounds to Western Flower Thrips *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Chemical Ecology*. 1 décembre 2000. Vol. 26, n° 12, pp. 2643-2655. DOI 10.1023/A:1026470122171.
- KUMM, S. et MORITZ, G., 2010. Life-cycle variation, including female production by virgin females in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Applied Entomology*. juillet 2010. Vol. 134, n° 6, pp. 491-497. DOI 10.1111/j.1439-0418.2009.01473.x.

- LECERF, Jérôme, 2016. *Fiche technique : Le poivron - Capsicum annuum L.* [en ligne]. 26 juillet 2016. [Consulté le 8 avril 2024]. Disponible à l'adresse : [https://www.service-public.fr/dag/wp-content/uploads/sites/28/2018/12/poivron-ft-culture\\_SDRdag\\_v181212.pdf](https://www.service-public.fr/dag/wp-content/uploads/sites/28/2018/12/poivron-ft-culture_SDRdag_v181212.pdf)
- LEGRAND, Charline, 2023. *Accompagner l'usage des médiateurs chimiques par le développement d'une stratégie de biocontrôle « push-pull » contre le thrips Frankliniella occidentalis en culture sous serre.*
- LI, Xiao-Wei, ZHANG, Zhi-Jun, HAFEEZ, Muhammad, HUANG, Jun, ZHANG, Jin-Ming, WANG, Li-Kun et LU, Yao-Bin, 2021. Rosmarinus officinalis L. (Lamiales: Lamiaceae), a Promising Repellent Plant for Thrips Management. *Journal of Economic Entomology*. 1 février 2021. Vol. 114, n° 1, pp. 131-141. DOI 10.1093/jee/toaa288.
- LOBACHEMIE, 2022. *Fiche de données de sécurité : Anisaldehyde extra pure* [en ligne]. 24 mai 2022. Disponible à l'adresse : <https://www.lobachemie.com/lab-chemical-msds/MSDS-ANISALDEHYDE-CASNO-123-11-01387-FR.aspx>
- LOOMANS, Antoon J M, 2006. Exploration for hymenopterous parasitoids of thrips. . 2006.
- LOPEZ-REYES, Karla, ARMSTRONG, Karen F., VAN TOL, Robert W. H. M., TEULON, David A. J. et BOK, Michael J., 2022. Colour vision in thrips (Thysanoptera). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 24 octobre 2022. Vol. 377, n° 1862, pp. 20210282. DOI 10.1098/rstb.2021.0282.
- LUBLINHOF et FOSTER, 1977. *Durée de développement des différents stades de F. occidentalis.* 1977.
- MCDONALD, J R, BALE, J S et WALTERS, K F A, 1998. Effect of temperature on development of the Western Flower Thrips, Frankliniella occidentalis (Thysanoptera: Thripidae). 1998.
- MARTINEZ, M., 2023. Info-Insectes - THYSANOPTERA. [en ligne]. 1 décembre 2023. [Consulté le 7 juin 2024]. Disponible à l'adresse : <https://ephytia.inra.fr/fr/C/7519/Info-Insectes-THYSANOPTERA>
- MESSELINK, Gerben J., LABBÉ, Roselyne, MARCHAND, Geneviève et TAVELLA, Luciana, 2020. Sweet Peppers. In : GULLINO, Maria Lodovica, ALBAJES, Ramon et NICOT, Philippe C. (éd.), *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. pp. 513-535. [Consulté le 18 avril 2024]. ISBN 978-3-030-22304-5. Disponible à l'adresse : [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5_18)
- MESSELINK, Gerben J., MAANEN, Roos Van, VAN STEENPAAL, Sebastiaan E.F. et JANSSEN, Arne, 2008. Biological control of thrips and whiteflies by a shared predator: Two pests are better than one. *Biological Control*. mars 2008. Vol. 44, n° 3, pp. 372-379. DOI 10.1016/j.biocontrol.2007.10.017.
- MESSELINK, Gerben J., VAN STEENPAAL, Sebastiaan E. F. et RAMAKERS, Pierre M. J., 2006. Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *BioControl*. décembre 2006. Vol. 51, n° 6, pp. 753-768. DOI 10.1007/s10526-006-9013-9.
- MESSELINK, Gerben et VAN HOLSTEIN-SAJ, Renata, 2008. Improving thrips control by the soil-dwelling predatory mite Macrocheles robustulus (Berlese). . 2008. Vol. 32.
- MISHRA, Vachaspati, ELLOUZE, Walid et ZHANG, John, 2016. *Cucumber Grafting Increases the Yield Potential but not CGMMV Tolerance.*

- MORITZ, Gerald, KUMM, Sandra et MOUND, Laurence, 2004. Tospovirus transmission depends on thrips ontogeny. *Virus Research*. 1 mars 2004. Vol. 100, n° 1, pp. 143-149. DOI 10.1016/j.virusres.2003.12.022.
- MORSE, Joseph G. et HODDLE, Mark S., 2006. INVASION BIOLOGY OF THRIPS. *Annual Review of Entomology*. 1 janvier 2006. Vol. 51, n° 1, pp. 67-89. DOI 10.1146/annurev.ento.51.110104.151044.
- MOUDEN, Sanae et LEISS, Kirsten A, 2021. Host plant resistance to thrips (Thysanoptera: Thripidae) – current state of art and future research avenues. *Current Opinion in Insect Science*. juin 2021. Vol. 45, pp. 28-34. DOI 10.1016/j.cois.2020.11.011.
- MOUDEN, Sanae, SARMIENTO, Kryss Facun, KLINKHAMER, Peter Gl et LEISS, Kirsten A, 2017. Integrated pest management in western flower thrips: past, present and future. *Pest Management Science*. Mai 2017. Vol. 73, n° 5, pp. 813-822. DOI 10.1002/ps.4531.
- MOUND, L. A. et MARULLO, Rita, 2002. *Thrips and tospoviruses: proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera*. Canberra : Australian National Insect Collection CSIRO. ISBN 978-0-9750206-0-9.
- Muvea, A. M., Waiganjo, M. M., Kutima, H. L., Osiemo, Z., Nyasani, J. O., & Subramanian, S. (2014). Attraction of pest thrips (Thysanoptera: Thripidae) infesting French beans to coloured sticky traps with Lurem-TR and its utility for monitoring thrips populations. *International journal of tropical insect science*, 34(3), 197-206.
- NAMESNY, Vallespir, 2006. *Pimientos, 1A Edicion (Actualizada) - Compendios de horticultura 16*. ISBN 84-87729-54-1. 2670.O9
- NIELSEN, Mette-Cecilie Krause, 2013. Factors affecting the response of Thrips to an olfactory cue. 2013.
- PARK, Hong-Hyun, KIM, Kwang-Ho, PARK, Chang-Gyu, CHOI, Byeong-Ryeol, KIM, Jeong-Jun, LEE, Si-Woo et LEE, Sang-Guei, 2009. Damage analysis and Control threshold of *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) on Greenhouse Eggplant and Sweet pepper. *Korean journal of applied entomology*. 2009. Vol. 48, n° 2, pp. 229-236. DOI 10.5656/KSAE.2009.48.2.229.
- PARK, Hong-Hyun, LEE, Joon-Ho et UHM, Ki-Baik, 2007. Economic Thresholds of Western Flower Thrips (Thysanoptera: Thripidae) for Unripe Red Pepper in Greenhouse. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 1 mars 2007. Vol. 10, n° 1, pp. 45-53. DOI 10.1016/S1226-8615(08)60330-1.
- PARK, Hong-Hyun, SHIPP, Les, BUITENHUIS, Rosemarije et AHN, Jeong Joon, 2011. Life history parameters of a commercially available *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) fed on cattail (*Typha latifolia*) pollen and tomato russet mite (*Aculops lycopersici*). *Journal of Asia-Pacific Entomology*. décembre 2011. Vol. 14, n° 4, pp. 497-501. DOI 10.1016/j.aspen.2011.07.010.
- PARK, Young-gyun et LEE, Joon-Ho, 2020. Life history characteristics of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae), under fluctuating conditions of temperature or relative humidity. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 1 juin 2020. Vol. 23, n° 2, pp. 606-611. DOI 10.1016/j.aspen.2020.04.010.
- PARRELLA, Michael P et LEWIS, Edwin, 2017. Biological Control in Greenhouse and Nursery Production: Present Status and Future Directions. *American Entomologist*. 12 décembre 2017. Vol. 63, n° 4, pp. 237-250. DOI 10.1093/ae/tmx010.
- PERNEZNY, Ken, D. ROBERTS, Pamela, F.MURPHY, John et P.GOLDBERG, Natalie, 2005. *Compendium of pepper diseases*. ISBN 0-89054-300-3. 2672.O1

