



Impact de multiples ennemis naturels sur *Drosophila suzukii* immature dans les fraises et les myrtilles

Justin M. Renkema · Andrew G. S. Cuthbertson

Reçu : 29 septembre 2017 / Accepté : 22 février 2018

Organisation internationale de lutte biologique (OILB) 2018

Résumé *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera :

Drosophilidae) ovippe dans les fruits en cours de maturation, les larves rendent les cultures invendables et des pertes économiques importantes peuvent survenir. La recherche sur la lutte biologique a

se sont concentrés sur des espèces individuelles d'ennemis naturels contre *D. suzukii* immature. Ici, nous combinons deux prédateurs et un nématode entomopathogène, en espérant une complémentarité des espèces et un contrôle accru de *D. suzukii*. Dans les fraises, *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera : Anthocoridae) plus *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar (Rhabditida : Heterorhabditidae) ont permis de réduire le nombre de *D. suzukii* (81% de réduction), et dans les myrtilles, les résultats étaient similaires (60% de réduction), bien que *H. bacteriophora* n'ait pas été aussi efficace que dans les fraises, ce qui était probablement dû à des conditions de substrat plus sèches. Il n'y avait ni forte complémentarité ni interférence entre les prédateurs, *O. insidiosus* et *Dalotia coriaria* Kraatz (Coleoptera : Staphylinidae). L'inclusion d'*O. insidiosus* a entraîné une réduction de 50% de *D. suzukii* par rapport aux combinaisons sans *O. insidiosus*. La lutte contre *D. suzukii* peut être améliorée par l'utilisation de plusieurs méthodes de lutte.

Rédacteur en chef : Ralf Ehlers

J. M. Renkema (&)

Université de Floride, Gulf Coast Research and Education Center, 14625 County Rd. 672, Wimauma, FL 33598, USA
e-mail : justin.renkema@ufl.edu

A. G. S. Cuthbertson

Conseiller scientifique indépendant, York, Royaume-Uni

ennemis naturels, et les combinaisons d'*O. insidiosus* avec d'autres agents (parasitoïdes, entomopathogènes fongiques) doivent être testées.

Mots clés Complémentarité - *Dalotia coriaria* -
Diptère - Drosophilidae - *Heterorhabditis*
bacteriophora - *Orius insidiosus*.

Introduction

Drosophila suzukii (Matsumura) (Diptera : Drosophilidae) est une mouche du vinaigre invasive dans de vastes régions d'Amérique du Nord et du Sud et d'Europe, où elle est devenue un ravageur majeur des cultures de fruits tendres et de baies. Originaire des régions tempérées d'Asie, *D. suzukii* a été enregistrée pour la première fois en 2008 en Californie, aux États-Unis, en Italie et en Espagne (Asplen et al. 2014 ; Calabria et al. 2012 ; Cini et al. 2012 ; Depra' et al. 2014 ; Hauser 2011 ; Haye et al. 2016). Les dommages aux cultures sont causés lorsque les femelles utilisent de grands ovipositeurs dentelés pour pondre des œufs dans les fruits non mûrs et mûrs, et que les larves consomment les tissus des fruits, ce qui entraîne des fruits mous, contaminés et non commercialisables (Lee et al. 2011a). Les pertes économiques dues à *D. suzukii* ont été estimées à 26 et 43 millions de dollars US dans les cultures sensibles de l'est des États-Unis et dans les framboises en Californie, respectivement (Burra et al. 2014 ; Goodhue et al. 2011 ; Lee et al. 2011b). En raison du potentiel d'augmentation rapide des populations avant et pendant la récolte des fruits, des applications fréquentes d'insecticides sont nécessaires afin de

contrôler les mouches adultes (Diepenbrock et al. 2016a ; Lin et al. 2014 ; Tochen et al. 2014). Cependant, 92 % de la population de *D. suzukii* peut exister sous forme d'œufs, de larves ou de pupes à un moment donné (Emiljanowicz et al. 2014), ce qui crée à la fois des défis pour une lutte efficace à l'aide d'insecticides ciblant uniquement les adultes et des opportunités pour développer des tactiques de lutte visant les stades immatures.

Une des raisons principales du succès d'un envahisseur biologique est l'absence ou l'impact réduit des ennemis naturels dans la zone envahie (l'hypothèse de la libération des ennemis) (Liu et Stiling 2006). Dans le cas de *D. suzukii*, relativement peu de parasitoïdes généralistes des larves et des pupes de *drosophiles* ont été documentés dans les zones envahies, et ils ont généralement des effets limités sur les populations de *D. suzukii*.

populations de *D. suzukii* (Gabarra et al. 2015 ; Miller et al. 2015 ; Stacconi et al. 2015) en raison, du moins en partie, de la forte charge en hémocytes de *D. suzukii* (Kacsoh et Schlenke 2012 ; Poyet et al. 2013). Au Japon, les larves de *D. suzukii* sont parasitées par *Ganaspis xanthopoda* (Ashmead) (Hymenoptera : Fitigidae), *Asobara japonica* Belokobylskij, et *A. tabida* Nees (Hymenoptera : Braconidae) (Mitsui et al. 2007 ; Mitsui et Kimura 2010), et la lutte biologique classique utilisant *Asobara*, *Ganaspis* ainsi que des espèces de *Leptopilina* est également étudiée (Daane et al. 2016). La prédation sur les immatures de *D. suzukii* dans les aires envahies a reçu moins d'attention de la part des chercheurs, mais Woltz et Lee (2017) ont récemment constaté une diminution de 19 à 49 et de 61 à 91 % des larves et des pupes dans les fruits et le sol, respectivement, lorsqu'ils étaient exposés à des prédateurs. Les fourmis et les araignées ont été communément observées (Woltz et Lee 2017), et dans une autre étude *Labidura riparia* Pallas (Dermaptera : Labiduridae) était commun et enregistré comme un prédateur actif des larves et des pupes de *D. suzukii* (Gabarra et al. 2015). Un impact significatif des prédateurs sur *D. suzukii* est corroboré par des études qui ont montré l'efficacité en laboratoire des prédateurs disponibles dans le commerce *Orius* spp. (Hemiptera : Anthocoridae) et *Dalotia coriaria* Kraatz (Coleoptera : Staphylinidae) (Cuthbertson et al. 2014a ; Renkema et al. 2015 ; Woltz et al. 2015). Des lâchers supplémentaires d'agents de lutte biologique contre *D. suzukii*

immature, y compris des entomopathogènes, en particulier des nématodes (Cuthbertson et al. 2014b ; Cuthbertson et Audsley 2016), peuvent servir à compléter les taux de prédation ou d'infection existants en augmentant la diversité des ennemis naturels.

