

**HUILES ESSENTIELLES : QUEL POTENTIEL REPULSIF POUR LA LUTTE CONTRE LE THRIPS
FRANKLINIELLA OCCIDENTALIS EN SERRE ?**

E. MAUGIN ⁽¹⁾, M. GIRAUD ⁽¹⁾, et J.-M. DEOGRATIAS ⁽¹⁾

(1) ASTREDHOR Sud-Ouest, GIE Fleurs et Plantes. 71 avenue E. Bourlaux - CS 20032
33882 Villenave d'Ornon, France. emilie.maugin@astredhor.fr,

RÉSUMÉ

Les COVs émis par les plantes sont des indices déterminants dans l'orientation du thrips *Frankliniella occidentalis*. Cette étude cherche à modifier l'environnement olfactif de l'adulte à l'aide de composés aromatiques contenus dans les huiles essentielles (HE). Des essais conduits en laboratoire, en cage et en serre ont permis d'évaluer les propriétés biologiques de trois HE de *Thymus zygis*, de *Gaultheria fragrantissima* et d'*Origanum compactum* à 1 et 0,1%. Ils ont permis de mettre en évidence le pouvoir répulsif des HE de *T. zygis* et *G. fragrantissima* (61,5% et 60,7% respectivement). Leur application pure par diffusion passive dans des cages a permis une diminution de 75% de l'activité de ponte. Enfin, les essais réalisés sous serre, confirment leur propriété répulsive avec une diminution du piégeage des adultes sur le panneau source d'odeur : 81% avec l'HE de *T. zygis* et 33% avec l'HE de *G. fragrantissima*. Le thymol est le composé le plus prometteur pour son effet répulsif contre le ravageur.

Mots-clés : thrips, huiles essentielles, sémiochimie, répulsif, composés organiques volatils

ABSTRACT

VOCs emitted by the plants are decisive clues in the orientation of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. This study aims to modify the olfactory environment of adults using aromatic compounds contained in essential oils (EO). Laboratory, cage and greenhouse tests have evaluated the biological properties of three EOs of *Thymus zygis*, *Gaultheria fragrantissima* and *Origanum compactum* at 1 and 0.1%. They highlighted the repulsive power of EO from *T. zygis* and *G. fragrantissima* (61.5% and 60.7% respectively). Their pure application by passive diffusion in cages allowed a 75% reduction in egg-laying activity. Finally, tests carried out in greenhouses confirm their repellent properties with a reduction in the trapping of adults on the odour source panel: 81% with *T. zygis* EO and 33% with *G. fragrantissima* EO. Thymol is the most promising compound for its repellent effect against the pest.

Keywords: thrips, essential oils, semiochemical, repellent, Volatile Organic Compounds

INTRODUCTION

Les Thysanoptères, avec plus de 5 500 espèces sont des ravageurs mondialement présents (Mound, 2002). Parmi eux, le thrips californien, *Frankliniella occidentalis* (Pergrande, 1895) (Thysanoptera : Thripidae) est une des espèces les plus nuisibles en agriculture (Kirk et Terry, 2003 ; Cloyd, 2009). Ses attributs biologiques tels que sa polyphagie (Moudén *et al.*, 2017), sa fécondité élevée (Van Rijn *et al.*, 1995), sa morphologie (Reitz, 2009), sa résistance aux insecticides (Reitz, 2009) et sa capacité à transmettre certains virus (Trichilo et Leight, 1988 ; Kirk et Terry, 2003) rendent difficile la protection des cultures vis-à-vis de ce ravageur. Pour obtenir une efficacité optimale, la lutte doit se concentrer sur l'adulte, stade prédominant du cycle biologique (Deligeorgidis *et al.*, 2006).

Aujourd'hui, la lutte à l'aide de produits phytopharmaceutiques demeure un moyen de contrôle largement appliqué malgré ses nombreuses limites. De ce fait, les acteurs de la recherche s'investissent pour développer le biocontrôle, notamment le recours aux médiateurs chimiques, afin de biaiser le paysage olfactif des adultes pour qu'ils trouvent un autre site de ponte ou d'alimentation. Ces sémiochimiques peuvent être utilisés dans diverses stratégies de contrôles comprenant le monitoring, le piégeage de masse, la confusion sexuelle, ou encore le « push-pull » dite aussi stratégie de détournement stimulo-dissuasive (Pyke *et al.*, 1987 ; Pickett *et al.*, 1997). Ces molécules connaissent un vrai succès dans le contrôle de certains ravageurs (Witzgall, 2010). Cependant, aujourd'hui, les études sur l'application de telles substances dans la lutte contre le thrips restent peu nombreuses (Koschier, 2007).

La communication chimique est utilisée chez les insectes afin d'interagir avec leur environnement pour assurer leur survie. Cette communication est permise via l'émission par la plante de Composés Organiques Volatils (COVs). En conséquence, les thrips ont évolué dans des environnements complexes où la recherche de plantes est essentielle pour leur orientation et leur succès reproducteur (Schoonhoven *et al.*, 2005). Même s'ils sont polyphages, des études ont montré que les thrips étaient attirés par certaines couleurs (Teulon *et al.*, 1999), certaines formes (Mainili et Lim, 2010, 2011) et certains COVs (Mainili et Lim, 2011 ; Cao *et al.*, 2018). L'étape de localisation de l'hôte par le thrips est régie par la perception de ces COVs, qui forment une plume d'odeur autour de la plante (Beyaert et Hilker, 2014). La réponse comportementale qui s'ensuit varie en fonction de l'identité des molécules perçues mais également de leurs proportions (Koschier *et al.*, 2000). La perception d'odeur spécifique peut également permettre au thrips de discriminer les hôtes inappropriés et ainsi les éviter (Heard, 2000).