- PICARD, Isabelle, HOLLINGSWORTH, Robert G., SALMIERI, Stéphane et LACROIX, Monique, 2012. Repellency of Essential Oils to *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) as Affected by Type of Oil and Polymer Release. *Journal of Economic Entomology*. 1 août 2012. Vol. 105, n° 4, pp. 1238-1247. DOI 10.1603/EC11292.
- PIÑERO, Jaime C. et PROKOPY, Ronald J., 2003. Field Evaluation of Plant Odor and Pheromonal Combinations for Attracting Plum Curculios. *Journal of Chemical Ecology*. 1 décembre 2003. Vol. 29, n° 12, pp. 2735-2748. DOI [10.1023/B:JOEC.0000008017.16911.aa](https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000008017.16911.aa).
- REDDY, P. Parvatha, 2016. Push–Pull Strategy. In : REDDY, P. Parvatha (éd.), *Sustainable Intensification of Crop Production* [en ligne]. Singapore : Springer. pp. 323-336. [Consulté le 29 avril 2024]. ISBN 978-981-10-2702-4. Disponible à l'adresse : [https://doi.org/10.1007/978-981-10-2702-4\\_21](https://doi.org/10.1007/978-981-10-2702-4_21)
- REITZ, Stuart R., 2009. Biology and Ecology of the Western Flower Thrips (Thysanoptera: Thripidae): The Making of a Pest. *Florida Entomologist*. mars 2009. Vol. 92, n° 1, pp. 7-13. DOI 10.1653/024.092.0102.
- REITZ, Stuart R., GAO, Yulin, KIRK, William D.J., HODDLE, Mark S., LEISS, Kirsten A. et FUNDERBURK, Joe E., 2020. Invasion Biology, Ecology, and Management of Western Flower Thrips. *Annual Review of Entomology*. 7 janvier 2020. Vol. 65, n° 1, pp. 17-37. DOI 10.1146/annurev-ento-011019-024947.
- ROBERTO, H et GONZALES, Ph.D., 1996. *Biología y manejo del trips de california en huertos frutales*. Universidad de Chile. ISBN 3030301793. 532.041
- RÓTH, Fruzsina, 2016. The hypothesized visual system of Thrips tabaci (Lindeman) and Frankliniella occidentalis (Pergande) based on different coloured traps' catches. 2016.
- ROUBOS, Craig R. et LIBURD, Oscar E., 2008. Effect of Trap Color on Captures of Grape Root Borer (Lepidoptera: Sesiidae) Males and Non-Target Insects. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*. avril 2008. Vol. 25, n° 2, pp. 99-109. DOI [10.3954/1523-5475-25.2.99](https://doi.org/10.3954/1523-5475-25.2.99).
- ROY, Grégory, PICAULT, Sébastien, VILLENEUVE, François, DAVY, Maxime et BURLET, Alexandre, 2016. *Lutte contre les ravageurs sur poireau (1ère partie) : Techniques et stratégies de protection contre le thrips*. 2016.
- SABAH, Razi, 2017. *Etude éco-biologique des thrips de la région de Biskra*.
- SAMPSON, Clare, GRIFFITHS, Charles et HASSAN, Nayem, 2020. PDF PUSH-PULL - a novel strategy for pest management p220-222 Dr Sampson C Griffiths Dr N Hassan. *International Pest Control*. 7 octobre 2020. Vol. 62:4, pp. 220-222.
- SAMPSON, Clare et KIRK, William D. J., 2013. Can Mass Trapping Reduce Thrips Damage and Is It Economically Viable? Management of the Western Flower Thrips in Strawberry. [en ligne]. 25 novembre 2013. DOI <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080787>. Disponible à l'adresse : <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0080787>
- SAMPSON, Clare, SINGH, Arun, TURNER, Rachel, ALI, Abu, USMANI, Shams et HASSAN, Nayem, 2023. The effect of Thripnok, a two-component kairomone lure, on trap catch of *Frankliniella occidentalis* in protected crops. . 4 septembre 2023. Vol. 166, pp. 51-58.
- SCHWARTZ, Alexandre, 2015. *Méthodes alternatives de protection en culture de poireau contre la mouche mineuse des Alliées (Phytomyza gymnostoma) et le thrips de l'oignon (Thrips tabaci)*.

- SERRURIER, Matthieu, 2020. Principales tendances en Europe et en France : Marché de l'aubergine, du poivron et de la courgette. [en ligne]. 1 avril 2020. [Consulté le 11 avril 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.ctifl.fr/principales-tendances-en-europe-et-en-france-infos-ctifl-360>
- SHIPP, J. L., BINNS, M. R., HAO, X. et WANG, K., 1998. Economic Injury Levels for Western Flower Thrips (Thysanoptera: Thripidae) on Greenhouse Sweet Pepper. *Journal of Economic Entomology*. 1 juin 1998. Vol. 91, n° 3, pp. 671-677. DOI 10.1093/jee/91.3.671.
- SKINNER, Margaret, GOULI, Svetlana, FRANK, Cheryl E., PARKER, Bruce L. et KIM, Jae Su, 2012. Management of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) with granular formulations of entomopathogenic fungi. *Biological Control*. décembre 2012. Vol. 63, n° 3, pp. 246-252. DOI 10.1016/j.biocontrol.2012.08.004.
- SOROKER, Victoria, HARARI, Ally et FALEIRO, Jose Romeno, 2015. The Role of Semiochemicals in Date Pest Management. In : WAKIL, Waqas, ROMENO FALEIRO, Jose et MILLER, Thomas A. (éd.), *Sustainable Pest Management in Date Palm: Current Status and Emerging Challenges* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing, pp. 315-346. [Consulté le 2 avril 2024]. ISBN 978-3-319-24395-5. Disponible à l'adresse : [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-24397-9\\_11](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-24397-9_11)
- STANSLY, Philip A., CALVO, Javier et URBANEJA, Alberto, 2005. Taux de dissémination pour la lutte contre *Bemisia tabaci* (Homoptera : Aleyrodidae) biotype « Q » avec *Eretmocerus mundus* (Hymenoptera : Aphelinidae) dans la tomate et le poivron de serre. *Biological Control*. 1 novembre 2005. Vol. 35, n° 2, pp. 124-133. DOI 10.1016/j.biocontrol.2005.07.004.
- STEPANYCHEVA, E. A., PETROVA, M. O., CHERMENSKAYA, T. D. et PAVELA, R., 2018. Effects of Volatiles of Essential Oils on Behavior of the Western Flower Thrips *Frankliniella occidentalis* Perg. (Thysanoptera, Thripidae). *Entomological Review*. 1 octobre 2018. Vol. 98, n° 7, pp. 801-806. DOI 10.1134/S0013873818070011.
- STUKENBERG, Niklas, PIETRUSKA, Markus, WALDHERR, Axel et MEYHÖFER, Rainer, 2020. Wavelength-Specific Behavior of the Western Flower Thrips (*Frankliniella occidentalis*): Evidence for a Blue-Green Chromatic Mechanism. *Insects*. 9 juillet 2020. Vol. 11, n° 7, pp. 423. DOI 10.3390/insects11070423.
- TENTCHEV, D., VERDIN, E., MARCHAL, C., JACQUET, M., AGUILAR, J. M. et MOURY, B., 2011. Evolution and structure of Tomato spotted wilt virus populations: evidence of extensive reassortment and insights into emergence processes. *Journal of General Virology*. 1 avril 2011. Vol. 92, n° 4, pp. 961-973. DOI 10.1099/vir.0.029082-0.
- TEULON, David A. J., DAVIDSON, M. M et NIELSEN, Mette-Cecilie Krause, 2014. Effect of release rate and odour cross-contamination for semiochemical baited traps used in thrips pest management. *CABI Databases*. 1 octobre 2014. Vol. 62, pp. 220-222.
- TEULON, David A.J., BUTLER, Ruth C., JAMES, Dale E. et DAVIDSON, Melanie M., 2007. Odour-baited traps influence thrips capture in proximal unbaited traps in the field. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 2007. Vol. 123, n° 3, pp. 253-262. DOI 10.1111/j.1570-7458.2007.00554.x.
- ULLAH, Mohammad Shaef et LIM, Un Taek, 2015. Life History Characteristics of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* (Thysanoptera: Thripidae) in Constant and Fluctuating Temperatures. *Journal of Economic Entomology*. 1 juin 2015. Vol. 108, n° 3, pp. 1000-1009. DOI [10.1093/jee/tov035](https://doi.org/10.1093/jee/tov035).