Les agents commerciaux de lutte biologique testés dans cette étude, deux prédateurs et un nématode entomopathogène, ont été examinés individuellement contre

les stades immatures de *D. suzukii*. *Orius insidiosus* Say est un insecte prédateur, bien connu pour sa capacité à contrôler les thrips et autres petits ravageurs à corps mou. Lorsqu'il est placé avec des bleuets infestés par *D. suzukii*, le contrôle est de 50 et 12 % dans des conteneurs ou des cages en laboratoire, respectivement, mais aucun contrôle n'a été enregistré dans les expériences en cage à l'extérieur (Woltz et al. 2015). *Dalotia coriaria* est utilisé principalement contre les larves de mouches terricoles dans les serres. Les réductions de larves de *D. suzukii* en laboratoire dues à *D. coriaria* allaient de 0 % dans des myrtilles intactes à 10 % dans des boîtes de Pétri et à 50 % dans des framboises décomposées (Cuthbertson et al. 2014a ; Renkema et al. 2015 ; Woltz et al. 2015). *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar (Rhabditida : Heterorhabditidae) est efficace contre les larves de coléoptères ravageurs vivant dans le sol. Woltz et al. (2015) n'ont enregistré aucune infectivité des larves de *D. suzukii* dans le régime alimentaire ou les myrtilles, mais Cuthbertson et Audsley (2016) ont enregistré une mortalité de plus de 90 % lors du trempage des larves dans le sable. Bien que la variabilité des résultats entre les expériences pour chaque espèce puisse être due à des facteurs tels que les densités de prédateurs ou de ravageurs, une réduction constante des immatures de *D. suzukii* peut être assurée en combinant des espèces d'ennemis naturels.

L'augmentation de la richesse en ennemis naturels a pour but d'accroître le taux de consommation des proies en raison de l'utilisation complémentaire des ressources ou des effets émergents entre les ennemis (Casula et al. 2006 ; Ives et al. 2005 ; Sih et al. 1998). Les ennemis naturels se complètent lorsque la consommation de proies est additive, atteignant généralement un point de saturation, et que l'utilisation des ressources *par habitant* est indépendante du nombre d'ennemis naturels (Pfannenstiel et Yeargan 2002 ; Straub et Snyder 2008). Les effets émergents résultent d'interactions directes ou indirectes entre les ennemis naturels, créant des résultats non additifs (Sih et al. 1998 ; Snyder et Tylianakis 2012). Les effets émergents positifs sont dus à la synergie biologique, par laquelle un ennemi naturel permet un plus grand niveau de consommation des ressources par un second ennemi naturel (Fodrie et al. 2008 ; Losey et Denno 1998). Les effets négatifs de plusieurs ennemis naturels peuvent être attribuables à une forte prédation intragilde ou à une interférence non consommatrice de la recherche

de nourriture ou d'autres ressources (Cuthbertson et al. 2013 ; Michalko et Peka'r 2017 ; Rosenheim et al. 1993). Les forces relatives de la compétition intraspécifique *par rapport à la* compétition interspécifique ou des liens trophiques entre le prédateur et la proie influenceront les résultats de l'utilisation d'ennemis naturels multiples, les facteurs spécifiques à la situation tels que l'habitat ayant des effets modificateurs importants.

(Finke et Denno 2002 ; Snyder et Wise 1999).

Notre objectif était de déterminer l'effet de l'augmentation de la richesse de trois ennemis naturels - *O. insidiosus*, *D. coriaria*, et *H. bacteriophora* - sur les stades immatures de *D. suzukii* se développant dans les baies de paille et les bleuets. Nous avons utilisé un plan substitutif, dans lequel l'abondance totale des ennemis naturels était maintenue constante à des niveaux variables de richesse en espèces d'ennemis naturels. Selon ce modèle, les possibilités d'interactions intraspécifiques diminuent avec la richesse des espèces, tandis que les possibilités d'interactions interspécifiques augmentent (Straub et Snyder, 2006). Ainsi, on s'attend à ce que, puisque les espèces d'ennemis naturels exploitent (probablement) les ressources de différentes façons, l'augmentation de la richesse en espèces entraîne une plus grande consommation des ressources que la simple augmentation de l'abondance d'une seule espèce d'ennemi naturel.

transparent (4 l) partiellement remplis de tourbe de sphagnum (Miracle Gro® Lawn Products Inc.), Marysville, OH, USA), fibre de coco (Eco Earth®, Zoo Med Laboratories Inc, San Luis Obispo, CA,

Matériaux et méthodes

Sources d'insectes et de nématodes

Les *Drosophila suzukii* provenaient d'une colonie maintenue dans des cages ventilées en plexiglas® (26 x 26 x 26 cm) dans des conditions de laboratoire (21-22 °C, 30-40 % HR) au Gulf Coast Research and Education Center (GCREC) à Balm, Floride, États-Unis, depuis août 2015.

La colonie a été démarrée en 2009 à partir de *D. suzukii* ayant émergé de fruits de jasmin orange, *Murraya paniculata* (L.) Jack, et a été périodiquement complétée par des mouches émergeant de myrtilles et de fraises commerciales en Floride. Les mouches ont reçu de la ouate humide comme source d'eau et un nouveau régime alimentaire/milieu de croissance larvaire tous les 3-4 jours, composé d'eau (4 l), d'agar (45 g), de farine de maïs (125 g), de sucre blanc (200 g) et de levure alimentaire (70 g) avec de l'acide propionique 1 M (17,7 ml) et du méthylparaben (3,3 g) dissous dans de l'éthanol à 95 % (33,3 ml). Le mélange a été porté à ébullition puis refroidi avant d'être versé dans des boîtes de Pétri.

Les *Dalotia coriaria* ont été obtenues auprès de Biobest Biological Systems (Westerlo, Belgique) et élevées dans une chambre de croissance (25 °C, 50-60% HR, L:D 16:8) dans des récipients en plastique

USA), et de la vermiculite dans un rapport de 4:2:1 par volume, respectivement. De l'eau (350 ml par récipient) a été mélangée aux matériaux secs, et de l'eau supplémentaire (15 ml) a été ajoutée chaque semaine pour maintenir un niveau d'humidité constant. Les coccinelles ont été nourries avec de la nourriture pour truites écrasée et granulée.

(3 g par boîte) (AquaMax[®] Sportfish 600, Purina, Louis, MO, USA) mélangé au substrat chaque semaine. Les *Dalotia coriaria* ont été retirées de la colonie et maintenues individuellement, sans nourriture pendant 18 h dans des tubes de microcentrifuge (1,5 ml) avant le début des expériences.

Orius insidiosus ont été obtenus auprès de Biobest Bio- logical Systems (Westerlo, Belgique), et *Heterorhabditis bacteriophora* (Nemasys[®] G) ont été obtenus auprès de BASF Agriculture (Research Triangle Park, NC, USA). Tous deux ont été conservés dans un réfrigérateur à 4 °C pendant environ 24 heures avant d'être utilisés dans les expériences. Les *Orius insidiosus* ont été placés individuellement dans des tubes de microcentrifugation (0,6 ml) 3 à 4 heures avant le début des expériences.

Expérience sur les fraises

Les transplants de fraises ('Radiance') ont été cultivés pendant trois semaines dans une serre dans des pots en plastique noir (3,78 l) partiellement remplis de milieux de culture standard et fertilisés une fois avec Osmocote[®] Smart Release.

