

COMPLÉMENTARITÉ DE PRÉDATEURS COMMERCIAUX POUR LUTTER CONTRE LA DROSOPHILE À AILES
TACHETÉES EN FRAISES À JOURS NEUTRES BIOLOGIQUES

20-038-IRDA

DURÉE DU PROJET : MARS 2020-JUIN 2022

RAPPORT FINAL

Réalisé par :

Annabelle Firlej (IRDA), Élisabeth Ménard (IRDA), Simon Legault (IRDA), Kim Ostiguy (IRDA),
Christian Lacroix (MAPAQ) et Michèle Grenier (IRDA)

Juin 2022

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

Complémentarité de prédateurs commerciaux pour lutter contre la drosophile à ailes tachetées en fraises à jours neutres biologiques

20-038-IRDA

RÉSUMÉ DU PROJET

Pour lutter contre la drosophile à ailes tachetées (DAT) dans les cultures biologiques, seul l'insecticide Entrust™ est possible d'utilisation, mais il y a un risque élevé de développement de résistance. Pour réduire l'impact phytosanitaire de ce ravageur dans les cultures de petits fruits, nous proposons d'évaluer la complémentarité de prédateurs commerciaux pour lutter contre la DAT en culture de fraises à jours neutres biologiques. Les trois prédateurs choisis (*Orius insidiosus*, *Chrysoperla* sp. et *Dicyphus hesperus*) ont démontré en laboratoire leur efficacité à manger les œufs de DAT. Trois traitements de lâchers de prédateurs en combinaison ont été comparés à un témoin dans un dispositif en bloc complet aléatoire établi dans un champ de fraises à jours neutres biologiques. Les infestations aux fruits par la DAT, les pourcentages de fruits vendables/non vendables, les rendements des parcelles, les calibres des fruits produits, les populations d'autres ravageurs, les populations de prédateurs introduits et les proportions de dommages aux fruits causés par différentes sources ont tous été évalués en fonction des trois traitements de lâchers de prédateurs. Les résultats démontrent que la combinaison de deux prédateurs a réduit significativement les proportions de fruits infestés par la DAT en 2020 et 2021 et les dommages causés aux fruits par la punaise terne en 2021. Cependant, la qualité des prédateurs peut être variable et le nombre à introduire difficile à ajuster rapidement. Pour toutes les autres variables mesurées, les effets des prédateurs sont non-significatifs. Les lâchers de prédateurs commerciaux complémentaires montrent un potentiel pour lutter contre la DAT en fraise à jours neutres biologique mais l'aspect économique de cette méthode de lutte nécessite encore de l'optimisation. Les résultats qui découlent de ce projet sont tous de même les premiers concernant l'efficacité de combinaisons de prédateurs commerciaux à réguler les populations de la drosophile à ailes tachetées dans une régie de production de fraises à jours-neutres biologiques.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

Introduction

Les prédateurs commerciaux *Chrysoperla spp.*, *Orius insidiosus*, *Dalotia coraria* et *Dicyphus hesperus* se nourrissent d'œufs et de larves de drosophile à ailes tachetées (DAT) et sont compatibles avec l'utilisation de biopesticides (Safer's Insecticidal Soap®, Bioprotect CAF, Trounce® et à un certain degré avec Pyganic™) (Firlej et Vanoosthuyse 2022; Firlej et al. 2019; Renkema et al. 2015). Ils peuvent aussi s'alimenter de proies alternatives présentes sur la culture de fraise qui permettrait d'aider à stabiliser leur populations (Tableau 1). Ces prédateurs ont été évalués lors d'essais préalable en laboratoire pour leur efficacité à contrôler les populations de DAT (Bonneau et al. 2019; Firlej et al. 2019).

Tableau 1. Ravageurs des parcelles sujets à être consommés par les prédateurs introduits aux différents stades œufs, larves ou adultes suivant les espèces.

Prédateurs	Ravageurs ciblés
<i>Orius insidiosus</i> (2020-21)	Thrips, pucerons, insectes à corps mou
<i>Dicyphus hesperus</i> (2020)	Thrips, pucerons, tétranyques
<i>Dalotia coraria</i> (2021)	Thrips, pucerons, tétranyques
<i>Chrysoperla spp.</i> (<i>C. carnea</i> et <i>C. rufilabris</i>) (2020-21)	Thrips, pucerons, tétranyques

(Informations tirées de Anatis bioprotection et PlantProducts)

Objectifs

L'objectif général du projet de recherche est de développer une méthode de lutte biologique inondative faisant appel à la complémentarité des prédateurs commerciaux cités ci-dessus en culture de fraises à jours neutres biologiques pour contrôler la DAT.

Spécifiquement pour cette étude, les objectifs suivants ont été poursuivis :

- 1- Évaluer l'efficacité de différentes combinaisons de prédateurs pour contrôler les niveaux d'infestations des fruits rouges par la DAT.
- 2- Évaluer l'effet des introductions de prédateurs sur les niveaux de populations d'autres ravageurs en champ et les dommages occasionnés par ceux-ci aux fruits rouges.
- 3- Comparer le coût des différentes techniques de lutte en fonction du rendement vendable obtenu.

Description des traitements

En 2020, les traitements étaient composés de : 1) témoins (T); 2) combinaison d'œufs de chrysopes (*C. carnea* et *C. rufilabris*) et d'*O. insidiosus* (CO); 3) combinaison d'œufs de *Chrysoperla spp.* et de *D. hesperus* (CD); 4) combinaison d'œufs de *Chrysoperla spp.*, d'*O. insidiosus* et de *D. hesperus* (COD). En 2021, il nous a été impossible de s'approvisionner en *D. hesperus*, et ce via plusieurs fournisseurs potentiels d'Amérique du Nord. Par conséquent, nous avons remplacé ce prédateur par *D. coraria* (traitements CD et COD) puisqu'il a été démontré que ce prédateur peut se nourrir de larves de DAT (Renkema et al. 2015).

Matériel et méthode

Dispositif expérimental

En 2020 et 2021, un champ de 0,2 ha de fraises à jours neutres (variété Seascape) a été mis en place à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique de Saint-Bruno-de-Montarville. Un résumé de la régie de culture est fourni en annexe (Tableau A1). L'expérience a été réalisée selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets composé de quatre traitements et cinq répétitions (Figure 1). Chaque répétition comprenait 4 buttes de fraisiers de 68 cm sur sept mètres de long. Chaque répétition était espacée de cinq mètres de la suivante pour diminuer le déplacement des prédateurs qu'il est impossible de quantifier. À chaque année, un HOBO (Onset Computer Corporation) était installé en début de saison au centre du dispositif expérimental pour enregistrer les données de température et d'humidité (Fig. 2A et B)

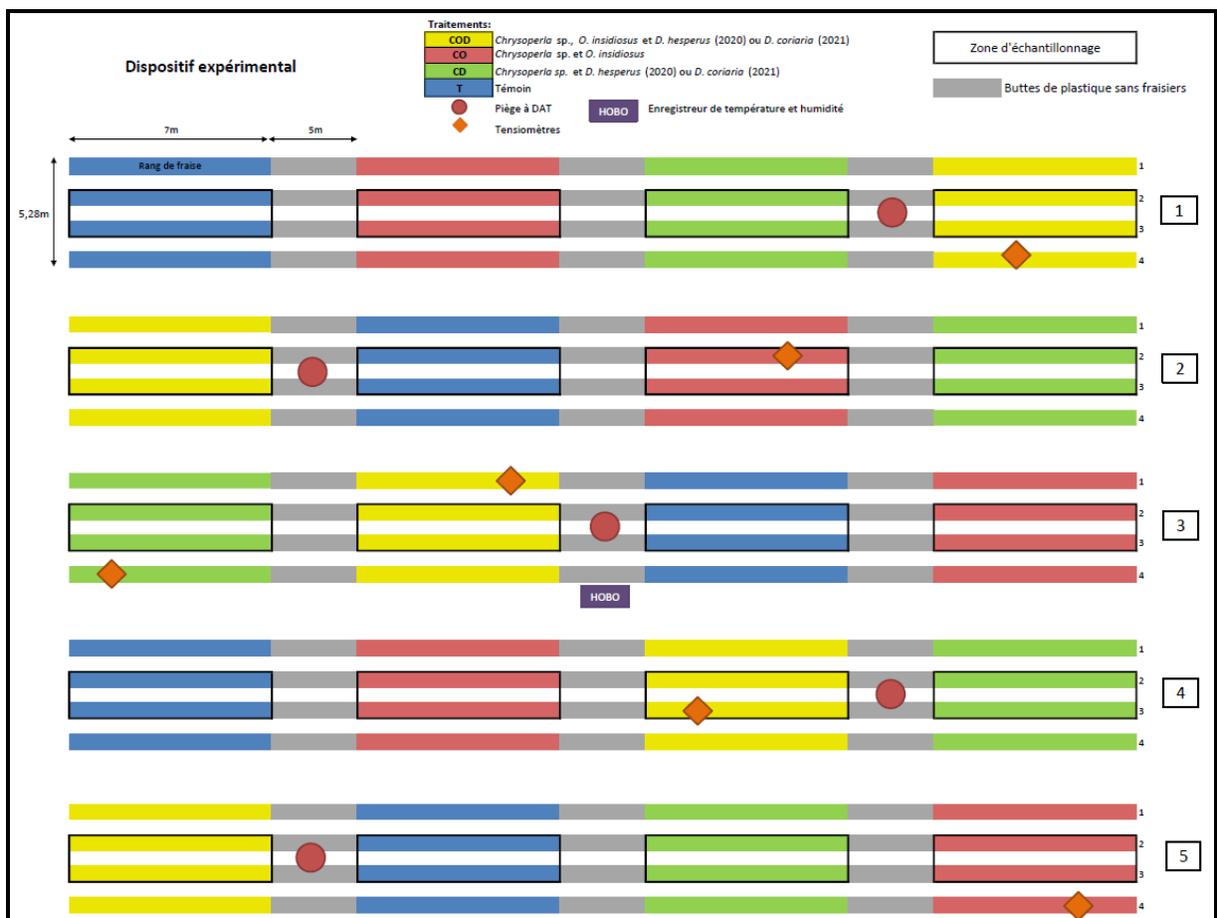


Figure 1. Plan du dispositif expérimental en 2020 et 2021.