Les huiles essentielles (HE) peuvent être utilisées pour modifier le comportement d'orientation et de sélection de plante-hôte par le thrips (Koschier, 2008). Elles possèdent un large spectre d'activités biologiques en tant qu'attractif (Regnault-Roger, 1997), anti-appétant (Akhtar et Isman, 2004), neurotoxique (Kostyukovsky *et al.*, 2002), répulsif (Trongtokit *et al.*, 2005) ou encore dissuasif de ponte (Abbasipour *et al.*, 2011). De nombreuses études ont démontré que *F. occidentalis* répondait à des odeurs spécifiques. Il peut être attiré par exemple, par les odeurs émises par le chou tandis que celles émises par l'ail le repousse (Cao *et al.*, 2014). Plusieurs molécules se révèlent attractives pour le thrips *F. occidentalis* telles que le géraniol, l'eugénol (Teulon *et al.*, 1993b) ou encore le nérol (Koschier *et al.*, 2000). En culture ornementale, l'attraction de *F. occidentalis* pour les chrysanthèmes est liée à l'émission d'un COV, le (E)- β -farnesene (Pow *et al.*, 1998). Les fleurs de verveine (*Verbena x hybrida*) émettent quant à elles, un oxyde de linalol, le (3S,6S)-tetrahydro-2,2,6-triméthyl-6-vinyl-2H-pyran-3-ol, attractif pour le ravageur (Pow *et al.*, 1998). Par ailleurs, des produits sont déjà commercialisés à base de phéromones d'agrégation ((S)-Neryl-2-méthylbutanoate) (Hamilton *et al.*, 2005 ; Kirk, 2017) ou de kairomones (méthyl isonicotinate) (Muvea *et al.*, 2014 ; Broughton et Harrison, 2012). L'ajout de ces molécules sémiochimiques à des panneaux englués chromatiques permet une augmentation de la capture des thrips adultes (Muvea *et al.*, 2014). Chez le thrips, peu d'études ont été effectuées à l'heure actuelle pour déterminer d'éventuels répulsifs. Seulement quelques composés ont été répertoriés comme le carvacrol, le thymol, le méthyl salicylate et le méthyl jasmonate (Koschier *et al.*, 2000 ; Sedy et Koschier 2003 ; Koschier *et al.*, 2007 ; Allsopp *et al.*, 2014 ; Egger et Koschier, 2014) ainsi que quelques HE comme celles de gaulthérie, d'origan, de sarriette et de thym (Picard *et al.*, 2012).

L'objectif du projet HEALTHI, acronyme pour Huiles Essentielles comme Alternative à la Lutte contre le THrips est donc d'évaluer le pouvoir répulsif d'huiles essentielles (thym, origan et gaultherie) sur les adultes du thrips *F. occidentalis*. L'idée est d'intégrer les connaissances en écologie chimique sur cet insecte pour développer à terme une stratégie stimulo-dissuasive afin d'inclure un nouveau levier pour le producteur dans la gestion de ce ravageur. L'évaluation de la composante répulsive du système est réalisée par des tests de choix en boîte de Petri, en cage et sous serre.

MATERIEL ET METHODE

HUILES ESSENTIELLES ET COVs DE REFERENCE

Le choix s'est porté sur les HE de thym à thymol (*Thymus zygis*, Lamiacées), de gaulthérie odorante (*Gaultheria fragrantissima*, Ericacées) et d'origan compact (*Origanum compactum*, Lamiacées). Les HE sont issues de plantes cultivées en Agriculture biologique (Compagnie des sens). Chaque HE est caractérisée par une analyse qualitative de la composition en COVs par chromatographie en phase gazeuse avec un détecteur à ionisation à flamme (CPG-FID) (Tableau I). Par ailleurs, deux produits sont utilisés comme référence : le thymol (99%, ACROS Organics™) comme répulsif et le nérol (98 %, TCI America™) comme attractif.

Tableau I : Concentration des principaux COVs d'intérêt composant les huiles essentielles testées
Concentration of the main VOCs of interest composing the essential oils tested

COVs d'intérêt \ HE	HE <i>Thymus zygis</i>	HE <i>Origanum compactum</i>	HE <i>Gaultheria fragrantissima</i>
carvacrol	5,66%	43,50%	-
thymol	46,95%	14,70%	-
methyl salicylate			99,61%

MATERIEL BIOLOGIQUE

Un élevage du thrips *F. occidentalis* est mis en place en cage insectproof (BugDorm-44545F, maille nylon 150 mesh) sur plantes de verveine *Verbena x hybrida* « Endurascape Magenta » (Voltz), choisie pour sa forte sensibilité vis-à-vis du thrips. Elle est aussi le modèle végétal sur les expériences le nécessitant.

METHODE D'EVALUATION DE L'EFFET REPULSIF ET DISSUASIF DES HUILES ESSENTIELLES

Détermination du pouvoir répulsif par la méthode de la zone préférentielle au laboratoire

L'effet répulsif des HE à l'égard des adultes de *F. occidentalis* est évalué en utilisant la méthode de la zone préférentielle en boîte de Petri (McDonald *et al.*, 1970). Des solutions d'HE à 1 % et 0,1 % (thym, origan ou gaulthérie) et de thymol ont été réalisées dans de l'éthanol 96 % (1 : 10 par volume) complété par l'ajout de Triton X-100 à 0,05 % (Fischer). Des disques de papier Whatman sont coupés en deux parties égales. Une partie du disque est pulvérisé par un dépôt uniforme de 400 µl des solutions à tester. L'autre partie du disque est traité avec une solution contrôle (éthanol +Triton X-100 à 0,05%). Une combinaison témoin-témoin est également effectuée. Après un temps d'évaporation de 15 minutes, les deux moitiés de disques sont disposées dans une boîte de Petri (diam. 9cm). Dix thrips adultes (non sexés) sont placés au centre des disques à l'aide d'un pinceau fin. Les boîtes de Petri sont refermées par un tulle insectproof 150 µm. Le dénombrement des individus sur chaque partie du disque est réalisé à 5, 30 et 60 minutes après la mise en place du test. Ce test est répété 30 fois pour chaque solution préparée.

