



HAL
open science

AphidInnov - Des solutions biologiques adaptées pour le contrôle des populations de pucerons des cultures protégées

Anne Le Ralec, Christelle Buchard, Hervé Floury, Christian Hecker, Yannick
Outreman, Solenn Perennec, Roselyne Souriau

► To cite this version:

Anne Le Ralec, Christelle Buchard, Hervé Floury, Christian Hecker, Yannick Outreman, et al..
AphidInnov - Des solutions biologiques adaptées pour le contrôle des populations de pucerons des
cultures protégées. Innovations Agronomiques, 2023, 89, pp.91-102. 10.17180/ciag-2023-vol89-art08 .
hal-04341581

HAL Id: hal-04341581

<https://hal.inrae.fr/hal-04341581v1>

Submitted on 13 Dec 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

AphidInnov - Des solutions biologiques adaptées pour le contrôle des populations de pucerons des cultures protégées

Le Ralec Anne¹, Buchard Christelle², Flouy Hervé³, Hecker Christian⁴, Outreman, Yannick¹, Perennec Solenn⁵, Postic Estelle^{2, 6, 7}, Souriau Roselyne⁸

¹ IGEPP, L'institut Agro Rennes Angers, INRAE, Université de Rennes , 35000 Rennes, France

² IGEPP, L'institut Agro Rennes Angers, INRAE, Université de Rennes , 35650 Le Rheu, France

³ Station d'expérimentation Terre d'essais, Le Glazic, 22740 Pleumeur-Gautier, France

⁴ If Tech, 3 rue des Magnolias, 49130 Les Ponts-de-Cé, France

⁵ Organisation Bretonne de Sélection, O.B.S, Kernonen, 29250 Plougoulm, France

⁶ AOPN Fraises de France, Agropôle, Bâtiment Agrotec, BP 222, 47 931 Agen, France

⁷ SAS Frais'Nat, Agropole Innovations– 47931 Agen, France

⁸ CMO / SAVEOL - 77 rue du Père Gwénaél - 29470 Plougastel Daoulas, France

Correspondance : anne.leralec@agrocampus-ouest.fr

Résumé

La lutte biologique par lâchers d'auxiliaires produits par des entreprises spécialisées est la principale alternative aux insecticides en cultures sous abri. Des ravageurs majeurs comme les pucerons restent cependant mal contrôlés, par manque d'efficacité ou de disponibilité des auxiliaires qui permettraient de pallier la disparition des néonicotinoïdes. Le projet AphidInnov a montré, sur culture de choux porte-graines, de fraises et de concombre, que des espèces et populations de parasitoïdes adaptées à chaque situation pouvaient être sélectionnées, en considérant la spécialisation des parasitoïdes et leur diversité génétique, et que des solutions efficaces pouvaient être proposées en combinant parasitoïdes, prédateurs et pratiques culturales. La production de ces auxiliaires pourrait faire appel à des modèles économiques nouveaux, impliquant plus directement les filières et les agriculteurs.

Mots-clés : Cultures sous abri ; pucerons, parasitoïdes, spécialisation, génétique des populations, lutte biologique inondative, efficacité, méthodes de lâchers, élevages de masse.

Abstract: AphidInnov - Innovative biological control solutions adapted to the control of aphid pests in protected crops

Inundative biological control with natural enemies produced by specialized companies is the main alternative to insecticides in protected crops. However, major pests such as aphids are still poorly controlled, due to a lack of efficiency or availability of biological control agents that would give solutions for the disappearance of neonicotinoids. The AphidInnov project has shown, on seed cabbage, strawberry and cucumber crops, that effective parasitoid species and populations adapted to each agricultural situation could be selected, taking into account the ecological specialization of parasitoids and their genetic variation, and that effective solutions could be proposed by combining parasitoids, predators and cultural practices. The production of these beneficials could release on new business models, involving more directly professional organizations and growers.

Key words: Protected crops, aphids, parasitoids, specialization, population genetics, inundative biological control, efficiency, release methods, mass rearing.