Introduction des prédateurs commerciaux

Les différents prédateurs ont été achetés chez Plant Products (bouteilles d'adultes d'*O. insidiosus* et cartes d'œufs de *Chrysoperla* spp.) et Anatis Bioprotection (bouteilles d'adultes de *D. hesperus* et *D. coriaria*). Ils ont été introduits en champ selon les taux d'introduction recommandés par les fournisseurs en mode curatif (Tableau 2). Il faut cependant noter que ces taux ne sont pas nécessairement adaptés pour la lutte contre la DAT en champs de

fraisiers. Ces taux sont adaptés pour les ravageurs pour lesquelles sont vendus les prédateurs tel que les thrips, aleurodes, pucerons, acariens, collemboles, cochenilles, etc. Les premières introductions ont été effectuées environ une semaine avant l'apparition des premiers fruits rouges (9 juillet 2020 et 23 juin 2021) pour permettre un établissement des prédateurs avant les premières récoltes. Par la suite, les introductions ont été répétées hebdomadairement pendant 11 (2020) et 13 semaines (2021). Les prédateurs ont été introduits sur des plants pré-identifiés pour s'assurer d'une répartition spatiale uniforme des prédateurs au sein de chaque unité expérimentale. Un exemple de plan d'introduction est fourni en annexe (Figure A1).

Tableau 2. Taux d'introduction recommandés pour les prédateurs à l'essai pour chaque semaine.

Prédateurs	<i>Chrysoperla</i> spp.	<i>O. insidiosus</i>	<i>D. hesperus</i>	<i>D. coriaria</i>
Année(s) d'introduction	2020-21	2020-21	2020	2021
Fournisseurs	Plant Products	Plant Products	Anatis Bioprotection	Anatis Bioprotection
Format(s)	Cartes d'œufs	Bouteilles d'adultes	Bouteilles d'adultes	Bouteilles d'adultes
Taux d'introduction (individus/m²)	10	2,5 à 5	0,25-0,5	2,5 à 5
Superficie à couvrir (m²)	420	280	280	280
Individus totaux voulus	4200	1400	140	1400
Individus par traitement (140m²)	280	140	14	140

Contrôles qualité des prédateurs introduits

Dès la réception des cartes d'œufs de *Chrysoperla* spp., des contrôles qualité étaient réalisés aux deux semaines (2020) ou à chaque semaine (2021). Dix cartes d'œufs étaient collées sur un piège collant, puis les œufs de *Chrysoperla* spp. d'apparence sains étaient dénombrés. Les cartes étaient ensuite incubées à 28°C pendant deux semaines (2020) ou à 25°C pendant une semaine (2021). Les conditions ont varié d'une année à l'autre en fonction de la disponibilité en main d'œuvre et en chambre de croissance. Après ces périodes, les œufs morts et vides étaient dénombrés, ainsi que les larves retrouvées sur le piège collant afin d'estimer un taux d'émergence.

En 2020, lors des introductions d'*O. insidiosus* et de *D. hesperus*, il a été difficile de réaliser des contrôles qualité car les quantités reçues étaient tout juste suffisantes même pour les introductions en champ. Pourtant, les quantités ont toujours été commandées avec une marge de sécurité. En 2021, il y avait suffisamment d'individus d'*O. insidiosus* et de *D. coriaria* pour les contrôles qualité et les introductions. Pour ces prédateurs, les contrôles qualité consistaient à isoler des groupes de 20 adultes dans des godets de plastique de 1 oz avec un coton imbibé d'eau distillée. Ceux-ci étaient ensuite incubés à 25°C pendant 24h, période après laquelle les taux de survie étaient mesurés.

Suivi des populations de DAT

Pour estimer l'évolution des densités naturelles de populations de DAT, cinq pièges JPTrap (MAPAQ 2013) ont été installés dans le dispositif expérimental (Figure 1) sur piquets de bois les 30 juin 2020 et 22 juin 2021. Les pièges contenaient 350 ml d'appât à base de levure et de sucre. Le contenu des pièges était changé aux sept jours jusqu'à la fin des récoltes de fraises (13 et 14 semaines). Les DAT ainsi récoltées étaient identifiées au laboratoire sous une loupe binoculaire en différenciant les sexes (Hauser 2011). Étant donné les faibles niveaux d'infestation aux débuts des saisons de récolte des fruits rouges (Figure 2C et D), nous avons volontairement introduit à deux reprises 200 individus adultes de DAT de notre élevage, soit les 10 et 14 août 2020 (Figure 2E). Le même scénario est survenu en 2021, pour des introductions de DAT les 5 et 12 août (Figure 2F).

Dépistage des autres ravageurs et des prédateurs introduits

Un dépistage hebdomadaire des ravageurs pouvant causer des dommages sur fruits rouges ainsi que des ravageurs sujets à être consommés par les prédateurs introduits (thrips, tétranyques à deux points et punaises ternes) a été réalisé à partir des premières introductions de prédateurs jusqu'à la fin de la saison (29 septembre 2020 et 27 septembre 2021). Il a été réalisé sur les deux rangs du centre de chaque parcelle selon les méthodes indiquées dans le Tableau 3. Les niveaux de populations de prédateurs commerciaux introduits ont aussi été évalués par des frappes d'hampes florales et par l'observation de plants de manière hebdomadaire (Tableau 3). Ce dépistage était réalisé tous les lundis et les introductions de prédateurs se faisaient tous les jeudis.

Tableau 3 : Méthodes de dépistage hebdomadaire utilisées pour chaque parcelle afin d'estimer les niveaux de population des ravageurs et prédateurs commerciaux.

Ravageurs et prédateurs	Méthode de dépistage
Tétranyque à deux points	3 folioles par plant pour 5 plants
Punaise terne et thrips	10 hampes frappées
Larves de <i>Chrysoperla spp.</i>	10 plants observés
<i>Orius insidiosus</i> (2020-21), <i>D. hesperus</i> (2020) et <i>D. coriaria</i> (2021)	10 hampes frappées

Rendements, calibres et dommages des fruits

Dès l'obtention des fruits rouges jusqu'au 2 octobre 2020 et 1^{er} octobre 2021, tous les fruits matures de 12 fraisiers choisis aléatoirement sur les deux rangs du milieu de chaque unité expérimentale ont été récoltés 2-3 fois par semaine, dénombrés et pesés afin d'estimer les rendements et calibres moyens tout au long de la saison de récolte (Boivin et al. 2013). Tous les autres fruits matures des deux rangs du centre de chaque unité expérimentale étaient également récoltés. De ces cueillettes, 30 fruits choisis aléatoirement ont été triés en fruits vendables ou non vendables et ceux ayant des dommages observables par des larves de DAT ont été comptabilisés. De plus, les fruits non vendables ont été qualifiés pour les dommages causés par les ravageurs potentiellement affectés par les prédateurs commerciaux (punaises ternes et thrips).

Infestation des fruits par la DAT

Les 30 fruits sélectionnés aléatoirement pour chaque unité expérimentale étaient également tous incubés pendant 15 jours (23 ± 1 °C et 50 % HR) pour permettre le développement des DAT et l'émergence des adultes. Les fruits étaient placés individuellement dans des godets de plastique de 5,5 oz sur une couche de 1-2 cm de sable stérile afin d'absorber le jus des fraises et éviter la noyade des larves de DAT. Après la période d'incubation, les DAT adultes étaient dénombrées, sexées et identifiées à l'espèce (Hauser 2011). Les adultes des autres espèces de drosophiles étaient également comptabilisés.

Analyse des données

Les données de dépistage, de rendements, calibres et dommages ont été comptabilisées pour 1) toute la saison de récolte ou 2) des périodes spécifiques délimitées *a posteriori* en fonction des changements de densité des populations de DAT dans les fruits rouges (Figure 2G et H). L'objectif de cette approche était de déterminer l'effet des traitements lorsque les densités de DAT sont faibles vs élevées. Ainsi, en 2020, les données ont été analysées en fonction de trois périodes : i) du 6 au 13 août (densités faibles); ii) du 18 août au 18 septembre (densités élevées); iii) du 18 septembre au 2 octobre (densités faibles) (Figure 2G). En 2021, les données ont été analysées en fonction de deux périodes : i) du 6 août au 3 septembre (densités faibles); ii) du 7 septembre au 1^{er} octobre (densités élevées) (Figure 2H).

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec R (version 4.2.1; R Development Core Team, 2021). À l'aide de la librairie « *lme4* » (Bates 2019), des modèles linéaires mixtes généralisés (MLMG) ont été réalisés pour comparer les données de proportions suivant une distribution binomiale (fonction de lien logit) ou les données de dénombrement suivant une distribution de Poisson (fonction de lien log). Des modèles linéaires mixtes (MLM) ont été réalisés pour comparer les données suivant une distribution normale. Pour les modèles utilisant les données compilées sur l'ensemble des saisons 2020 et 2021, le facteur fixe « Traitement » et l'effet aléatoire « Bloc » étaient considérés. Pour les modèles utilisant les données compilées par périodes d'analyses (Figure 2G et H), les facteurs fixes « Traitement », « Période » et « Traitement × Période » étaient considérés dans les modèles, de même que l'effet aléatoire « Bloc ». Des matrices de variance-covariance étaient également modélisées pour tenir compte des corrélations entre les mesures répétées. En utilisant la librairie « *emmeans* » (Lenth 2019), des moyennes marginales étaient ensuite estimées (EMM) pour décrire les différences significatives entre les traitements pour un seuil α de 0,05. Puisque que la librairie « *lme4* » ne fournit pas de *P-values* pour déterminer les effets significatifs des traitements, les *P-values* obtenues via la librairie « *emmeans* » sont présentées dans le texte.

RÉSULTATS

Objectif 1 : Évaluer l'efficacité de différentes combinaisons de prédateurs pour contrôler les niveaux d'infestations des fruits rouges par la DAT.

Suivi des populations de DAT

En 2020, les premiers fruits rouges ont été observés et récoltés entre le 13 et 16 juillet (Figure 2C). Cependant, une période très chaude vers la fin juin 2020 a inhibé la production de fleurs, et donc la production de fruits à la troisième semaine de juillet. En effet, l'initiation florale des fraises à jours neutres se fait difficilement au-dessus de 25°C (Nishiyama et Kanahama 2000). Cette absence de fruits a peut-être joué sur l'absence de développement de DAT dans le champ en début de saison (Figure 2G), ce qui a nécessité des introductions d'individus issu des élevages de l'IRDA. Vers la mi-août, les populations de DAT ont atteint des niveaux acceptables pour l'expérience, puis ont diminuées de manière importante vers la mi-septembre (Figure 2E et G).

En 2021 les premiers fruits rouges ont été observés et récoltés vers la fin du mois de juin (Figure 2D). Cependant, comme en 2020, des températures élevées ont probablement inhibé la production de fruits pour une bonne partie du mois de juillet (Figure 2H). Très peu de DAT étaient observées dans les pièges (Figure 2F) et les fruits rouges (Figure 2H) jusqu'à la fin du mois d'août. Contrairement à 2020, les populations de DAT dans les fruits rouges sont ensuite restées relativement élevées jusqu'à la dernière récolte de fraises, le 1^{er} octobre (Figure 2H).