- ULLMAN, Diane E, MEIDEROS, Ricardo, CAMPBELL, Leslie R, WHITFIELD, Anna E, SHERWOOD, John L et GERMAN, Thomas L, 2002. Thrips as vectors of tospoviruses. In : *Advances in Botanical Research* [en ligne]. Elsevier. pp. 113-140. [Consulté le 8 avril 2024]. ISBN 978-0-12-005935-5. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0065229602360610>
- VANGANSBEKE, Dominiek, NGUYEN, Duc Tung, AUDENAERT, Joachim, VERHOEVEN, Ruth, GOBIN, Bruno, TIRRY, Luc et DE CLERCQ, Patrick, 2016. Supplemental food for *Amblyseius swirskii* in the control of thrips: feeding friend or foe?: Do food supplements enhance predator or prey populations? *Pest Management Science*. mars 2016. Vol. 72, n° 3, pp. 466-473. DOI 10.1002/ps.4000.
- WALLBANK, B. E. et WHEATLEY, G. A., 1979. Some responses of cabbage root fly (*Delia brassicae*) to ally I isothiocyanate and other volatile constituents of crucifers. *Annals of Applied Biology*. 1979. Vol. 91, n° 1, pp. 1-12. DOI [10.1111/j.1744-7348.1979.tb07407.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1979.tb07407.x).
- WERA, Hélène, MOLLET, Amandine, VAN LOO, Thomas, OSTE, Sandrine et MATHIEU, Olivier, 2021. *Le thrips : Frankliniella occidentalis, en culture de fraises*.
- WHITFIELD, Anna E., ULLMAN, Diane E. et GERMAN, Thomas L., 2005. Tospovirus-Thrips Interactions. *Annual Review of Phytopathology*. 28 juillet 2005. Vol. 43, n° Volume 43, 2005, pp. 459-489. DOI 10.1146/annurev.phyto.43.040204.140017.
- WHITFIELD, E Charles, LOBOS, Enrique, CORK, Alan et HALL, David R, 2019. Comparison of Different Trap Designs for Capture of Noctuid Moths (Lepidoptera: Noctuidae) With Pheromone and Floral Odor Attractants. *Journal of Economic Entomology*. 23 septembre 2019. Vol. 112, n° 5, pp. 2199-2206. DOI [10.1093/jee/toz093](https://doi.org/10.1093/jee/toz093).
- WIMMER, D., HOFFMANN, D. et SCHAUSBERGER, P., 2008. Prey suitability of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, and onion thrips, *Thrips tabaci*, for the predatory mite *Amblyseius swirskii*. *Biocontrol Science and Technology*. janvier 2008. Vol. 18, n° 6, pp. 533-542. DOI 10.1080/09583150802029784.
- ZHANG, Tao, REITZ, Stuart R., WANG, Haihong et LEI, Zhongren, 2015. Sublethal Effects of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) on Life Table Parameters of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology*. 1 juin 2015. Vol. 108, n° 3, pp. 975-985. DOI 10.1093/jee/tov091.
- ZRUBECZ, Péter et TÓTH, Ferenc, 2008. The effect of pruning on fruit quality composition and on the economic loss caused by *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in greenhouse sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). 2008.

## Sitographie

- [1] MINISTÈRE D L'AGRICULTURE, 2023. Le poivron et ses couleurs estivales. *Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire* [en ligne]. 18 juillet 2023. [Consulté le 11 avril 2024]. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.gouv.fr/le-poivron-et-ses-couleurs-estivales>
- [2] CTIFL, 2021. Légumes - Poivron - Mémento Fruits et Légumes. [en ligne]. 13 juillet 2021. [Consulté le 11 avril 2024]. Disponible à l'adresse : <https://memento.ctifl.fr/fiche/legumes/poivron>
- [3] Fresh Bell Pepper production and top producing countries, [sans date]. *Tridge* [en ligne]. [Consulté le 11 avril 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.tridge.com/intelligences/bell-pepper/production>
- [4] EPHYTIA, INRAe, [sans date]. *Tetranychus urticae*. *Ephytia* [en ligne]. [Consulté le 19 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://ephytia.inra.fr/fr/D/3595>
- [5] ALTON N. SPARKS, Jr., [sans date]. *Onion thrips (Thrips tabaci)* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.insectimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1327077>
- [6] CAPPAERT, David, [sans date]. *Western Flower Thrips (Frankliniella occidentalis)* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.insectimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5554357>
- [7] WATT, Bruce, [sans date]. *Damage of flower thrips*.
- [8] RAMAKERS, P.M.J, [sans date]. *Symptoms caused by oviposition of Frankliniella occidentalis on capsicum leaves* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=0177100>
- [9] DERRICK, Mary, 2016. *TSWV on pepper* [en ligne]. 2016. Disponible à l'adresse : <https://nwdistrict.ifas.ufl.edu/hort/tag/tomato-spotted-wilt-virus/>
- [10] Base de données sur la résistance des arthropodes aux pesticides | Université d'État du Michigan, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 avril 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.pesticideresistance.org/search.php>
- [11] Ephy, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 avril 2024]. Disponible à l'adresse : [https://ephy.anses.fr/resultats\\_recherche/produits?f%5B%5D=usg%3A4323&uop=or&f%5B%5D=list\\_type\\_usage%3A20100401000000000001&origin=Y3VsdHVyZTE9UG9pdnJvbiZjdWx0dXJlMj0mbnVpc2libGUxPVRocmlwcyZudWlzaWJsZTI9Jm1vZGU9JmYINUIwJTVEPWxpc3RfdHlwZV91c2FnZSUzQTlwMTAwNDAxMDAwMDAwMDAwMDAx](https://ephy.anses.fr/resultats_recherche/produits?f%5B%5D=usg%3A4323&uop=or&f%5B%5D=list_type_usage%3A20100401000000000001&origin=Y3VsdHVyZTE9UG9pdnJvbiZjdWx0dXJlMj0mbnVpc2libGUxPVRocmlwcyZudWlzaWJsZTI9Jm1vZGU9JmYINUIwJTVEPWxpc3RfdHlwZV91c2FnZSUzQTlwMTAwNDAxMDAwMDAwMDAwMDAx)
- [12] Index-acta, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 avril 2024]. Disponible à l'adresse : [https://www.index-acta.fr/produits/?page=1&facets\\_number=20&natures=Insecticides&cultivations=Poivrons%20sous%20serre%20hors%20sol&targets=Thrips](https://www.index-acta.fr/produits/?page=1&facets_number=20&natures=Insecticides&cultivations=Poivrons%20sous%20serre%20hors%20sol&targets=Thrips)
- [13] SYNGENTA, 2023. Poivrons, la gamme des variétés résistantes s'élargit. *Semences potagères Syngenta France* [en ligne]. 14 septembre 2023. [Consulté le 24 juin 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.syngentavegetables.com/fr-fr/news/tomates-poivrons/poivrons-la-gamme-des-varietes-resistantes-selargit>
- [14] VILMORIN-MIKADO FRANCE, [sans date]. Poivrons VIDI F1 - Vilmorin-Mikado France | Semences potagères pour professionnels. [en ligne]. [Consulté le 24 juin 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.vilmorinmikado.fr/poivrons/vidi-fl>