Détermination de la préférence d'oviposition par un test de choix en boîte de Petri

La méthode de Picard *et al.* (2012) est utilisée pour mesurer la préférence d'oviposition. Dans ce test, deux disques foliaires de verveine sont découpés (diam. 1,6 cm) : un disque est imbibé de 400 µl de solution diluée et l'autre disque est imbibé de la solution témoin, comme préparé précédemment. Seules les 2 HE les plus répulsives du premier test sont évaluées, soit HE de thym à thymol et l'HE de gaulthérie. Après 15 min de séchage, les disques sont déposés en boîte de Petri par paire (témoin/traité) sur un gel d'agarose à 1%. Une femelle de thrips, âgée de 3 jours, est déposée au centre de la boîte refermée par un tulle insectproof pendant 24 heures. La préférence d'oviposition est

évaluée par le nombre d'œufs pondus sur chaque feuille. Dix répétitions sont effectuées pour chaque solution.

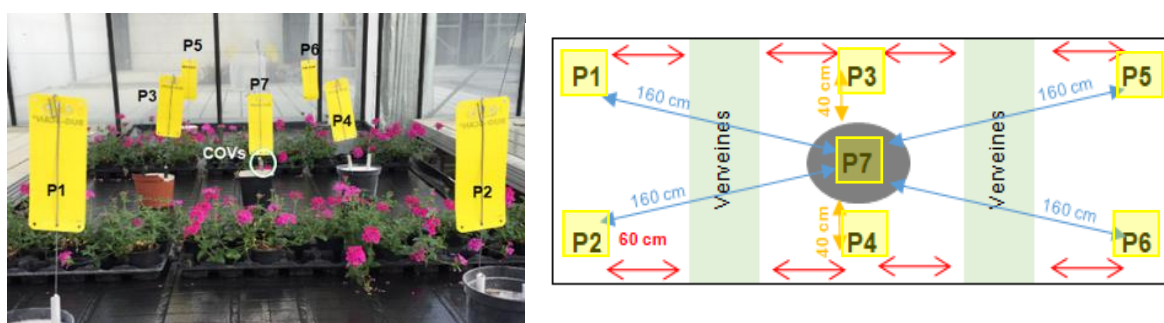
Evaluation de la préférence de ponte sur plantes en cage

Trois plantes de verveine disposant chacune de 10 feuilles sont mises en place dans une cage insectproof (BugDorm-44545F). Deux HE sont testées (thym et gaulthérie) en parallèle de cage témoin non traité. L'HE est apportée par diffusion passive à raison de 1,5 ml de produit pur disposé dans un eppendorf. Dix femelles, sexées sous loupe binoculaire, sont introduites pour chaque cage. Le nombre d'œufs est comptabilisé 5 jours après l'inoculation du ravageur. Ce test est répété 12 fois. A chaque modalité d'HE est associée une modalité témoin pour avoir les mêmes conditions climatiques.

Evaluation de l'effet répulsif sur plantes en serre

Ces tests sont réalisés dans 3 serres indépendantes de 100 m². A chaque compartiment correspond une modalité : HE (modalité 'répulsif') ; nérol (modalité 'attractif') ou eau (modalité 'témoin'). Dans chaque compartiment, deux réplicas sont mis en place à chaque répétition. Ce test est répété 3 fois dans le temps en changeant les modalités de compartiment. Chaque réplica correspond à une table à marée (4.27 x 1.78m). La source de COVs est déposée en position centrale dans un tube eppendorf ouvert contenant 1,5 ml de solution pure selon un mode de diffusion passive (Davidson *et al.*, 2009 ; Teulon *et al.*, 2007). De part et d'autre à 60 cm de la source, deux rangées de 14 plantes de verveine sont déposées symétriquement. L'infestation des thrips est réalisée de manière naturelle, avant l'introduction des plantes dans le système expérimental (pas de différence statistiquement significative de la présence de thrips à la mise en place). Sept panneaux englués jaune (Bug Scan 15 x 20 cm, Biobest) sont positionnés au sein du dispositif : 1 panneau central au niveau de la source d'odeur (P7) à 60 cm des plantes et donc de l'inoculum, 2 panneaux situés de part et d'autre à 40 cm de la source d'odeur (P3, P4), et 4 panneaux situés par paire aux deux extrémités des tables à 160 cm de cette dernière (P1, P2, P5, P6) (Figure 1). Le nombre de thrips adultes piégés sur panneau englué est comptabilisé après 7 jours.

Figure 1 : Dispositif expérimental d'évaluation de l'effet du COVs en micro-parcelle
Experimental set-up for evaluating the effect of VOCs in microparticles



Analyses statistiques

Les analyses statistiques sont réalisées avec RStudio (version 1.2.1335) à un seuil significatif α de 5%. L'analyse de l'effet répulsif en boîte de Petri est réalisée par un test du χ^2 afin de comparer la proportion d'individus présents sur les parties traitées et témoin. Le pourcentage de répulsion moyen (PR) est ensuite calculé à partir de la formule décrite par Mc Donald (1970) : $PR = [(Nc - Nt) / (Nc + Nt)]$ (NC = Nombre d'insectes présents sur la partie témoin et Nt = Nombre d'insectes présents sur la partie traitée). Les PR sont ensuite attribués à une classe de répulsion (Mc Donald, 1970) puis comparés par

un test non-paramétrique de Kruskal-Wallis pour chaque temps d'exposition et chaque traitement. Le test post-hoc de Nemenyi est utilisé pour comparer les résultats entre eux.

Pour les essais en cage (nombre de piqures d'oviposition) et en micro-parcelle (nombre d'adultes piégés sur panneau englué), un Modèle Linéaire Généralisé (GLM) est construit en utilisant une distribution de Poisson pour comparer les données de comptage. Un test post-hoc de Tukey est réalisé en suivant afin de réaliser des comparaisons multiples (fonction 'glht', package 'multcomp').

RESULTATS

Screening des HE au laboratoire

Les résultats de l'évaluation de l'effet répulsif des produits en boîte de Petri montrent une distribution plus importante des adultes *F. occidentalis* sur la partie témoin que sur la partie traitée et ce, quelle que soit la concentration et le produit testés (χ^2 , $p < 0,05$) (Figure 2). Les quatre produits appliqués à 1% ont un effet hautement significatif sur la distribution des individus (χ^2 , $p < 0,001$). Seule, la modalité témoin-témoin, ne montre pas d'effet dans la distribution spatiale (à 5 minutes : $\chi^2 = 0,01$, $p = 0,91$; à 30 minutes : $\chi^2 = 3$, $p = 0,08$; à 60 minutes : $\chi^2 = 3,02$, $p = 0,08$).