Plant Food (Bloomington, IN, USA). Le jour précédant le début de l'expérience, les plantes ont été coupées à quatre ou cinq feuilles trifoliées pleinement développées, et une loupe manuelle a été utilisée pour inspecter les feuilles afin de s'assurer qu'elles étaient exemptes d'acariens, de thrips ou d'autres insectes. Le jour de l'expérience, la surface du milieu de culture a été nettoyée.

a été recouverte d'une couche de sable (100 g) (Quickrete[®]

Play Sand, Jacksonville, FL, USA) qui a été séché à 240 °C pendant 24 h et réhumidifié à 10% d'humidité en poids. Un cylindre en plexiglas[®] (30 cm de haut, 14,7 cm de diamètre intérieur, 3,0 mm d'épaisseur) a été placé sur les fraisiers, bien ajusté dans le pot en plastique,

et enfoncé d'environ 1 cm dans le sable pour empêcher les insectes de s'échapper. Un filet blanc en organdi a été collé sur le dessus du cylindre et sur un trou de 3,2 cm de diamètre situé à 7 cm du fond

du cylindre. Les insectes étaient introduits par un trou de 3,2 cm de diamètre, à 8,5 cm du fond du cylindre, qui était bouché avec un bouchon de liège après les introductions. Au cours de l'expérience, des arènes (fraises en pot ? cylindre)

ont été maintenus dans une chambre de croissance à 24 °C, 45-50% HR,

et L:D 16:8 sous lumière fluorescente.

Pour obtenir des fruits infestés, des fraises entièrement mûres ('Radiance') ont été récoltées le 9th février 2016 dans des parcelles de recherche du GCREC qui n'avaient pas été pulvérisées avec des insecticides. Un sous-échantillon de fraises ($n = 6$) a été conservé individuellement pendant cinq jours dans des récipients en plastique ventilés afin de déterminer la présence de

D. suzukii, mais aucune larve de *drosophile* n'a été trouvée. Les fraises utilisées dans l'expérience ($n = 64$) ont été rincées pendant 15 s dans une solution d'eau de Javel à 1%, puis dans de l'eau distillée. Après séchage, elles ont été pesées individuellement, placées dans de petits bacs de pesée en plastique étiquetés.

et réparties entre trois cages en plexiglas® (identiques à celles de l'année précédente).

celles utilisées pour l'élevage des colonies de *D. suzukii*). Chaque cage contenait environ 200 mouches *D. suzukii* âgées d'une semaine provenant de la colonie, dans un rapport mâle/femelle de 1:2. Après 24 heures, les fraises ont été retirées des cages et vérifiées à la loupe pour s'assurer qu'elles contenaient des œufs de *D. suzukii*.

Au début de l'expérience, un anneau de 6 cm de diamètre a été imprimé dans la surface du sable adjacent à la base du fraisier en utilisant le bord du gobelet en plastique, et une dépression peu profonde a été faite au centre de l'anneau. Les *Heterorhabditis bacteriophora* ont été mélangés dans de l'eau fraîche et distillée selon les recommandations du fabricant. Le taux d'application le plus élevé de 54 000 juvéniles infectieux était égal au taux testé dans Cuthbertson et Audsley (2016) sur une base par cm² (Tableau 1). Les mélanges de *H. bacteriophora* (5 ml par arène) ont été versés lentement et uniformément sur la zone de l'anneau impressionné. Les combinaisons d'ennemis naturels sans *H. bacteriophora* ont reçu 5 ml d'eau. Une fraise infestée a été placée sur chaque dépression. Un cylindre a été placé sur chaque

Des fraises en pot, et les nombres requis de *D. coriaria* et d'*O. insidiosus* ont été prélevés dans des microtubes à trifuge dans les arènes (Tableau 1).

Chaque combinaison d'ennemis naturels a été répliquée huit fois. Les répliques ont été disposées en blocs complets dans la salle de croissance. Un bloc comprenait huit arènes sur deux plateaux de 45 x 35 cm, avec environ 60 cm entre les blocs. Après six jours, les cylindres ont été retirés et les arènes ont été fouillées pour trouver des *D. coriaria* et *O. insidiosus* vivants. Le même gobelet qui a été utilisé pour fabriquer l'anneau a été pressé dans le sable pour transférer un cylindre peu profond de sable et ce qui restait de la fraise dans un récipient en plastique (500 ml). Les récipients ont été stockés dans un réfrigérateur et évalués pour les larves et les pupes de *D. suzukii* au cours de la semaine suivante en utilisant un test à l'eau salée. Chaque échantillon a été remué vigoureusement avec 300 ml d'une part de sel pour 16 parts d'eau, les larves et les pupes qui flottaient ont été retirées, l'eau salée et les débris ont été versés à travers un tamis, et le tamis a été recherché pour les pupes et les larves. Ce processus a été répété trois fois par échantillon, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de larves ou de pupes supplémentaires.

récupéré.

Expérience sur les myrtilles

Les méthodes de l'expérience sur les myrtilles étaient identiques à celles de l'expérience sur les fraises, à l'exception de ce qui suit. Des bleuets en corymbe du Sud ('Jewel') à pleine maturité provenant de parcelles de recherche du GCREC et n'ayant pas été pulvérisés d'insecticides ont été récoltés le 17th mai 2016 et exposés à des adultes de laboratoire de *D. suzukii* pendant 24 heures pour vérifier l'infestation. Trois groupes de dix myrtilles non exposées à des *D. suzukii* de laboratoire ont été conservés pour une période de 24 heures.

Tableau 1 Combinaisons et nombres de trois espèces d'ennemis naturels dans des arènes de 170 cm² évaluées contre les stades immatures de *Drosophila suzukii* dans les fraises et les myrtilles.

Richesse des espèces	<i>Dalotia coriaria</i>	<i>Orius insidiosus</i>	<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	Total
3	6	6	18,000 (6) ^a	18
2	9	9	0	18
2	9	0	27,000 (9)	18
2	0	9	27,000 (9)	18

1	18	0	0	J. M. Renkema, A. G. S. Cuthbertson
1	0	18	0	18
1	0	0	54,000 (18)	18
0	0	0	0	0

^aLes chiffres entre parenthèses indiquent le nombre équivalent de *D. coriaria* ou *O. insidiosus*.

cinq jours, mais aucune larve de *drosophile* n'a été trouvée. Au lieu de fraises en pot, des cylindres ont été recouverts de couvercles de boîtes de Pétri (14,6 cm de diamètre extérieur) remplis de 280 g de sable à 10 % d'humidité en poids, amoncelés au centre de la boîte sur une profondeur d'environ 2 cm. Dix myrtilles infestées et pesées ont été placées dans une dépression peu profonde dans l'anneau impressionné au sommet du monticule. Les arènes ont été disposées selon un plan complètement aléatoire dans la même salle de croissance que l'expérience sur les fraises.

