



Programme Agri-science – Volet des projets

Rapport final sur le rendement

Ce gabarit comprend le rapport annuel sur le rendement pour la dernière année du projet et comprend deux questions supplémentaires pour le rapport final sur le rendement.

Section A: Rapport annuel sur le rendement

Cette section est la même que celle qui figure dans les rapports annuels précédents achevés à ce jour et vise à ne saisir que les résultats qui ont été obtenus au cours de la dernière année du projet.

Nom du bénéficiaire : Centre de Recherche Agroalimentaire de Mirabel (CRAM)	
Titre du projet : Alternatives pour la gestion des ennemis des cultures en horticulture	
Numéro du projet : ASP-009	Dernière période visée par le rapport : 2022-04-01 à 2023-03-31
Date de début du projet : 2018-04-30	Date de fin du projet : 2023-03-31



Numéro de l'activité (EC) : 6

Nom(s) de l'activité : Efficacité de la punaise indigène *Dicyphus hesperus* contre le ravageur exotique *Bemisia tabaci* (présent dans les tomates en serre): la génétique au service de la lutte biologique. Volet 1, 2 et 3

Chercheur principal : François Dumont

Résumé de l'activité

Veillez fournir un résumé général de l'activité. Vous devez inclure une introduction, les objectifs, la méthode, les produits livrables, les résultats obtenus et une discussion. Vous pouvez utiliser un langage technique.



Résumé

Les aleurodes sont des ravageurs importants dans les serres de tomates. Au Canada, *Trialeurodes vaporariorum* est prévalente, mais l'aleurode du tabac, *Bemisia tabaci* est maintenant présente et entraîne un désordre de maturation des tomates. La punaise prédatrice zoophytophage *Dicyphus hesperus* est fréquemment utilisée en serriculture. Elle réduit efficacement les populations d'aleurodes, mais elle peut causer des dommages aux tomates lorsqu'elle consomme le fruit en développement. Les différences génétiques dans les comportements alimentaires des prédateurs zoophytophages permettent de développer des lignées plus zoophages et moins phytophages. Des lignées qui offrent, ainsi, un meilleur ratio entre les bénéfiques et les risques. Les *D. hesperus* sont souvent employés en combinaison avec d'autres agents de lutte biologique comme la guêpe parasitoïde *Encarsia formosa*. La sélection artificielle pour accroître la zoophagie et/ou réduire la phytophagie pourrait entraîner des conséquences sur la compatibilité entre *D. hesperus* et *E. formosa*. Plus de prédatations sur les aleurodes pourraient engendrer plus de prédatations intraguïdes sur *E. formosa*. De plus, la prédation des aleurodes affecte leur densité et leur distribution spatiales, ce qui réduit l'efficacité des guêpes parasitoïdes dans leur recherche de proies. Deux volets font suite à un premier Efficacité de la punaise indigène *Dicyphus hesperus* contre le ravageur exotique *Bemisia tabaci* (présent dans les tomates en serre): la génétique au service de la lutte biologique. Volet 1. Ces comportements influencent l'efficacité et modifient la densité de la distribution spatiale des proies, ce qui apporte aussi des conséquences sur l'efficacité des parasitoïdes dans la lutte aux aleurodes. Deux volets ont été ajoutés et proposent donc que la sélection artificielle des comportements de *D. hesperus* pourrait être un outil de modulation des interactions entre les différents agents de lutte biologique utilisés pour optimiser la lutte contre les aleurodes.

Objectifs

L'objectif principal des deux activités était de développer des lignées plus efficaces de la punaise prédatrice *D. hesperus* utilisée dans un contexte de lutte biologique en serre contre l'aleurode du tabac, *B. tabaci*. Dans un premier volet, une sélection artificielle sur la voracité et l'exploitation des parcelles par *D. hesperus* a été réalisée. Dans un second volet, l'effet de cette sélection a été testé sur l'efficacité de *D. hesperus* en serre, sur leur compatibilité avec les guêpes parasitoïdes et sur le taux de dommages des tomates.

Volet 2 : Développement de lignées de *Dicyphus hesperus* sur la base de leur niveau de zoophagie

Résumé

Les prédateurs zoophytophages, qui consomment des proies et des ressources végétales, sont d'utiles agent de lutte biologique en serre, mais ils peuvent aussi causer des dommages aux cultures. Les différences génétiques dans les comportements alimentaires permettent de développer des lignées plus zoophages et spécialisées sur les ressources animales. Une telle sélection peut entraîner par corrélation génétique des changements dans d'autres caractères (e.g., intensité d'exploitation des parcelles alimentaires). De plus, l'efficacité de la sélection artificielle peut varier en fonction du sexe des individus. Dans cette étude, nous développons des lignées fortement et faiblement zoophages de la punaise prédatrice *Dicyphus hesperus*. Nous mesurons l'effet de cette sélection sur l'intensité d'exploitation des parcelles et les différences entre les sexes. En laboratoire, nous avons appliqué une sélection artificielle pendant cinq générations consécutives. La voracité et l'intensité d'exploitation des parcelles ont été mesurées de la génération fondatrice (G_0) à la quatrième génération (G_4), et après une pause de trois générations sans sélection. Les femelles étaient plus zoophages que les mâles. La sélection sur la zoophagie a engendré, après cinq sélections consécutives, des différences dans le niveau de zoophagie des lignées autant chez les femelles que les mâles. L'héritabilité (H^2) de la voracité était de 0,38 chez les femelles et 0,29 chez les mâles. La sélection sur la zoophagie engendrait une hausse d'intensité d'exploitation des ressources par corrélation génétique. Enfin, les caractères étaient maintenus trois générations après l'arrêt de la sélection. Nos résultats démontrent que la sélection artificielle permet de développer des



lignées de *D. hesperus* ayant le potentiel d'augmenter les bénéfiques en lutte biologique et de modifier les conditions écologiques, notamment la densité et la distribution des proies.

Introduction

Plusieurs espèces de punaises zoophytophages, qui peuvent utiliser les ressources animales ou végétales pour assurer leur développement et leur reproduction, sont utilisées comme agent de lutte biologique contre des ravageurs en productions serricoles [1–4]. Ces punaises sont particulièrement efficaces contre les aleurodes *Bemisia tabaci* (Gennadius) et *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera : Aleyrodidae) et les mineuses de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera : Gelechiidae) en production de serre [3,5–8]. Les punaises zoophytophages peuvent s'installer dans le système avant que les populations de ravageurs ne deviennent trop denses [1,9,10]. Toutefois, ces punaises peuvent elles-mêmes causer des dommages aux plants et aux fruits [2,11–15] et elles peuvent nuire aux autres agents de lutte biologique soit par compétition ou par prédation intragilde [16–21]. Des différences génétiques dans les comportements alimentaires, notamment la zoophagie et la spécialisation alimentaire, sont observées chez les prédateurs zoophytophages [22–24]. Ainsi, les individus plus zoophages tendent à se nourrir moins de ressources végétales [23]. Ces individus procureraient plus de bénéfiques en lutte biologique tout en représentant un risque plus faible pour la production [25].

Les différences génétiques dans les comportements alimentaires (e.g., voracité, spécialisation alimentaire) modulent les interactions écologiques des individus [25–28]. Ainsi, l'efficacité des agents de lutte biologique et la stratégie qu'ils utilisent pour réguler les populations de ravageurs seraient influencées par la composition génétique de leurs populations [25,29–32]. Par exemple, des variations génétiques dans la zoophagie et la spécialisation alimentaire chez la punaise de la molène *Campylomma verbasci* Meyer (Hemiptera: Miridae) ont été observées [22,23]. Les populations de ce prédateur zoophytophage pourraient donc être composées d'individus spécialisés, dans une certaine mesure, sur une diète animale ou végétale [23]. Dans une étude en verger, Dumont et al. [33] ont démontré qu'une lignée très zoophage et spécialisée sur les ressources animales était plus efficace en lutte biologique qu'une lignée peu zoophage et spécialisée sur les ressources végétales.

La sélection sur un caractère comme la zoophagie peut engendrer des changements dans d'autres caractères par pléiotropie ou corrélation génétique [25]. Par exemple, Nachappa et al. [29] ont observé que des lignées sélectionnées pour leur forte voracité ont une fécondité accrue, alors que les lignées à faible voracité ont un temps de développement plus long. Ces stratégies différentes pourraient être maintenues dans les populations par des conditions écologiques hétérogènes. Dans des conditions de rareté des proies, les lignées à faible voracité et au développement lent pourraient être favorisées en comparaison à des lignées très voraces. De plus, les lignées très voraces peuvent exploiter les parcelles de nourriture plus intensément que les lignées moins voraces, modulant la densité et la distribution de leur proie [30]. Ainsi, la sélection sur les comportements alimentaires peut moduler la dynamique entre les prédateurs et leurs proies [30] ou les autres organismes du système [25]. De plus, un dimorphisme sexuel au niveau de la voracité est observé chez les Miridae [34]. Les mâles et les femelles pourraient ne pas répondre de la même façon à la sélection.

La punaise zoophytophage, *Dicyphus hesperus* (Knight) (Hemiptera : Miridae) est largement utilisée en Amérique du Nord, et maintenant en Europe, pour lutter contre les aleurodes dans les productions de serres [3,14]. *Dicyphus hesperus* est utilisée simultanément avec d'autres agents de lutte biologique, notamment les guêpes parasitoïdes *Encarsia formosa* (Gahan) et *Eretmocerus eremicus* (Rose et Zolnerowich) (Hymenoptera : Aphelinidae) [18,35,36]. Conjointement, ces agents de lutte biologique entraînent de plus fortes baisses des populations du ravageur [18]. Par exemple, Bennett et al. [18] ont observé une baisse de plus de 76 % des nymphes de *T. vaporariorum* quand *D. hesperus* et *E. formosa* sont présentes simultanément comparativement à un traitement où seule la guêpe parasitoïde est utilisée. Toutefois, les guêpes parasitoïdes sont victimes de prédation intragilde par la punaise. Cette dernière tue et consomme les nymphes d'aleurodes qui sont parasitées par les guêpes [18]. Ainsi, la présence des punaises a un impact négatif sur les populations de guêpes parasitoïdes. Cet effet négatif est exacerbé par la compétition qui résulte de la prédation des punaises sur les aleurodes [18]. La prédation par les punaises



D. hesperus réduit à la fois la densité, mais engendre aussi une distribution des proies plus éparées [18]. Les guêpes parasitoïdes sont donc moins efficaces dans la lutte aux *T. vaporariorum* quand *D. hesperus* est présente dans le système [18].

L'objectif de cette recherche est de produire, par sélection artificielle, des lignées divergentes au niveau de leur zoophagie chez *D. hesperus*. La zoophagie est un trait où l'héritabilité est généralement importante [22,24,37]. La réponse à la sélection devrait donc produire, en quelques générations, des lignées distinctes au niveau de leur zoophagie. Les objectifs secondaires étaient de tester l'effet de la sélection artificielle sur les corrélations génétiques avec l'intensité d'exploitation des parcelles, et de mesurer la réponse à la sélection en fonction du sexe des individus. Les lignées fortement zoophages devraient exploiter intensément les parcelles. Les femelles devraient être plus zoophages, donc les différences entre les lignées fortement et faiblement zoophages devraient être plus importantes chez les femelles que les mâles. Enfin, le maintien des caractères sélectionnés après un arrêt de la sélection a été testé.

Méthodologie

Site d'étude

Le projet a été réalisé dans les laboratoires du Centre de recherche agroalimentaire de Mirabel (CRAM) et dans les serres du Centre de formation agricole de Mirabel (CFAM) à Sainte-Scholastique (Mirabel, Québec).