- [15] KOPPERT, [sans date]. Swirski-Mite | Control Thrips and Whitefly | Predatory Mites (Amblyseius swirskii). [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2024 b]. Disponible à l'adresse : <https://www.koppert.com/swirski-mite/>
- [16] KOPPERT, [sans date]. Macrocheles robustulus - Predatory Mite for Pest Control. [en ligne]. [Consulté le 25 avril 2024 a]. Disponible à l'adresse : <https://www.koppert.co.uk/crop-protection/biological-pest-control/predatory-mites/macrocheles-robustulus/>
- [17] RUSSELL IPM, 2021. MagiPal. *Russell IPM* [en ligne]. 2021. [Consulté le 29 avril 2024]. Disponible à l'adresse : <https://russellipm.com/product/magipal/>
- [18] RUSSELL IPM, [sans date]. Thripnok. *Russell IPM* [en ligne]. [Consulté le 30 avril 2024]. Disponible à l'adresse : <https://russellipm.com/product/thripnok/>
- [19] PUBCHEM, [sans date]. (-)-Verbenone. *National Library of Medicine* [en ligne]. [Consulté le 6 mai 2024]. Disponible à l'adresse : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/92874>
- [20] OIT et OMS, 2023. ICSC 1505 - SALICYLATE DE METHYLE. [en ligne]. Novembre 2023. [Consulté le 6 mai 2024]. Disponible à l'adresse : [https://webapps.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=fr&p\\_card\\_id=1505&p\\_version=2](https://webapps.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=fr&p_card_id=1505&p_version=2)
- [21] ROTH, Carl, 2024. *Information en matière de sécurité donnée volontairement au sens du formulaire FDS conformément au Règlement (CE) N° 1907/2006 (REACH) : 4-Anisaldéhyde* [en ligne]. 1 mars 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.carlroth.com/medias/SDB-7201-FR-FR.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNDI4Nzh8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGhhMy9oMDYvOTE0Njk1NDYxMjc2Ni9TREJfNzIwMV9GUl9GUi5wZGZ8NjcXNmRlMzVjM2RkMzMwNTg5YjllZGY5MmY3MWM0ZTJhN2YwMzE0ZTJiZTY2OTg1MDU0ODdkZTQyMzA4NmM3Ng>



L'Institut Agro Rennes-Angers

Site d'Angers  Site de Rennes

<p>Année universitaire : 2023-2024</p> <p>Spécialité : Ingénieur en horticulture</p> <p>Spécialisation (et option éventuelle) : Protection des Plantes et Environnement en Horticulture</p>	<p><b>Mémoire de fin d'études</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	--

**seuls ou en combinaison de lutte biologique pour la  
gestion du thrips en culture de poivrons sous serre**

Par : Emma Albertelli

## Annexes

**Soutenu à Angers le 11/09/2024**

**Devant le jury composé de :**

Président : Yann Tricault

Maître de stage : Benjamin Gard

Enseignant référent : Nicolas Chen

Autres membres du jury : Tom Hebbinckuys  
(Astredhor)

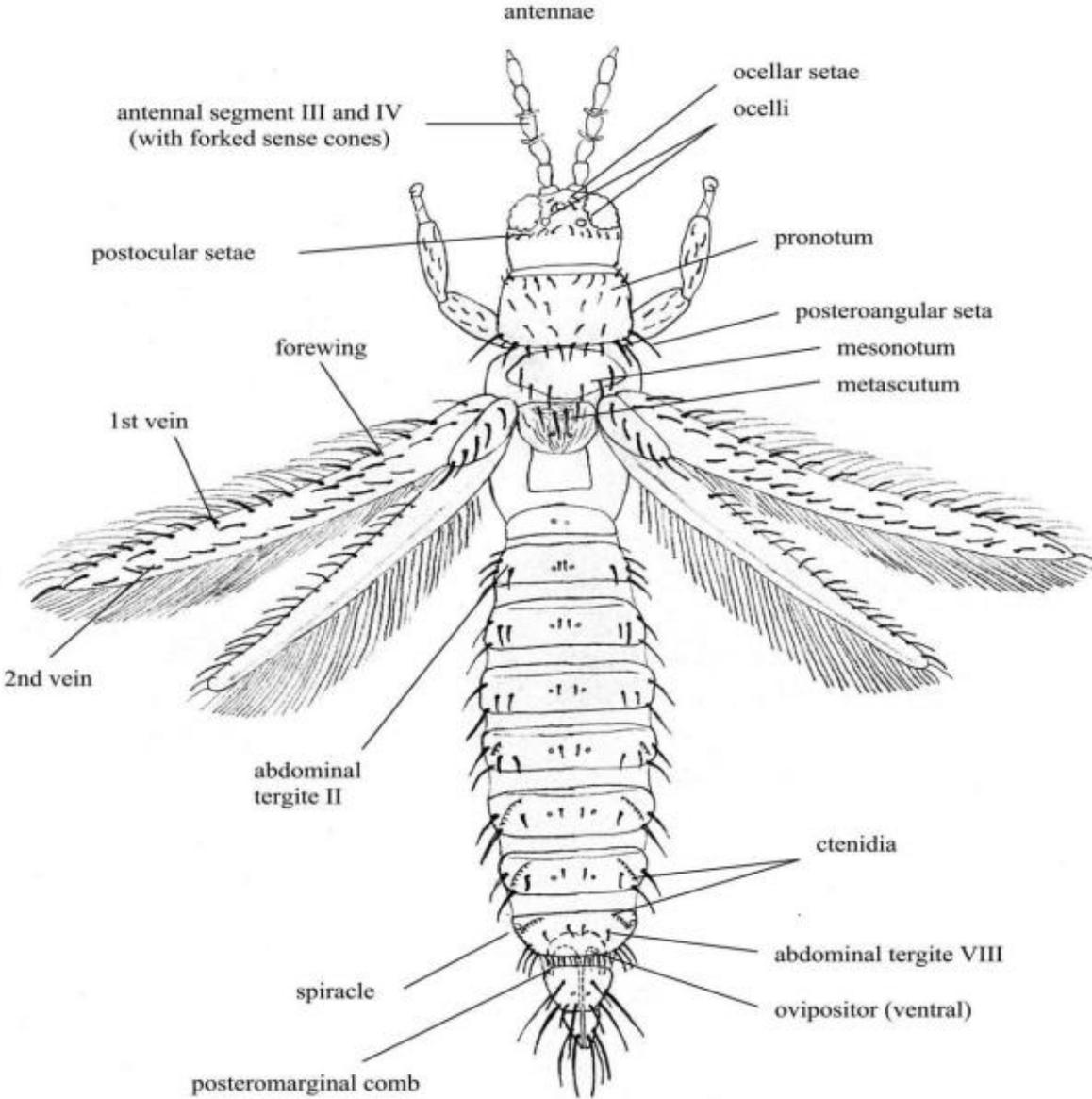
*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