1 - Introduction

Un des grands défis auxquels est confrontée l'agriculture aujourd'hui est de fortement diminuer le recours aux produits phytosanitaires, tout en continuant à assurer un niveau de production élevé tant en quantité qu'en qualité. La réduction de l'usage des produits phytosanitaires, incluant la disparition de certaines familles de produits comme celle des néonicotinoïdes, impose de rechercher des méthodes de lutte alternatives contre les bioagresseurs des cultures. Contre les insectes ravageurs, une des pistes les plus explorées est celle de la lutte biologique, consistant à utiliser leurs ennemis naturels pour limiter leurs populations. En plein champ, beaucoup d'études s'intéressent à la lutte biologique par conservation dont le principe est de favoriser l'action des ennemis naturels présents dans l'environnement des parcelles, par des aménagements de cet environnement (gestion des haies, diversité florale dans les paysages, ...). En cultures sous abri, la stratégie majoritaire, développée depuis de nombreuses années, est la lutte biologique inondative qui consiste à lâcher massivement des ennemis naturels des arthropodes nuisibles, comme des insectes parasitoïdes (organismes parasites dont le développement aboutit à la mort de l'hôte), ou prédateurs, plus généralistes, produits en masse par des entreprises spécialisées.

Cependant, pour certains ravageurs majeurs des cultures protégées, comme les pucerons, on ne dispose pas toujours de solutions de lutte biologique, soit parce que les auxiliaires commercialisés sur ces cibles, notamment les parasitoïdes, ne sont pas suffisamment efficaces, soit parce qu'il n'existe pas de solutions commercialisées.

1.1 Contexte et objectifs

Le constat d'un manque d'efficacité de méthodes de lutte biologique utilisant des macroorganismes (insectes parasitoïdes et prédateurs), formulé par différents acteurs de terrain (stations expérimentales, organisations de producteurs), a été à l'origine du projet AphidInnov. Cette perception était conforme aux résultats présentés par l'ANSES (Saisine n°2016-SA-0057) qui soulignait un déficit d'efficacité et d'opérationnalité, ainsi qu'un manque de praticité, de ces organismes en tant que solution alternative aux néonicotinoïdes, malgré leur bon classement en matière de durabilité. L'objectif du projet AphidInnov était donc de contribuer à améliorer l'efficacité, l'opérationnalité et la praticité de ces macroorganismes.

Cette problématique concernait particulièrement les pucerons (Hemiptera : Aphididae) en cultures sous abri, où la lutte biologique inondative a pourtant été développée de longue date avec une large gamme d'auxiliaires commercialisés, dont beaucoup de parasitoïdes. Ce sont aussi ces ravageurs qui étaient majoritairement ciblés par les insecticides néonicotinoïdes. L'amélioration de l'efficacité des insectes parasitoïdes dans la lutte biologique contre les pucerons constituait donc un objectif incontournable pour sortir des impasses techniques que connaissent de nombreuses cultures sous abri.

L'efficacité des parasitoïdes dépend en grande partie de l'adéquation parasitaire entre l'individu parasitoïde et l'individu hôte sélectionné par la femelle adulte, qui repose sur des interactions physiologiques très étroites. Un défaut d'adéquation entre les pucerons cibles et les parasitoïdes introduits pourrait être à l'origine des échecs observés. Les parasitoïdes de pucerons (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae majoritairement) montrent un gradient de spécialisation parasitaire allant d'espèces monophages ou spécialistes strictes à des espèces capables de parasiter plusieurs dizaines d'espèces hôtes, qualifiées de généralistes (Navasse, 2016). Cependant, la gamme d'hôtes peut ne pas être uniforme à l'intérieur d'une espèce parasitoïde, des populations peuvent être spécialisées sur certaines espèces d'hôtes (Stireman *et al.*, 2006). De plus, à l'intérieur d'une gamme d'hôtes de parasitoïdes, certaines espèces sont préférées et sont plus avantageuses pour le développement des parasitoïdes. Ces différences dans la préférence d'hôtes peuvent conduire à la formation de biotypes spécialisés, voire d'espèces distinctes (Navasse *et al.*, 2017). Des approches de génétique des populations peuvent ainsi permettre d'identifier des cas de spécialisation parasitaire (Stireman *et al.* 2006).