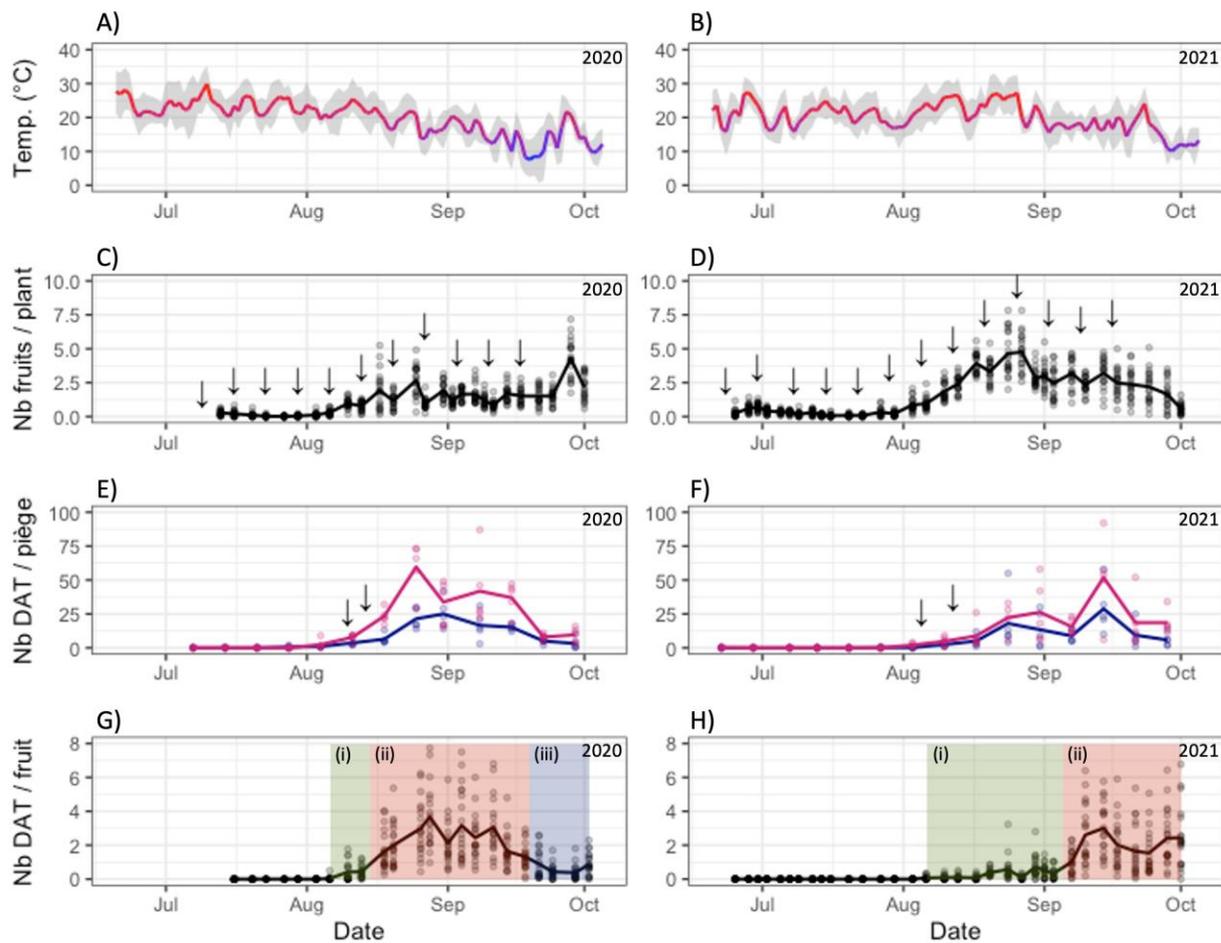


Figure 2. A-B) Températures moyennes (traits pleins), minimales et maximales (zones grises) quotidiennes enregistrées à l'aide d'un HOBO placé au centre du champ en 2020 (A) et 2021 (B). C-D) Nombre de fruits rouges par plants (•) et moyennes (traits pleins) par dates de récoltes en 2020 (C) et 2021 (D). Les flèches (↓) indiquent les dates d'introduction des prédateurs. E-F) Nombre de DAT mâles (•) et femelles (•) par pièges et moyennes (traits pleins) pour les 5 pièges en 2020 (E) et 2021 (F). Les flèches (↓) indiquent les dates d'introduction des DAT produites en laboratoire. G-H) Nombres de DAT par fruits rouges (•) et moyennes (traits pleins) par dates de récoltes en 2020 (G) et 2021 (H). Les zones de couleur représentent les différentes périodes d'analyses des données (voir texte).

Introduction des prédateurs commerciaux et contrôles qualité

En 2020, la qualité des prédateurs reçus tout au long de la saison était faible. Le nombre d'individus dans la majorité des commandes était inférieur à ce que le fournisseur annonçait pour *O. insidiosus* et *D. hesperus*. L'hypothèse est que des délais de livraison, liés à la crise sanitaire COVID-19, ont influencé énormément la qualité des produits à leur arrivée. De ce fait, il est arrivé à quelques reprises que les taux d'introduction pour *O. insidiosus* et *D. hesperus* aient été inférieures aux taux recommandés (Tableau 2). Puisque les individus reçus étaient prioritairement alloués aux introductions hebdomadaires en champs, peu de contrôles qualité ont pu être effectués pour *O. insidiosus* et *D. hesperus*. Le peu de données obtenues suggèrent néanmoins qu'*O. insidiosus* était plus résistant au transport que *D. hesperus* (taux de survie moyens après 24 h de 89,7 et 50,0 %, respectivement). Pour les cartes d'œufs de *Chrysoperla* spp., les contrôles qualité ont indiqué un taux d'émergence moyen sur la saison de 29,1 %. Nous avons également observé du cannibalisme chez les

jeunes larves: en moyenne, seulement 4 % des œufs se développaient en larves de stade 2. Cela réduisait assurément le nombre d'individus réellement introduits en champ.

En 2021, les livraisons de prédateurs étaient moins retardées qu'en 2020 ce qui a fait que les quantités de prédateurs vivants étaient toujours suffisantes pour les introductions au champ. En 2021, des contrôles qualité hebdomadaires ont pu être réalisés tout au long de la saison. Les taux de survie d'*O. insidiosus* et *D. coriaria* après 24 h était très élevés (94,0 et 98,3%, respectivement), et les taux d'émergence des œufs de *Chrysoperla* spp. étaient supérieurs à 2020 (46,8% en moyenne sur la saison). Les résultats des contrôles qualités réalisés en 2020 et 2021 sont présentés en annexe (Annexe A2).

Les dépistages hebdomadaires en 2020 et 2021 ont permis de démontrer un établissement partiel des populations des prédateurs introduits en champ. Très peu de larves de *Chrysoperla* spp. ont été observées sur les plants de fraises en 2020 (8 individus observés sur toute la saison) et 2021 (2 individus). Lors des visites, nous avons régulièrement observé que les cartes d'œufs étaient complètement dépourvues d'œufs après 1-2 jours, ce qui résultait probablement de la prédation naturelle en champ (par des coccinelles, par exemple). À l'inverse, *O. insidiosus* était relativement abondant lors des dépistages en 2020 et 2021 (voir Figure A3 en annexe), mais sans différences significatives entre les traitements (2020 : ddl=3; $F=1,22$; $p=0,310$; 2021 : ddl=3; $F=0,36$; $p=0,786$; Annexe A3-A et B). Lors des dépistages hebdomadaire effectués tous les lundis en pré-saison (*i.e.*, avant l'apparition des premières DAT dans les fruits rouges; Figure 1G et H), les densités de populations atteignaient en moyenne 0,16 individus par frappe en 2020 (Annexe A3-C) et 0,23 individus par frappe en 2021 (Annexe A3-D). Les densités augmentaient par la suite et atteignaient généralement des valeurs moyenne d'au moins 0,5 individus par frappe jusqu'à la fin des saisons 2020 et 2021 (Annexe A3-C et D). En 2020, seulement deux d'individus de *D. hesperus* ont été observés lors des dépistages hebdomadaires. En 2021, seulement 10 individus de *D. coriaria* ont été observés sur des plants contenant des fruits très mûrs.

Infestation des fruits par la DAT

Pour l'ensemble des saisons de récoltes en 2020 et 2021, les proportions des fruits infestés par la DAT étaient différentes entre les traitements (2020 : ddl=3; $F=34,71$; $p<0,001$; 2021 : ddl=2; $F=41,78$; $p<0,001$; Figure 3A et B).

En 2020, 31,2% des fruits récoltés étaient infestés par la DAT dans les parcelles CO, CD et COD, ce qui était significativement inférieur aux 42,1 % des fruits infestés dans les parcelles témoins (Figure 3A). Cependant, à la fin de la saison de récoltes, lorsque le nombre de fruits par plant a augmenté (Figure 1C) et que le nombre de DAT par fruit a diminué (Figure 1G), il n'y avait pas de différences significatives entre les parcelles témoins et COD (Figure 3C).

En 2021, nous avons observé des différences significatives pour la proportion des fruits infestés par la DAT entre les parcelles témoins (19,9 %) et les parcelles CO et CD (13,3 %), mais il n'y avait pas de diminution significative dans les parcelles COD (19,6 %) (Figure 3B). Ces différences se sont maintenues tout au long de la saison (Figure 3D). En 2020 et 2021, les nombres moyens de DAT par fruit suivaient les mêmes tendances par traitements et par périodes que pour les proportions de fruits infestés, mais les différences entre les traitements n'étaient pas significatives (Figure 4).