Populations et élevages

L'expérience nécessitait un élevage de *D. hesperus* maintenu dans des cages en tissu avec six à neuf plants de molène (en fonction de leur grosseur). Des œufs d'*Ephestia* sur des Post-it étaient offerts en guise de nourriture et renouvelés à chaque semaine. Les élevages étaient maintenus à une température de 25 °C, 55% d'humidité relative et 16 heures de luminosité. Les populations sources ont été fondées le 28 octobre 2020 à partir de cinq sources différentes soit de nos propres élevages déjà existants, d'Anatis Bioprotection, de Natural Insect Control, d'une serre du Québec et d'une serre en Ontario. Une première génération a été complétée avant de commencer les tests en laboratoire pour la sélection artificielle.

Test de voracité et d'intensité d'exploitation des parcelles

La voracité et l'intensité d'exploitation des parcelles ont été testées chez des *D. hesperus* adultes vierges et âgés de moins de 14 jours (depuis la dernière mue). Au stade larvaire L4 ou L5, chaque individu était isolé dans un pot avec un morceau de laitue et un Post-it ayant des œufs d'*Ephestia*. La laitue et les œufs étaient renouvelés jusqu'à ce que larve devienne un adulte. Par la suite, les nouveaux adultes étaient sexés et placés dans des pots séparés en fonction de la lignée et de leur genre pour maintenir la virginité des individus. Pour faire les tests de sélection, chaque individu était préalablement mis à jeun avec un morceau de feuille de laitue (pour source d'eau) pendant une période de 24 heures dans un solo cup. Par la suite, chaque *D. hesperus* a été placé dans une boîte de Petri (10 cm de diamètre) contenant deux carrés (1 cm²) d'œufs d'*Ephestia* et deux cubes d'agar-agar (7 mm³). Après 24 heures dans la boîte de Petri, l'adulte *D. hesperus* était retiré et le nombre d'œufs d'*Ephestia* consommés sur chaque parcelle (carré) était compté.

Sélection artificielle

À partir des populations sources, une première sélection a été réalisée en testant 287 individus adultes (136 mâles et 151 femelles). Ces tests ont été réalisés en cinq séries distinctes. De 38 à 98 individus étaient testés dans chacune des séries en fonction de la disponibilité des individus. À partir des tests de voracité, cinq mâles et cinq femelles ont été sélectionnés pour chaque lignée. Cinq lignées à voracité forte et cinq lignées à voracité faible ont été créées. De plus, cinq mâles et cinq femelles ont été sélectionnés au hasard pour créer des lignées témoins (sans sélection).

À partir de la première sélection, 15 mâles et 15 femelles par lignée ont été testés par le même procédé que pour la première sélection. Les cinq mâles et les cinq femelles présentant les meilleurs résultats (e. i., plus voraces ou moins voraces selon la direction de la sélection) étaient choisis pour créer la génération suivante. Une période de six semaines séparait les sélections entre elles afin de laisser le temps à une nouvelle génération d'adultes d'être produite.



Analyses des données

Population initiale

Un modèle linéaire mixte (lmer) a été utilisé pour tester l'effet du sexe sur le nombre d'œufs d'*Ephestia* consommés en 24 heures par les *D. hesperus*. La série de tests était incluse comme variable aléatoire dans le modèle.

Un modèle généralisé linéaire mixte (glmer) pour distribution binomial a été utilisé pour tester l'effet du sexe sur l'intensité d'exploitation des parcelles. Cette variable explicative est obtenue en divisant la différence absolue entre le nombre d'œufs consommés entre les deux parcelles de nourriture et la quantité totale d'œufs consommés.

Pour ces deux modèles, un test de vraisemblance (« likelihood ratio test ») a été utilisé pour tester la significativité statistique de la variable explicative. Ces modèles incluaient 287 observations.

La corrélation entre le niveau de voracité et l'intensité d'exploitation des parcelles a été testée avec une corrélation de Kendall.

Sélection sur la voracité

L'effet de la sélection sur la voracité des *D. hesperus* a été testé avec des modèles linéaires mixtes (lmer). Les variables fixes dans les modèles étaient la direction de la sélection (positive, neutre ou négative), la génération et l'interaction entre ces variables. La lignée était incluse comme variable aléatoire. Un modèle séparé a été réalisé pour les mâles et les femelles.

La significativité statistique des variables fixes a été déterminée avec un test de vraisemblance (« likelihood ratio test ») utilisant la fonction *drop1* dans R. Les différences statistiques entre les traitements des variables fixes significatives ont été estimées avec un test de Tukey avec la fonction *glht* de la librairie *multcomp* [38].

Héritabilité de la voracité

L'héritabilité au sens large (H^2) a été calculée directement sur les modèles (lmer) sur la voracité en utilisant la fonction *rptGaussian* de la librairie *rptR* [39]. Pour chaque estimation de l'héritabilité, un intervalle de confiance de 95 % a été défini par une procédure de *Bootstrap* paramétrique avec 1000 permutations [40].

Corrélation génétique entre la voracité et l'intensité d'exploitation des parcelles

Des modèles généralisés linéaires mixtes (glmer) ont été utilisés pour tester l'intensité d'exploitation des parcelles en fonction de la direction de la sélection sur la voracité, la génération et l'interaction entre ces deux variables. La lignée était incluse comme variable aléatoire. Un modèle séparé a été réalisé pour les mâles et les femelles.

Résultats

Population initiale

Dans la population initiale, les femelles étaient plus voraces que les mâles ($LRT_1 = 92,76$; $p < 0,0001$) (Figure 1A). Les femelles exploitent plus intensivement les parcelles que les mâles ($LRT_1 = 40,07$; $p < 0,0001$) (Figure 1B).

Le niveau de voracité n'était pas corrélé à l'intensité d'exploitation des parcelles ($\text{Tau} = 0,09$; $p = 0,12$) (Figure 2).

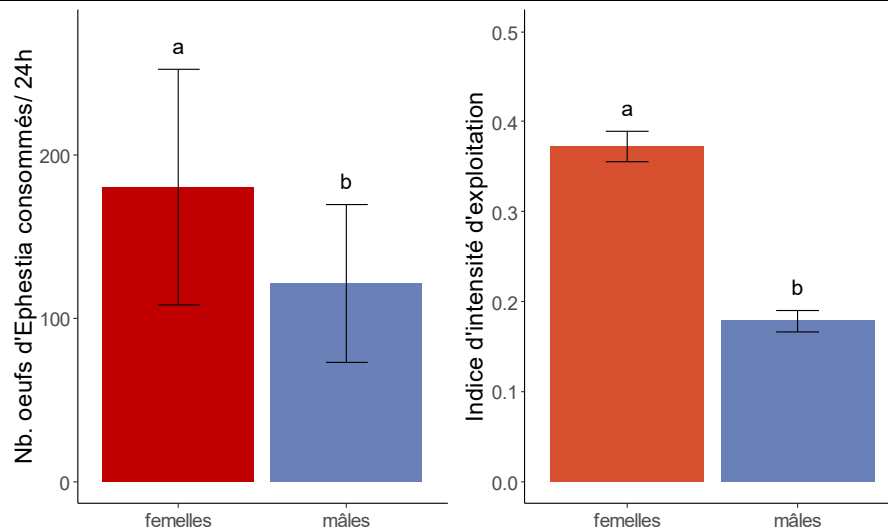


Figure 1. Voracité (A) et indice d'exploitation d'intensité d'exploitation des parcelles (B) des adultes *Dicyphus hesperus* de la population initiale (G_0) en fonction de leur sexe. Les lettres indiquent des différences statistiques entre les traitements ($\alpha = 0,05$).

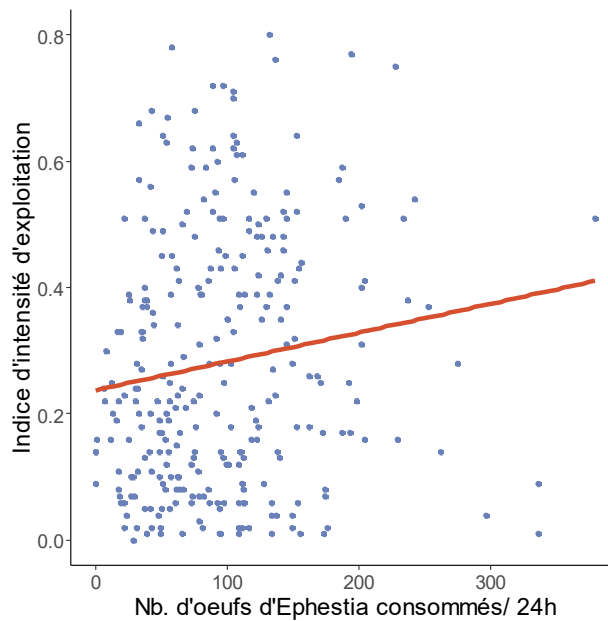


Figure 2. Corrélation entre la voracité (nombre d'œufs d'*Ephestia* consommés en 24h) et l'indice d'intensité d'exploitation des parcelles chez les adultes *Dicyphus hesperus* de la population initiale (G_0).

Sélection sur la voracité

Chez les femelles, la sélection a engendré des lignées distinctes au niveau de leur voracité sur une période de cinq générations ($LRT_2 = 75,15$; $p < 0,0001$) (Figure 3). La sélection positive a accru la voracité, alors que la sélection négative l'a diminuée. Toutefois, l'interaction significative entre la direction de la sélection et les générations indique que l'effet de la sélection a été plus prononcé pour la direction positive (lignées sélectionnées pour leur forte voracité) que pour la direction négative (lignées sélectionnées pour leur faible voracité) ($LRT_2 = 13,14$; $p = 0,001$) (Figure 3). En moyenne, la génération n'avait pas d'effet sur la voracité suggérant que les variations de génération en génération n'étaient pas dû aux conditions



d'élevage ($LRT_1 = 1,12$; $p = 0,29$) (Figure 3). L'héritabilité (H^2) de la voracité chez les femelles était de 0,38 (Intervalle de confiance 95 % = $[0,21 - 0,52]$; $p < 0,0001$).

Chez les mâles, la sélection positive sur la voracité pendant cinq générations a significativement augmenté le niveau de ce trait ($LRT_2 = 46,20$; $p < 0,0001$) (Figure 3). La sélection négative n'a pas engendré des lignées moins voraces que les lignées témoins (sans sélection). En moyenne, le facteur génération a eu un effet sur la voracité indiquant que l'environnement d'élevage ou la dérive génique influence sur ce caractère ($LRT_1 = 15,07$; $p = 0,0001$). L'absence d'interaction entre la direction de la sélection et les générations indique que les sélections subséquentes sur cinq générations n'ont pas accru les différences entre les lignées très voraces et peu voraces ($LRT_2 = 4,30$; $p = 0,12$) (Figure 3). L'héritabilité (H^2) chez les mâles était de 0,29 (Intervalle de confiance 95 % = $[0,15 - 0,42]$; $p < 0,0001$).

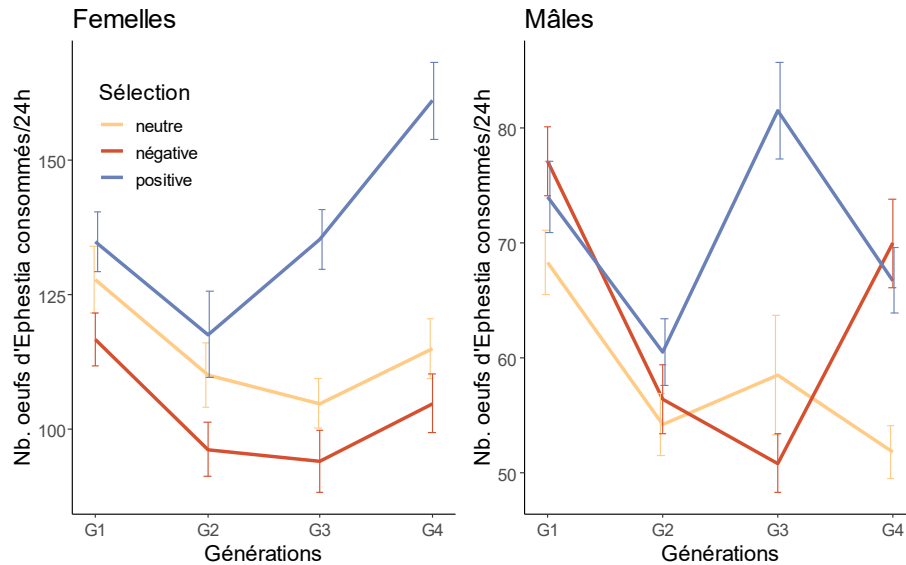


Figure 3. Voracité des femelles (gauche) et des mâles (droite) en fonction des générations pour les lignées à sélection positive (bleue), négative (rouge) et sans sélection (jaune).