Analyse des données

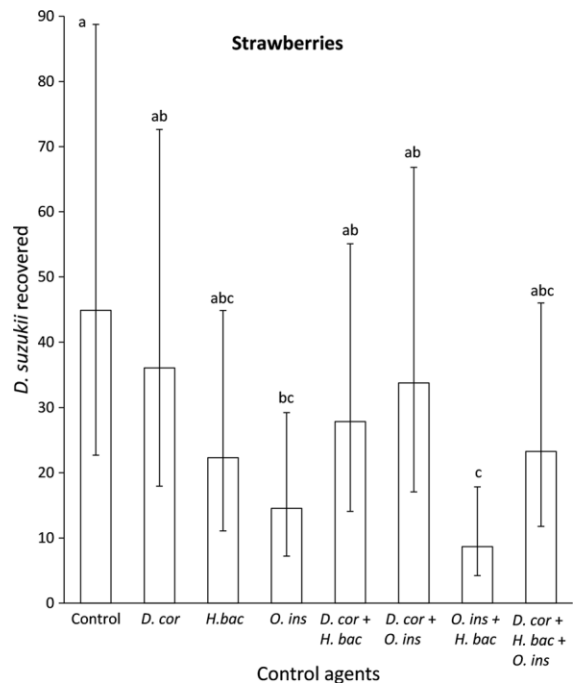
Dans un premier temps, une régression linéaire multiple a été utilisée pour tester toutes les interactions possibles entre les ennemis naturels sur les nombres de *D. suzukii* récupérés. Comme aucune des interactions n'était significative ($P \geq 0,05$) pour les fraises ou les bleuets, une analyse de variance à sens unique (ANOVA) a été utilisée pour comparer les différentes combinaisons d'ennemis naturels. Pour l'expérience sur les fraises, les répétitions ont été regroupées par blocs, et un effet de blocage aléatoire a donc été inclus dans le modèle. Pour l'expérience sur les bleuets, un plan complètement randomisé a été utilisé, donc un terme de blocage n'a pas été utilisé dans le modèle. Les données ont été transformées en $\log(x + 1)$ pour l'expérience sur les fraises et en $\log(x)$ pour l'expérience sur les myrtilles afin d'améliorer la normalité et l'homoscédasticité de la variance des erreurs. Les moyennes des moindres carrés rétro-transformées et les intervalles de confiance sont affichés. En utilisant également l'ANOVA, les taux de récupération de *D. coriaria* et *O. insidiosus* parmi les combinaisons d'ennemis naturels incluant chaque prédateur ont été comparés. Le test HSD de Tukey a été utilisé pour séparer les moyennes significativement différentes.

Les effets *par habitant* des prédateurs - *D. coriaria* et *O. insidiosus* - ont été calculés à l'aide de l'équation $\ln(N_{na}/N_p)/P$, où N = nombre final de *D. suzukii*, na = absence d'ennemis naturels, p = présence de prédateurs et P = densité initiale de prédateurs (Straub et Snyder 2008 ; Wootton 1997). La moyenne pour le contrôle sans ennemis naturels a été utilisée pour le terme N_{na} . Nous n'avons pas comparé l'effet *per capita* de *H. bacteriophora* en raison du nombre beaucoup plus important

d'individus appliqués par rapport aux prédateurs. Comme *O. insidiosus* avait des effets *per capita* plus forts que *D. coriaria*, nous avons également comparé le nombre de *D. suzukii* récupérés entre les traitements avec ou sans *O. insidiosus*. Analyses ont été réalisées dans JMP[®] Pro 12.0.1 (SAS 2015) à $\alpha = 0.05$.

La taille moyenne des fraises était de $28,9 \pm 0,4$ g (\pm SE), avec une fourchette de 22,9-34,3 g, et le poids moyen de dix myrtilles était de $20,5 \pm 0,1$ g (\pm SE), avec une fourchette de 18,2-22,8 g. Le nombre de larves et de pupes de *D. suzukii* récupérées a été affecté par la composition des espèces d'ennemis naturels dans les fraises ($F_{7,44} = 5,5$, $P \setminus 0,001$) et les myrtilles ($F_{7,60} = 18,8$, $P \setminus 0,001$). Dans les fraises, la combinaison d'*O. insidiosus* et de *H. bacteriophora* a permis de retrouver le moins de *D. suzukii*, et *O. insidiosus* seul a également réduit le nombre de *D. suzukii* à des niveaux inférieurs à ceux du témoin (Fig. 1). Les combinaisons d'ennemis naturels avec *D. coriaria* n'ont pas eu moins de *D. suzukii* que le témoin (Fig. 1). Dans les bleuets, on a retrouvé moins de *D. suzukii* avec *O. insidiosus* seul ou avec toute combinaison d'*O. insidiosus* et de *H. bacteriophora*.

Fig. 1 Moyenne des moindres carrés (\pm 95 % IC) du nombre de larves et de pupes de *Drosophila suzukii* récupérées dans une fraise exposée pendant six jours à sept combinaisons d'ennemis naturels : un scarabée, *Dalotia coriaria* (*D. cor*), un nématode entomopathogène, un insecte de la famille des Bactéries, un insecte de la famille des Bactéries et un insecte de la famille des Bactéries. *Heterorhabditis bacteriophora* (*H. bac*), et une punaise pirate minuscule, *Orius insidiosus* (*O. ins*) et un contrôle sans ennemis naturels. Les fraises et les ennemis naturels étaient confinés dans des arènes de 170 cm² avec des petits plants de fraises placés dans un environnement contrôlé. Les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (test HSD de Tukey, $\alpha = 0,05$).



et *D. coriaria* qu'avec *D. coriaria* ou *H. bacteriophora* seuls ou le témoin (Fig. 2). Toutes les larves et pupes récupérées étaient de couleur normale, aucune des combinaisons contenant *H. bacteriophora* ne présentait de symptômes évidents d'infection par le nématode, comme une coloration rouge ou orange.

Le taux de récupération de *D. coriaria* (fraises : $F_{3,27} = 0,4$, $P = 0,785$; myrtilles : $F_{3,25} = 2,3$, $P = 0,101$) n'a pas varié en raison de la combinaison d'ennemis naturels, pas plus que le taux de récupération de *O. insidiosus* (fraises : $F_{3,25} = 0,7$, $P = 0,556$; bleuets : $F_{3,24} = 1,0$, $P = 0,419$). Les taux de récupération étaient de 57-64 et 65-90% pour *D. coriaria* et de 12-22 et 46-67% pour *O. insidiosus* dans les fraises et les bleuets, respectivement (Tableau 2). Les impacts *per capita* des prédateurs sur le rétablissement de *D. suzukii* n'ont pas été affectés par la richesse en prédateurs sur une fraise ($t_{20} = 0,94$, $P = 0,359$) ou sur des bleuets ($t_{20} = 0,36$, $P = 0,725$),

contrôle sans ennemis naturels. Les myrtilles et les ennemis naturels étaient confinés dans des arènes de 170 cm² placées dans un environnement contrôlé. Les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (test HSD de Tukey, $\alpha = 0.05$)