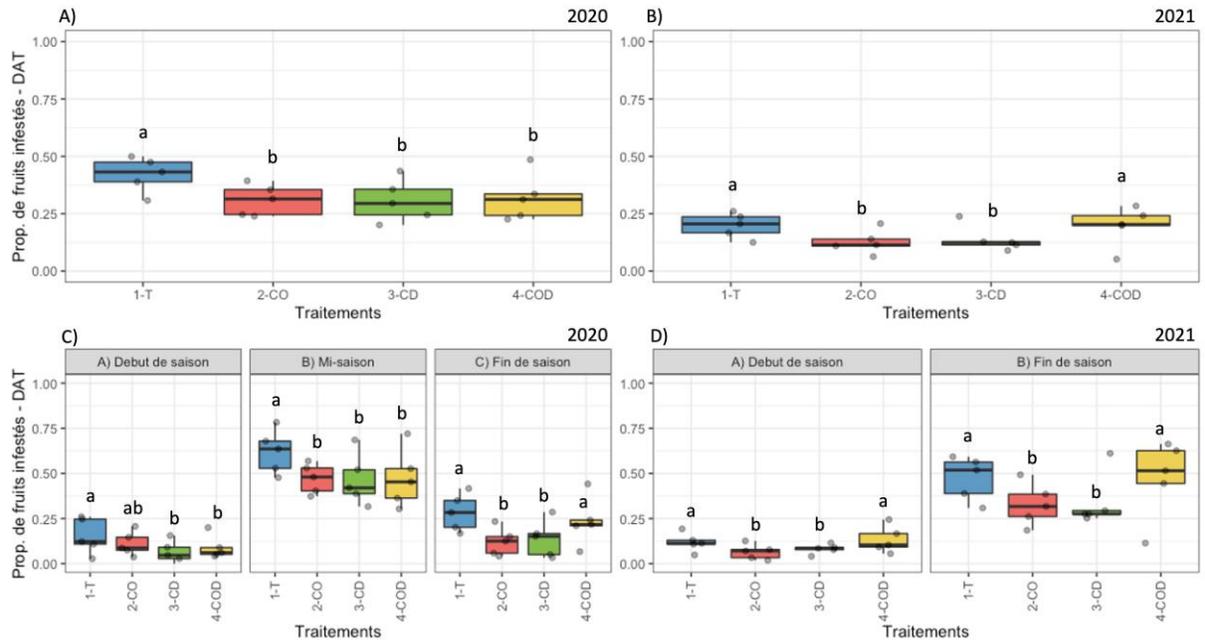


Figure 3. Proportion des fruits infestés par la DAT. **A-B)** Proportions moyennes des fruits infestés par la DAT sur la saison pour chaque traitement en 2020 (A) et 2021 (B). **C-D)** Proportions moyennes des fruits infestés par la DAT par périodes d'analyses (voir Figure 1G et H) pour chaque traitement en 2020 (C) et 2021 (D). Pour chaque comparaison entre les traitements (T : témoins; CO : œufs de *Chrysoperla* spp. et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

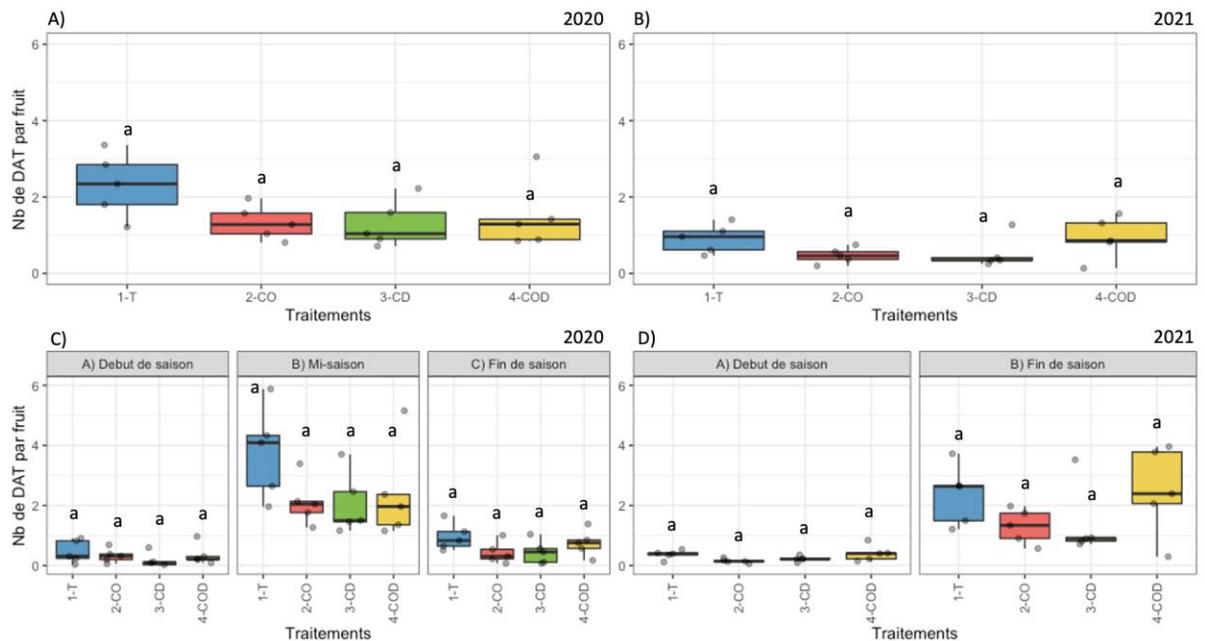


Figure 4. Nombres moyens de DAT par fruit. **A-B)** Nombres moyens de DAT par fruit sur la saison pour chaque traitement en 2020 (A) et 2021 (B). **C-D)** Nombres moyens de DAT par fruit par périodes d'analyses (voir Figure 1G et H) pour chaque traitement en 2020 (C) et 2021 (D). Pour chaque comparaison entre les traitements (T : témoins; CO : œufs de *Chrysoperla* spp. et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

En ce qui concerne les proportions de fruits infestés par les autres espèces de drosophiles, nous avons observé des différences significatives pour l'ensemble de la saison entre les traitements en 2020 ($ddl=3$; $F=4,23$; $p<0,001$) et 2021 ($ddl=3$; $F=4,84$; $p<0,001$). En 2020, les proportions étaient significativement plus faibles pour les traitements CD et COD (Annexe A4). En 2021, ces proportions étaient significativement plus faibles pour l'ensemble de la saison pour les traitements CO et CD (Annexe A4). Il n'y avait pas de différences significatives entre les traitements pour les nombres moyens de drosophiles par fruits en 2020 ($ddl=3$; $F=1,46$; $p=0,264$; annexe A5) et 2021 ($ddl=3$; $F=1,04$; $p=0,402$; Annexe A5).

Finalement, concernant les dommages causés par la DAT et possiblement d'autres espèces de drosophiles directement observées sur les fruits (*i.e.*, avant la mise en incubation), ceux-ci étaient assez faibles en 2020 (2,74% des fruits) et 2021 (0,04%). Il n'y avait pas de différences significatives entre les traitements pour la proportion des fruits avec dommages causés par les drosophiles pour les saisons 2020 et 2021 (Tableau 4).

Objectif 2 : Évaluer l'effet des introductions de prédateurs sur les niveaux de populations d'autres ravageurs en champ et les dommages occasionnés par ceux-ci aux fruits rouges.

En 2020 et 2021, le principal ravageur autre que la DAT était la punaise terne. Les dépistages hebdomadaires ont montré que ce ravageur était abondant en 2020 et 2021 (Figure 5). Les traitements COD et CD arrivaient à réduire significativement la densité des populations en fin de saison en 2020 et 2021, respectivement (Figure 5). Ces hautes densités de population se sont transposées en des dommages importants sur les fruits rouges (Tableau 4; Figure 6). Sur l'ensemble de la saison 2020, 15,5% des fruits étaient endommagés et il n'y avait pas de différence significative entre les traitements (Figure 6A). Cependant, sur l'ensemble de la saison 2021, c'est 42,0% des fruits rouges qui étaient endommagés par la punaise terne et nous avons observé significativement plus de dommages dans les unités expérimentales témoins que dans les unités traitées par des introductions de prédateurs (Figure 6B). Ces différences étaient observées dès le début de la saison (traitements CO et CD), mais étaient davantage importantes en fin de saison, lorsque les niveaux de dommages étaient les plus élevés (Figure 6D).

Parmi les autres ravageurs, nous avons observé des dommages causés par *Harpalus* ou des grillons : 11,7% des fruits en 2020 et 6,9% des fruits en 2021 (Tableau 4). Nous avons observé significativement plus de ce type de dommage dans les unités CD en 2020, et CO en 2021, mais les différences étaient relativement faibles (Tableau 4).

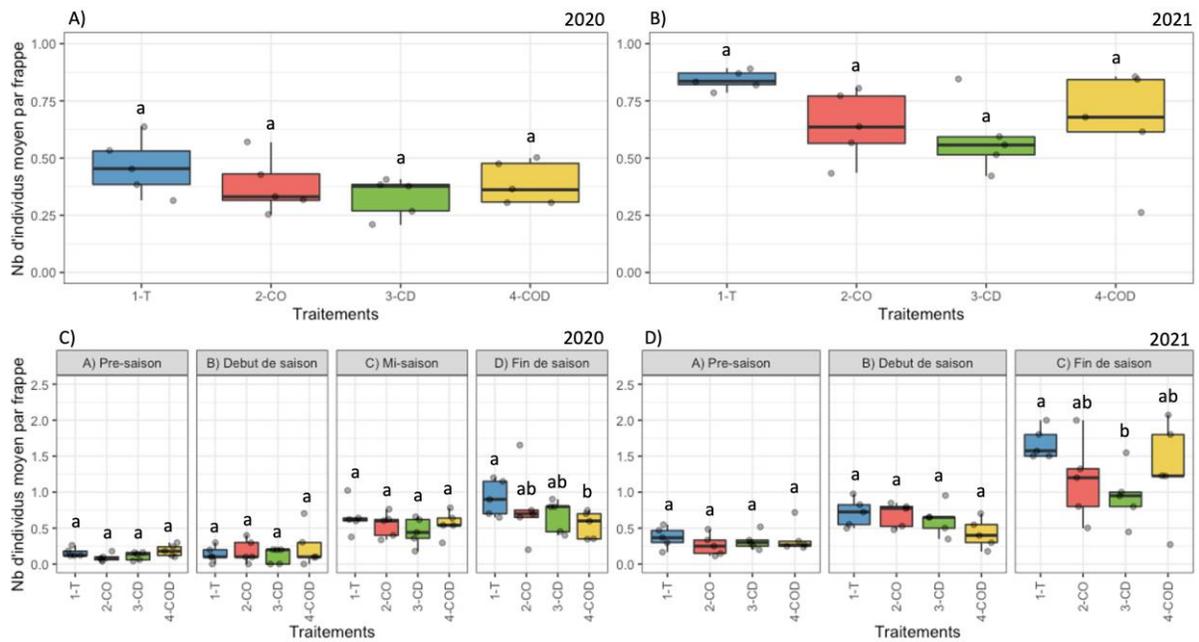


Figure 5. Dépistage de la punaise terne en champ. **A-B)** Nombres moyens d'individus par frappe sur la saison pour chaque traitement en 2020 (A) et 2021 (B). **C-D)** Nombres moyens d'individus par frappe par périodes d'analyses (voir Figure 1G et H) pour chaque traitement en 2020 (C) et 2021 (D). Pour chaque comparaison entre les traitements (T : témoins; CO : œufs de *Chrysoperla* spp. et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