Corrélation génétique entre la zoophagie et l'intensité d'exploitation des parcelles

Chez les femelles, la sélection sur la base de la voracité influence l'indice d'intensité d'exploitation des parcelles ($LRT_2 = 7,00$; $p = 0,03$). Les indices d'exploitation de parcelles des lignées sélectionnées négativement étaient inférieurs aux lignées sélectionnées positivement et aux lignées témoins (Figure 4). Des variations de l'indice d'exploitation des parcelles étaient observables au fil des générations ($LRT_1 = 3,85$; $p = 0,049$) (Figure 4). L'interaction entre la direction de la sélection sur la voracité et la génération n'était pas statistiquement significative ($LRT_2 = 3,15$; $p = 0,21$).

Chez les mâles, les lignées sélectionnées pour leur faible voracité avaient un indice d'intensité d'exploitation des parcelles inférieur aux lignées sélectionnées pour leur forte voracité ou les lignées témoins ($LRT_2 = 9,61$; $p = 0,008$) (Figure 4). Les générations n'avaient pas d'effet sur l'indice d'exploitation pour les lignées ($LRT_1 = 2,47$; $p = 0,12$). Il n'y avait pas d'interaction entre la direction de la sélection et la génération ($LRT_2 = 1,47$; $p = 0,48$).

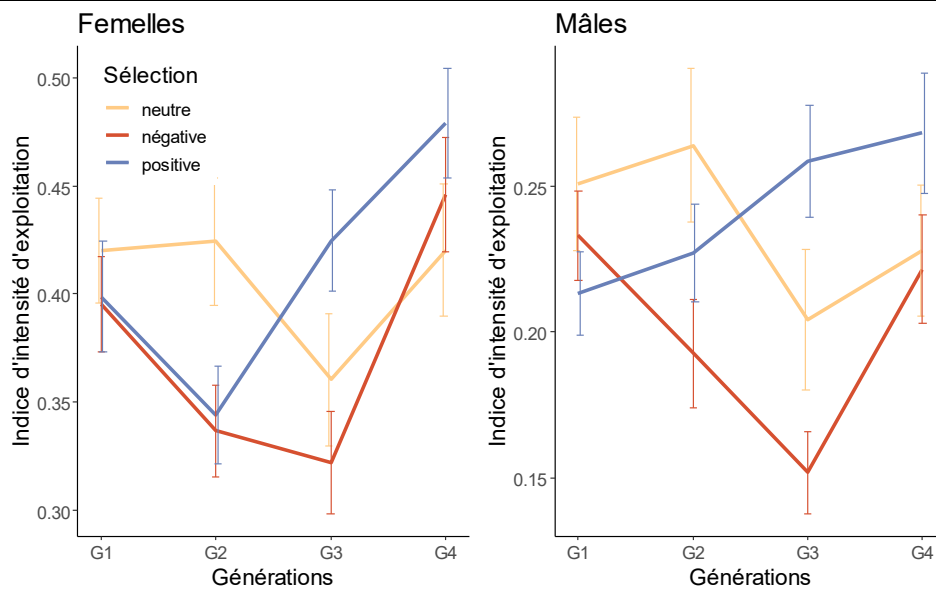


Figure 4. Indice d'intensité d'exploitation des parcelles des femelles (gauche) et des mâles (droite) en fonction des générations pour les lignées à sélection positive (bleue) et négative (rouge) sur la voracité et sans sélection (jaune).

Discussion

Les différences phénotypiques dans les comportements alimentaires des prédateurs zoophytophages ont une base génétique [22–25]. Cette variabilité génétique permet de faire une sélection artificielle et de développer des lignées divergentes sur leur degré de zoophagie ou autres caractéristiques [22,41]. Par sélection artificielle, nous avons développé des lignées très voraces et d'autres peu voraces. Après seulement cinq générations soumises à la sélection, des populations distinctes étaient observées. Bien que les femelles soient plus voraces que les mâles, les deux sexes répondent à la sélection. Néanmoins, l'héritabilité de la voracité était plus élevée chez les femelles que les mâles. De plus, la sélection sur le niveau de voracité engendrait des changements dans l'intensité d'exploitation des parcelles. Plus les lignées étaient voraces, plus elles exploitaient intensément les parcelles. Toutefois, la réponse pouvait varier d'une génération à l'autre.

La sélection artificielle peut augmenter le potentiel en lutte biologique de *D. hesperus* et autres prédateurs zoophytophages [25]. Les femelles issues des lignées fortement voraces consommaient 1,4 fois plus de proies par jour que les femelles faiblement voraces. Chez les mâles, les différences entre lignées étaient moins marquées après quatre générations de sélection. Ainsi, l'accroissement de l'efficacité de *D. hesperus* est surtout susceptible de provenir des femelles plutôt que des mâles. Les larves pourraient aussi jouer un rôle important dans la régulation des populations de ravageurs. Chez les prédateurs Miridae, les larves de stades L4 et L5 ont des taux de prédation égaux ou supérieurs aux adultes mâles [42]. Nous n'avons pas testé l'impact de la sélection sur le comportement des stades larvaires. Toutefois, Dumont et al. [22] avaient observé une forte héritabilité de la voracité chez différents stades larvaires de *C. verbasci*. Ce résultat suggère que la sélection artificielle sur les adultes aurait des effets sur les larves et, donc, sur leur efficacité en lutte biologique.

L'héritabilité de la voracité chez *D. hesperus* permettait de prédire leur comportement alimentaire, mais les conditions peuvent entraîner une variabilité d'une génération à l'autre. Après la cinquième période de sélection, donc à la génération G₄, nous avons observé une baisse de voracité chez les mâles issus de lignées très voraces et l'inverse chez les mâles de lignées peu voraces. Le résultat est que les mâles de ces deux types de lignées avaient une voracité similaire durant cette génération, alors qu'à la génération précédente (G₃), les mâles issus de lignées très voraces et peu voraces étaient bien distincts. Ce résultat est difficile à expliquer, mais pourrait découler de différence environnementale non contrôlée ou du hasard de la dérive génique. Chez les femelles, les différences de voracité entre les lignées ont bien été



maintenues à la génération G₄. Les femelles sont élevées et testées dans les mêmes conditions que les mâles. Toutefois, les mâles et les femelles pourraient répondre différemment à la densité de population. Pour conserver la virginité des individus, les larves de stade L5 étaient isolées jusqu'à l'âge adulte. À ce stade, les individus étaient sexés et regroupés dans un contenant avec des individus de leur genre. Ainsi, ils avaient un contact social, mais ils ne pouvaient se reproduire. Le contexte social et l'absence d'opportunité de reproduction a possiblement créer des conditions favorables à la compétition mâle-mâle, ce qui pourrait influencer le comportement alimentaire. Toutefois, la raison pour laquelle ce phénomène a été observé chez un type de lignées plutôt qu'un autre reste indéterminée.

La dérive génique peut engendrer des variations intergénérationnelles imprévisibles dans des petites populations [43–47]. Dans nos lignées, chaque génération débutait avec cinq mâles et autant de femelles. La reproduction était aléatoire parmi les individus fondateurs. Nous assumons donc que chaque individu a participé à la génération suivante. Toutefois, il est possible que ça ne soit pas le cas. Par exemple, un mâle a pu se reproduire avec la majorité des femelles et contribuer de façon disproportionnée à la génération suivante. Chez les Miridae, les femelles accouplées sont généralement peu réceptives à la reproduction pour une période d'environ deux semaines [34,48]. En revanche, les mâles peuvent se reproduire environ tous les 24 heures [34]. Il n'est donc pas impossible qu'un mâle ait contribué de façon disproportionnée à la génération suivante. La dérive génique pouvait donc être importante dans nos lignées. De plus, dans les lignées témoin sans sélection, la dérive génique a visiblement opéré puisque des variations notables de génération en génération sont observables autant pour les mâles que pour les femelles.

La contribution des parents à la voracité de leurs descendants pourrait être différente entre les sexes [49,50]. Pour certains caractères, comme la taille par exemple, la sélection peut agir différemment sur les mâles et les femelles. De plus, la structure génomique chez *D. hesperus* est inconnue. Les chromosomes sexuels peuvent notamment être différents d'une espèce de Miridae à une autre [51]. Par exemple, chez *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) (Hemiptera : Miridae) le caryotype des mâles comprend 26 chromosomes autosomales et deux chromosomes sexuels (XY), tandis que les mâles *Macrolophus costalis* (Fieber) possèdent 24 chromosomes autosomales et trois chromosomes sexuels (X₁X₂Y) [51]. Les gènes impliqués dans la voracité chez *D. hesperus* et les autres Miridae ne sont pas connus. Toutefois, certains de ces gènes pourraient se retrouver sur les chromosomes sexuels (e.g., sur le chromosome X) et engendrer le dimorphisme sexuel dans le comportement alimentaire. Dans l'état actuel des connaissances, il est impossible de confirmer cette hypothèse.

L'intensité d'exploitation des parcelles, qui s'accroît avec la zoophagie, pourrait moduler la distribution spatiale et temporelle des proies [30]. Dans un contexte où *D. hesperus* est souvent employé conjointement avec d'autres agents de lutte biologique (e.g., la guêpe parasitoïde *E. formosa*), de tels changements dans la distribution des proies est susceptible d'influencer l'efficacité de la lutte biologique. La distribution spatiale des proies affecte l'efficacité des guêpes parasitoïdes *E. formosa* [18]. Ainsi, l'utilisation de lignées fortement zoophages pourrait réduire la compatibilité entre *D. hesperus* et *E. formosa*. De plus, la voracité pour les proies pourrait accroître la prédation intraguilde par *D. hesperus* sur *E. formosa* [17,18]. Une augmentation de l'efficacité en lutte biologique des *D. hesperus* pourrait donc engendrer une perte d'efficacité des *E. formosa*. Le résultat rendrait possiblement la sélection artificielle moins intéressante.

Volet 3 : Les différences génétiques dans la voracité influencent l'efficacité en lutte biologique et les dommages par *Dicyphus hesperus* en serre

Résumé

Le prédateur zoophytophage *Dicyphus hesperus* est efficace en lutte biologique contre les aleurodes dans les serres. Toutefois, *D. hesperus* cause aussi des dommages aux fruits. La sélection artificielle sur le comportement alimentaire permet de développer des lignées plus zoophages qui ont le potentiel d'être à la fois plus efficaces et moins susceptibles de causer des dommages. L'utilisation de lignées très zoophages pourrait avoir des effets sur les autres agents de lutte biologique par une augmentation de la prédation intraguilde ou de la compétition. Dans cette étude, nous testons l'efficacité en lutte biologique contre les



aleurodes du tabac *Bemisia tabaci* et les dommages par des lignées fortement et faiblement zoophages de *D. hesperus* en serre de tomates. L'effet de ces lignées sur les guêpes parasitoïdes *Encarsia formosa* a aussi été testé. Dans des tests en tente, nous avons introduit des *D. hesperus* issus de lignées faiblement ou fortement voraces (zoophages) et des lignées non sélectionnées. Dans la moitié des tentes, des *E. formosa* ont été introduites. La capacité des prédateurs et des parasitoïdes à réduire les populations de *B. tabaci* a été suivie pendant 12 semaines. Les tomates produites ont été récoltées et classées en fonction des dommages par *D. hesperus*. Les lignées fortement zoophages ont un impact rapide et durable sur les populations de ravageurs. Les lignées faiblement zoophages prennent plus de temps à atteindre le même niveau de régulation des ravageurs que les lignées fortement zoophages. Les introductions d'*E. formosa* permettent aussi de réduire les populations, mais sans interaction avec les *D. hesperus*. Les *D. hesperus* n'avaient pas d'effet sur l'abondance d'*E. formosa*. Les lignées faiblement zoophages ont engendré des proportions de dommages plus élevées. Les résultats démontrent que la sélection artificielle sur la base de la voracité (zoophagie) permet d'obtenir des lignées plus efficaces et surtout moins dommageables en culture de tomates de serre. Sur la durée, les lignées faiblement zoophages compensaient la faible efficacité individuelle par le nombre. Les lignées fortement zoophages sont compatibles avec les guêpes parasitoïdes qui étaient peu affectée par les *D. hesperus*.