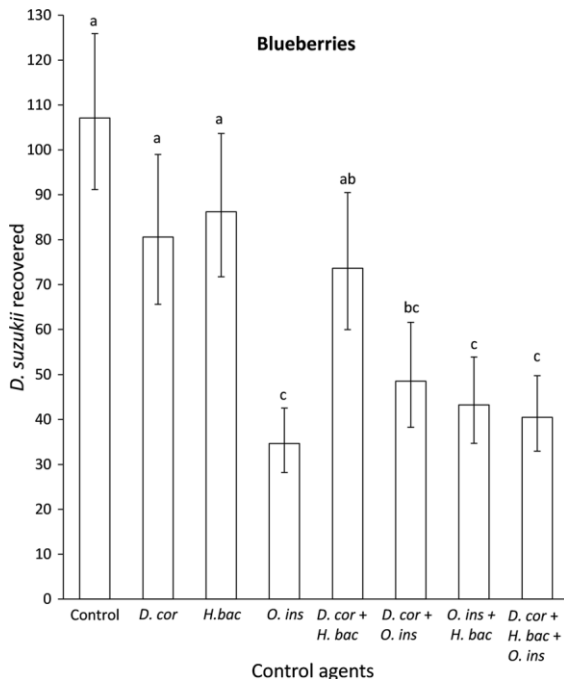


Fig. 2 Moyenne des moindres carrés ($\pm 95\%$ IC) du nombre de larves et de pupes de *Drosophila suzukii* récupérées dans dix bleuets exposés pendant six jours à sept combinaisons d'ennemis naturels : un scarabée, *Dalotia coriaria* (*D. cor*), un entomopathogène, un insecte de la famille des Bactéries et un insecte de la famille des Bactéries, *Heterorhabditis bacteriophora* (*H. bac*), et une punaise pirate minuscule, *Orius insidiosus* (*O. ins*) et un

même si la force de la répression de *D. suzukii* sur une fraise avec les deux prédateurs était environ la moitié de celle observée lorsqu'un seul prédateur était présent (Fig. 3). Les impacts *par habitant* étaient affectés par l'identité des espèces de prédateurs sur une fraise ($t_{12} = 2,23$, $P = 0,046$) et dans les bleuets ($t_{13} = 6,18$, $P \setminus 0,001$). *Orius insidiosus* a été 5,6 et 3,7 plus efficace que *D. coriaria* sur les fraises et les bleuets, respectivement, pour réduire

D. suzukii (Fig. 3). Un effet d'identité d'espèce a été observé pour *O. insidiosus* dans les fraises ($t_{59} = 2,01$, $P = 0,048$) et les bleuets ($t_{66} = 8,48$, $P \setminus 0,001$). Les combinaisons d'ennemis naturels avec *O. insidiosus* avaient environ deux fois moins de *D. suzukii* que celles sans *O. insidiosus* dans les fraises et les bleuets (Fig. 4).

Discussion

Nous nous attendions à ce qu'une augmentation de la richesse en ennemis naturels réduise *D. suzukii* aux niveaux les plus bas, étant donné que l'utilisation complémentaire des ressources par de multiples ennemis naturels a été enregistrée lorsque plusieurs stades de vie de la proie sont inclus dans les expériences (Wilby et Thomas 2002). *Orius insidiosus* se nourrit principalement de fruits en utilisant des pièces buccales perforantes pour consommer les œufs et les premiers stades qui se trouvent sur ou juste sous la surface du fruit.

D. coriaria s'alimente probablement plus efficacement une fois que les fruits commencent à se décomposer et que certaines larves sont exposées, et *H. bacteriophora* est plus susceptible d'infecter les larves pré-pupales lorsqu'elles se déplacent des fruits vers la chrysalide. Cependant, nous n'avons pas trouvé de complémentarité entre les deux prédateurs, car la combinaison d'*O. insidiosus* et d'*H. bacteriophora* est la plus probable.

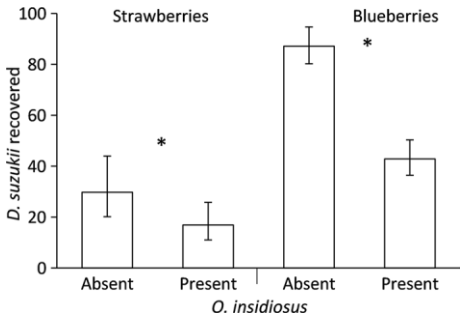
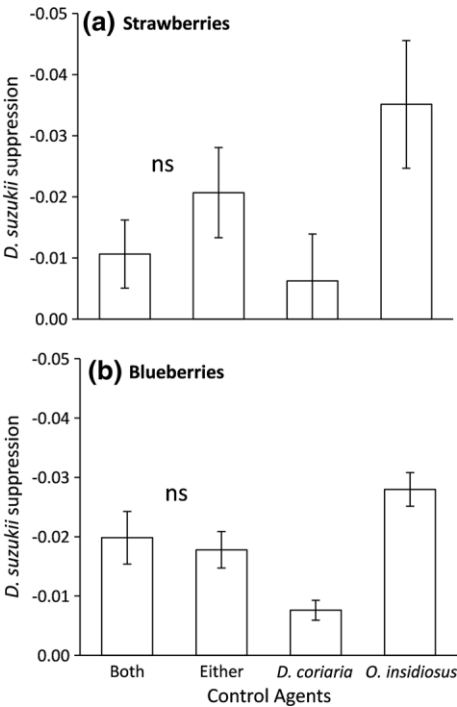
D. coriaria n'a pas produit d'effets *per capita* différents de la moyenne des deux. Dans l'expérience sur les fraises, la combinaison de *O. insidiosus* et de *H. bacteriophora* semblait être complémentaire, mais les effets *per capita* n'ont pas pu être calculés. Nous soupçonnons que la faible performance de *H. bacteriophora* dans l'expérience sur les myrtilles, et donc l'absence de preuve d'une quelconque complémentarité, est due à la faible humidité du sol à la fin de l'expérience qui a entraîné des taux de survie et d'infection plus faibles que

dans l'expérience sur les fraises (Tolosa et al. 2014). En outre, une étude récente a montré que d'autres nématodes entomopathogènes, *Steinernema feltiae* Filipjev et *S. carpocapsae* Weiser, peuvent être des agents de biocontrôle plus efficaces car ils ont infecté les larves de *D. suzukii* à des niveaux beaucoup plus élevés que *H. bacteriophora* (Hart et al. 2017). Le site

Tableau 2 Proportion (\pm SE) de *Dalotia coriaria* (*D. cor*) et *Orius insidiosus* (*O. ins*) récupérés six jours après le lâcher dans des arènes contenant soit une seule fraise, soit dix myrtilles infestées par *Drosophila suzukii*.