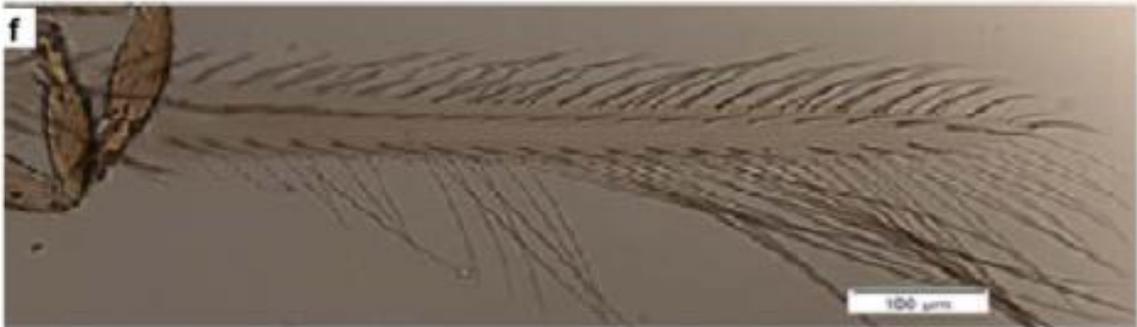
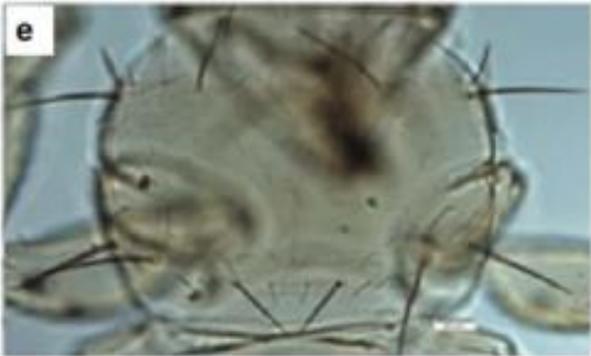
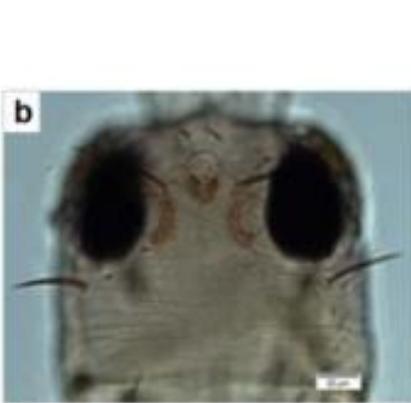
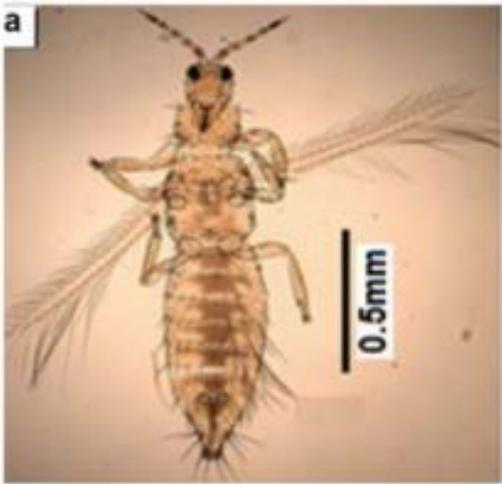


Annexe I : Morphologiques du Thrips (femelle – vu dorsale) (IPPC 2016)



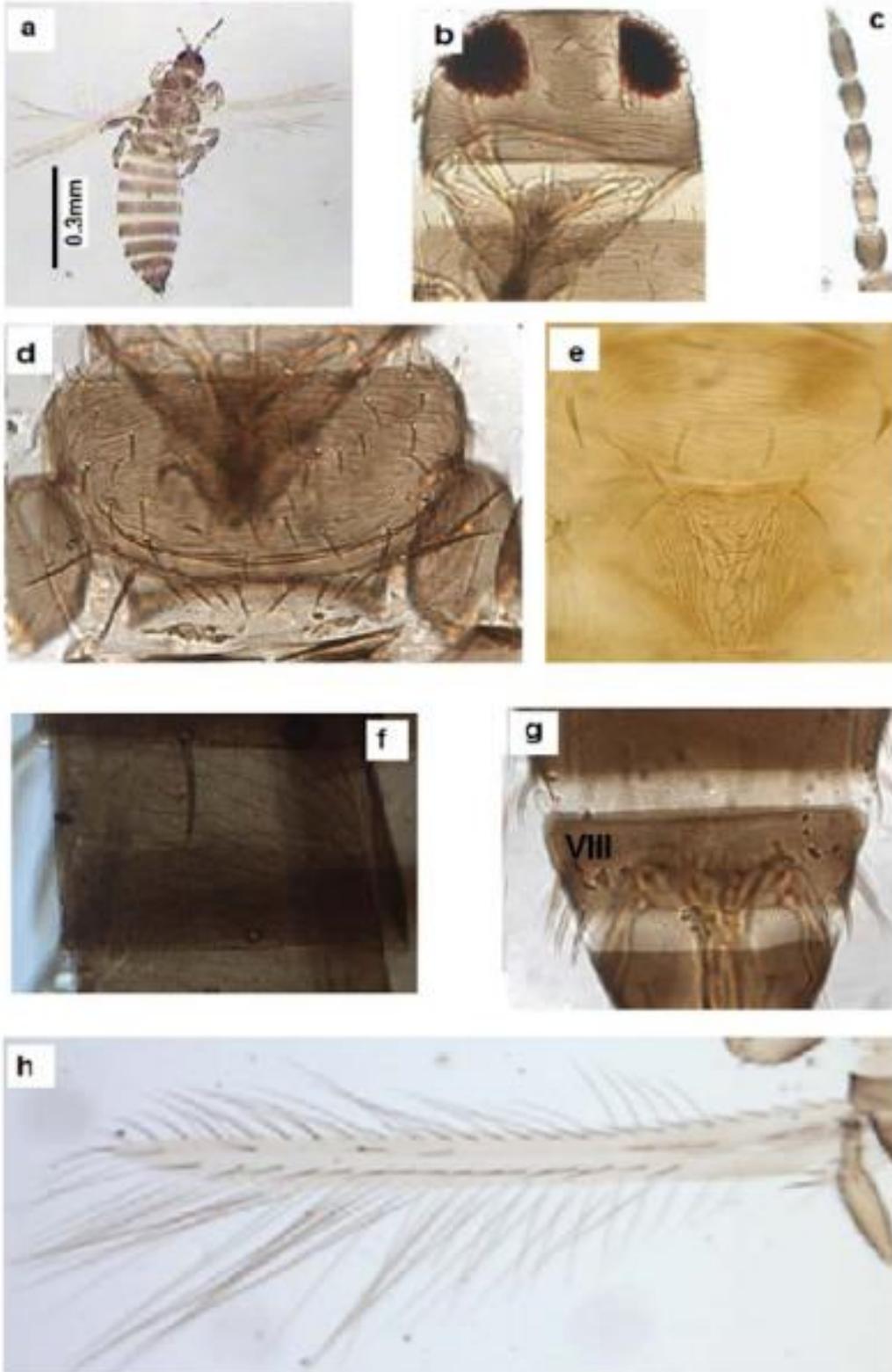


Annexe II : *Frankliniella occidentalis*, a : adulte, b: tête, c: antenne, d: sculpture médiane dumétathorax, e: pronotum, f: aile antérieure (Sabah 2017)





Annexe III : *Thrips tabaci*, a: adulte, b: tête, c: antenne, d: pronotum, e: sculpture médiane dumétathorax, f: pleurotergite avec microtriche, g: segment abdominale VIII avec peigne etspiracle, h: aile antérieure (Sabah 2017)





Annexe IV : Modes d'action enregistrés pour la gestion du thrips californien (IRAC 2020)

MoA Group	Primary Site of Action	Chemical Subgroup or exemplifying active ingredient
1A	Acetylcholinesterase (AChE) inhibitors	Carbamates
1B	AChE inhibitors	Organophosphates
2A	GABA-gated chloride channel antagonists	Cyclodiene organochlorines
2B	GABA-gated chloride channel antagonists	Phenylpyrazoles (Fiproles)
3A	Sodium channel modulators	Pyrethroids
4A	Nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) competitive modulators	Neonicotinoids
5	nAChR allosteric activators	Spinosyns
6	Chloride channel activators	Avermectins
7C	Juvenile hormone mimics	Pyriproxyfen
13	Uncouplers of oxidative phosphorylation via disruption of the proton gradient	Chlorfenapyr
15	Inhibitors of chitin biosynthesis affecting CHS21	Benzoylureas
28	Ryanodine receptor modulator	cyantraniliprole
30	GABA-gates chloride channel allosteric modulators	Meta-diamides, isoxalines
UN	Compounds of unknown or uncertain MoA	azadirachtin
UNF	Fungal agents of unknown or uncertain MoA	<i>Beauveria bassiana</i> , <i>Paecilomyces fumosoroseus</i>