Introduction

Les prédateurs zoophytophages sont d'efficaces prédateurs en serre contre les aleurodes et autres ravageurs des cultures [3,35,52,53]. En Europe, *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) (Hemiptera : Miridae) est commercialisée pour la lutte biologique contre les aleurodes *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera : Aleyrodidae) et la mineuse sud-américaine de la tomate *Phthorimaea (Tuta) absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera : Gelechiidae) [5,53,54]. En Amérique du Nord, *Dicyphus hesperus* Knight (Hemiptera : Miridae) réduit efficacement les populations d'aleurodes de serres *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera : Aleyrodidae) [3,35,52,55]. Néanmoins, ces prédateurs consomment des ressources végétales et peuvent engendrer des dommages aux fruits ou aux plants [6,11,13,14,56]. La sélection artificielle sur les comportements alimentaires permet d'améliorer le rapport entre les bénéfiques et les risques associés à ces prédateurs [23–25,57]. Des lignées fortement zoophages peuvent être développées pour accroître les bénéfiques [22]. De plus, le compromis entre la zoophagie et la phytophagie observé chez les prédateurs zoophytophages permettrait de réduire l'incidence de dommages en sélectionnant des individus fortement zoophages [23,25].

Un niveau de zoophagie élevé peut accroître la pression sur les proies [30,33], mais aussi moduler la dynamique des populations des prédateurs par le biais d'interaction antagonistes, notamment le cannibalisme [58]. Ainsi, l'efficacité des prédateurs sélectionnés pour leur forte zoophagie peut varier dans le temps et moduler la dynamique entre les prédateurs et les proies [30]. Des lignées ayant des caractéristiques différentes peuvent être également efficace en lutte biologique, mais en utilisant des stratégies différentes [30]. Par exemple, Nachappa et al. [30] ont observé que des lignées de l'acarien prédateur *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari : Phytoseiidae) sélectionnées pour leur forte voracité, leur taux de conversion élevé et leur propension à la dispersion régulaient équitablement les populations des tétranyques à deux points *Tetranychus urticae* Koch (Acari : Tetranychidae). Toutefois, ces lignées avaient des dynamiques de population et une corrélation spatiale avec les proies différentes. Les lignées très voraces avaient tendances à éliminer toutes les proies d'une parcelle de nourriture avant d'explorer pour trouver une nouvelle parcelle [29]. Ainsi, ce type de lignées a un impact sur l'abondance et la distribution de ses proies.

Les dommages causés par les prédateurs zoophytophages pourraient être modulés par les différences comportementales [25] et les conditions écologiques [11,59]. Les prédateurs zoophytophages engendrent davantage de dommages quand leurs proies sont plus rares [60]. Si les lignées fortement zoophages réduisent plus efficacement les populations de ravageurs, elles créeraient des conditions favorables à une hausse des dommages par les prédateurs zoophytophages (i.e., densité de proies faible). Toutefois, une hausse du cannibalisme pourrait auto-réguler leur population [58]. Les lignées faiblement zoophages pourraient être spécialisées sur une diète végétale [23,25] et avoir des populations plus denses sans



l'incidence du cannibalisme [58]. Ainsi, ces lignées pourraient causer plus de dommages aux cultures que les lignées fortement zoophages [25]. Cette hypothèse reste toutefois à être vérifiée.

La sélection artificielle sur la base de zoophagie est susceptible d'influencer les interactions interspécifiques [25]. Les prédateurs zoophytophages sont fréquemment utilisés simultanément avec d'autres agents de lutte biologique [17,18]. Des lignées fortement zoophages pourraient avoir une propension plus élevée à la prédation intragilde ou pourraient induire une plus forte compétition entre les agents de lutte biologique. Ainsi, des agents de lutte biologique normalement compatibles pourraient ne plus l'être si des prédateurs zoophytophages issus de sélection artificielle sont utilisés [25].

Dans cette étude, nous testons, en serre, l'efficacité de lignées fortement et faiblement zoophages de *D. hesperus* pour réguler les populations d'aleurodes du tabac, *B. tabaci*, et le taux de dommages aux tomates causé par ces lignées. De plus, nous testons l'impact de ces lignées sur les populations de la guêpe parasitoïde *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera : Aphelinidae) et la compatibilité de ces deux agents de lutte biologique.

Matériel et méthode

Site d'étude

Le projet a été réalisé dans les laboratoires du Centre de recherche agroalimentaire de Mirabel (CRAM) et dans les serres du Centre de formation agricole de Mirabel (CFAM) à Sainte-Scholastique (Mirabel, Québec).

Expérience en serre

Les tests en serre ont été réalisés du 19 juillet au 28 octobre 2022. Les tests ont été réalisés dans 120 tentes de mousselines pouvant contenir cinq plants. Chaque tente contenait quatre plants de tomates et un plant de molène commune.

Deux variables étaient contrôlées soit les lignées de *D. hesperus* et l'introduction de parasitoïdes (*E. formosa*). Les traitements pour la variable *Dicyphus* étaient : 1) témoin sans *Dicyphus*; 2) lignée sans sélection; 3) lignée peu vorace; et 4) lignée très vorace. Les lignées peu et très voraces étaient issues du volet sur la sélection artificielle. Pour augmenter les effectifs de ces lignées, elles ont été placées dans des cages en mousseline plus grande (48 cm x 48 cm x 48 cm) avec cinq plants de molène plusieurs semaines avant leur introduction en serre.

L'introduction des aleurodes, *B. tabaci*, s'est effectuée le 19 juillet, soit une semaine avant l'introduction des *D. hesperus* afin de laisser une période d'infestation plus longue aux individus. Un plant préalablement infesté de *B. tabaci* a été introduit dans chaque tente de l'expérience. Dans chaque lignée avec *D. hesperus*, quatre couples ont été introduits par cage le 26 juillet. L'introduction des pupes d'*E. formosa* s'est effectuée le 10 août après le premier suivi des populations de *Dicyphus*. Les guêpes parasitoïdes provenaient du fournisseur Anatis bioprotection inc.

Suivi des populations

Le suivi des populations de *D. hesperus* a eu lieu du 10 août au 18 octobre 2022 à chaque deux semaines pour un total de 11 semaines (6 suivis). Les populations de *D. hesperus* étaient estimées en comptant le nombre d'individus (par classe d'âge : L1 – L3, L4 – L5 et adultes) présents sur cinq feuilles du plant de molène. Pour le suivi des populations d'aleurodes, 20 folioles de tomates par tente étaient récoltées au hasard et ramenées en laboratoire dans des sacs Ziploc. En laboratoire, trois zones circulaires de 1 cm de diamètre étaient délimitées sur chaque foliole avec un emporte-pièce. Le nombre total de larves et de pupes d'aleurodes ainsi que le nombre de pupes d'aleurodes parasitées dans les trois zones ont été comptés pour chaque foliole.

Mesure de rendement et de dommages aux tomates

Une récolte hebdomadaire des tomates mûres a été réalisée du 31 août au 28 octobre 2022. Les tomates récoltées étaient ramenées en laboratoire. Par tente, le nombre de tomates récoltées, le poids total, le



nombre de tomates présentant des dommages occasionnés par *D. hesperus* et le nombre de piqûres par tomate endommagée ont été comptés.

Analyses des données

Un modèle généralisé linéaire mixte (GLMER) pour distribution binomial négative a été utilisé pour décrire les variations temporelles de *B. tabaci* (stades immatures) en fonction des traitements « lignées *D. hesperus* » et « *E. formosa* ». Pour la variable « temps » (nombre de semaines après l'introduction des *D. hesperus* dans les tentes), les relations linéaires et polynomiales à 2 et 3 degrés ont été comparés. Pour ce faire, les modèles étaient comparés à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA). La significativité statistique des effets fixes (variables explicatives) a été testée via un test de vraisemblance (« likelihood ratio test ») avec la fonction *drop1* dans R. Les différences statistiques entre les traitements des variables fixes significatives ont été estimées avec un test de Tukey avec la fonction *glht* de la librairie *multcomp* [38].

La même approche a été utilisée pour décrire les variations temporelles de l'abondance des *E. formosa* (stades immatures) et leur taux de parasitisme sur les *B. tabaci*, et des *D. hesperus*. Pour l'abondance des *E. formosa*, les analyses excluent les deux premières périodes d'observation parce que le parasitoïde était absent ou rare. Pour le taux de parasitisme, un modèle GLMER pour distribution proportionnelle (binomiale) a été utilisé. Dans ces deux modèles, la variable « *E. formosa* » n'était pas incluse et uniquement les tentes avec *E. formosa* étaient considérées.

Pour les variations temporelles de *D. hesperus*, un modèle différent a été réalisé pour les petites larves (L1 – L3), les grandes larves (L4 – L5) et les adultes. Pour les grandes larves, les deux premières périodes d'observation ont été exclues des analyses parce que ce stade de développement était absent ou très rare à ces périodes. Pour les autres stades de développement, toutes les périodes d'observation ont été incluses dans les analyses.

Le rendement en tomates a été estimé selon le poids total des tomates récoltées sur l'ensemble de la période d'observation. L'effet des traitements « lignée *D. hesperus* » et « *E. formosa* » sur le rendement a été testé via une analyse de variance (ANOVA). Un test de Tukey a été utilisé pour comparer un à un les niveaux des variables explicatives significatives.

Le taux de dommages aux tomates causé par *D. hesperus* (nombre de tomates endommagées divisé par le nombre total de tomates) a été testé avec un modèle généralisé linéaire (GLM) pour distribution quasibinomiale (pour tenir compte de la surdispersion des données). Les variables explicatives étaient les « lignées *D. hesperus* » et « *E. formosa* ». La fonction *glht* a été utilisée pour comparer les niveaux des variables significatives.

Résultats

Effets de *Dicyphus hesperus* et *Encarsia formosa* sur *Bemisia tabaci*

L'abondance des *B. tabaci* variait dans le temps selon une fonction quadratique ($LRT_3 = 150,01$; $p < 0,0001$). Les lignées de *D. hesperus* ($LRT_3 = 14,25$; $p = 0,003$) (Figure 1A) et les *E. formosa* ($LRT_2 = 7,19$; $p = 0,007$) (Figure 1B) ont eu un effet sur l'abondance des *B. tabaci* sur l'ensemble de la période d'observation soit de la 2^{ème} à la 12^{ème} semaine. Les lignées « forte voracité » et « faible voracité » réduisaient significativement l'abondance des *B. tabaci* comparativement au traitement témoin. Aucune interaction entre les lignées *D. hesperus* et *E. formosa* n'a été observée ($LRT_3 = 0,15$; $p = 0,985$).

Les *D. hesperus* issues de lignées « forte voracité » se distinguent par leur rapide effet sur les populations de *B. tabaci* ($LRT_3 = 8,89$; $p = 0,03$) (Figure 2). Quatre semaines après l'introduction des *D. hesperus*, l'abondance des *B. tabaci* était inférieure dans les cages avec les *D. hesperus* de « forte voracité » que dans les autres traitements.