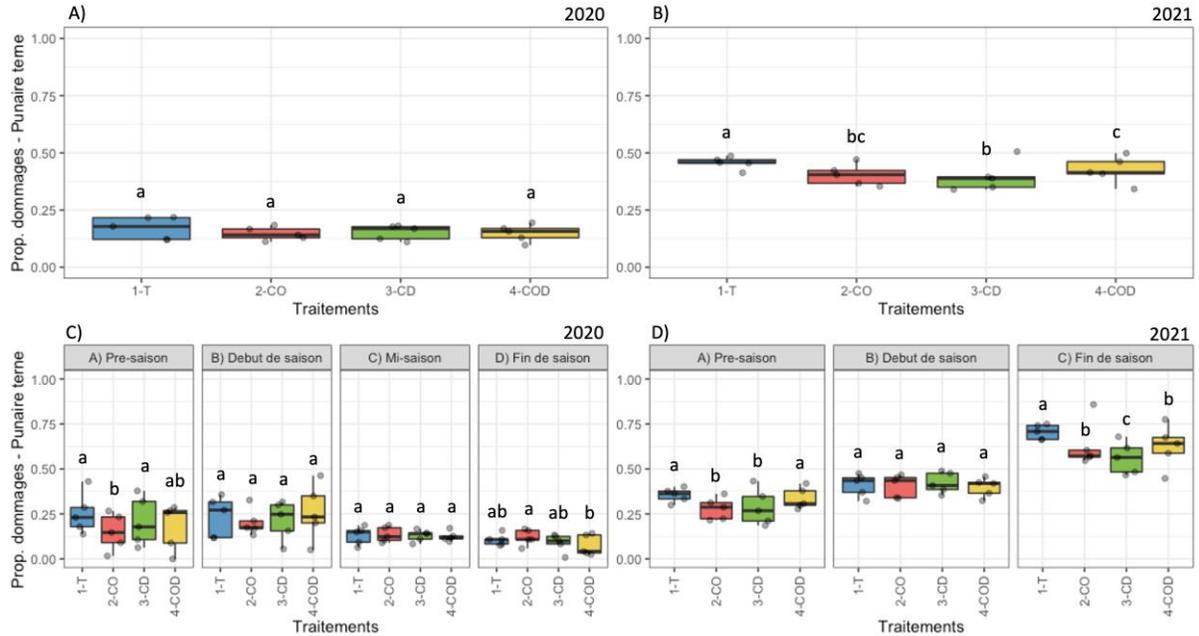


Figure 6. Proportion des fruits endommagés par la punaise terne. **A-B)** Proportions moyennes pour toute la saison pour chaque traitement en 2020 (A) et 2021 (B). **C-D)** Proportions moyennes par périodes d'analyses (voir Figure 1G et H) pour chaque traitement en 2020 (C) et 2021 (D). Pour chaque comparaison entre les traitements (T : témoins; CO : œufs de *Chrysoperla* spp. et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

Tableau 4. Proportion des fruits non-vendables et endommagés par les ravageurs, les maladies et d'autres facteurs pour l'ensemble des saisons 2020 et 2021. Pour chaque comparaison entre les traitements (T : témoins; CO : œufs de *Chrysoperla* spp.et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp.et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

	2020					2021				
	Total	T	CO	CD	COD	Total	T	CO	CD	COD
Nombre total de fruits analysés	11 226	2931	2782	2687	2826	18 709	4669	4689	4617	4734
Pourcentage des fruits non-vendables (%)	52,0	55,6 a	48,2 b	50,8 bc	53,0 ac	71,4	75,5 a	69,6 b	68,5 b	72,8 c
Dommages causés par les ravageurs (%)	39,6	39,6 a	38,6 a	38,5 a	40,6 a	47,4	49,0 a	47,3 ab	45,8 b	47,4 ab
Punaise terne	15,5	16,9 a	14,5 a	15,1 a	14,8 a	42,0	45,8 a	40,6 bc	39,8 b	42,7 c
DAT ou autres drosophiles	2,7	3,3 a	2,4 a	2,6 a	2,5 a	<0,1	0,1 a	<0,1 a	<0,1 a	0,0 a
Thrips	0,7	0,7 a	0,4 a	0,8 a	0,6 a	<0,1	0,1 a	0,0 a	0,1 a	<0,1 a
<i>Harpalus</i> ou grillons	11,7	10,4 a	11,1 ab	12,8 b	11,8 ab	6,9	5,8 a	7,6 b	7,0 ab	7,1 ab
Autres ravageurs	9,2	7,9 a	9,4 ab	7,5 a	10,2 b	2,4	1,9 a	2,4 ab	2,9 b	2,1 ab
Dommages causés par les maladies (%)	2,6	3,4 a	1,9 b	2,9 ab	2,3 ab	0,4	0,6 a	0,3 a	0,3 a	0,4 a
Autres dommages (%)	19,6	22,9 a	15,3 b	20,4 ac	17,7 bc	33,8	35,6 a	32,4 b	32,3 b	35,2 a

Objectif 3 : Comparer le coût des différentes techniques de lutte en fonction du rendement vendable obtenu.

En 2020, les lâchers de prédateurs commerciaux n'ont pas eu d'effets significatifs sur le nombre total de fruits produits sur toute la saison par les 12 plants sélectionnés au milieu de chaque parcelle ($ddl=3$; $F=0,83$; valeurs de p pour les contrastes entre 0,768 et 0,998; Figure 7A), de même que sur le rendement total moyen en livre par plant ($ddl=3$; $F=0,07$; $p=0,977$; Figure 8A) et sur le calibre moyen des fruits produits ($ddl=3$; $F=0,38$; $p=0,772$; Figure 9A). En analysant ces données par périodes de récoltes, les différences entre traitements étaient également minimales et non-significatives la plupart du temps (Figures 7C, 8C et 9C).

En 2021, nous avons observé un effet significatif de certains traitements sur le nombre total de fruits produits sur toute la saison par les 12 plants sélectionnés au milieu de chaque parcelle ($ddl=3$; $F=23,24$; $p<0,001$; Figure 7B). Comparativement aux parcelles témoins (T) moins de fruits ont été produits dans les parcelles CO et CD (Figure 7B). Ces différences ont été observées autant en début de saison qu'en fin de saison (Figure 7D). Cependant, il n'y avait pas de différences significatives entre les traitements pour le rendement total moyen ($ddl=3$; $F=0,82$; $p=0,500$; Figures 8B et 8D) et pour le calibre moyen des fruits produits ($ddl=3$; $F=1,51$; $p=0,263$; Figures 9B et 9D).

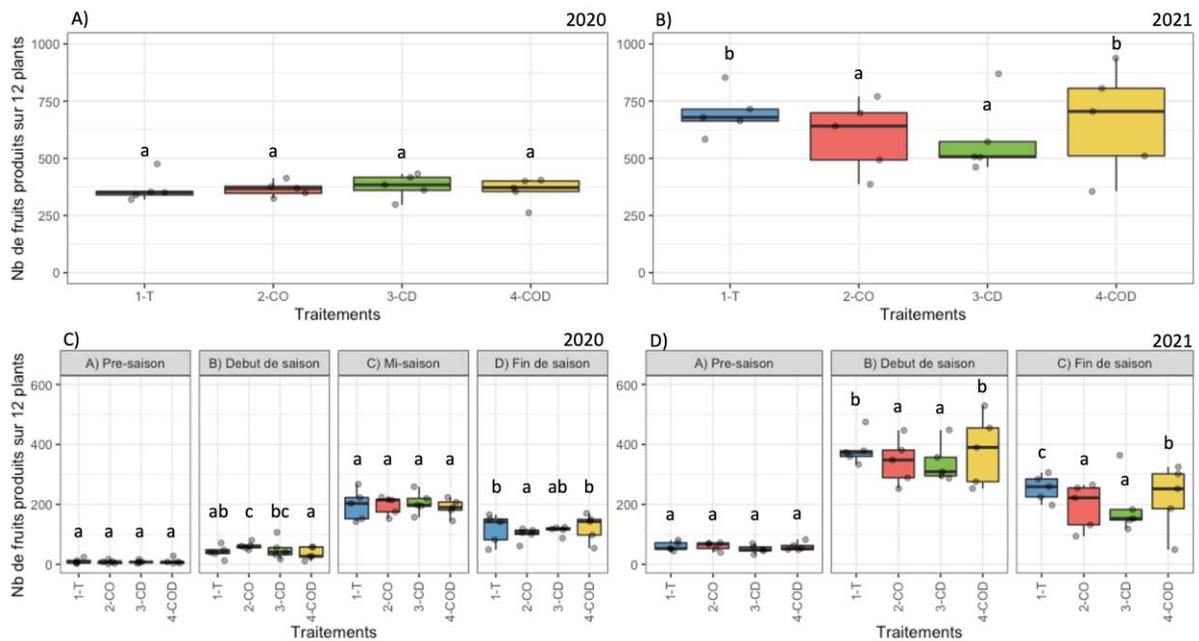


Figure 7. Nombres moyens de fruits produits sur 12 plants. **A-B)** Nombres moyens de fruits produits sur 12 plants pour toute la saison pour chaque traitement en 2020 (A) et 2021 (B). **C-D)** Nombres moyens de fruits produits sur 12 plants par périodes d'analyses (voir Figure 1G et H) pour chaque traitement en 2020 (C) et 2021 (D). Pour chaque comparaison entre les traitements (T : témoins; CO : œufs de *Chrysoperla* spp. et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

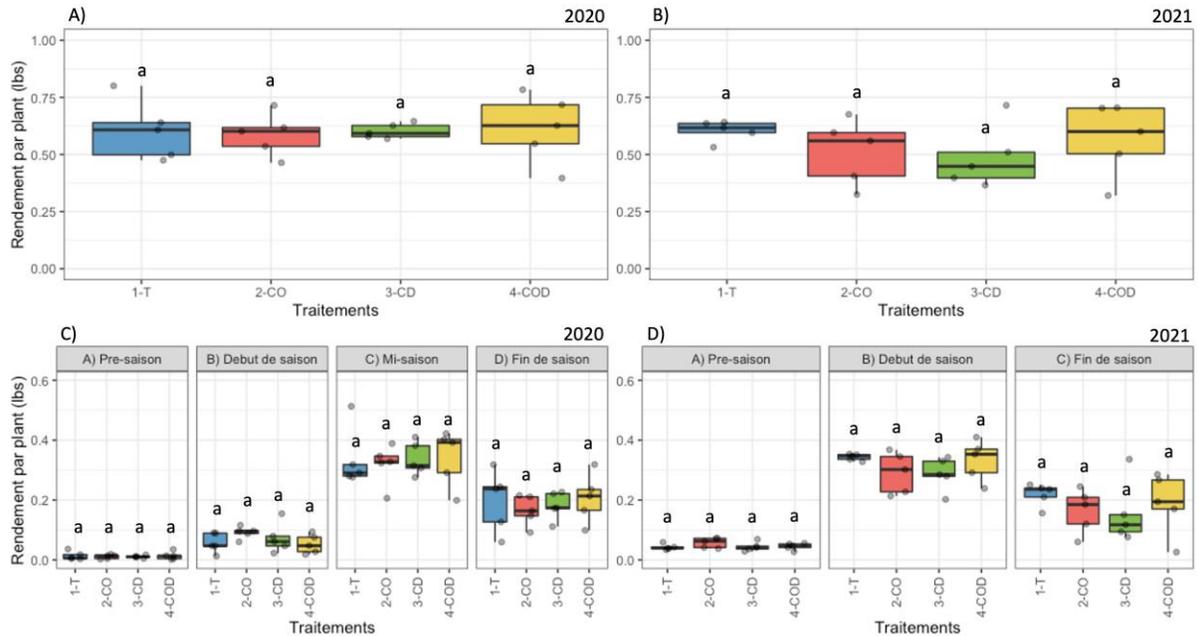


Figure 8. Rendements totaux moyens en livre par plant. **A-B)** Rendements totaux moyens pour toute la saison pour chaque traitement en 2020 (A) et 2021 (B). **C-D)** Rendements totaux moyens par périodes d'analyses (voir Figure 1G et H) pour chaque traitement en 2020 (C) et 2021 (D). Pour chaque comparaison entre les traitements (T : témoins; CO : œufs de *Chrysoperla* spp. et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