Figure 2 : Pourcentage et nombre d'adultes de *F. occidentalis* comptabilisés lors des tests de répulsion en boîte de Petri selon la méthode la zone préférentielle de McDonald à 60 minutes

Percentage and number of adult *F. occidentalis* counted in Petri dish repulsion tests using the McDonald's Preferred Zone method at 60 minutes

(n= 300, 10 individus/ 30 répétitions ; test du χ^2 , * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

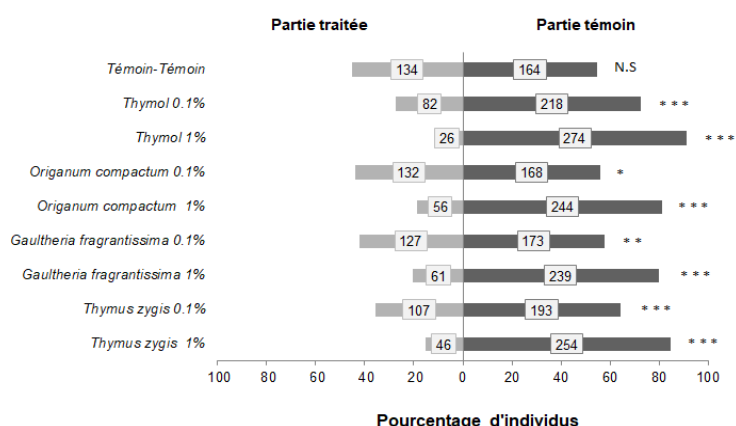


Tableau II : Pourcentage de répulsion (Moyenne $\pm$ SE) des adultes de *F. occidentalis* et classes répulsives associées aux différents produits à 5, 30 et 60 minutes.

Percentage of repellency (Mean $\pm$ SE) of *F. occidentalis* adults and repellent classes associated with different products at 5, 30 et 60 minutes.

(Lettres capitales = comparaison des PR aux différents temps d'exposition pour un même produit. Lettres minuscules = comparaison pour un temps d'exposition des produits et doses entre eux)

Produits	Concentrations	5 min		30 min		60 min		PR moyen	Classes	Propriétés répulsives
<i>Thymus zygis</i>	0,1	24,6 $\pm$ 2,9	A a	30 $\pm$ 3,83	A bc	29,3 $\pm$ 3,14	A ab	28,0	II	Faiblement répulsive
	1	54 $\pm$ 5,42	A bc	61,3 $\pm$ 4,84	A de	69,3 $\pm$ 4,25	A de	61,5	IV	Répulsive
<i>Gaultheria fragrantissima</i>	0,1	18 $\pm$ 5,32	A a	26,6 $\pm$ 3,89	A ab	19,3 $\pm$ 4,55	A a	21,30	II	Faiblement répulsive
	1	62,6 $\pm$ 3,10	A c	60,6 $\pm$ 5,26	A de	60,6 $\pm$ 4,67	A cde	60,7	IV	Répulsive
<i>Origanum compactum</i>	0,1	16 $\pm$ 4,92	A a	14,6 $\pm$ 4,53	A a	19,3 $\pm$ 4,26	A a	16,6	I	Très faiblement répulsive
	1	43,3 $\pm$ 2,83	A b	53,3 $\pm$ 3,03	A d	62,6 $\pm$ 3,4	A cde	53,1	III	Moyennement répulsive
Thymol	0,1	41,3 $\pm$ 2,86	A b	42,6 $\pm$ 3,68	A cd	45,3 $\pm$ 4,28	A bc	43,1	III	Moyennement répulsive
	1	82,66 $\pm$ 2,67	A d	80 $\pm$ 3,18	A e	82,66 $\pm$ 2,49	A e	81,73	V	Très répulsive

La comparaison des pouvoirs répulsifs (PR) ne montre aucun effet du temps d'exposition des individus aux produits (Tableau II). Cependant, des différences significatives entre les PR sont observées en fonction des produits et de leur concentration pour un temps d'exposition donné. Le thymol dosé à

1% est le produit qui est significativement le plus répulsif avec un PR moyen de 81,7%, permettant de le caractériser comme un produit très répulsif. Les PR des HE de gaulthérie (60,7%) et de thym (61,5 %) dosées à 1% sont eux associées à une classe IV, considérée comme répulsive ; tandis l'HE d'origan paraît être la moins efficace (PR = 53.1 %).

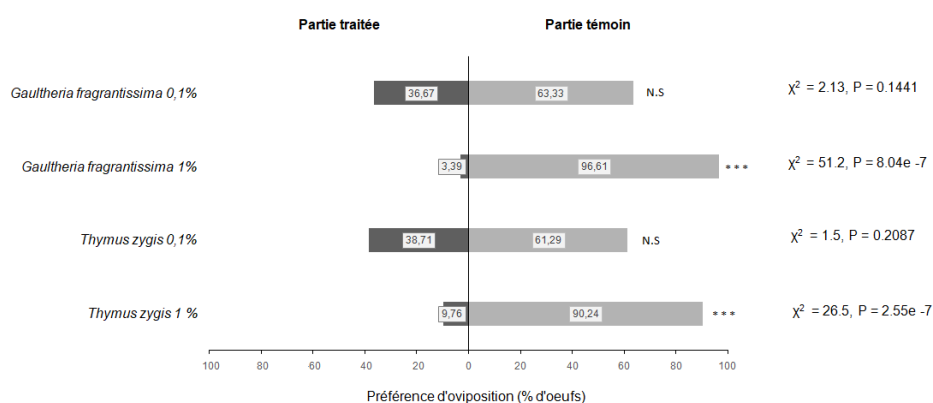
Evaluation de l'effet dissuasif de ponte des HE

Les tests de choix en boîte de Petri sur feuille de verveine montrent qu'une application d'HE à 1% de *G. fragrantissima* et de *T. zygis* dissuade *F. occidentalis* de déposer ses œufs sur les feuilles traitées par ces produits (Figure 3). Lorsque les feuilles sont traitées avec une concentration de 0,1 % d'HE, aucun effet significatif n'est observé démontrant un effet dose dépendant, comme précédemment.