		Ennemis naturels		dans les	
		fraises	myrtilles	fraises	myrtilles
		<i>D. coriaria</i>	<i>O. insidiosus</i>	<i>D. coriaria</i>	<i>O. insidiosus</i>
<i>D. coriaria</i>	18	0.57 \pm 0.06	-	0.65 \pm 0.07	-
<i>O. insidiosus</i>	18	-	0.12 \pm 0.05	-	0.46 \pm 0.10
<i>D. cor</i> ? <i>H. bac</i>	9	0.64 \pm 0.05	-	0.86 \pm 0.07	-
<i>D. cor</i> ? <i>O. ins</i>	9	0.57 \pm 0.05	0.17 \pm 0.05	0.89 \pm 0.09	0.51 \pm 0.13
<i>O. ins</i> ? <i>H. bac</i>	9	-	0.22 \pm 0.05	-	0.67 \pm 0.11
<i>D. cor</i> ? <i>H. bac</i> ? <i>O. ins</i>	6	0.60 \pm 0.05	0.19 \pm 0.05	0.90 \pm 0.07	0.67 \pm 0.10

H. bac = *Heterorhabditis bacteriophora*, un nématode entomopathogène



peuvent signifier que les juvéniles infectés par les nématodes sont morts.

Fig. 3 Effets prédateurs moyens (\pm SE) *par personne* sur *Drosophila suzukii* dans a une seule fraise ou b dix myrtilles pendant six jours dans des arènes de 170 cm² placées dans un environnement contrôlé avec les deux ou soit *Dalotia coriaria* et *Orius insidiosus*. Les valeurs négatives indiquent la suppression de *D. suzukii* par rapport au témoin sans ennemi naturel. ns n'indique aucune différence significative ($P \geq 0,05$) entre les effets *par habitant* avec les deux espèces de prédateurs ou avec l'une ou l'autre.

5-6 jours entre l'arrosage du sol avec *H. bacteriophora* et le moment où les troisièmes stades de *D. suzukii* ont quitté les fruits pour se transformer en chrysalides et étaient les plus sensibles à l'infection

Fig. 4 Nombre moyen (\pm 95 % IC) de *Drosophila suzukii* récupéré dans les communautés d'ennemis naturels avec (n = 30 bleuets et fraises) ou sans (n = 31 fraises et 38 bleuets) le prédateur *Orius insidiosus*. Astérisques indiquent des différences significatives ($P \leq 0,05$) entre les moyennes pour les fraises et les myrtilles séparément.

avant qu'ils ne puissent accéder à l'hôte. Cependant, H. et al. (2017) ont trouvé des nématodes entomopathogènes dans des fruits en décomposition, ce qui suggère qu'ils peuvent potentiellement infecter tous les stades larvaires de *D. suzukii*.

En plus d'avoir trouvé peu de preuves de la complémentarité des ennemis naturels, nous n'avons pas trouvé de preuves solides de l'interférence des ennemis naturels entre les deux prédateurs. Les études qui évaluent les prédateurs multiples trouvent souvent que l'interférence augmente avec la richesse des prédateurs (Finke et Denno 2004 ; Martin et al. 2013). Les effets *par tête* étaient plus faibles, mais pas de manière significative, avec *O. insidiosus* et *D. coriaria* que la moyenne de l'un ou l'autre seul sur les fraises mais pas sur les myrtilles, ce qui suggère peu, voire aucune, interaction entre les espèces. Pour qu'il y ait de fortes interactions négatives, un prédateur de ravageurs efficace doit être victime d'un prédateur intra-groupe puissant (Rosenheim et al. 1993 ; Prasad et Snyder 2006). Puisque les taux de récupération de l'un ou l'autre

prédateur n'ont pas été affectés par les combinaisons d'ennemis naturels, toute interaction peut être comportementale et non consommatrice. Nous n'avons pas évalué le nombre de *H. bacteriophora* après les expériences, mais il est possible que les prédateurs, en particulier *D. coriaria*, se soient nourris des nématodes et aient ainsi réduit leur impact potentiel sur les larves de *D. suzukii*.

Ces expériences soulignent l'importance de l'identité des ennemis naturels pour la suppression des proies (Straub et Snyder 2008). Les combinaisons d'ennemis naturels incluant *O. insidiosus* ont systématiquement entraîné une réduction du nombre de *D. suzukii* par rapport à celles qui n'en comprenaient pas, ce qui signifie que les stratégies de recherche de nourriture d'*O. insidiosus* sont plus efficaces que celles de *D. coriaria* ou que les taux d'infectiosité de *D. coriaria*.

H. bacteriophora. Alors que nous nous attendions à ce que *O. insidiosus* consomme le plus de proies au cours des premiers jours de l'expérience, lorsque les œufs et les premiers stades étaient présents, les taux de survie plus élevés et la suppression plus forte de *D. suzukii* à la fin de l'expérience sur les myrtilles par rapport à celle sur les fraises suggèrent qu'*O. insidiosus* se nourrit également avec succès de larves plus âgées. Dans les myrtilles, les larves sont probablement plus accessibles à *O. insidiosus* qui les sonde à travers la surface que dans une fraise plus grande où il y a plus d'espace sans ennemi. De plus, il y avait plus de cinq et environ 1,5 *D. suzukii* récupérés par gramme de myrtille et de fraise, ~~respectivement~~ (en utilisant des moyennes de poids de contrôle et de baies), ce qui signifie que *O. insidiosus* était plus susceptible de rencontrer œufs ou larves dans les myrtilles que dans une fraise.

Cette étude montre que les ennemis naturels prédateurs et un entomopathogène permettent de supprimer les populations de *D. suzukii*, et suggère que des études supplémentaires sont justifiées pour déterminer leurs impacts dans des conditions de terrain et en combinaison avec d'autres ennemis naturels, en particulier des parasitoïdes. Cependant, le développement d'un programme de lutte biologique contre *D. suzukii* pose des défis importants. Parmi les agents testés, *O. insidiosus* a été le plus efficace, mais ses préférences pour d'autres sources de nourriture peuvent diluer son effet, en particulier si les thrips des fleurs sont présents dans des cultures, comme les fraises, où la maturation

des fruits et la floraison se chevauchent continuellement. De plus, atteindre une densité de 18 *O. insidiosus* par fraise ou dix myrtilles peut être irréaliste en plein champ. Les populations de *Drosophila suzukii* se développent rapidement dans des espèces hôtes alternatives en dehors des champs cultivés, les mouches adultes envahissant alors les champs et pondant dans les fruits en cours de maturation (Diepenbrock et al. 2016b ; Klick et al. 2015). Cependant, la suppression des populations de *D. suzukii* dans les champs par les effets des ennemis naturels

sur les stades de vie immatures peut être utile dans certaines situations, notamment en production biologique de baies où

Les options de contrôle de *D. suzukii* sont peu nombreuses et les pratiques agricoles favorisent l'abondance et la richesse des ennemis naturels (Bengtsson et al. 2005 ; Hole et al. 2005). Étant donné que nous avons trouvé des effets positifs sur l'identité des espèces, mais pas d'interférence des ennemis naturels, et que des niveaux élevés de prédation peuvent se produire dans les champs (Woltz et al. 2015), la conservation et l'augmentation de la "bonne" diversité d'ennemis naturels (Landis et al. 2000) dans les champs de baies devraient avoir un impact négatif sur les populations de *D. suzukii*, soit par des effets d'échantillonnage, soit par une complémentarité encore inexplorée entre les ennemis naturels.