L'inefficacité des parasitoïdes peut aussi venir d'une résistance de l'hôte au parasitisme. Chez les pucerons, ce processus est le plus souvent associé à la présence de bactéries symbiotiques secondaires, notamment la bactérie *Hamiltonella defensa* (Schmidt *et al.*, 2012).

Sur la base de ces hypothèses, le but du projet AphidInnov était le développement de solutions biologiques opérationnelles, basées sur le choix et l'utilisation d'espèces ou biotypes d'auxiliaires efficaces contre chaque puceron ciblé, dans différents systèmes de culture sous abris.

1. 2 Cultures cibles et méthodologie

Trois cultures conduites en agriculture conventionnelle ou en agriculture biologique (AB), confrontées à un cortège de ravageurs aphidiens extrêmement nuisibles, certaines espèces étant communes à plusieurs cultures, ont été ciblées dans ce projet. Pour chacune, la gestion des pucerons constituait un véritable verrou technique pour une réduction significative des intrants, voire pour la production elle-même. Il s'agit de :

- la production de semences de brassicacées pour l'AB : les attaques récurrentes de pucerons sont très préoccupantes en production de semences biologiques, qui doivent elles-mêmes être produites en AB, depuis la disparition de la roténone. Les producteurs sont contraints d'utiliser des semences conventionnelles non traitées sous dérogation. À la levée de la dérogation, la production de semences pour l'AB pourrait être réduite à zéro. La production de semences conventionnelles est dans une situation également très fragile suite à l'interdiction des néonicotinoïdes.

- la production de fraises sous abri en conventionnel : parmi les ravageurs du fraisier, les pucerons ont été identifiés comme un verrou majeur pour la réduction de l'usage des pesticides sur cette culture qui peut être attaquée par une grande diversité d'espèces (Turquet *et al.*, 2019). Parmi les insecticides autorisés sur cette culture, le Thiaclopride (Calypso®, néonicotinoïde) était la seule molécule efficace contre certaines d'entre elles, du fait de leur résistance à d'autres molécules.

- la production de concombre sous abri en AB, en fort développement du fait de la dynamique de conversion et de la nécessaire rotation des cultures dans ce contexte, notamment avec la tomate. Mais la maîtrise technique de la culture de concombre en AB est très partielle, le contrôle des attaques de pucerons de différentes espèces au cours du cycle de production étant difficile. Les attaques non contrôlées peuvent entraîner la perte totale d'une culture en une dizaine de jours. La maîtrise technique des pucerons s'est également complexifiée en production de concombre conventionnelle avec la disparition des néonicotinoïdes.

L'objectif principal du projet était d'identifier et de développer des parasitoïdes réellement adaptés à des cibles spécifiques, en termes d'espèce, de plante hôte et de saisonnalité pour ces trois cultures protégées, susceptibles de constituer des modèles pour des développements ultérieurs sur d'autres productions.

Pour atteindre cet objectif, la première étape a consisté à identifier pour chacune des trois productions concernées la ou les espèces et populations de parasitoïdes adaptées aux espèces et populations de pucerons cibles. Les approches utilisées comprenaient des méthodes d'analyse moléculaire, couplées à des tests biologiques de parasitisme, sur la base d'un large échantillonnage des parasitoïdes colonisant spontanément les abris, au niveau régional ou national selon les cas, et incluant les souches de parasitoïdes commercialisés.

Un deuxième objectif était d'optimiser l'utilisation d'auxiliaires prédateurs, associés aux parasitoïdes, au niveau des dispositifs de conditionnement, des stades apportés, des modalités d'apport et d'évaluer les conditions d'une régulation optimale des pucerons, reposant uniquement sur des parasitoïdes ou sur une combinaison parasitoïdes - prédateurs.