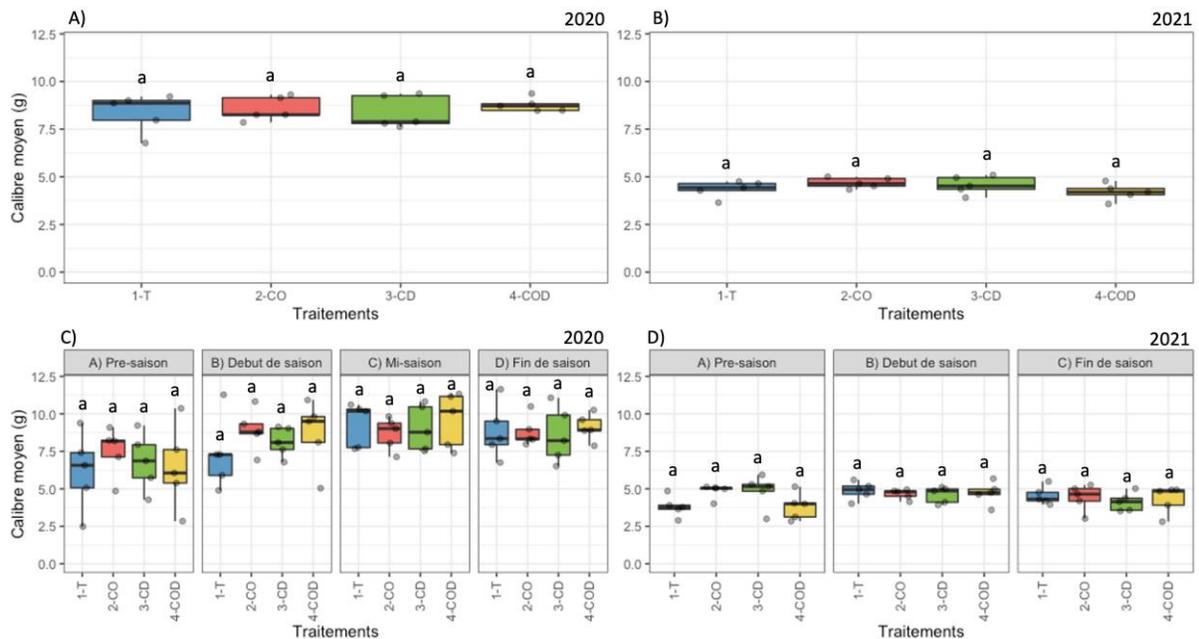


Figure 9. Calibres moyens des fruits (g). **A-B)** Calibres moyens pour toute la saison pour chaque traitement en 2020 (A) et 2021 (B). **C-D)** Calibres moyens par périodes d'analyses (voir Figure 1G et H) pour chaque traitement en 2020 (C) et 2021 (D). Pour chaque comparaison entre les traitements (T : témoins; CO : Œufs de *Chrysoperla* spp. et *Orius*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *Dicyphus* (2020) ou *Dalotia* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *Orius* et *Dicyphus* [2020] ou *Dalotia* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

Pour l'ensemble des saisons 2020 et 2021, certains traitements ont eu un effet significatif sur la proportion des fruits non-vendables (Tableau 4). En 2020, les proportions étaient significativement inférieures dans les parcelles CO (0,482) et CD (0,508) que dans les parcelles témoins (0,556) (Tableau 4). En 2021 les proportions étaient significativement inférieures dans les parcelles CO (0,696), CD (0,685) et COD (0,728) que dans les parcelles témoins (0,755) (Tableau 4). En 2020, ces différences peuvent s'expliquer en partie par une proportion plus faible de fruits ayant subi des dégâts physiques (Tableau 4). En 2021, ces différences semblent surtout attribuables à une baisse de dommages causés par la punaise terne dans les parcelles traitées avec des lâchers de prédateurs (Tableau 4; Figure 6B). Il est important de noter que les lâchers de prédateurs n'ont pas eu d'effet sur les quantités de fruits non-vendables infestés par la DAT en 2020 et 2021 (Tableau 4).

Au final, les rendements vendables par plant (i.e., les rendements multipliés par les proportions de fruits vendables) étaient relativement faibles en 2020 et 2021 (Tableau 5). Il n'y avait pas de différences significatives entre ces mesures en 2020 (ddl=3; F=0,2518; P=0,8589) et 2021 (ddl=3; F=0,680; P=0,9762) (Tableau 5).

Dans le contexte de notre étude, les traitements par introductions de prédateurs commerciaux apparaissent trop coûteux pour atteindre la rentabilité. En effet uniquement le coût de la méthode de lutte peut dépasser le prix de vente des fraises vendues (Tableau 5) sans avoir comptabilisé les coûts d'opérations, mains d'œuvre et intrants. De plus le rendement des parcelles est vraiment trop bas ici pour se comparer à un rendement d'un producteur. Si le rendement avait été de 1 livre de fraises produites par plant comme cela est possible chez un producteur alors le coût de la méthode aurait représenté environ 30% du revenu ce qui reste encore trop élevé pour dégager une marge intéressante.

Tableau 5. Rendements vendables et coût des introductions de prédateurs en 2020 et 2021. Les données sont présentées pour l'ensemble des récoltes et pour 12 introductions hebdomadaires de prédateurs. Pour chaque comparaison entre les traitements pour les rendements vendables (T : témoins; CO : œufs de *Chrysoperla* spp. et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

Année	Traitement	Rendement vendable (lbs par plant \pm SE)	Revenu au kiosque ¹ par plant	Coût de la lutte par plant (avec <i>Chrysoperla</i> spp.)	Coût de la lutte par plant (sans <i>Chrysoperla</i> spp.)
2020	T	0,27 (\pm 0,03) a	0,91 \$	-	-
	CO	0,31 (\pm 0,03) a	1,04 \$	0,97 \$	0,69 \$
	CD	0,30 (\pm 0,01) a	1,00 \$	1,12 \$	0,84 \$
	COD	0,29 (\pm 0,05) a	1,00 \$	1,80 \$	1,52 \$
2021	T	0,15 (\pm 0,01) a	0,51 \$	-	-
	CO	0,16 (\pm 0,02) a	0,53 \$	0,97 \$	0,69 \$
	CD	0,15 (\pm 0,01) a	0,50 \$	1,61 \$	1,33 \$
	COD	0,15 (\pm 0,01) a	0,51 \$	2,29 \$	2,01 \$

¹ Selon un prix de vente moyen de 7,50\$ / Kg en 2017 pour la fraise biologique (CETAB 2018).

RÉSUMÉ DES ÉLÉMENTS OBSERVÉS

De manière globale, les résultats de ce projet montrent que l'introduction de prédateurs (*Chrysoperla* spp., *O. insidiosus*, *D. hesperus* et *D. coriaria*) permet de diminuer significativement le nombre de larves de DAT par fruits et cet effet est observable après 15 jours d'incubation des fruits. Cet effet ne s'observe pas sur les dommages à la récolte car très peu de dommages attribuables à la DAT sont observables lors de la cueillette. Les proportions de fruits rouges avec des larves de DAT sont significativement plus faibles en 2020 et 2021 dans les traitements avec des combinaisons double d'œufs de *Chrysoperla* spp. et d'un autre prédateur (*O. insidiosus* ou *D. hesperus* ou *D. coriaria*). La combinaison avec trois prédateurs n'est pas aussi performante ce qui suggère une interférence dans l'activités des trois prédateurs. Au niveau du contrôle des autres ravageurs, le seul effet observé est sur la punaise terne avec des baisses significatives dans les combinaisons de deux prédateurs en 2021 mais cela reste au-dessus d'un seuil économique acceptable. Les prédateurs introduits soit perturbent l'activité de la punaise terne, soit se nourrissent sur les stades les plus jeunes.

Le contrôle qualité des prédateurs réalisé durant les deux années de l'expérience montrent que la lutte biologique reposant sur les prédateurs commerciaux est très dépendante du transport ce qui implique un risque élevé pour le producteur. Également les commandes devant être planifiées d'avance, les introductions sont toujours préventives et pourraient être difficiles à ajuster en réponse à un seuil économique. Une suite logique à ce projet serait de mieux cibler les introductions et donc de réduire les quantités introduites à des périodes clés afin d'en réduire les coûts (apparition fruits rouge en lien avec historique de première capture de DAT). Également nous n'avons pas idée de la survie des prédateurs sur les parcelles, de leur reproduction, ce qui permettrait de réajuster les quantités introduites. Le type de dépistage utilisé pour les prédateurs ne donne probablement pas une bonne idée des populations réelles car certains sont crépusculaires (*Chrysoperla* spp.) (Joschinski et al. 2017), nocturnes (*D. hesperus*) (VanLaerhoven et al. 2003) ou terricoles (*D. coriaria*) (Cloyd et Herrick 2017) et il est donc difficile d'évaluer leur présence et activité. Les introductions de deux prédateurs complémentaires ne sont pas économiques et optimisées pour l'instant et demanderaient à être plus étudiées en parcelle expérimentale (taux introduction, période, zone dans le champ, etc) sachant que des résultats significatifs ont été observés en champ.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

Les résultats qui découlent de ce projet sont les premiers concernant l'efficacité de combinaisons de prédateurs commerciaux à réguler les populations de la drosophile à ailes tachetées dans une régie de production de fraises à jours-neutres biologiques. Les producteurs biologiques de fraise à jour neutre pourraient être intéressés aux résultats de ce projet mais les retombées directes sont pour l'instant très limitées. Essentiellement car ce projet nécessiterait une étude pour optimiser les lâchers de prédateurs afin d'en diminuer les coûts et mieux cibler les périodes critiques. Également la comptabilité de certains prédateurs avec des traitement biologiques visant les autres ravageurs seraient à étudier.