Remerciements Ce travail a été soutenu par une subvention de la Florida Strawberry Research and Education Foundation et de la Florida Foundation Seed Producers, Inc. Les auteurs remercient Shashan Devkota, Deborah Farr et Marc Santos pour leur aide technique.

Lindsay Iglesias et Oscar Liburd (Université de Floride) pour avoir fourni les mouches nécessaires au démarrage de la colonie de *drosophiles* à ailes tachetées, Biobest® pour avoir fourni les prédateurs et BASF pour avoir fourni les nématodes.

Références

- Asplen MK, Anfora G, Biondi A, Choi D-S, Chu D, Daane KM, Gibert P, Gutierrez AP, Hoelmer KA, Hutchison WD, Isaacs R, Jiang Z-L, Kapa'ti Z, Kimura MT, Pascual M, Philips CR, Plantamp C, Ponti L, Vitek G, Vogt H, Walton VM, Yu Y, Zappala` L, Desneux N (2014) Invasion biology of spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*) : a global perspective and future priorities. J Pest Sci 88:469-494
- Bengtsson J, Ahnström J, Weibull A (2005) The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance : a meta- analysis. J Appl Ecol 42:261-269
- Burrack H (2014) Impacts de la drosophile à ailes tachetées en 2013. In : North Carolina State University cooperative extension. <http://swd.ces.ncsu.edu/working-groupactivities/swd-impacts-2013>. Consulté le 5 septembre 2017
- Calabria G, Mca J, HIG, Serra L, Pascual M (2012) Premiers signalements de l'espèce potentiellement nuisible *Drosophila suzukii* (Diptera : Drosophilidae) en Europe. J Appl Entomol 136:139-147
- Casula P, Wilby A, Thomas MB (2006) Understanding biodiversity effects on prey in multi-enemy systems. Ecol Lett 9:995-1004
- Cini A, Ioriatti C, Anfora G (2012) Un examen de l'invasion de *Drosophila suzukii* en Europe et un projet d'agenda de recherche pour la lutte intégrée. Bull Insectol 65:149-160

- Cuthbertson AGS, Audsley N (2016) Efficacy of entomopathogenic fungi and nematodes as control agents for *Drosophila suzukii*. Insectes 7:1-9
- Cuthbertson AGS, Blackburn LF, Audsley N (2014a) Efficacité des prédateurs invertébrés disponibles dans le commerce contre *Drosophila suzukii*. Insectes 5:952-960

- Cuthbertson AGS, Collins DA, Blackburn LF, Audsley N, Bell HA (2014b) Preliminary screening of potential control products against *Drosophila suzukii*. *Insectes* 5:488-498
- Daane KM, Wang X, Biondi A, Miller B, Miller JC, Riedl H, Shearer PW, Guerrieri E, Giogini M, Buffington M, van Achterberg K, Song Y, Kang T, Yi H, Jung C, Lee DW, Chung B-K, Hoelmer KA, Walton VM (2016) First exploration of parasitoids of *Drosophila suzukii* in South Korea as potential classical biological agents. *J Pest Sci* 89:823-835
- Depa' M, Poppe JL, Schmitz HJ, De Toni DC, Valente VLS (2014) Les premiers signalements du ravageur invasif *Drosophila suzukii* sur le continent sud-américain. *J Pest Sci* 87:379-383
- Diepenbrock LM, Rosensteel DO, Hardin JA, Sial AA, Burrack HJ (2016a) Programmes saisonniers de lutte contre le *Drosophila suzukii* dans les myrtilles du sud-est des États-Unis. *Crop Prot* 81:76-84
- Diepenbrock LM, Swoboda-Bhattarai KA, Burrack HJ (2016b) Préférence d'oviposition, fidélité et fitness de *Drosophila suzukii* dans un système hôte cooccurent cultivé et non cultivé. *J Pest Sci* 89:761-769
- Emiljanowicz LM, Ryan GD, Langille A, Newman J (2014) Développement, rendement reproductif et croissance de la population de la mouche des fruits ravageuse *Drosophila suzukii* (Diptera : Drosophilidae) sur un régime artificiel. *J Econ Entomol* 107:1392-1398
- Finke DL, Denno RF (2002) Intraguild predation diminished in complex-structured vegetation : implications for prey suppression. *Ecology* 83:643-652
- Finke DL, Denno RF (2004) Predator diversity dampens trophic cascades. *Nature* 429:407-410
- Fodrie FJ, Kenworthy MD, Powers SP (2008) Unintended facilitation between marine consumers generates enhanced mortality for their shared prey. *Ecologie* 89:3268-3274
- Gabarra R, Riudavets J, Rodà JC, Pujade-Villar J, Arno J (2015) Perspectives pour le contrôle biologique de *Drosophila suzukii*. *BioControl* 60:331-339
- Goodhue RE, Bolda M, Farnsworth D, Williams JC, Zalom FG (2011) Spotted wing drosophila infestation in California strawberries and raspberries, economic analysis of potential revenue losses and control costs. *Pest Manag Sci* 67:1396-1402
- Hauser M (2011) A historic account of the invasion of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera, Drosophilidae) in the continental United States, with remarks on their identification. *Pest Manag Sci* 67:1352-1357
- Hawes C, Evans HF, Stewart AJA (2013) La concurrence par interférence, et non la prédation, explique l'association négative entre les fourmis des bois (*Formica rufa*) et l'abondance de carabes (Coleoptera : Carabidae). *Ecol Entomol* 38:315-322
- Haye T, Girod P, Cuthbertson AGS, Wang XG, Daane KM, Hoelmer KA, Baroffio C, Zhang JP, Desneux N (2016) Tactiques actuelles de lutte intégrée contre les SWD et leur mise en œuvre pratique dans les cultures fruitières à travers différentes régions du monde. *J Pest Sci* 89:643-651
- Hole DG, Perkins AJ, Wilson JD, Alexander IH, Grice PV, Evans AD (2005) Does organic farming benefit biodiversity ? *Biol Conserv* 122:113-130
- Hu A, Englert C, Herz A (2017) Effet des nématodes entomopathogènes sur différents stades de développement de *Drosophila suzukii* dans et hors des fruits. *BioControl* 62:669-680
- Ives AR, Cardinale BJ, Snyder WE (2005) A synthesis of sub-disciplines : predator-prey interactions, and biodiversity and ecosystem functioning. *Ecol Lett* 8:102-116
- Kacsoh BZ, Schlenke TA (2012) High hemocyte load is associated with increased resistance against parasitoids in *Drosophila suzukii*, a relative of *D. melanogaster*. *PLoS ONE* 7(4):e34721
- Klick J, Yang WQ, Walton VM, Dalton DT, Hagler KR, Dreves AJ, Lee JC, Bruck DJ (2015) Distribution et activité de *Drosophila suzukii* dans les framboises cultivées et la végétation environnante. *J Appl Entomol* 140:37-46
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM (2000) Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Ann Rev Entomol* 45:175-201
- Lee JC, Bruck DJ, Curry H, Edwards D, Haviland DR, van Steenwyk RA, Yorgey BM (2011a) The susceptibility of small fruits and cherries to the spotted-wing drosophila, *Drosophila suzukii*. *Pest Manag Sci* 67:1358-1367
- Lee JC, Bruck DJ, Dreves AJ, Ioriatti C, Vogt H, Baufeld P (2011b) In focus : La drosophile à ailes tachetées, *Drosophila suzukii*, à travers les perspectives. *Pest Manag Sci* 67:1349-1351
- Lin Q-C, Zhai Y-F, Zhang A-S, Men X-Y, Zhang X-Y, Zalom FG, Zhou C-G, Yu Y (2014) Comparative developmental times and laboratory life tables for *Drosophila suzukii* and *Drosophila melanogaster* (Diptera : Drosophilidae). *Fla Entomol* 97:1434-1442
- Liu H, Stiling P (2006) Testing the enemy release hypothesis, a review and metaanalysis. *Biol Invasions* 8:1535-1545
- Losey JE, Denno RF (1998) Positive predator-predator interactions : enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. *Ecology* 79:2143-2152
- Martin EA, Reineking B, Seo B, Steffan-Dewenter I (2013) Natural enemy interactions constrain pest control in complex agricultural landscapes. *PNAS* 110:5534-5539
- Michalko R, Peka'r S (2017) The behavioral type of a top predator dirige la dynamique à court terme de la prédation intra-groupe. *Am Nat* 189:242-253
- Miller B, Anfora G, Buffington M, Daane KM, Dalton DT, Hoelmer KM, Rossi Stacconi MV, Grassi A, Ioriatti C, Loni A, Miller JC, Ouantar M, Wang X, Wiman NG, Walton VM (2015) Seasonal occurrence of resident parasitoids associated with *Drosophila suzukii* in two small fruit production regions of Italy and the USA. *Bull Insectol* 68:255-263
- Mitsui H, Kimura MT (2010) Distribution, abundance et association d'hôtes de deux espèces de parasitoïdes attaquant les larves de drosophiles frugivores dans le centre du Japon. *Eur J Entomol* 107:535-540
- Mitsui H, van Achterberg K, Nordlander G, Kimura MT (2007) Geographical distributions and host associations of larval parasitoids of frugivorous Drosophilidae in Japan. *J Nat His* 41:1731-1738
- Pfannenstiel RS, Yeargan KV (2002) Identification and diel activity patterns of predators attacking *Helicoverpa zea* (Lepidoptera : Noctuidae) eggs in soybean and sweet corn. *Environ Entomol* 31:232-241