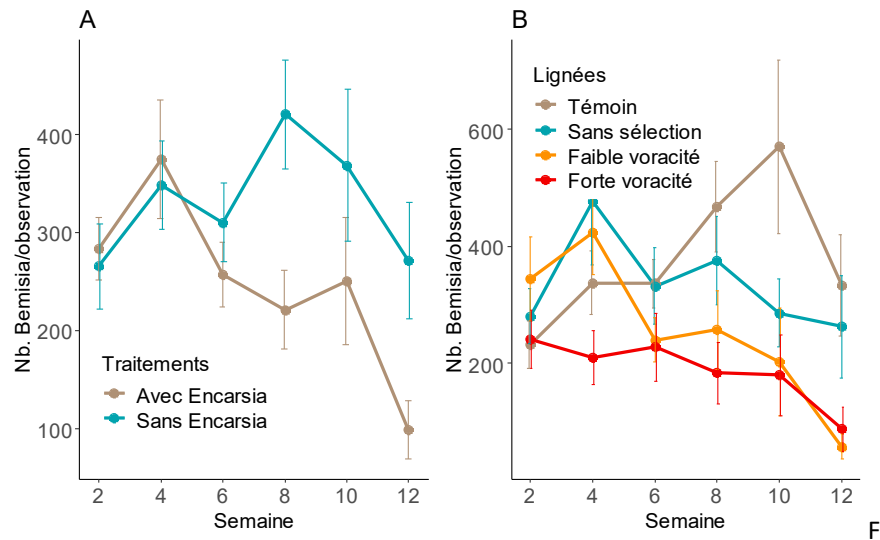


Figure 1 : Abondance des larves et nymphes de *B. tabaci* en fonction du temps et des traitements *E. formosa* (A) et *D. hesperus* (B).

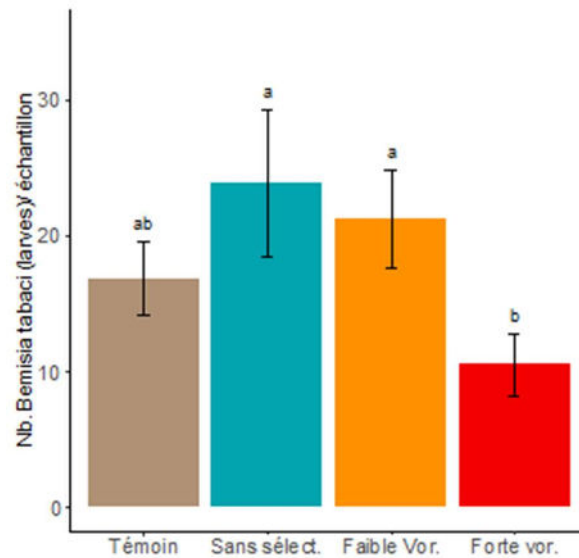


Figure 2 : Effet de la présence de *D. hesperus* sur le nombre d'immatures de *B. tabaci* observé selon la voracité de la lignée. Les différentes lettres représentent des résultats statistiquement significatifs ($\alpha = 0,05$).

Effet de *Dicyphus hesperus* sur *Encarsia formosa*

L'abondance d'*E. formosa* variait en fonction d'une relation cubique avec le temps ($LRT_3 = 38,23$; $p < 0,0001$) (Figure 3A). Sur l'ensemble de la période d'observation des *E. formosa* (de la 6^{ème} à la 12^{ème} semaine), les *D. hesperus* n'ont pas eu d'effet significatif sur l'abondance d'*E. formosa* ($LRT_3 = 6,45$; $p = 0,09$).

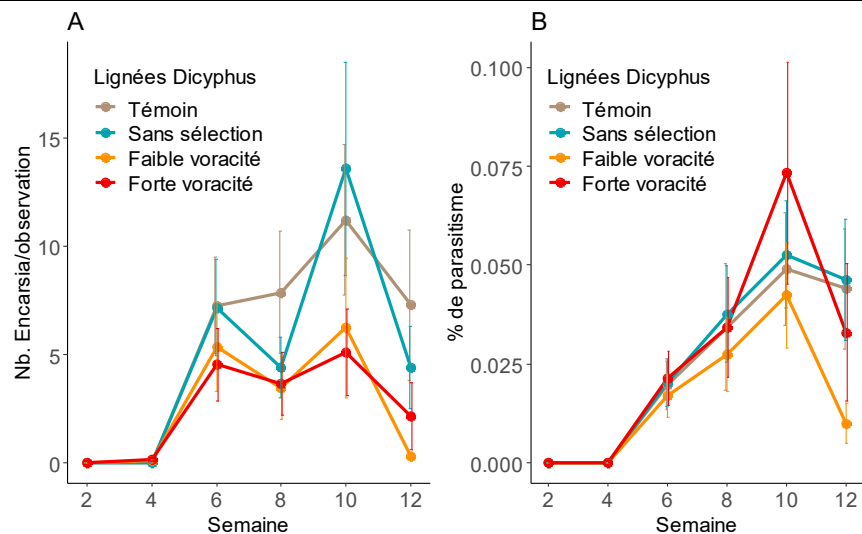


Figure 3. Abondance des immatures *E. formosa* (A) et taux de parasitisme (B) en fonction du temps et des traitements de lignées *D. hesperus*.

Le taux de parasitisme d'*E. formosa* sur les *B. tabaci* a varié dans le temps selon une fonction cubique ($LRT_3 = 885.28$; $p < 0,0001$) (Figure 3B). Les lignées de *D. hesperus* n'avaient pas d'effet sur ce taux de parasitisme ($LRT_3 = 4,48$; $p = 0,21$).

Populations de *Dicyphus hesperus*

Les variations temporelles d'abondance des petites larves sont décrites par une fonction cubique ($LRT_3 = 27,57$; $p < 0,0001$) (Figure 4A). Les petites larves (L1 – L3) ont eu deux périodes de pointe à savoir de la 4^{ème} à la 6^{ème} semaines après la première introduction des *D. hesperus* et à la 12^{ème} semaine. En moyenne sur l'ensemble de la période d'observation, l'abondance des petites larves (L1 – L3) de *D. hesperus* était supérieure dans le traitement « faible voracité » que dans le traitement « sans sélection » ($LRT_2 = 6,22$; $p = 0,04$) (Figure 5A). Le traitement « forte voracité » avait une abondance intermédiaire entre les traitements « faible densité » et « sans sélection ». La présence d'*E. formosa* n'a pas eu d'effet sur l'abondance de *D. hesperus* ($LRT_1 = 0,60$; $p = 0,44$).

De la 6^{ème} à la 12^{ème} semaine, la relation entre l'abondance des grandes larves de *D. hesperus* et le temps suit une fonction polynomiale à trois degrés ($LRT_3 = 28,30$; $p < 0,0001$) (Figure 4B). Les grandes larves ont eu deux périodes de pointes à la 6^{ème} et à la 12^{ème} semaine. Les traitements lignées ($LRT_2 = 2,86$; $p = 0,24$) (Figure 5B) et *E. formosa* ($LRT_1 = 3,13$; $p = 0,08$) n'ont pas eu d'effet significatif sur l'abondance des grandes larves (L4 – L5) de *D. hesperus*.

Les variations temporelles de l'abondance des adultes suivent une relation polynomiale à quatre degrés ($LRT_4 = 170,97$; $p < 0,0001$) (Figure 4C). Les *D. hesperus* adultes étaient plus abondants dans le traitement « faible voracité » que dans le traitement « sans sélection » ($LRT_2 = 6,47$; $p = 0,04$) (Figure 5C). Le traitement « forte densité » ne se distingue pas des traitements « faible voracité » et « sans sélection ». La présence d'*E. formosa* n'a pas d'effet sur l'abondance des *D. hesperus* adultes ($LRT_1 = 0,04$; $p = 0,85$).

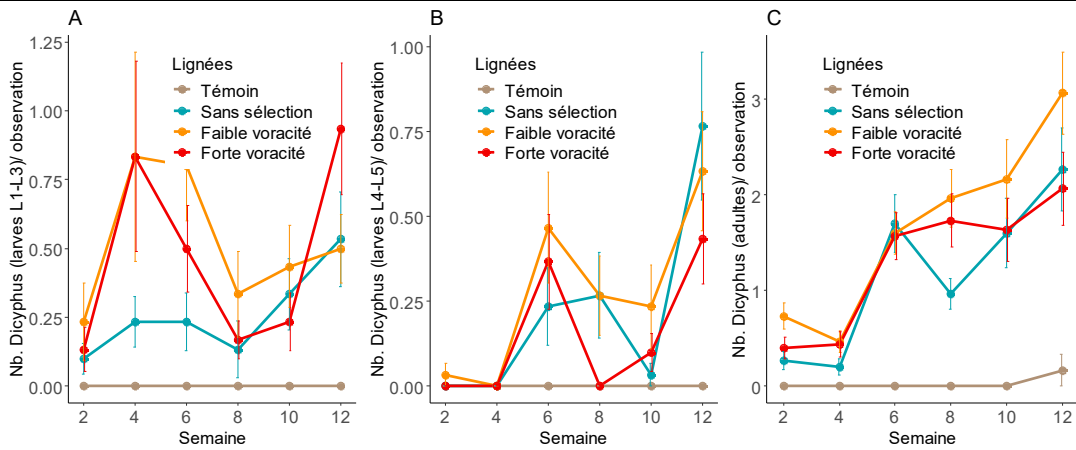


Figure 4. Abondance des larves L1 – L3 (A), des larves L4 – L5 (B) et des adultes (C) *D. hesperus* en fonction du traitement de lignées.

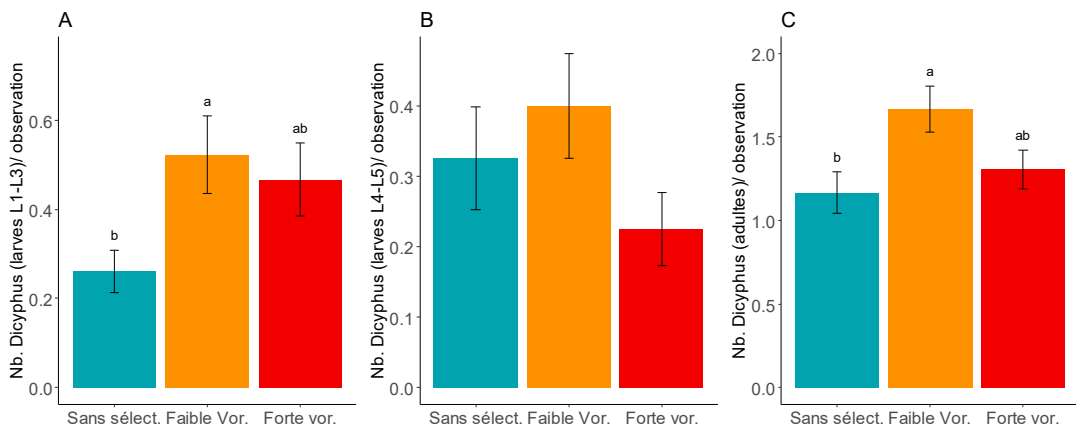


Figure 5. Moyenne du nombre de larves L1-L3 (A), de larves L4-L5 (B) et d'adultes (C) de *D. hesperus* selon la voracité des lignées. Les différentes lettres représentent des résultats statistiquement significatifs ($\alpha = 0,05$).

Effet de *Dicyphus hesperus* et *Encarsia formosa* sur le rendement et les dommages

Le rendement (en g) était supérieur dans les cages avec les traitements « forte voracité » et « faible voracité » comparativement aux traitements « témoin » et « sans sélection » ($F_{3, 1075} = 11,03$; $p < 0,0001$) (Figure 6A). *Encarsia formosa* n'avait pas d'incidence sur le rendement des plants de tomates ($F_{1, 1075} = 0,95$; $p = 0,33$) (Figure 6B).

Le taux de dommages aux tomates par *D. hesperus* était supérieur dans le traitement « faible voracité » que dans les traitements « forte voracité » ou « sans sélection » ($LRT_2 = 117,78$; $p < 0,0001$) (Figure 7A). Ce taux était aussi plus élevé en présence d'*E. formosa* qu'en son absence ($LRT_1 = 13,52$; $p = 0,0002$) (Figure 7B).