Figure 3 : Préférence d'oviposition (% d'œufs) selon le traitement

Preference of oviposition (% of eggs) according to the treatment

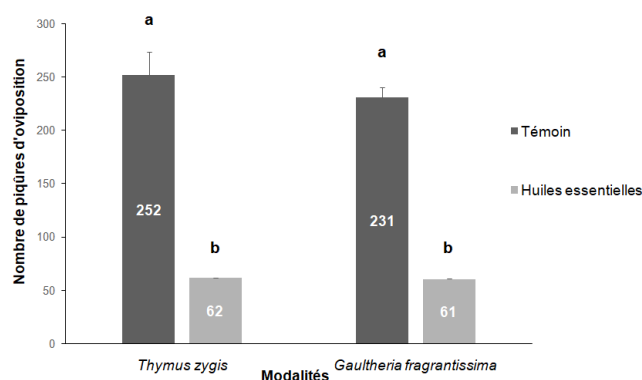
(* p<0,05 ; ** p<0,01 ; *** p<0 ; 001).



A l'échelle de la cage, l'application de l'HE de *T. zygis* diminue significativement le nombre de piqûres d'oviposition de 75% en comparaison d'un témoin non traité et l'HE de *G. fragrantissima* de 74 % (GLM, test post-hoc, p<0,001) (Figure 4). Aucune différence dans le nombre de piqûres d'oviposition a été décelée entre les deux HE (GLM, distribution quasipoisson, test post-hoc, p>0,05, p = 1).

Figure 4 : Nombre de piqûres de ponte (Moyenne ± SE) par cage en fonction des traitements.

Number of oviposition bites (Mean ± SE) per cage according to treatments.



Evaluation de l'effet répulsif en micro-parcelle en serre

Les résultats obtenus à l'issue des tests en serre montrent qu'au sein de la modalité témoin la position des panneaux n'a aucun effet sur la répartition des thrips (témoin 1 thym : GLM, F = 0,247, P = 0,9551 ; témoin 2 gaulthérie GLM, F = 1,61, P = 0,1734). La comparaison des modalités entre elles indique un nombre plus important de thrips piégés sur le panneau source dans la modalité attractive 'nérol' que

sur le témoin ; et moins importante dans la modalité HE de thym (Figure 5). Pour le nérol, les différences ne sont pas statistiquement significatives sur les autres panneaux. Pour l'HE de thym, cette diminution du nombre de piégeage est également significativement différente sur les panneaux centraux (P3 et P4) mais pas pour les panneaux extérieurs (P1, P2, P5 et P6). La diffusion de l'HE de *G. fragrantissima* engendre une diminution du nombre de thrips comptabilisés, quelle que soit la position du panneau.

Figure 5 : Nombre moyen de thrips comptabilisés sur panneaux englués en fonction des modalités. La comparaison des panneaux est réalisée entre modalités (Moyenne $\pm$ SE).

Number of thrips counted on sticky traps according to the modalities (Average $\pm$ SE). The comparison of the panels is carried out between modalities.

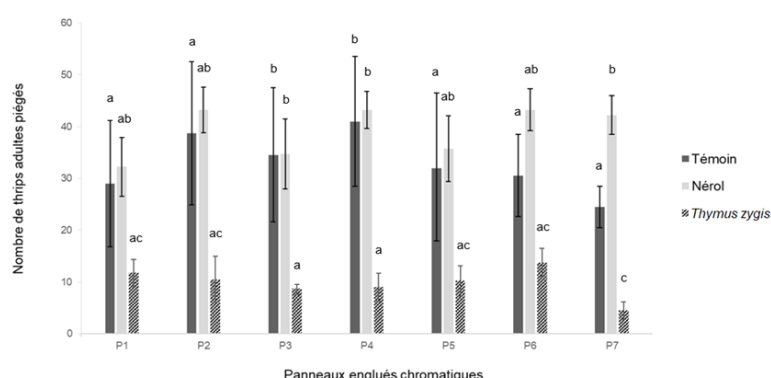
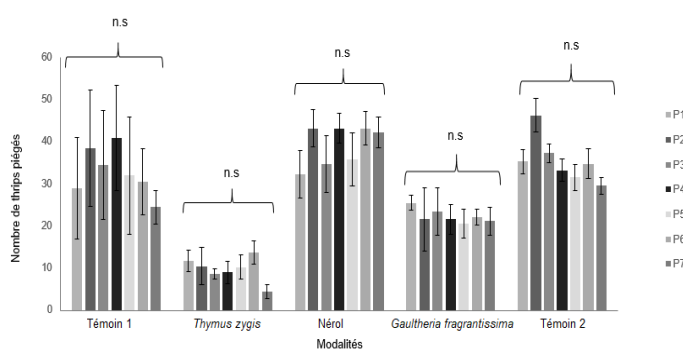


Figure 6 : Nombre (Moyenne $\pm$ SE) de thrips comptabilisés sur les panneaux englués pour chaque modalité. La comparaison des panneaux est réalisée au sein d'une même modalité (GLM, quasipoisson, $P < 0,05$, n.s : non significatif).

Number (Mean $\pm$ SE) of thrips counted on the stuck panels for each modality. The comparison of sticky traps is carried out within the same modality.



Par ailleurs, aucune différence significative n'est observée entre les différents panneaux d'une même modalité (Figure 6). Enfin, le nombre de thrips comptabilisés sur le panneau source (P7) est significativement moins important dans la modalité d'HE de *T. zygis* que celui de la modalité d'HE de *G. fragrantissima* (GLM, $F = 20,48$, $P = 0,00141$).