REMERCIEMENTS

Ce projet a bénéficié d'une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) par l'entremise de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021 via le sous-volet 3.1 du programme Prime-Vert 2018-2023.

RÉFÉRENCES

- Boivin, C., P. Deschênes et D. Bergeron. 2013. Développer une méthode simple pour prévoir les volumes de fraisières qui sont récoltées pour un champ donné de fraisières à jours neutres. Rapport final remis au CDAQ. IRDA. 44 pages.
- Bonneau, P., J. Renkema, V. Fournier et A. Firlej. 2019. Ability of *Muscidifurax raptorellus* and other parasitoids and predators to control *Drosophila suzukii* populations in raspberries in the laboratory. *Insects* 10(3): 68.
- CETAB. 2018. <https://cetab.bio/publication/rapport-denquete-sur-le-secteur-quebecois-des-fraises-et-framboises-biologiques-2/>
- Cloyd, R. A. et Herrick, N. J. 2017. Ecology and Role of the Rove Beetle, *Dalotia coriaria*, and Insidious Flower Bug, *Orius insidiosus*, in Greenhouse Biological Control Programs. *Advances in Entomology*, 5(4), 115-126.
- Firlej, A. et F. Vanoosthuyse .2022. La drosophile à ailes tachetées, un ravageur des petits fruits au Québec. IRDA. 116 p.
- Firlej, A., P. Bonneau, É. Ménard, K. Ostiguy, V. Fournier et J. Renkema. 2020. Lutte biologique à la drosophile à ailes tachetées à l'aide de la complémentarité d'ennemis naturels commerciaux. Rapport IRDA 28 p
- 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.
- Joschinski, J., Kiess, T. et Krauss, J. 2019. Day length constrains the time budget of aphid predators. *Insect Sci.* 26: 164-170.
- MAPAQ, 2013. https://www.agrireseau.net/lab/documents/Protocole_de_fabrication_du_JP-Trap.pdf
- Nishiyama, M. et Kanahama, K. 2000. Effect of temperature and photoperiod on the development of inflorescences in everbearing strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.) plants *Acta Hort.* 514: 261-267.
- VanLaerhoven, S. L., Gillespie, D. R. et Roitberg, B. D. 2003. Diel activity pattern and predation rate of the generalist predator *Dicyphus hesperus*. *Entomol. Exp. et Appli.* 107(2): 149-154.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Annabelle Firlej, Ph.D. Entomologiste.
Téléphone : 450-653-7368 poste 363
Courriel : annabelle.firlej@irda.qc.ca
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)
335, rang des Vingt-cinq Est,
Saint-Bruno-de-Montarville (Québec) J3V 0G7

ANNEXES

Tableau A1. Informations sur les régies de cultures en 2020 et 2021.

	2020	2021
Variété plantée	Seascape racines nues	
Type de sol	Loam sableux type Aston	
Dimensions des buttes	Quatre buttes de 0,68 par 7 m pour chaque unité expérimentale	
Date de plantation	25 mai	17 mai
Irrigation	Sur consigne de tensiomètres à 10 kPa : 40 à 60 min par jour	Sur consigne de tensiomètres à 10 kPa : 20 à 40 min par jour
Fertilisation	Acti-sol à la création des buttes et ajustement par fertigation	Par fertigation
Taille des hampes florales	Semaine du 8 juin	Semaine du 31 mai
Pollinisation	Installation d'une ruche de bourdons le 25 juin au stade bouton vert avancé	Installation d'une ruche d'abeilles dès l'implantation
Traitements phytosanitaires	Trois traitements de savons insecticide Safer's (2%) contre les pucerons et tétranyques les 20 juin, 3 et 6 juillet	Quatre traitements de savons insecticide Safer's (2%) contre les pucerons les 4, 10, 16 et 23 juin
Première récolte	13 juillet	25 juin
Dernière récolte	2 octobre	1 ^{er} octobre

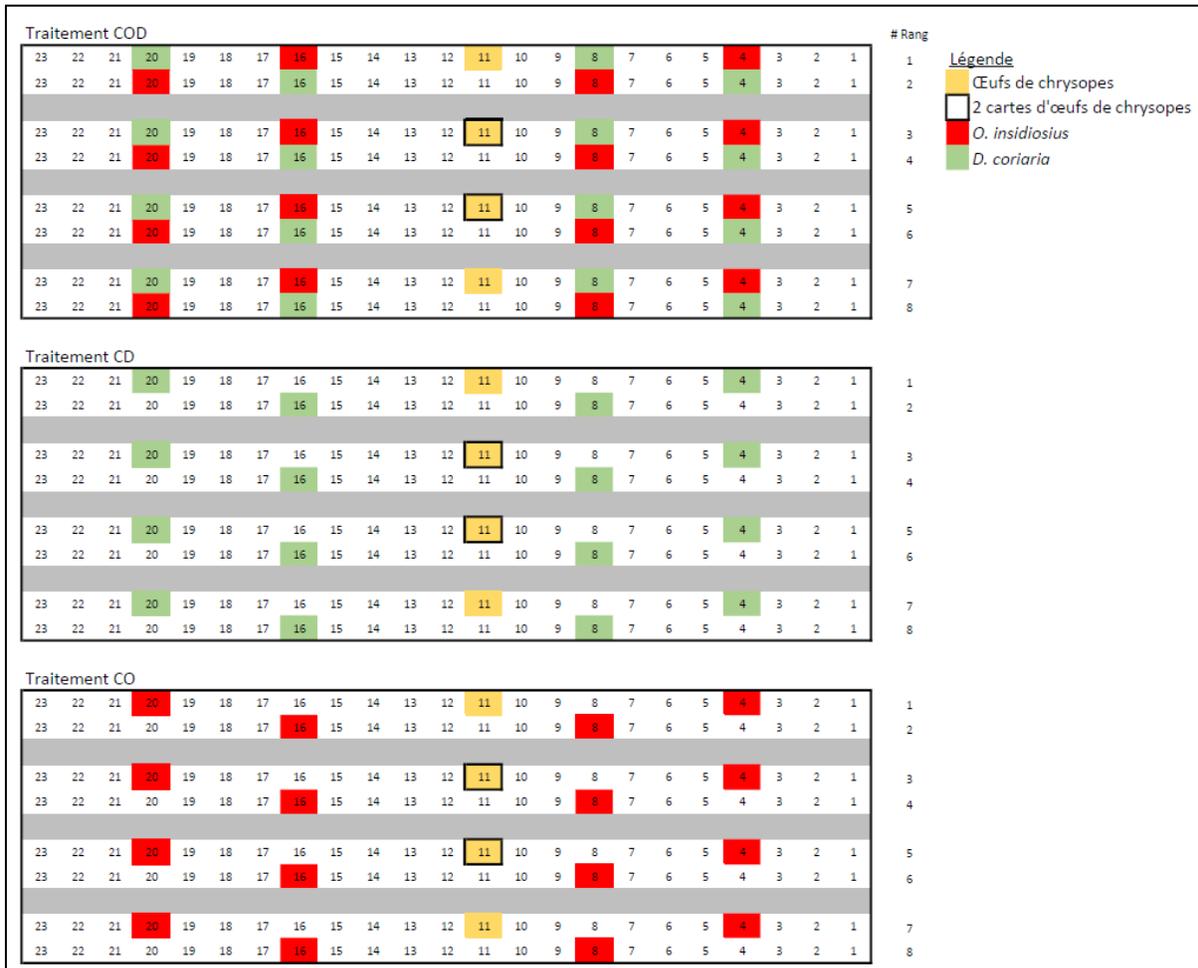


Figure A1. Exemple de plan d'introduction hebdomadaire des prédateurs commerciaux. L'introduction des cartes d'œufs de *Chrysoperla* spp. se faisait en alternance à chaque semaine (plants 6, 11 ou 18) afin de promouvoir une répartition uniforme de ces prédateurs dans l'unité expérimentale. CO : œufs de *Chrysoperla* spp. et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]