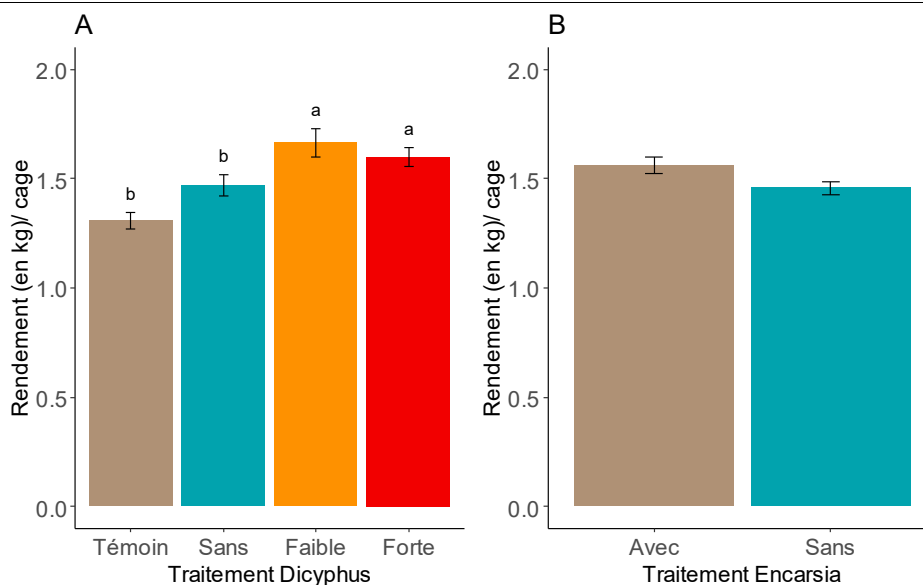


Figure 6 : Rendement (kg) des plants de tomates par cage selon la voracité de la lignée de *D. hesperus* (A) et la présence ou l'absence d'*E. formosa* (B). Les différentes lettres représentent des résultats statistiquement significatifs ($\alpha = 0,05$).

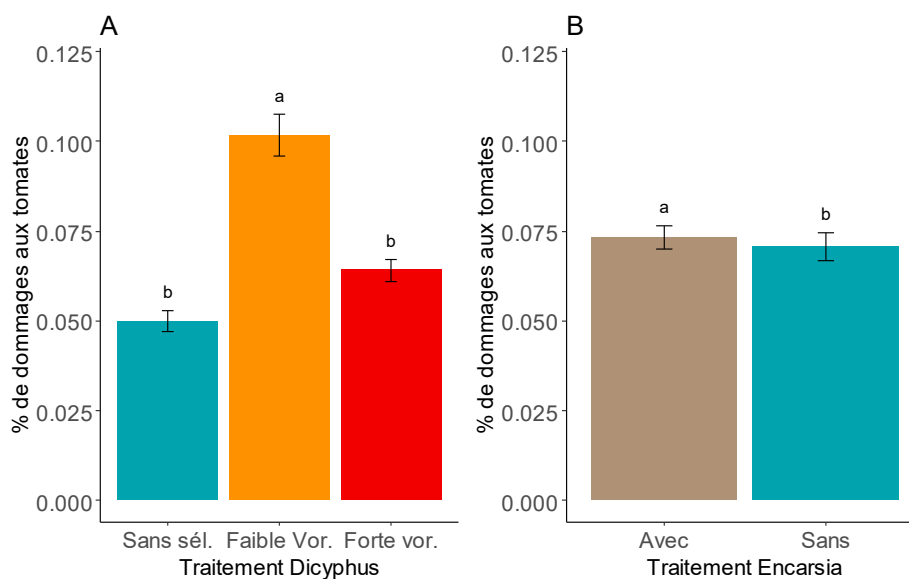


Figure 7 : Taux de dommages aux tomates (%) selon la voracité de la lignée de *D. hesperus* (A) et la présence ou l'absence d'*E. formosa* (B). Les différentes lettres représentent des résultats statistiquement significatifs ($\alpha = 0,05$).

Discussion

Les variations phénotypiques et génotypiques dans les comportements alimentaires des agents de lutte biologique influencent les interactions écologiques et, conséquemment, la valeur économique de ces agents en milieu agricole [25,33]. Pour les prédateurs zoophytophages comme *D. hesperus*, la propension à consommer des proies (zoophagie) ou des ressources végétales (phytophagie) est déterminante dans le rapport bénéfique et risque associés à ces agents de lutte biologique [25,33]. Nos résultats démontrent que des lignées fortement zoophages de *D. hesperus* se distinguent par une régulation rapide des populations du ravageur *B. tabaci* comparativement à des lignées faiblement zoophages ou non issues de sélection artificielle. Néanmoins, sur une plus longue période, les lignées peu zoophages avaient une efficacité comparable aux lignées très zoophages. Les lignées peu zoophages pourraient compenser leur faible



efficacité individuelle en étant supérieures en nombre comparativement aux autres types de lignées. Toutefois, cette abondance d'individus peu zoophages engendrait plus de dommages aux tomates que chez les lignées très zoophages ou non sélectionnées. Ainsi, les lignées fortement et faiblement zoophages se distinguent par leurs effets sur la dynamique de leurs populations et celles de leurs proies, et sur les dommages observés sur les tomates. Le rapport entre les bénéfiques et les risques associés à ce prédateur zoophytophage en production de tomates de serre est donc moduler par la sélection artificielle sur la base de leur niveau de zoophagie.

Les interactions trophiques intraguïdes et la compétition entre les prédateurs zoophytophages et les guêpes parasitoïdes sont susceptibles d'influencer l'efficacité de la lutte biologique dans les systèmes avec plusieurs agents de lutte biologique [17,18,20,21]. Dans notre expérience, les lignées de *D. hesperus* et *E. formosa* n'ont pas eu d'effet additif sur la régulation des populations de *B. tabaci*. De plus, les lignées de *D. hesperus* n'ont pas eu d'effet significatif sur l'abondance des *E. formosa* ni sur leur taux de parasitisme. De même que la présence d'*E. formosa* n'a pas eu d'effet sur l'abondance des *D. hesperus*. Nos résultats ne suggèrent donc pas que la prédation intraguïde potentielle de *D. hesperus* sur *E. formosa* ait un impact significatif. De même, la compétition entre les deux agents de lutte biologique semble négligeable sur une période de 12 semaines. Néanmoins, bien qu'*E. formosa* participe à la régulation des *B. tabaci*, leur présence n'influence pas sur le rendement des plants de tomates. À l'inverse, les lignées fortement et faiblement zoophages de *D. hesperus* ont permis un rendement supérieur en tomates. La sélection artificielle sur la zoophagie des *D. hesperus* n'engendre donc pas une hausse particulière de prédation intraguïde, ne compromet pas la compatibilité entre *D. hesperus* et *E. formosa* et n'affecte pas spécifiquement le rendement des plants.

Le niveau d'agressivité des individus est susceptible d'influencer divers comportements et interactions écologiques, notamment la zoophagie et le cannibalisme [25,41,61–63]. L'agressivité est l'une des dimensions de la personnalité animale [64–66] et est décrite comme une interaction agonistique envers un conspécifique [64]. Bien qu'elle soit mesurée dans un contexte social, l'agressivité peut être exprimée dans les interactions avec les proies [62,67,68] ou les prédateurs [28,69–73]. Par exemple, Chang et al. [62] ont observé que les araignées *Portia labiata* (Thorell) (Arachnida : Salticidae) agressives sont plus réactives que les individus peu agressifs en présence de leurs proies préférées. De plus, l'agressivité influence probablement, par pléiotropie, différents comportements chez les prédateurs [70,74–76]. Dans un contexte social, l'agressivité peut moduler la dynamique et la densité des populations [77–79]. Les lignées fortement zoophages sont notamment susceptibles de faire plus de cannibalisme [58], ce qui peut affecter la démographie dans les populations d'insectes [80,81]. Dumont et al. [58] ont observé que des lignées fortement zoophages de *C. verbasci* font plus de cannibalismes que des lignées faiblement zoophages. Nos résultats en serre semblent confirmer cette tendance. La dynamique des populations des lignées fortement zoophages de *D. hesperus* est marquée par une diminution rapide des jeunes larves après l'atteinte de leur première période de pointe. À l'inverse, les lignées faiblement zoophages maintiennent une population de jeunes larves élevées malgré les variations du cycle attendues. Le résultat est que les populations de *D. hesperus* faiblement zoophages se distinguent par leur densité élevée. Le niveau d'agressivité des *D. hesperus* faiblement zoophages, qui devrait être faible, permettrait donc de maintenir des densités de populations élevées.

La sélection artificielle sur la zoophagie des prédateurs zoophytophages accroît les bénéfiques et réduit les dommages par ces organismes [24,25]. Les effets bénéfiques des lignées fortement zoophages sont obtenus à court terme, c'est-à-dire dans les quatre premières semaines après l'introduction des *D. hesperus*. Durant cette période, la densité des populations de *D. hesperus* fortement et faiblement zoophage est similaire. Les populations issues de ces deux types de lignées se distinguent donc par leur comportement et non pas par leur densité. Les individus fortement zoophages consomment plus de proies par jour que les individus faiblement zoophages, ce qui engendre une meilleure régulation des populations de ravageurs. Sur le long terme, les populations de *D. hesperus* faiblement zoophage maintiennent des densités de populations supérieures. La force du nombre compense pour la faible voracité des individus. Toutefois, chez les prédateurs zoophytophages, un compromis entre la zoophagie et la phytophagie est observé [23]. Ainsi, une forte densité de *D. hesperus* faiblement zoophage entraîne une plus forte proportion de dommages aux tomates. Le rapport entre les bénéfiques et les dommages associés aux



lignées fortement et faiblement zoophages indique qu'il est préférable d'utiliser la première à la seconde en lutte biologique contre les aleurodes en serre de tomate.

Livrables

Volet 2- 2022-2023

- maintenir des élevages de laboratoire des divers insectes- **réalisé**
- produire en laboratoire les plantes nécessaires aux essais- **réalisé**
- maintenir la sélection artificielle avec le suivi de la qualité des lignées - **réalisé**
- réaliser un élevage de masse pour produire les individus nécessaires au volet 3- **réalisé**
- analyse des résultats- **réalisé**
- rédaction d'un rapport - **réalisé**
- diffusion des résultats- **réalisé**
- faire des recommandations sur le maintien de lignées artificiellement sélectionnées- **réalisé**

Volet 3- 2022-2023

- installation du dispositif expérimental et production des plants de tomates- **réalisé**
- réalisation du protocole expérimental et suivi des populations- **réalisé**
- entretien des plants de tomates- **réalisé**
- analyse des résultats- **réalisé**
- rédaction d'un rapport- **réalisé**
- diffusion des résultats - **réalisé**
- mesurer l'impact des lignées de *D. hesperus* sur les parasitoïdes- **réalisé**
- description la distribution spatiale des populations des ennemis naturels et ravageurs- **réalisé**
- détermination de l'effet répressif des combinaisons d'ennemis évaluées- **réalisé**
- proposition d'un programme de lutte contre *B. tabaci* en serre- **réalisé**

Références

1. Castañé, C.; Alomar, O.; Goula, M.; Gabarra, R. Colonization of Tomato Greenhouses by the Predatory Mirid Bugs *Macrolophus Caliginosus* and *Dicyphus Tamaninii*. *Biological Control* **2004**, *30*, 591–597.
2. Calvo, J.; Bolckmans, K.; Stansly, P.A.; Urbaneja, A. Predation by *Nesidiocoris Tenuis* on *Bemisia Tabaci* and Injury to Tomato. *BioControl* **2009**, *54*, 237–246.
3. Calvo, F.J.; Torres-Ruiz, A.; Velázquez-González, J.C.; Rodríguez-Leyva, E.; Lomeli-Flores, J.R. Evaluation of *Dicyphus Hesperus* for Biological Control of Sweet Potato Whitefly and Potato Psyllid on Greenhouse Tomato. *BioControl* **2016**, *61*, 415–424.
4. Ingegno, B.L.; Ferracini, C.; Gallinotti, D.; Alma, A.; Tavella, L. Evaluation of the Effectiveness of *Dicyphus Errans* (Wolff) as Predator of *Tuta Absoluta* (Meyrick). *Biological Control* **2013**, *67*, 246–252.
5. Gerling, D.; Alomar, O.; Arnò, J. Biological Control of *Bemisia Tabaci* Using Predators and Parasitoids. *Crop Protection* **2001**, *20*, 779–799.
6. Hamdi, F.; Chadoeuf, J.; Bonato, O. Functional Relationships between Plant Feeding and Prey Feeding for a Zoophytophagous Bug. *Physiological entomology* **2013**, *38*, 241–245.
7. Lins, J.C.; van Loon, J.J.; Bueno, V.H.; Lucas-Barbosa, D.; Dicke, M.; van Lenteren, J.C. Response of the Zoophytophagous Predators *Macrolophus Pygmaeus* and *Nesidiocoris Tenuis* to Volatiles of Uninfested Plants and to Plants Infested by Prey or Conspecifics. *BioControl* **2014**, *59*, 707–718.
8. Wheeler Jr, A.G.; Krimmel, B.A. Mirid (Hemiptera: Heteroptera) Specialists of Sticky Plants: Adaptations, Interactions, and Ecological Implications. *Annual Review of Entomology* **2015**, *60*, 393–414.