DISCUSSION

Le test de la zone préférentielle a permis d'évaluer l'effet de trois HE et d'un COV pour passer du screening bibliographique à l'évaluation en laboratoire. Il a montré que le thrips répond négativement à la présence des HE de thym à thymol, de gaulthérie odorante et d'origan compact ainsi qu'au thymol aux deux concentrations. Néanmoins, un effet dose est observé puisque les PR des produits appliqués

à 1 % sont toujours supérieurs aux PR des produits formulés à 0,1%. Davidson *et al.*, (2008) ont démontré que la réponse de *F. occidentalis* était dose-dépendante dans des essais en olfactomètre en Y. Cet essai préliminaire a aussi confirmé un effet produit, distinguant les deux HE les plus répulsives : l'HE de thym (PR 61,5%) et l'HE de gaulthérie (PR 60,7%). Les résultats de l'analyse chromatographique des produits sont à mettre en relation avec les réponses comportementales de *F. occidentalis*. Pour l'HE de thym et d'origan, deux terpènes ressortent majoritairement, Le thymol et le carvacrol (Tableau I), deux COVs déjà répertoriés comme répulsif (Koschier, 2008). L'HE de *G. fragrantissima* est composée elle a plus de 99% de salicylate de méthyle, dont l'effet répulsif a été démontré en olfactomètre de Petterson (Chermenskaya *et al.*, 2001). Par ailleurs, le pouvoir répulsif du thymol pur (PR 81,8%) est plus important que celui de l'HE de *T. zygis* ce qui peut s'expliquer par la composition du bouquet olfactif plus complexe de cette dernière. Ainsi, le cinéol et le géraniol répertoriés en tant que molécules attractives pour *F. occidentalis* (Koschier *et al.*, 2000) entrent aussi dans sa composition de cette HE bien qu'à faible dose (0,07 % et 0,05 % respectivement). Ainsi, la bioactivité des HE sur les ravageurs dépend de la concentration ainsi que du ratio des COVs présents. Certaines molécules, même à faible concentration, peuvent induire des effets (Nerio *et al.*, 2009). De ce fait, une variabilité des réponses des insectes vis-à-vis des mêmes HE testées, est souvent observée entre différentes études. Par conséquent, le thymol est intéressant à exploiter en tant que répulsif contre *F. occidentalis* de par sa pureté.

Les tests de choix sur disques foliaires de verveine montrent que l'application de l'HE de *G. fragrantissima* à 1% induit une production d'œufs faible (2,4%), soulignant l'effet dissuasif de ponte. Cependant à 0,1% aucun effet n'est recensé (47,2% d'œufs). La propriété dissuasive de ponte du salicylate de méthyle appliqué à 1 % sur disques foliaires de concombre en test de non choix a déjà été démontrée par Koschier *et al* (2007). De même, l'application de l'HE de *T. zygis* à 1% affecte également de manière importante l'oviposition (9,8% d'œufs) mais pas à 0.1 % (38,71 % d'œufs). Sedy et Koschier (2003) ont également montré que le thymol réduisait l'oviposition du ravageur sur feuilles de haricot à 1% mais pas à 0,1%. La concentration des odeurs est donc importante dans la répulsion ou bien l'attraction de *F. occidentalis* (Koschier *et al.*, 2000 et 2003). Cette propriété dissuasive de ponte a également été observée lors des essais en cage par diffusion passive des HE pures avec une réduction de la ponte de 75 % avec l'HE de thym et 74 % avec l'HE de gaulthérie. Ces essais à petite et moyenne échelle ont permis de valider l'effet négatif de ces deux HE. L'utilisation des HE en diffusion passive plutôt qu'en pulvérisation, permettant ainsi d'éviter la phytotoxicité, est confirmée par le passage du test en boîte au test en cage. En effet, l'application de thymol, de carvacrol et de salicylate de méthyle à 10 et 5% sur des fleurs de pruniers peut occasionner des brûlures (Allsopp *et al.*, 2014).

Enfin, le potentiel des COVs pour modifier l'environnement olfactif du thrips a été mis en évidence dans les expérimentations sous serre bien que l'interprétation des résultats de piégeage sur panneaux englués soit plus complexe. En effet, la plume d'odeur diffusée se compose de gradient dont la concentration est difficile à évaluer. Comme aucune différence de piégeage au sein d'une même modalité n'a été détectée, la plume d'odeur semble ici couvrir la micro-parcelle (7,6 m²). Ainsi, la diffusion du COV peut impacter la capture des thrips sur les panneaux voisins ne disposant pas de l'odeur en raison de l'accumulation de cette dernière au sein de la serre autour des pièges non leurrés (Teulon *et al.*, 1993, 2007). L'application d'HE de *T. zygis* au sein de la parcelle engendre une diminution de piégeage des adultes sur le panneau source et sur les panneaux centraux, soulignant l'efficacité de cette HE en tant que répulsif. Cependant, au sein de la même modalité on aurait pu s'attendre à plus de thrips piégés sur les panneaux extérieurs qu'intérieurs. Cette hypothèse n'a donc pas été validée. Ainsi, cette HE a hypothétiquement diffusé dans toute la surface de la serre. L'indice olfactif a eu un effet plus important sur la décision d'orientation que l'indice visuel, puisque les thrips n'ont pas été plus attirés par la couleur jaune. La diffusion d'HE de *G. fragrantissima*, a permis un piégeage des adultes moins important que pour le témoin ce qui montre son effet répulsif. Néanmoins l'effet de l'HE de thym, est plus important aux vues du nombre de captures sur le panneau source d'odeur. Cependant, les deux HE n'ont pas été testées sur la même échelle temporelle, avec des températures

plus importantes et de l'ordre de 30 °C, pour les essais avec l'HE gaulthérie. Cette température excessive a pu impacter la diffusion de cette HE, mais aussi le comportement du ravageur. Ainsi, bien que les HE possèdent des propriétés biologiques prometteuses dans la protection des cultures, leur volatilité et leur insolubilité dans l'eau, affectent aussi leur application (Moretti *et al.*, 2002). Certains COVs peuvent s'évaporer plus rapidement que d'autres, leur faisant perdre leur efficacité, notamment lorsqu'ils sont exposés à la chaleur (Heuskin *et al.*, 2011). Le potentiel des HE est donc fortement dépendant de la manière dont elles sont appliquées. Les travaux de Picard *et al.*, (2012), ont affirmé que l'incorporation de certains polymères tels que la méthyle cellulose ou l'alginate, souvent utilisés dans les processus d'encapsulation, augmentaient l'effet répulsif. Ajoutés aux solutions d'HE de *Thymus serpyllum* et de *Satureja montana*, ils induisent une meilleure efficacité répulsive chez *F. occidentalis*. D'après Nielsen *et al.*, (2019), les COVs contenus dans les HE doivent être disposés dans un système de diffusion modulant leur libération pour optimiser le temps de répulsion. Le taux de libération des molécules volatiles est donc essentiel pour que leur propriété biologique fonctionne à long terme dans une stratégie de lutte.