## Annexe V : Test statistiques concernant les adultes sur feuilles. Dans le script et les résultats :

- PP + AP → AP + Russell
- PP → Russell
- TNT → TN

```
####Modèle candidat adultes####
mod_Feuilles1 <- glmer(TH_ad ~ Traitement + Observation + (1|Repetition) + (1|Plant) + (1|Table),
  family = poisson(link = "log"), data = Notation_feuilles)

#Attention le modèle mod_Feuilles1 est trop complexe pour converger. Il faut le réduire
mod_Feuilles1.1 <- glmer(TH_ad ~ Traitement + Observation + (1|Repetition) + (1|Plant),
  family = poisson(link = "log"), data = Notation_feuilles)
mod_Feuilles1.2 <- glmer(TH_ad ~ Traitement + Observation + (1|Repetition),
  family = poisson(link = "log"), data = Notation_feuilles)

### Comparaison des modèles avec l'AIC ----
liste_mod <- list(mod_Feuilles1, mod_Feuilles1.1, mod_Feuilles1.2)
aictab(liste_mod) #k indique le nombre de paramètres.
# D'après l'AIC, c'est le modèle le plus simple qu'il faut utiliser : mod_Feuilles1.2 #

#Mesure de la surdispersion
surdisp1 <- 1017.6/3324
surdisp1 #Il y a de la surdispersion (0.3), on change la fonction de lien

#ZIP
mod_Feuilles1.3 <- glmmTMB(TH_ad ~ Traitement + Observation + (1|Repetition),
  ziformula = ~1,
  data = Notation_feuilles,
  family = poisson() )

# Afficher le résumé du modèle
summary(mod_Feuilles1.3)
Anova(mod_Feuilles1.3)

### Pour les tests post-hoc ----
# Comparaison deux à deux
emmeans_Modat1 <- emmeans(mod_Feuilles1.3, specs=pairwise~Traitement)
Lettersomme_M1 <- emmeans::emmeans(mod_Feuilles1.3, specs=pairwise~Traitement) %>%
  multcomp::cld(Letters=letters)
Lettersomme_M1

# Extraire les résultats des comparaisons par paires
pairwise_Modat1<- summary(emmeans_Modat1$contrasts)
# Afficher les résultats des comparaisons par paires
print(pairwise_Modat1)
```

## Résultats de la ZIP :

Family: poisson ( log )  
Formula: TH\_ad ~ Traitement + observation + (1 | Repetition)  
Zero inflation: ~1  
Data: Notation\_feuilles

AIC	BIC	logLik	deviance	df.resid
1027.0	1088.1	-503.5	1007.0	3323

Random effects:

Conditional model:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Repetition	(Intercept)	0.05105	0.226

Number of obs: 3333, groups: Repetition, 2

Condition	Traitement	emmean	SE	df	asypm.LCL	asypm.UCL	.group
(Intercept)	AP_Russell	-2.91	0.393	Inf	-3.68	-2.14	a
Traitement	Russell	-2.65	0.380	Inf	-3.40	-1.91	a
Traitement	TN	-1.91	0.350	Inf	-2.60	-1.23	b
observationS2		0.7996	0.5479	1.459	0.14444		
observationS3		1.2269	0.5176	2.370	0.01777	*	
observati	contrast		estimate	SE	df	z.ratio	p.value
observati	AP_Russell - Russell		-0.255	0.276	Inf	-0.923	0.6260
observati	AP_Russell - TN		-0.993	0.245	Inf	-4.061	0.0001
---							
signif. c	Russell - TN		-0.738	0.226	Inf	-3.268	0.0031

Zero-inflation model:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	0.7196	0.4172	1.725	0.0845

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
> Anova(mod\_Feuilles1.3)

Analysis of Deviance Table (Type II wald chisquare tests)

Response: TH\_ad

	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Traitement	20.944	2	2.832e-05 ***
Observation	32.712	5	4.292e-06 ***

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

## Tests post-hoc :



Annexe VI : Test statistiques concernant les larves sur feuilles. Dans le script et les résultats :  
 PP + AP → AP + Russell ; PP → Russell ; TNT → TN

```
####Modèle candidat larves####
mod_Feuilles2 <- glmer(TH_la ~ Traitement + Observation + (1|Repetition)+ (1|Plant) +(1|Table),
  family = poisson(link = "log"), data = Notation_feuilles)

mod_Feuilles2.1 <- glmer(TH_la ~ Traitement + observation + (1|Repetition) + (1|Plant),
  family = poisson(link = "log"), data = Notation_feuilles)

mod_Feuilles2.2 <- glmer(TH_la ~ Traitement + Observation + (1|Repetition),
  family = poisson(link = "log"), data = Notation_feuilles)

### Comparaison des modèles avec l'AIC ----
liste_mod2 <- list(mod_Feuilles2, mod_Feuilles2.1, mod_Feuilles2.2)
aictab(liste_mod2) #K indique le nombre de paramètres.
# D'après l'AIC, c'est le modèle le plus simple qu'il faut utiliser : mod_Feuilles2 #

#Surdispersion
surdisp2 <-3185.4/3321
# Surdispersion de 0.96, on est très proche de 1 --> pas de surdispersion

Anova(mod_Feuilles2)

###Pour les tests post-hoc----
# Comparaison deux à deux
emmeans_Moda2 <- emmeans(mod_Feuilles2, specs=pairwise~Traitement)
Lettersomme_M2 <- emmeans::emmeans(mod_Feuilles2, specs=pairwise~Traitement) %>%
  multcomp::cld(Letters=letters)
Lettersomme_M2

# Extraire les résultats des comparaisons par paires
pairwise_Moda2<- summary(emmeans_Moda2$contrasts)
# Afficher les résultats des comparaisons par paires
print(pairwise_Moda2)
```

### Résultats de l'AIC :

Model selection based on AICC:

	K	AICC	Delta_AICC	AICcwT	Cum.wt	LL
Mod1	11	3207.47	0.00	0.94	0.94	-1592.70
Mod2	10	3212.83	5.36	0.06	1.00	-1596.38
Mod3	9	3238.51	31.04	0.00	1.00	-1610.23

### Résultats de Poisson :

```
> Anova(mod_Feuilles2)
Analysis of Deviance Table (Type II wald chisquare tests)

Response: TH_la
      Chisq Df Pr(>Chisq)
Traitement 159.66 2 < 2.2e-16 ***
observation 210.01 5 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
> summary(mod_Feuilles2)
Generalized linear mixed model fit by maximum likelihood (Laplace Approximation) ['glmerMod']
Family: poisson (log)
Formula: TH_la ~ Traitement + Observation + (1 | Repetition) + (1 | Plant) + (1 | Table)
Data: Notation_feuilles
```

AIC	BIC	logLik	deviance	df.resid
3207.4	3274.6	-1592.7	3185.4	3321

Scaled residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.2486	-0.4519	-0.2422	-0.0975	30.4092

Random effects:

Traitement	emmean	SE	df	asyp.LCL	asyp.UCL	.group
AP_Russell	-3.52	0.356	Inf	-4.22	-2.82	a
Russell	-2.31	0.342	Inf	-2.98	-1.64	b
TN	-1.89	0.340	Inf	-2.56	-1.22	c n, 2

Fixed effects:

contrast	estimate	SE	df	z.ratio	p.value
AP_Russell - Russell	-1.211	0.1359	Inf	-8.914	<.0001
AP_Russell - TN	-1.626	0.1301	Inf	-12.505	<.0001
Russell - TN	-0.415	0.0843	Inf	-4.925	<.0001

observations3	2.5205	0.4305	0.400	1.30e-10	***
observations4	3.4078	0.4524	7.532	4.98e-14	***
observations5	3.4531	0.4521	7.638	2.21e-14	***
observations6	3.8615	0.4499	8.583	< 2e-16	***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Correlation of Fixed Effects:

(Intr)	TrtmnR	TrtmTN	Obsrs2	Obsrs3	Obsrs4	Obsrs5
TrtmnR	0.800					
TrtmTN	-0.185	0.800				
ObsrvtnS2	-0.690	0.000	0.000			
ObsrvtnS3	-0.770	0.000	0.000	0.850		
ObsrvtnS4	-0.778	0.000	0.000	0.859	0.958	
ObsrvtnS5	-0.778	0.000	0.000	0.860	0.959	0.969
ObsrvtnS6	-0.782	0.002	0.000	0.864	0.964	0.973

## Tests post-hoc :

Annexe VII : Test statistiques concernant les adultes sur fleurs. Dans le script et les résultats :  
 PP + AP → AP + Russell ; PP → Russell ; TNT → TN

```
#####Modèle candidat adultes#####
#Test GLMM Poisson
mod_Fleurs1 <- glmer(TH_ad ~ Traitement + Observation + (1|Repetition) + (1|Table),
                    family = poisson(link = "log"), data = Notation_fleurs)

mod_Fleurs1.1 <- glmer(TH_ad ~ Traitement + Observation + (1|Repetition),
                     family = poisson(link = "log"), data = Notation_fleurs)

### Comparaison des modèles avec l'AIC ----
liste_mod <- list(mod_Fleurs1, mod_Fleurs1.1)
aictab(liste_mod) #K indique le nombre de paramètres.
# D'après l'AIC, c'est le modèle le plus simple qu'il faut utiliser : mod_Fleurs1 #

#Surdispersion
surdisp1 <- 1984.4/999
#Il y a surdispersion --> 1,97.

#ZIP
mod_Fleurs1.2 <- glmmTMB(TH_ad ~ Traitement + Observation + (1|Repetition) + (1|Table),
                       ziformula = ~1,
                       data = Notation_fleurs,
                       family = poisson() )

|
summary(mod_Fleurs1.2)
Anova(mod_Fleurs1.2)

### Pour les tests post-hoc ----
# Comparaison deux à deux
emmeans_Modat <- emmeans(mod_Fleurs1.2, specs=pairwise-Traitement)
Lettersomme_M1 <- emmeans::emmeans(mod_Fleurs1.2, specs=pairwise-Traitement) %>%
  multcomp::cld(Letters=letters)
Lettersomme_M1

# Extraire les résultats des comparaisons par paires
pairwise_Modat <- summary(emmeans_Modat$contrasts)
# Afficher les résultats des comparaisons par paires
print(pairwise_Modat)
```

### Résultats de la ZIP :

```
> summary(mod_Fleurs1.2)
Family: poisson ( log )
Formula: TH_ad ~ Traitement + Observation + (1 | Repetition) + (1 | Table)
Zero inflation: ~1
Data: Notation_fleurs

      AIC      BIC   logLik deviance df.resid
1971.5  2025.6  -974.8  1949.5     998

Random effects:
Conditional model:
Groups   Name      Variance Std.Dev.
Repetition (Intercept) 0.17662  0.4203
Table (Intercept) 0.01725  0.1313
Number of obs: 1009, groups: Repetition, 2; Table, 2

Conditional model:
      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
Traitement emmean SE df asymp.LCL asymp.UCL .group
AP_Russell -0.8694 0.332 Inf -1.520 -0.219 a
Russell -0.5310 0.326 Inf -1.170 0.108 b
TN -0.0429 0.320 Inf -0.671 0.585 c

-----
contrast estimate SE df z.ratio p.value
AP_Russell - Russell -0.338 0.126 Inf -2.691 0.0195
AP_Russell - TN -0.827 0.117 Inf -7.058 <.0001
Russell - TN -0.488 0.102 Inf -4.791 <.0001 ' 1

Zero-inflation model:
      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -1.2258 0.2115 -5.796 6.79e-09 ***
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

### Résultats tests post-hoc :

```
> Anova(mod_Fleurs1.2)
Analysis of Deviance Table (Type II wald chisquare tests)

Response: TH_ad
      Chisq Df Pr(>Chisq)
Traitement  56.056  2  6.725e-13 ***
Observation 185.375  5 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Annexe VIII : Test statistiques concernant les larves sur fleurs. Dans le script et les résultats :  
PP + AP → AP + Russell ; PP → Russell ; TNT → TN

```
#####Modèle candidat larves#####
mod_Fleurs2 <- glmer(TH_la ~ Traitement + Observation + (1|Repetition) + (1|Table),
                    family = poisson(link = "log"), data = Notation_fleurs)

#

mod_Fleurs2.1 <- glmer(TH_la ~ Traitement + Observation + (1|Repetition),
                    family = poisson(link = "log"), data = Notation_fleurs)

### Comparaison des modèles avec l'AIC ----
liste_mod2 <- list(mod_Fleurs2, mod_Fleurs2.1)
aictab(liste_mod2) #K indique le nombre de paramètres.
# D'après l'AIC, c'est le modèle le plus simple qu'il faut utiliser : mod_Fleurs2.1 #

#Surdispersion
surdisp2.1 <- 1686.1/1000

#ZIP
mod_Fleurs2.2 <- glmmTMB(TH_la ~ Traitement + observation + (1|Repetition) + (1|Table),
                       ziformula = ~1,
                       data = Notation_fleurs,
                       family = poisson() )

summary(mod_Fleurs2.2)
anova(mod_Fleurs2.2)

# Pour les tests post-hoc
# Comparaison deux à deux
emmeans_Moda2 <- emmeans(mod_Fleurs2.2, specs=pairwise~Traitement)
Lettersomme_M2 <- emmeans::emmeans(mod_Fleurs2.2, specs=pairwise~Traitement) %>%
  multcomp::cld(Letters=letters)
Lettersomme_M2

# Extraire les résultats des comparaisons par paires
pairwise_Moda2<- summary(emmeans_Moda2$contrasts)
# Afficher les résultats des comparaisons par paires
print(pairwise_Moda2)
```

## Résultats de la ZIP :

```
> summary(mod_Fleurs2.2)
Family: poisson ( log )
Formula:      TH_la ~ Traitement + Observation + (1 | Repetition) + (1 | Table)
Zero inflation: ~1
Data: Notation_fleurs
```

AIC	BIC	logLik	deviance	df.resid
1580.0	1634.1	-779.0	1558.0	998

Random effects:

Conditional model:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Repetition	(Intercept)	1.704e-01	4.128e-01
Table	(Intercept)	7.915e-10	2.813e-05

Number of obs: 1009, groups: Repetition, 2; Table, 2

Conditional model:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )		
Traitement	emméan	SE	df	asympt.LCL	asympt.UCL	group
AP_Russell	-1.6617	0.365	Inf	-2.377	-0.947	a
Russell	-0.1061	0.314	Inf	-0.721	0.509	b
TN	0.0899	0.308	Inf	-0.514	0.694	b
observations4		1.9360		0.3151	6.145	8.00e-10 ***
observations5		1.8800		0.3145	6.010	1.86e-09 ***
contrast	estimate	SE	df	z.ratio	p.value	
AP_Russell - Russell		-1.556	0.2091	Inf	-7.439	<.0001
AP_Russell - TN		-1.752	0.2067	Inf	-8.476	<.0001
Russell - TN		-0.196	0.0968	Inf	-2.025	0.1061

Zero-inflation model:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	0.09683	0.15213	0.636	0.524

> Anova(mod\_Fleurs2.2)

Analysis of Deviance Table (Type III Wald chi-square tests)

Response: TH\_la

	Chisq	df	Pr(>chisq)
Traitement	71.906	2	2.431e-16 ***
observation	213.419	5	< 2.2e-16 ***