1. 3 Partenariat

Le projet AphidInnov comptait cinq partenaires constituant un continuum entre recherche (UMR IGEPP), expérimentation (Terre d'essais, OBS), production d'auxiliaires (Savéol Nature, If Tech) et interface avec les producteurs de légumes sous abris (Terre d'essais, OBS, Coopérative Maraîchère de l'Ouest - Savéol). L'AOPn "Fraises de France" y a été étroitement associée et impliquée, par le biais d'une thèse CIFRE (Estelle Postic, salariée de l'AOPn et encadrée par A. Le Ralec et Y. Outreman, UMR IGEPP), dont AphidInnov a financé une partie des travaux. Cette structure de partenariat s'est révélée efficace : elle a permis de réaliser à la fois des études à caractère académique sur la caractérisation des espèces et populations et des évaluations de l'efficacité des auxiliaires dans des conditions proches de celles des serres de production.

Les expérimentations concernant la production de semences de brassicacées ont été conduites par l'OBS, celles concernant la production de fraises pour partie par Savéol Nature et pour partie dans le cadre de la thèse CIFRE d'E. Postic, celles portant sur le concombre par la station expérimentale Terre d'essais. L'entreprise If Tech s'est impliquée dans la production de certains auxiliaires et l'amélioration des dispositifs d'apport. Enfin, l'IGEPP, porteur du projet, a été particulièrement impliquée dans la sélection des parasitoïdes à utiliser en culture de fraises, a réalisé les tests de parasitisme au laboratoire, les analyses génétiques basées sur des méthodes de biologie moléculaire, l'identification de l'ensemble des pucerons et parasitoïdes collectés dans le cadre de ce projet et l'appui à la construction des protocoles expérimentaux avec les partenaires.

2. Principaux résultats et éléments de discussion

2.1. Identification et sélection des parasitoïdes d'intérêt

Pour identifier des espèces et populations de parasitoïdes potentiellement efficaces pour limiter les populations de pucerons des trois cultures cibles, les communautés pucerons - parasitoïdes issues de la colonisation naturelle ont été étudiées en conditions de production. Les lâchers d'auxiliaires effectués dans les abris suivis ont été enregistrés pour distinguer les deux sources de parasitoïdes.

La communauté pucerons - parasitoïdes des brassicacées légumières est très simple puisqu'elle ne comprend que deux espèces de pucerons, un spécialiste, le puceron cendré du chou, *Brevicoryne brassicae*, et un généraliste, le puceron vert du pêcher, *Myzus persicae*, parasités par une seule espèce, l'Aphidiinae *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera, Braconidae) (Figure 1).