9. Albajes, R.; Alomar, Ò. Current and Potential Use of Polyphagous Predators. In *Integrated pest and disease management in greenhouse crops*; Springer, 1999; pp. 265–275.
10. Arnó, J.; Ariño, J.; Español, R.; Marti, M.; Alomar, O. Conservation of *Macrolophus Caliginosus* Wagner (Het. Miridae) in Commercial Greenhouses during Tomato Crop-Free Periods. *Conservation of Macrolophus caliginosus Wagner (Het. Miridae) in commercial greenhouses during tomato crop-free periods*. **2000**, *23*, 241–246.
11. Gillespie, D.R.; McGregor, R.R. The Functions of Plant Feeding in the Omnivorous Predator *Dicyphus Hesperus*: Water Places Limits on Predation. *Ecological Entomology* **2000**, *25*, 380–386.
12. McGregor, R.R.; Gillespie, D.R.; Park, C.G.; Quiring, D.M.J.; Foisy, M.R.J. Leaves or Fruit? The Potential for Damage to Tomato Fruits by the Omnivorous Predator, *Dicyphus Hesperus*. *Entomologia experimentalis et applicata* **2000**, *95*, 325–328.
13. Castañé, C.; Arnó, J.; Gabarra, R.; Alomar, O. Plant Damage to Vegetable Crops by Zoophytophagous Mirid Predators. *Biological control* **2011**, *59*, 22–29.
14. Gillespie, D.R.; VanLaerhoven, S.L.; McGregor, R.R.; Chan, S.; Roitberg, B.D. Plant Feeding in an Omnivorous Mirid, *Dicyphus Hesperus*: Why Plant Context Matters. *Psyche: A Journal of Entomology* **2012**, *2012*.
15. Aubry, O.; Cormier, D.; Chouinard, G.; Lucas, E. Phytophagy by the Mullein Bug (Hemiptera: Miridae) on Apples: Feeding Behavior and Fruit Damage. *Journal of economic entomology* **2016**, *109*, 2463–2471.
16. Lucas, E.; Alomar, O. *Macrolophus Caliginosus* (Wagner) as an Intraguild Prey for the Zoophytophagous *Dicyphus Tamaninii* Wagner (Heteroptera: Miridae). *Biological Control* **2001**, *20*, 147–152.
17. McGregor, R.R.; Gillespie, D.R. Intraguild Predation by the Generalist Predator *Dicyphus Hesperus* on the Parasitoid *Encarsia Formosa*. *Biocontrol Science and Technology* **2005**, *15*, 219–227.
18. Bennett, J.A.; Gillespie, D.R.; Shipp, J.L.; Vanlaerhoven, S.L. Foraging Strategies and Patch Distributions: Intraguild Interactions between *Dicyphus Hesperus* and *Encarsia Formosa*. *Ecological entomology* **2009**, *34*, 58–65.
19. Lucas, E.; Frechette, B.; Alomar, O. Resource Quality, Resource Availability, and Intraguild Predation among Omnivorous Mirids. *Biocontrol Science and Technology* **2009**, *19*, 555–572.
20. Velasco-Hernández, M.C.; Ramirez-Romero, R.; Cicero, L.; Michel-Rios, C.; Desneux, N. Intraguild Predation on the Whitefly Parasitoid *Eretmocerus Eremicus* by the Generalist Predator *Geocoris Punctipes*: A Behavioral Approach. *PLoS one* **2013**, *8*, e80679.
21. Perdikis, D.; Lucas, E.; Garantonakis, N.; Giatropoulos, A.; Kitsis, P.; Maselou, D.; Panagakis, S.; Lampropoulos, P.; Paraskevopoulos, A.; Lykouressis, D. Intraguild Predation and Sublethal Interactions between Two Zoophytophagous Mirids, *Macrolophus Pygmaeus* and *Nesidiocoris Tenuis*. *Biological control* **2014**, *70*, 35–41.
22. Dumont, F.; Lucas, E.; Réale, D. Evidence of Genetic Basis of Zoophagy and Nymphal Developmental Time in Isogroup Lines of the Zoophytophagous Mullein Bug, *Campylomma Verbasci*. *BioControl* **2016**, *61*, 425–435.
23. Dumont, F.; Lucas, E.; Réale, D. Coexistence of Zoophytophagous and Phytozoophagous Strategies Linked to Genotypic Diet Specialization in Plant Bug. *PLoS one* **2017**, *12*, e0176369.
24. Chinchilla-Ramírez, M.; Pérez-Hedo, M.; Pannebakker, B.A.; Urbaneja, A. Genetic Variation in the Feeding Behavior of Isofemale Lines of *Nesidiocoris Tenuis*. *Insects* **2020**, *11*, 513.
25. Dumont, F.; Aubry, O.; Lucas, E. From Evolutionary Aspects of Zoophytophagy to Biological Control. *Frontiers in Ecology and Evolution* **2018**, *6*, 221.



26. Bolnick, D.I.; Yang, L.H.; Fordyce, J.A.; Davis, J.M.; Svanbäck, R. Measuring Individual-Level Resource Specialization. *Ecology* **2002**, *83*, 2936–2941.
27. Bolnick, D.I.; Amarasekare, P.; Araújo, M.S.; Bürger, R.; Levine, J.M.; Novak, M.; Rudolf, V.H.; Schreiber, S.J.; Urban, M.C.; Vasseur, D.A. Why Intraspecific Trait Variation Matters in Community Ecology. *Trends in ecology & evolution* **2011**, *26*, 183–192.
28. Dall, S.R.; Bell, A.M.; Bolnick, D.I.; Ratnieks, F.L. An Evolutionary Ecology of Individual Differences. *Ecology letters* **2012**, *15*, 1189–1198.
29. Nachappa, P.; Margolies, D.C.; Nechols, J.R.; Morgan, T.J. Response of a Complex Foraging Phenotype to Artificial Selection on Its Component Traits. *Evolutionary Ecology* **2010**, *24*, 631–655.
30. Nachappa, P.; Margolies, D.C.; Nechols, J.R.; Campbell, J.F. Variation in Predator Foraging Behaviour Changes Predator–Prey Spatio-Temporal Dynamics. *Functional ecology* **2011**, *25*, 1309–1317.
31. Lommen, S.T.; de Jong, P.W.; Pannebakker, B.A. It Is Time to Bridge the Gap between Exploring and Exploiting: Prospects for Utilizing Intraspecific Genetic Variation to Optimize Arthropods for Augmentative Pest Control—A Review. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **2017**, *162*, 108–123.
32. Bielza, P.; Balanza, V.; Cifuentes, D.; Mendoza, J.E. Challenges Facing Arthropod Biological Control: Identifying Traits for Genetic Improvement of Predators in Protected Crops. *Pest management science* **2020**.
33. Dumont, F.; Réale, D.; Lucas, É. Can Isogroup Selection of Highly Zoophagous Lines of a Zoophytophagous Bug Improve Biocontrol of Spider Mites in Apple Orchards? *Insects* **2019**, *10*, 303.
34. Wheeler, A.G. *Biology of the Plant Bugs (Hemiptera: Miridae): Pests, Predators, Opportunists*; Cornell University Press, 2001;
35. McGregor, R.R.; Gillespie, D.R.; Quiring, D.M.; Foisy, M.R. Potential Use of *Dicyphus hesperus* Knight (Heteroptera: Miridae) for Biological Control of Pests of Greenhouse Tomatoes. *Biological Control* **1999**, *16*, 104–110.
36. Labbe, R.M.; Cloutier, C.; Brodeur, J. Prey Selection by *Dicyphus hesperus* of Infected or Parasitized Greenhouse Whitefly. *Biocontrol Science and Technology* **2006**, *16*, 485–494.
37. Dochtermann, N.A.; Schwab, T.; Anderson Berdal, M.; Dalos, J.; Royauté, R. The Heritability of Behavior: A Meta-Analysis. *Journal of Heredity* **2019**, *110*, 403–410.
38. Hothorn, T.; Bretz, F.; Westfall, P.; Heiberger, R.M.; Schuetzenmeister, A.; Scheibe, S.; Hothorn, M.T. Package ‘Multcomp.’ *Simultaneous inference in general parametric models. Project for Statistical Computing, Vienna, Austria* **2016**.
39. Stoffel, M.A.; Nakagawa, S.; Schielzeth, H. rptR: Repeatability Estimation and Variance Decomposition by Generalized Linear Mixed-effects Models. *Methods Ecol Evol* **2017**, *8*, 1639–1644, doi:10.1111/2041-210X.12797.
40. Nakagawa, S.; Schielzeth, H. Repeatability for Gaussian and Non-Gaussian Data: A Practical Guide for Biologists. *Biological Reviews* **2010**, *85*, 935–956.
41. Royer, P.; Dumont, F.; Provost, C.; Lucas, E. Selecting Aggressiveness to Improve Biological Control Agents Efficiency. *Journal of Pest Science* **2022**, *95*, 1589–1596.
42. Perdikis, D.C.; Lykouressis, D.P.; Economou, L.P. The Influence of Temperature, Photoperiod and Plant Type on the Predation Rate of *Macrolophus pygmaeus* on *Myzus persicae*. *BioControl* **1999**, *44*, 281–289.
43. Nicholas, F.W. Size of Population Required for Artificial Selection. *Genetics Research* **1980**, *35*, 85–105.