CONCLUSION

Cette étude souligne le potentiel du recours aux huiles essentielles comme composés sémi-chimiques afin de modifier le comportement de l'adulte de *F. occidentalis* en interférant dans son paysage olfactif. Les différents tests ont permis d'identifier l'huile essentielle de thym à thymol comme un bon candidat en tant que stimulus répulsif utilisée en pulvérisation à 1% et en diffusion passive. A terme, ce produit pourrait devenir la composante répulsive d'une stratégie « stimulo-dissuasive » en repoussant le ravageur à l'extérieur de la culture d'intérêt. Combinée à l'utilisation d'une composante attractive positionnée sur panneau englué, comme le méthyl-isonicotinate, elle pourrait renforcer l'efficacité du piégeage des adultes comme c'est le cas avec l'HE *Origanum majorana* sur *Thrips tabaci* en culture de poireau (Van Tol *et al.*, 2007).

Les résultats de l'HE de gaulthérie, moins significatifs à l'échelle de la serre, montrent que le mécanisme de diffusion de l'odeur est un point sensible qui impacte fortement ce type de stratégie. Ainsi en dernière année du projet, les travaux s'orientent sur la manière la plus appropriée d'utiliser une HE en menant une réflexion sur la distance et le mode de diffusion à préconiser. L'effet sur la perturbation du système sera observé sur les plantes. En parallèle, des éthogrammes seront réalisés pour observer la réponse du thrips à différentes concentrations d'HE de thym et ainsi ajuster la dose nécessaire pour repousser le ravageur. Enfin, des essais de dosage de thymol dans l'air ambiant seront réalisés afin de mieux caractériser le système.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Anne-Marie CORTESERO, Professeur à l'Université de Rennes 1, UMR INRA 1349- Institut de génétique, environnement et protection des plantes (IGEPP) -35000 Rennes, France, pour ses conseils sur les protocoles des essais et les échanges lors des comités de pilotage du projet. Le programme HEALTHI est réalisé avec le concours financier provenant du CASDAR (France AgriMer).

BIBLIOGRAPHIE

- Abbasipour H., Mahmoudvand M., Rastegar F. and Hosseinpour M.H. ,2011. Fumigant toxicity and oviposition deterrence of the essential oil from cardamom, *Elletaria cardamomum*, against three stored-product insects. *Journal of Insect Science*, 11:165.
- Akhtar Y. and Isman M., 2004. Comparative growth inhibitory and antifeedant effects of plant extracts and pure allelochemicals on four phytophagous insect species. *Journal of Applied Entomology*, 128: 32-38.
- Allsopp E., Prinsloo G.J., Smart L.E. and Dewhurst S.Y. ,2014. Methyl salicylate, thymol and carvacrol as oviposition deterrents for *Frankliniella occidentalis* (Pergande) on plum blossoms. *Arthropod-Plant Interactions*, 8: 421-427.

- Beyaert I., Hilker M., 2014. Plant odour plumes as mediators of plant-insect interactions. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 89: 68-81.
- Broughton S. and Harrison J., 2012. Evaluation of monitoring methods for thrips and the effect of trap colour and semiochemicals on sticky trap capture of thrips (Thysanoptera) and beneficial insects (Syphridae, Hemerobiidae) in deciduous fruit trees in Western Australia. *Crop Protection*, 42: 156-163.
- Cao Y., Zhi J., Cong C. and Margolies D.C., 2014. Olfactory cues used in host selection by *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in relation to host suitability. *Journal of Insect Behavior*, 27: 41-56.
- Cao Y., Zhi J., Li C., Zhang R., Wang C., Shang B. and Gao Y., 2018. Behavioral responses of *Frankliniella occidentalis* to floral volatiles combined with different background visual cues. *Arthropod-Plant Interactions*, 12: 31-39.
- Chermenskaya T., Burov V., Maniar S., Pow E., Roditakis N., Selytskaya O., Shamshev I.V., Wadhams L.J. and Woodcock C., 2001. Behavioural responses of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), to volatiles from three aromatic plants. *International Journal of Tropical Insect Science*, 21: 67-72.
- Cloyd R.A., 2009. Western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*) management on ornamental crops grown in greenhouses: have we reached an impasse? *Pest Technology*, 3:1-9.
- Davidson M.M., Perry N.B., Larsen L., Green V.C., Butler R.C. and Teulon D.A.J., 2008. 4-Pyridyl carbonyl compounds as thrips lures: effectiveness for western flower thrips in Y-tube bioassays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 6554-6561.
- Deligeorgidis P.N., Giakalis L., Sidiropoulos G., Vaiopoulou M., Kaltsoudas G. and Ipsilandis C.G., 2006. Longevity and reproduction of *Frankliniella occidentalis* and *Thrips tabaci* on cucumber under controlled conditions. *Journal of Entomology*, 3: 61-69.
- Egger B., Spangl B. and Koschier E.H. 2014. Habituation in *Frankliniella occidentalis* to deterrent plant compounds and their blends. *Entomology Experimentalis Applicata*, 151: 231-238.
- Hamilton J.G., Hall D.R. and Kirk W.D., 2005. Identification of a male-produced aggregation pheromone in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 31: 1369-1379.
- Heard T.A., 2000. Concepts in Insect host-plant selection behavior and their application to host specificity testing. 1-10. International Symposium on Biological Control of Weeds, July 4-14, 1999, Bozeman, Montana. USDA Forest Service Bulletin, FHTET-99-1, Morgantown, West Virginia, USA. 95pp.
- Heuskin S., Verheggen F.J., Haubruge E., Wathelet J.P. and Lognay G. 2011. The use of semiochemical slow-release devices in integrated pest management strategies. *Biotechnologie, Agronomie, Societe et Environnement*, 15: 459-470.
- Kirk W.D.J., 2017. The aggregation pheromones of thrips (Thysanoptera) and their potential for pest management. *International Journal of Tropical Insect Science*, 37: 41-49.
- Kirk W.D.J. and Terry L.I., 2003. The spread of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agricultural and Forest Entomology*, 5: 301-310.
- Koschier E.H., 2008. Essential oil compounds for thrips control - A review. *Natural Product Communications*, 3: 1171-1182.
- Koschier E.H., Hoffman D. and Riefler J., 2007. Influence of salicylaldehyde and methyl salicylate on post-landing behaviour of *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Applied Entomology*, 131: 362-367.
- Koschier E.H., de Kogel W.J. and Visser J.H., 2000. Assessing the attractiveness of volatile plant compounds to western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 26: 2643-2655.
- Kostyukovsky M., Rafaeli A., Gileadi C., Demchenko N. and Shaaya E., 2002. Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: possible mode of action against insect pests. *Pest Management Science*, 58: 1101-1106.
- Mainali B.P. and Lim U.T., 2010. Circular yellow sticky trap with black background enhances attraction of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Applied Entomology and Zoology*, 45: 207-213.
- Mainali B.P. and Lim U.T., 2011. Behavioral response of western flower thrips to visual and olfactory cues. *Journal of Insect Behavior*, 24: 436-446.
- McDonald L.L., Guy R.H. and Speirs R.D., 1970. Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants repellents and attractants against stored product insects. USDA Marketing Res. Report No, 882.
- Moretti M.D.L., Sanna-Passino G., Demontis S. and Bazzoni E. 2002. Essential oil formulations useful as a new tool for insect control. *AAPSPharma Science Technology*, 3: 64-74.
- Mouden S., Sarmiento K.F., Klinkhamer P.G. and Leiss K.A. (2017). Integrated pest management in western flower thrips: past, present and future. *Pest Management Science*, 73: 813-822.
- Mound L.A., 2002. So many thrips-so few tospoviruses. *Thrips and Tospoviruses: Proceedings of the 7th International Symposium of Thysanoptera*, 1-8 July 2001, 2002, Reggio Calabria, Italy, 3-5.