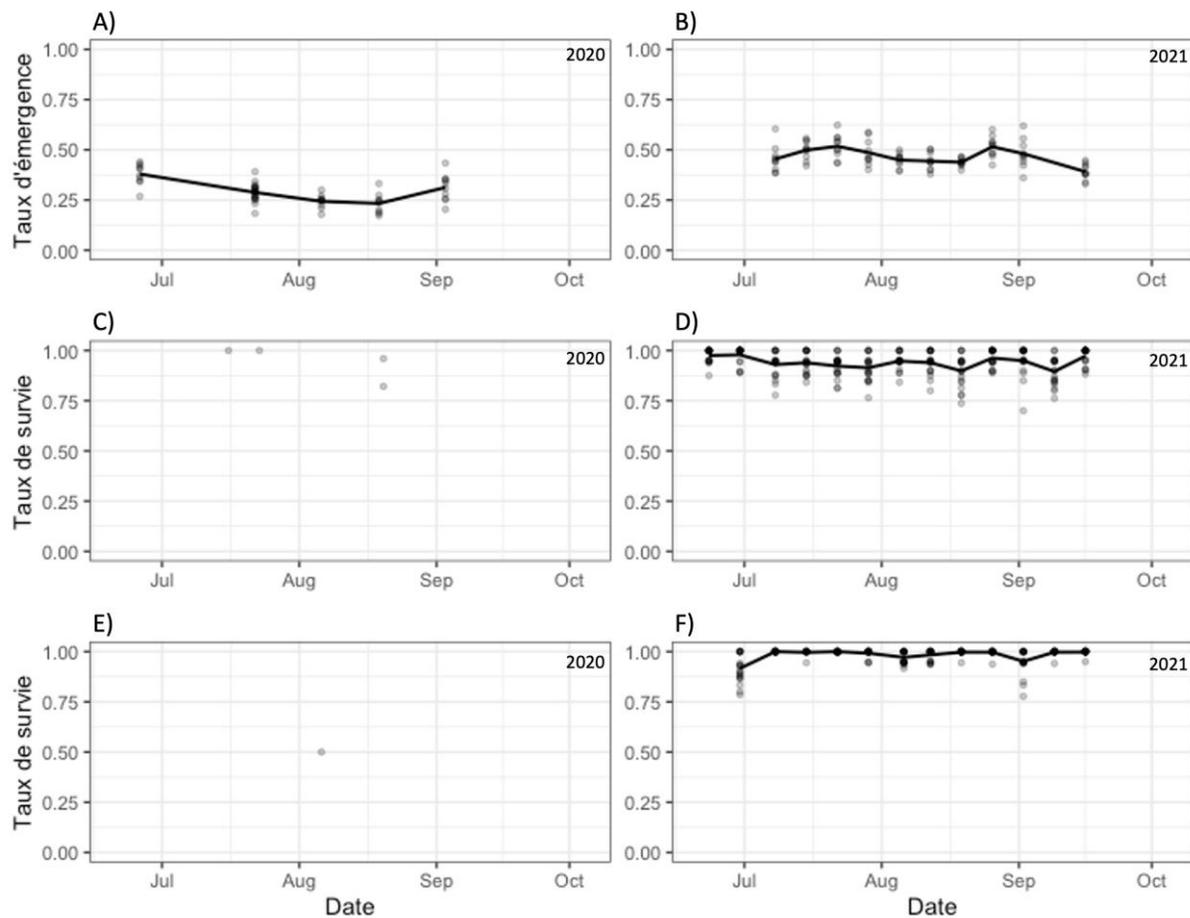


Figure A2. Contrôles qualité des prédateurs commerciaux introduits en 2020 et 2021. **A-B)** Taux d'émergence des œufs de chrysopes. Chaque point (•) représente une valeur mesurée pour une carte d'œufs et les traits pleins représentent les valeurs moyennes par date de réception. **C-D)** Taux de survie d'*Orius insidiosus* après 24h. Chaque point (•) représente une valeur pour 20 individus et les traits pleins représentent les valeurs moyennes par date de réception. **E)** Taux de survie après 24h pour 30 adultes de *Dicyphus hesperus*. **F)** Taux de survie de *D. coriaria* après 24h. Chaque point (•) représente une valeur pour 20 individus et les traits pleins représentent les valeurs moyennes par date de réception.

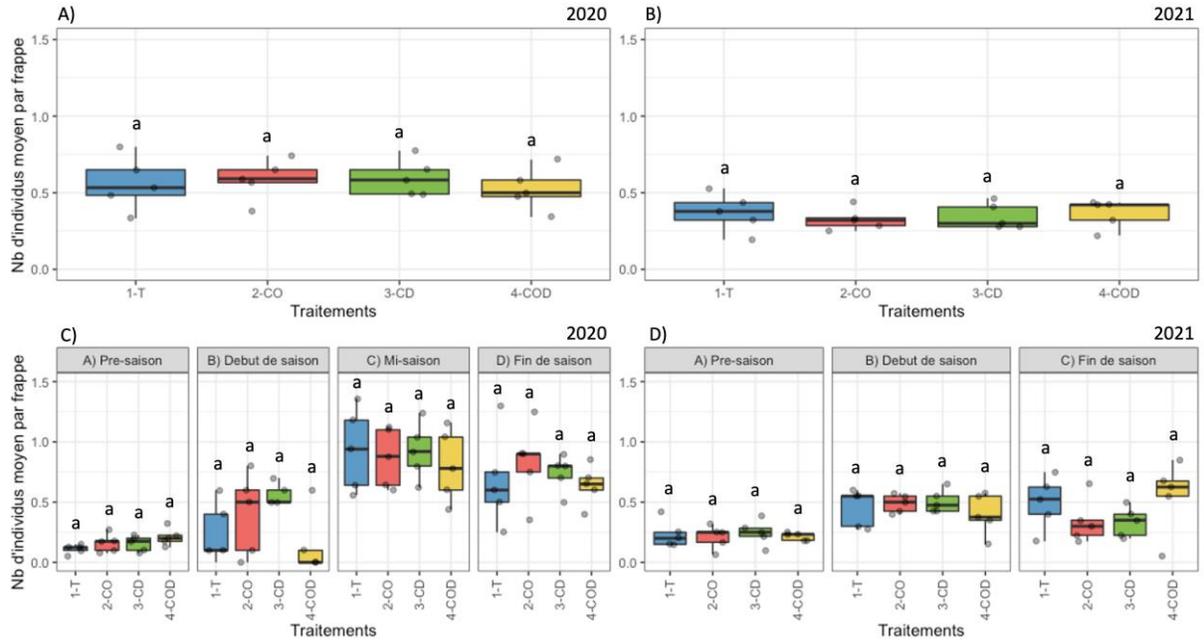


Figure A3. Dépistage d'*Orius insidiosus* en champ. **A-B)** Nombres moyens d'individus par frappe sur la saison pour chaque traitement en 2020 (A) et 2021 (B). **C-D)** Nombres moyens d'individus par frappe par périodes d'analyses (voir Figure 1G et H) pour chaque traitement en 2020 (C) et 2021 (D). Pour chaque comparaison entre les traitements (T : témoins; CO : œufs de *Chrysoperla* spp. et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

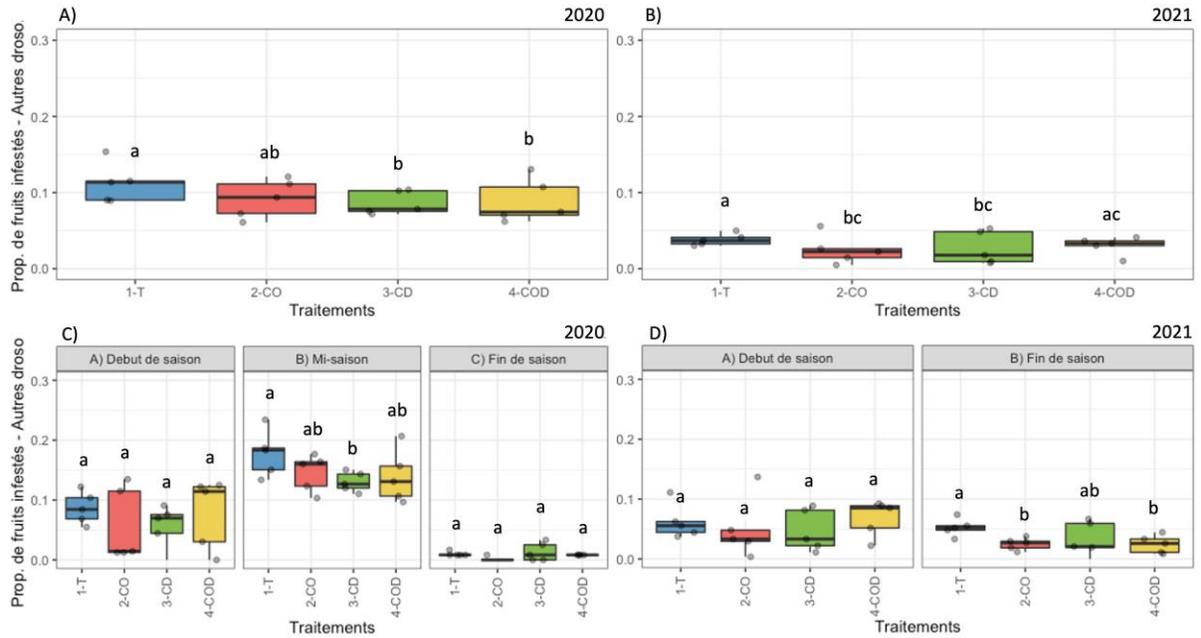


Figure A4. Proportion des fruits infestés par les autres drosophiles. **A-B)** Proportions moyennes des fruits infestés par les autres drosophiles sur la saison pour chaque traitement en 2020 (A) et 2021 (B). **C-D)** Proportions moyennes des fruits infestés par les autres drosophiles par périodes d'analyses (voir Figure 1G et H) pour chaque traitement en 2020 (C) et 2021 (D). Pour chaque comparaison entre les traitements (T : témoins; CO : œufs de *Chrysoperla* spp. et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.

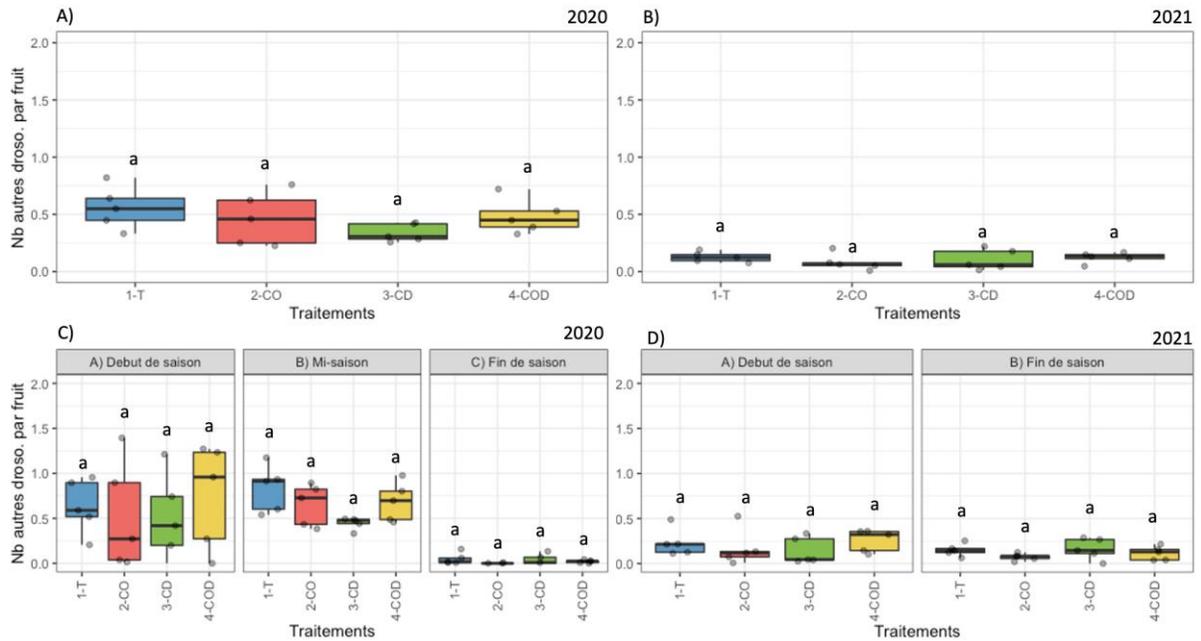


Figure A5. Nombres moyens d'adultes par fruit pour les autres espèces de drosophiles. **A-B)** Nombres moyens par fruit sur la saison pour chaque traitement en 2020 (A) et 2021 (B). **C-D)** Nombres moyens par fruit par périodes d'analyses (voir Figure 1G et H) pour chaque traitement en 2020 (C) et 2021 (D). Pour chaque comparaison entre les traitements (T : témoins; CO : œufs de *Chrysoperla* spp. et *O. insidiosus*; CD : œufs de *Chrysoperla* spp. et *D. hesperus* (2020) ou *D. coriaria* (2021); COD : œufs de *Chrysoperla* spp., *O. insidiosus* et *D. hesperus* [2020] ou *D. coriaria* [2021]), des lettres différentes indiquent une différence significative pour un seuil α de 0,05.