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

## Résultats test post-hoc :



Annexe IX : Test statistiques sur les dégâts. Dans le script et les résultats : PP + AP → AP + Russell ; PP → Russell ; TNT → TN

```

###Modèle---
#Création de la matrice
> summary(mod_Degats2)
Linear mixed-effects model fit by maximum likelihood
Data: Notation_Degats2
AIC BIC logLik
NA NA NA

Random effects:
Formula: ~1 | Repetition
(Intercept) Residual
StdDev: 0.584583 1.600318

Variance function:
Structure: fixed weights
Formula: ~invwt
Fixed effects: y ~ Traitement + Observation
Value Std.Error DF t-value p-value
(Intercept) -31.117938 259188.4 27 -0.000120 0.9999
TraitementRussell 1.125062 0.4 27 2.833493 0.0086
TraitementTNT 1.476410 0.4 27 3.681016 0.0010
observations2 24.717655 259188.4 27 0.000095 0.9999
observations3 28.380185 259188.4 27 0.000109 0.9999
observations4 29.184593 259188.4 27 0.000113 0.9999
observations5 30.594932 259188.4 27 0.000118 0.9999
observations6 30.724063 259188.4 27 0.000119 0.9999
Correlation:
(Intr) Trtmnr TrtTNT Obsrs2 Obsrs3 Obsrs4 Obsrs5
TraitementRussell 0.00
TraitementTNT 0.00 0.57
observations2 -1.00 0.00 0.00
observations3 -1.00 0.00 0.00 1.00
observations4 -1.00 0.00 0.00 1.00 1.00
observations5 -1.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00
observations6 -1.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00

Standardized within-Group Residuals:
Min Q1 Med Q3 Max
-1.997676e+00 -4.017889e-01 -4.678584e-11 8.112198e-01 1.887790e+00

Number of Observations: 36
Number of Groups: 2
> Anova(mod_Degats2)
Analysis of Deviance Table (Type II tests)
Traitement emmean SE df lower.CL upper.CL .group
AP_Russell -7.18 43198 1 -548891 548876 a
Russell -6.06 43198 1 -548890 548877 b
TNT -5.71 43198 1 -548889 548878 b
---
contrast estimate SE df t.ratio p.value
AP_Russell - Russell -1.125 0.397 27 -2.833 0.0227
AP_Russell - TNT -1.476 0.401 27 -3.681 0.0028
Russell - TNT -0.351 0.370 27 -0.949 0.6145

```

**Résultats de la Quasibinomiale :**

**Résultats test post-hoc :**



## Annexe X : Test statistiques sur les rollers trap.

```
#####Modèle candidat-----
mod_Trap6 <- glm(Nb_TH ~ Carre + observation,
                 family = poisson(link = "log"), data = Comparaison_trap)

summary(mod_Trap6)

#Surdispersion
surdisp<- 135.56/61
surdisp #2.22, il y a surdispersion

#Test de la BN
mod_Trap6.1<- glm.nb(Nb_TH ~ Carre + observation,
                    data = Comparaison_trap)
summary(mod_Trap6.1)
Anova(mod_Trap6.1)

surdisp1 <- 83.971/64 # 1.3, on valide

#####Pour les tests post-hoc----
# Comparaison deux à deux
emmeans_Trap <- emmeans(mod_Trap6.1, specs=pairwise~Carre)
Lettersomme_T <- emmeans::emmeans(mod_Trap6.1, specs=pairwise~Carre) %>%
  multcomp::cld(Letters=letters)
Lettersomme_T

# Extraire les résultats des comparaisons par paires
pairwise_Trap<- summary(emmeans_Trap$contrasts)

# Afficher les résultats des comparaisons par paires
print(pairwise_Trap)
```

### Résultats de la Binomial négative :

```
> summary(mod_Trap6.1)
```

```
Call:
glm.nb(formula = Nb_TH ~ Carre + observation, data = Comparaison_trap,
        init.theta = 4.252850534, link = log)

Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  -0.4273      0.3546  -1.205 0.228163
CarreMilieu   0.6821      0.2159   3.160 0.001577 **
CarreProche   0.4916      0.2198   2.236 0.025351 *
ObservationS2 0.6305      0.4107   1.535 0.124704
ObservationS3 1.9252      0.3691   5.217 1.82e-07 ***
ObservationS4 1.7845      0.3716   4.802 1.57e-06 ***
ObservationS5 1.6297      0.3748   4.349 1.37e-05 ***
ObservationS6 1.3288      0.3824   3.475 0.000511 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(4.2529) family taken to be 1)

Null deviance: 143.721 on 71 degrees of freedom
Residual deviance: 83.971 on 64 degrees of freedom
AIC: 337.15
```

```
Number of Fisher scoring iterations: 1
```

```
Car
Loi
Pro
Mil
```

```
Theta: 4.25
Std. Err.: 1.60
```

### Résultats test post-hoc :

```
2 x log-likelihood: -319.146
cor > Anova(mod_Trap6.1)
Loi Analysis of Deviance Table (Type II tests)
Loi
Mil Response: Nb_TH
            LR chisq Df Pr(>Chisq)
Carre      10.354  2  0.005644 **
Observation 48.171  5  3.278e-09 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

	Diplôme : Ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers Spécialité : Horticulture Spécialisation / option : Protection des Plantes et de l'Environnement appliquée à l'Horticulture Enseignant référent : Nicolas Chen	
Auteur(s) : Emma Albertelli Date de naissance* : 16/02/2001	Organisme d'accueil : CTIFL de Balandran Adresse : 751 Chemin de Balandran, 30 127 Bellegarde, France	
Nb pages : 23      Annexe(s) : 10		
Année de soutenance : 2024	Maître de stage : Benjamin Gard	
Titre français : Utilisation de médiateurs chimiques afin de tester une méthode « push-pull » pour la gestion du thrips en culture de poivrons sous abris.		
Titre anglais : Use of semiochemicals to test a "push-pull" method for thrips management in protected sweet pepper crops		
Résumé : <i>Frankliniella occidentalis</i> et <i>Thrips tabaci</i> sont deux espèces de thrips problématiques sur poivrons. Ils causent des dommages esthétiques aux feuilles et aux fruits diminuant leur valeur commerciale. De plus, ils sont vecteurs de tospovirus, notamment le TSWV, pouvant entraîner d'importantes pertes. Les méthodes de lutttes conventionnelles comme l'utilisation d'insecticides montrent des limites importantes en raison de résistances chez les thrips. Bien que d'autres méthodes alternatives soient envisagées, elles restent souvent peu efficaces. Dans ce contexte, des solutions alternatives sont envisagées notamment l'utilisation de médiateurs chimiques dans une stratégie push-pull. Celle-ci consiste, grâce à différents stimuli, de repousser le thrips hors des cultures (push) et de l'attirer dans des pièges (pull). Cette étude a testé l'efficacité de molécules attractives et répulsives, utilisées seules ou en combinaison avec la lutte biologique, en particulier avec les acariens prédateur, <i>Amblyseius swirskii</i> . Les résultats montrent que la méthode push-pull offre une certaine efficacité par rapport au témoin. Cependant, le piégeage insuffisant ne permettant pas d'être bien inférieur au le seuil de nuisibilité. De plus, il ne cible que les adultes laissant les larves causer des dégâts aux plantes. En revanche, une approche intégrée combinant le push-pull et la lutte biologique c'est avéré très efficace et pourrait offrir une solution plus durable à long terme.		
Abstract : <i>Frankliniella occidentalis</i> and <i>Thrips tabaci</i> are two problematic thrips species on peppers. They cause aesthetic damage to leaves and fruit, reducing their commercial value. They are also vectors of tospoviruses, like TSWV, which can cause significant losses. Conventional control methods, such as insecticides, are severely limited by thrips resistance. Although other alternative methods are being considered, such as biological control, they are often not very effective. In this context, alternative solutions are being considered, notably the use of chemical mediators in a push-pull strategy. This consists of using various stimuli to push thrips out of crops and attract them into traps. This study tested the effectiveness of attractive and repellent molecules, used alone or in combination with biological control, in particular with the predatory mite <i>Amblyseius swirskii</i> . The results show that the push-pull method offers some efficacy compared with the control. However, insufficient trapping means that the pest threshold is not reached. Moreover, it only targets the adults, leaving the larvae to cause plant damage. In contrast, an integrated approach combining push-pull and biological control has proved highly effective and could offer a more effective solution to the problem.		
Mots-clés : biocontrôle, acariens prédateurs, thrips, communication chimique, push-pull, lutte intégrée Key Words : extended bicontrol , predatory mites, thrips, chemical communication, push-pull, integrated pest management		