44. Barton, N.H. Natural Selection and Random Genetic Drift as Causes of Evolution on Islands. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* **1996**, 351, 785–795.
45. Aggrey, S.E. Studies on Genetic Drift and Inbreeding in Small Populations under Artificial Selection. PhD Thesis, University of British Columbia, 1994.
46. Lande, R. Natural Selection and Random Genetic Drift in Phenotypic Evolution. *Evolution* **1976**, 314–334.
47. Allendorf, F.W. Genetic Drift and the Loss of Alleles versus Heterozygosity. *Zoo biology* **1986**, 5, 181–190.
48. Castañé, C.; Alomar, Ò.; Riudavets, J.; Gemenó, C. Reproductive Biology of the Predator *Macrolophus Caliginosus*: Effect of Age on Sexual Maturation and Mating. *Biological Control* **2007**, 43, 278–286.
49. McLain, D.K. Heritability of Size, a Sexually Selected Character, and the Response to Sexual Selection in a Natural Population of the Southern Green Stink Bug, *Nezara Viridula* (Hemiptera: Pentatomidae). *Heredity* **1987**, 59, 391–395.
50. McLain, D.K. Heritability of Size: A Positive Correlate of Multiple Fitness Components in the Southern Green Stink Bug (Hemiptera: Pentatomidae). *Annals of the Entomological Society of America* **1991**, 84, 174–178.
51. Jauset, A.M.; Edo-Tena, E.; Castañé, C.; Agustí, N.; Alomar, O.; Grozeva, S. Comparative Cytogenetic Study of Three *Macrolophus* Species (Heteroptera, Miridae). *Comparative Cytogenetics* **2015**, 9, 613.
52. Calvo, F.J.; Torres, A.; González, E.J.; Velázquez, M.B. The Potential of *Dicyphus Hesperus* as a Biological Control Agent of Potato Psyllid and Sweetpotato Whitefly in Tomato. *Bulletin of entomological research* **2018**, 108, 765–772.
53. Mollá, Ó.; Montón, H.; Vanaclocha, P.; Beitia, F.; Urbaneja, A. Predation by the Mirids *Nesidiocoris Tenuis* and *Macrolophus Pygmaeus* on the Tomato Borer *Tuta Absoluta*. *Predation by the mirids Nesidiocoris tenuis and Macrolophus pygmaeus on the tomato borer Tuta absoluta*. **2009**, 49, 209–214.
54. De Backer, L.; Megido, R.C.; Haubruge, É.; Verheggen, F.J. *Macrolophus Pygmaeus* (Rambur) as an Efficient Predator of the Tomato Leafminer *Tuta Absoluta* (Meyrick) in Europe. A Review. *BASE* **2014**.
55. Dumont, F.; Maisonhaute, J.-É.; Labrie, G.; Provost, C. Biological Control of Silverleaf Whitefly *Bemisia Tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Using Predatory Bugs, *Dicyphus Hesperus* (Hemiptera: Miridae) and *Orius Insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae). *Phytoprotection* **2021**, 101, 38–45.
56. Arnó, J.; Castañé, C.; Riudavets, J.; Gabarra, R. Risk of Damage to Tomato Crops by the Generalist Zoophytophagous Predator *Nesidiocoris Tenuis* (Reuter)(Hemiptera: Miridae). *Bulletin of entomological research* **2010**, 100, 105–115.
57. Dumont, F.; Réale, D.; Lucas, É. Can Isogroup Selection of Highly Zoophagous Lines of a Zoophytophagous Bug Improve Biocontrol of Spider Mites in Apple Orchards? *Insects* **2019**, 10, 303.
58. Dumont, F.; Réale, D.; Lucas, E. Isogroup Selection to Optimize Biocontrol Increases Cannibalism in Omnivorous (Zoophytophagous) Bugs. *Insects* **2017**, 8, 74.
59. Sinia, A.; Roitberg, B.; McGregor, R.R.; Gillespie, D.R. Prey Feeding Increases Water Stress in the Omnivorous Predator *Dicyphus Hesperus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **2004**, 110, 243–248.
60. Calvo, J.; Bolckmans, K.; Stansly, P.A.; Urbaneja, A. Predation by *Nesidiocoris Tenuis* on *Bemisia Tabaci* and Injury to Tomato. *BioControl* **2009**, 54, 237–246.
61. Michalko, R.; Gibbons, A.T.; Goodacre, S.L.; Pekár, S. Foraging Aggressiveness Determines Trophic Niche in a Generalist Biological Control Species. *Behavioral Ecology* **2021**, 32, 257–264.



62. Chang, C.-C.; Ng, P.J.; Li, D. Aggressive Jumping Spiders Make Quicker Decisions for Preferred Prey but Not at the Cost of Accuracy. *Behavioral Ecology* **2017**, *28*, 479–484.
63. Schausberger, P.; Croft, B.A. Cannibalism and Intraguild Predation among Phytoseiid Mites: Are Aggressiveness and Prey Preference Related to Diet Specialization? *Experimental & applied acarology* **2000**, *24*, 709–725.
64. Réale, D.; Reader, S.M.; Sol, D.; McDougall, P.T.; Dingemanse, N.J. Integrating Animal Temperament within Ecology and Evolution. *Biological reviews* **2007**, *82*, 291–318.
65. Careau, V.; Réale, D.; Humphries, M.M.; Thomas, D.W. The Pace of Life under Artificial Selection: Personality, Energy Expenditure, and Longevity Are Correlated in Domestic Dogs. *The American Naturalist* **2010**, *175*, 753–758.
66. Toscano, B.J.; Gownaris, N.J.; Heerhartz, S.M.; Monaco, C.J. Personality, Foraging Behavior and Specialization: Integrating Behavioral and Food Web Ecology at the Individual Level. *Oecologia* **2016**, *182*, 55–69.
67. Belgrad, B.A.; Griffen, B.D. Predator–Prey Interactions Mediated by Prey Personality and Predator Hunting Mode. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **2016**, *283*, 20160408.
68. Chang, C.; Teo, H.Y.; Norma-Rashid, Y.; Li, D. Predator Personality and Prey Behavioural Predictability Jointly Determine Foraging Performance. *Scientific reports* **2017**, *7*, 1–8.
69. Dochtermann, N.A.; Dingemanse, N.J. Behavioral Syndromes as Evolutionary Constraints. *Behavioral Ecology* **2013**, *24*, 806–811.
70. Sih, A.; Bell, A.M. Insights for Behavioral Ecology from Behavioral Syndromes. *Advances in the Study of Behavior* **2008**, *38*, 227–281.
71. Melotto, A.; Ficetola, G.F.; Manenti, R. Safe as a Cave? Intraspecific Aggressiveness Rises in Predator-Devoid and Resource-Depleted Environments. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **2019**, *73*, 1–14.
72. Michalko, R.; Řežucha, R. Top Predator’s Aggressiveness and Mesopredator’s Risk-Aversion Additively Determine Probability of Predation. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **2018**, *72*, 1–8.
73. Dufty Jr, A.M. Testosterone and Survival: A Cost of Aggressiveness? *Hormones and Behavior* **1989**, *23*, 185–193.
74. Laine, V.N.; van Oers, K. The Quantitative and Molecular Genetics of Individual Differences in Animal Personality. *Personality in nonhuman animals* **2017**, 55–72.
75. Martins, E.P.; Bhat, A. Population-Level Personalities in Zebrafish: Aggression-Boldness across but Not within Populations. *Behavioral Ecology* **2014**, *25*, 368–373.
76. Sih, A.; Bell, A.M.; Johnson, J.C.; Ziemba, R.E. Behavioral Syndromes: An Integrative Overview. *The quarterly review of biology* **2004**, *79*, 241–277.
77. Sih, A.; Cote, J.; Evans, M.; Fogarty, S.; Pruitt, J. Ecological Implications of Behavioural Syndromes. *Ecology letters* **2012**, *15*, 278–289.
78. Modlmeier, A.P.; Keiser, C.N.; Wright, C.M.; Lichtenstein, J.L.; Pruitt, J.N. Integrating Animal Personality into Insect Population and Community Ecology. *Current Opinion in Insect Science* **2015**, *9*, 77–85.
79. Briffa, M.; Sneddon, L.U.; Wilson, A.J. Animal Personality as a Cause and Consequence of Contest Behaviour. *Biology letters* **2015**, *11*, 20141007.
80. Richardson, M.L.; Mitchell, R.F.; Reagel, P.F.; Hanks, L.M. Causes and Consequences of Cannibalism in Noncarnivorous Insects. *Annual review of entomology* **2010**, *55*, 39–53.
81. Fox, L.R. Cannibalism in Natural Populations. *Annual review of ecology and systematics* **1975**, *6*, 87–106.



Problèmes

- Veuillez décrire les obstacles ou les problèmes dans la réalisation de cette activité durant la période visée par le rapport. Comment ont-ils été surmontés ou comment comptez-vous les surmonter?
- Veuillez décrire tout changement potentiel au plan de travail et au budget durant la période visée par le rapport. Comment ont-ils été gérés ou comment comptez-vous les gérer?

Aucun problème rencontré, le projet a été terminé dans les conditions prévues.

Réalisations clé

Une réalisation clé est une importante réalisation ou un résultat concret que les agriculteurs, le secteur ou le milieu scientifique pourraient utiliser. Veuillez décrire des réalisations clé (un à trois paragraphes) qui répondent à l'un des critères suivants :

- 10) Le produit à un certain potentiel commercial (tous les essais sont terminés).
- 11) Le produit a été commercialisé.
- 12) Le produit a été adopté par le secteur.

Vous pourriez donner comme exemples de résultats concrets une durabilité accrue (pratique de gestion bénéfique), la réduction des coûts, l'augmentation de la productivité ou une rentabilité accrue. Veuillez prendre note que les renseignements fournis seront utilisés à des fins de communication seulement.

Si aucune réalisation clé n'a été achevée à ce stade, veuillez ne rien inscrire ici.

Notre expérience a démontré la pertinence de considérer les différences génétiques dans les comportements alimentaires des prédateurs zoophytophages en milieu agricole. Nos résultats peuvent être concrètement utilisés par les producteurs, les fournisseurs d'agents de lutte biologique (e.g., Koppert, Anatis Bioprotection, Applied Bio-nomics, etc.) et les scientifiques. Ce sont plus de 3600 individus qui ont été testés pour créer des lignées fortement et faiblement zoophages. Au total, 30 579 tomates ont été récoltées et observées pour déterminer le taux de dommages aux fruits occasionnés par les différentes lignées des *D. hesperus*.

Les résultats confirment l'existence de variabilité génétique dans les comportements alimentaires des prédateurs zoophytophages et qu'un certain degré de spécialisation alimentaire est observé chez ces organismes. Plusieurs aspects de la biologie et de l'écologie des prédateurs zoophytophages ont été étudiés dans les 25 dernières années. Ces études ont mené à la commercialisation de différentes punaises prédatrices comme *Macrolophus pygmaeus*, *Nesidiocoris tenuis* et *Dicyphus hesperus*. Ces agents de lutte biologique efficaces demandent une gestion particulière parce qu'ils peuvent causer des dommages aux cultures. Les connaissances que nous ajoutons permettront de mieux comprendre comment optimiser l'apport de ces prédateurs à la lutte biologique et de réduire les risques. Plusieurs espèces de Miridae sont soit commercialisées (*D. hesperus*) ou à l'étude au Canada (i.e., *Dicyphus discrepans*, *D. famelicus* et *Macrolophus tenuicornis*). De plus, des invasions d'espèces européennes comme *N. tenuis* causent des problèmes dans les serres, particulièrement dans le sud de l'Ontario. Ainsi, notre projet sur *D. hesperus* offre des pistes de solutions dans l'étude de ces différentes espèces dont l'intérêt économique est important. Enfin, nos résultats peuvent être appliqués aux Miridae ravageurs, notamment *Lygus lineolaris* dont le potentiel évolutif a été étudié dans ce projet Agri-Science (ASP-009-10).

Les fournisseurs d'agents de lutte biologique démontrent déjà leur intérêt pour nos résultats. D'ailleurs, ils appuient un nouveau projet déposé dans le cadre d'Agri-Science grappes scientifiques horticoles en collaboration avec Roselyne Labbé de Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ce nouveau projet est une



suite logique à l'actuel projet. Ainsi, des lignées de prédateurs zoophytophages pourraient être produites et commercialisées. Nos résultats confirment l'intérêt pour cette approche et fournissent des renseignements utiles qui permettront de l'optimiser.

Enfin, nos résultats ont un grand intérêt pour les producteurs. Les lignées développées dans le cadre du projet sont déjà utilisées par l'entreprise Savoura-Sagami dans leurs serres de Sainte-Sophie (Québec). L'intérêt pour nos résultats réside dans l'efficacité des lignées très zoophages et dans leur niveau de risque plus faible que les lignées commerciales. L'utilisation à grande échelle de lignées très zoophages et spécialisées sur une diète animale permettra de mieux comprendre et perfectionner cette approche.