- Poyet M, Havard S, Prevost G, Chabrierie O, Doury G, Gibert P, Eslin P (2013) La résistance de *Drosophila suzukii* aux parasitoïdes larvaires *Leptopilina heterotoma* et *Asobara japonica* est liée à la charge hémocytaire. *Physiol Entomol* 38:45-53
- Prasad RP, Snyder WE (2006) La polyphagie complique la conservation biologique qui cible les prédateurs généralistes. *J Appl Ecol* 43:343-352
- Renkema JM, Telfer Z, Garipey T, Hallett RH (2015) *Dalotia coriaria* comme prédateur de *Drosophila suzukii* : réponses fonctionnelles, réduction de l'infestation des fruits et diagnostic moléculaire. *Biol Control* 89:1-10
- Rosenheim JA, Wilhoit LR, Armer CA (1993) Influence de la prédation intraguild parmi les prédateurs généralistes d'insectes sur la suppression d'une population d'herbivores. *Oecologia* 96:439-449
- SAS (2015) JMP® Pro 12.0.1. SAS Institute Inc, Cary
- Sih A, Englund G, Wooster D (1998) Emergence impacts of multiple predators on prey. *ARBRE* 13:350-355
- Snyder WE, Tylianakis JM (2012) The ecology of biodiversity-biocontrol relationships. In : Gurr GM, Wratten SD, Snyder WE, Read DMY (eds) *Biodiversity and insect pests : key issues for sustainable management*, 1st edn. Wiley, West Sussex, pp 23-40.
- Snyder WE, Wise DH (1999) Predator interference and the establishment of generalist predator populations for biocontrol. *Biol Control* 15:283-292
- Stacconi VR, Buffington M, Daane KM, Dalton DT, Grassi A, Kacar G, Miller B, Miller JC, Baser N, Ioriatti C, Walton VM, Wiman NG, Wang X, Anfora G (2015) Préférence de stade d'hôte, efficacité et fécondité des parasitoïdes s'attaquant à *Drosophila suzukii* dans les zones nouvellement envahies. *Biol Control* 84:28-35
- Straub CS, Snyder WE (2006) Experimental approaches to understanding the relationship between predator biodiversity and biological control. In : Brodeur J, Boivin G (eds) *Trophic and guild interactions in biological control*. Springer, Dordrecht, pp 221-239.
- Straub CS, Snyder WE (2008) Increasing enemy biodiversity strengthens herbivore suppression on two plant species. *Ecology* 89:1605-1615
- Tochen S, Dalton DT, Wiman NG, Hamm C, Shearer PW, Walton VM (2014) Paramètres de développement et de population liés à la température pour *Drosophila suzukii* (Diptera : Drosophilidae) sur cerise et myrtille. *Environ Entomol* 43:501-510
- Toledo J, Sanchez JE, Williams T, Gomez A, Montoya P, Ibarra J (2014) Effet de l'humidité du sol sur la persistance et l'efficacité d'*Heterorhabditis bacteriophora* (Rhabdita : Heterorhabditidae) contre les larves d'*Anastrepha ludens* (Diptera : Tephritidae). *Fla Entomol* 97:528-533
- Wilby A, Thomas MB (2002) Natural enemy diversity and pest control : patterns of pest emergence with agricultural intensification. *Ecol Lett* 5:353-360
- Woltz JM, Lee JC (2017) Comportement de nymphose et biocontrôle larvaire et nymphal de *Drosophila suzukii* sur le terrain. *Biol Control* 110:62-69
- Woltz JM, Donahue KM, Bruck DJ, Lee JC (2015) Efficacité des prédateurs, nématodes et entomopathogènes fongiques disponibles dans le commerce pour le contrôle accru de *Drosophila suzukii*. *J Appl Entomol* 139:759-770
- Wootton JT (1997) Estimates and test of per capita interaction strength : diet, abundance, and impact of intertidally foraging birds. *Ecol Monogr* 67:45-64
- Justin M. Renkema étudie la gestion des parasites dans les myrtilles et les fraises en Floride, aux États-Unis, en mettant l'accent sur la diversification des agroécosystèmes et l'écologie moléculaire pour le développement de pratiques de lutte biologique.
- Andrew G. S. Cuthbertson conseille sur les stratégies de lutte intégrée et les mesures de contrôle connexes sur une série d'espèces d'invertébrés nuisibles d'importance économique et agricole au Royaume-Uni.