- Muvea A.M., Waiganjo M. M., Kutima H.L., Osiemo Z., Nyasani J.O. and Subramanian S., 2014 Attraction of pest thrips (Thysanoptera: Thripidae) infesting French beans to coloured sticky traps with Lurem-RT and its utility for monitoring thrips populations. *International Journal of Tropical Insect Science*, 34: 197-206.
- Nerio L.S., Olivero-Verbel J. and Stashenko E., 2009. Repellent activity of essential oils: a review. *Bioresource Technology*, 101: 372-378.
- Nielsen M.C., Sansom C.E., Larsen L., Worner S.P., Rostas M., Chapman R.B., Butler R.C., de Kogel W.J., Davidson M.M., Perry N.B. and Teulon D.A.J., 2019. Volatile compounds as insect lures: factors affecting release from passive dispenser systems. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. ISSN 0114-0671
- Regnault-Roger C., 1997. The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integrated Pest Management Reviews*, 2: 25-34.
- Picard I., Hollingsworth R., Salmieri S. and Lacroix L., 2012. Repellency of essential oils to *Frankliniella occidentalis* as affected by type of oil and polymer release. *Journal of Economic Entomology*, 105: 1238-47.
- Pickett J.A., Wadhams L.J. and Woodcock C.M., 1997. Developing sustainable pest control from chemical ecology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 64: 149-156.
- Pow E. M., Hooper A. M., Luszniak M. C., Pickett J. A. and Bennison, J. A., 1998. Novel strategies for improving biological control of western flower thrips on protected ornamentals—attraction of WFT to verbena plants. The 1998 Brighton Conference – *Pests and Diseases* 5B-5, 417–422.
- Pyke B., Rice M., Sabine B., Zalucki M.P., 1987. The *push-pull* strategy-behavioural control of *Heliothis*. *Australian Cottongrower*. May-July : 7-9.
- Reitz S., 2009. Biology and ecology of the western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae): the making of a pest. *Florida Entomologist*, 92: 7-13.
- Sedy K. and Koschier E.H., 2003. Bioactivity of carvacrol and thymol against *Frankliniella occidentalis* and *Thrips tabaci*. *Journal of Applied Entomology*, 127: 313-316.
- Schoonhoven L.M., van Loon J.J.A. and Dicke M., 2005. Insect-Plant Biology. 2nd ed, Oxford University Press, U.K.
- Teulon D.A.J., Hollister B. and Cameron E.A., 1993a. Behavioural responses of western flower thrips to anisaldehyde and implications for trapping in greenhouses. *Bulletin OILB/SROP*. 16: 177-180.
- Teulon D.A.J., Penman D.R. and Ramakers P.M.J., 1993b. Volatile chemicals for thrips (Thysanoptera, Thripidae) host-finding and applications for thrips pest-management. *Journal of Economic Entomology*, 86: 1405-1415.
- Teulon D.A.J., Penman D.R. and Ramakers P.M.J., 1999. Colour and odour responses of flying western flower thrips: wind tunnel and greenhouse experiments. *Entomology Experimentalis et Applicata*, 93: 9-19.
- Teulon D.A.J., Butler R.C., James D.E. and Davidson M.A., 2007. Odour-baited traps influence thrips capture in proximal unbaited traps in the field. *Entomology Experimentalis Applicata*, 123: 253-262.
- Trichilo P.J. and Leigh T.F., 1988. Influence of resource quality on the reproductive fitness of western flower thrips. *Annals of the Entomological Society of America*, 81: 64-70.
- Trongtokit Y., Curtis C.F. and Rongsriyam Y., 2005. Efficacy of repellent products against caged and free flying *Anopheles stephensi* mosquitoes Southeast Asian. *Journal of Tropical Medicine*, 36:1423-31.
- Van Rijn P.C.J., Mollema C. and Steenhuis-Broers G.M., 1995. Comparative life history studies of *Frankliniella occidentalis* and *Thrips tabaci* on cucumber. *Bulletin of entomology Research*, 85: 285-297.
- Witzgall P., Kirsch P. and Cork A., 2010. Sex pheromone their impact on pest management. *Journal of Chemical Ecology*, 36: 80-100.