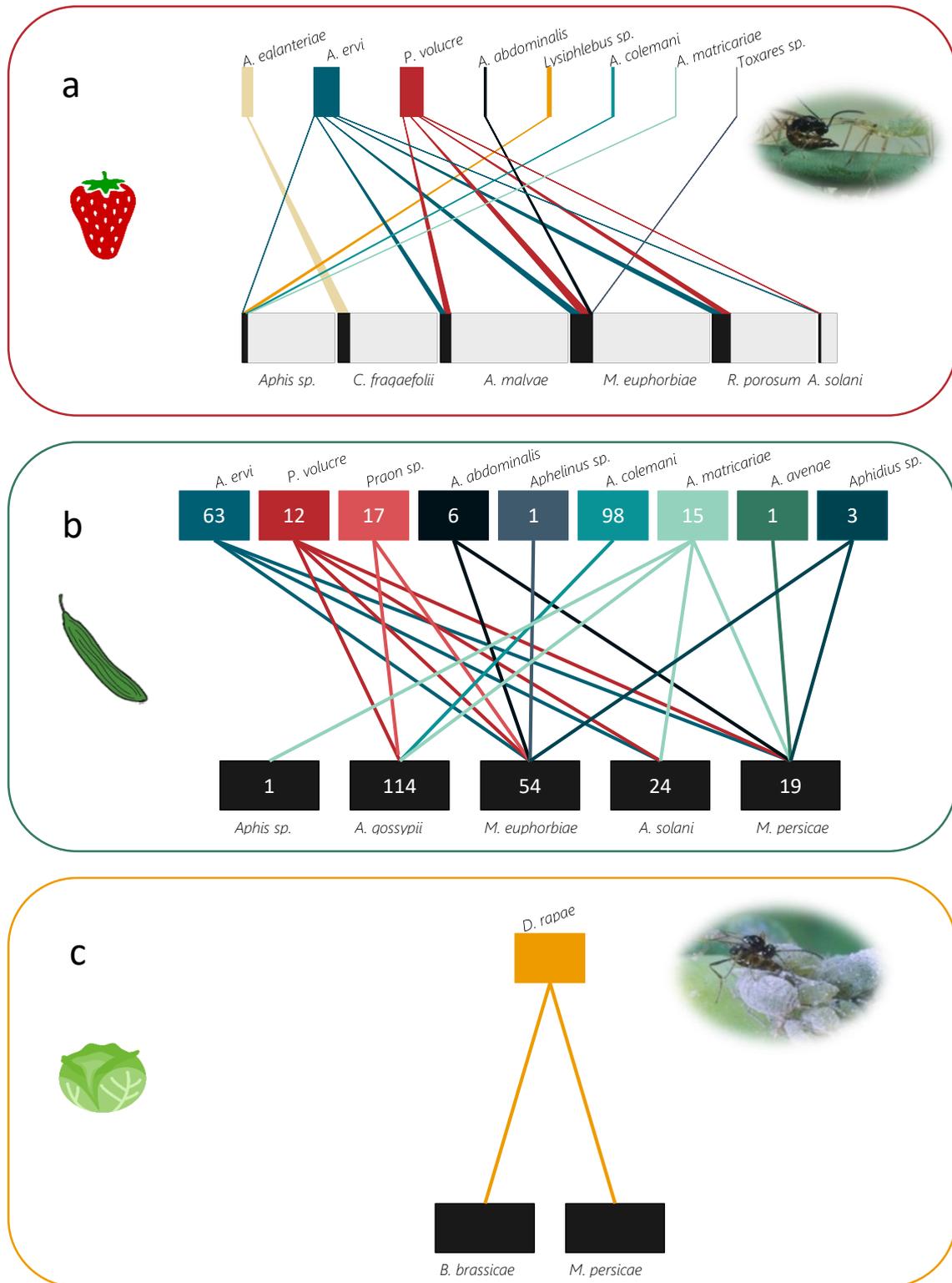


Figure 1 : Réseaux écologiques globaux entre les pucerons (en bas) et les parasitoïdes (en haut) échantillonnés a) en culture de fraise (réseau quantitatif : la largeur des rectangles est proportionnelle au nombre d'individus de chaque espèce (en médaillon, *Aphidius ervi* parasitant le puceron *Acyrtosiphon pisum*) ; pour les pucerons, la partie noire représente la proportion de pucerons parasités, d'après Postic *et al.*, 2020 a) ; b) en culture de concombre (réseau semi-quantitatif : les nombres dans les rectangles indiquent le nombre d'individus de chaque espèce, d'après Saliou, 2019) ; c) en culture de chou porte-graines (réseau qualitatif) (en médaillon, *Diaeretiella rapae* parasitant le puceron *Brevicoryne brassicae*). Photos B. Chaubet, INRAE.

Des études antérieures ont montré que si cette espèce, considérée comme un des Aphidiinae les plus généralistes, présente des spécialisations locales et au moins une espèce cryptique, il n'y a pas de différences génétiques entre les individus se développant localement sur ces deux pucerons hôtes (Le Ralec *et al.*, 2011 ; Navasse *et al.*, 2017).

En culture de fraisiers, face à la diversité des pucerons susceptibles d'occasionner des dégâts et au manque de connaissances concernant les auxiliaires pouvant les contrôler, une analyse des communautés pucerons - parasitoïdes sur fraisiers sous abri, à l'échelle nationale, a été conduite. Un vaste échantillonnage a été réalisé dans cinq bassins de production de fraises répartis sur le territoire français au printemps et à l'été 2017 et 2018, pour identifier les espèces de pucerons colonisant les serres de production de fraises dans les différentes régions et leurs parasitoïdes associés (Postic *et al.*, 2020, a).

Au total, 13 espèces de pucerons ont été identifiées. En moyenne, chaque serre abrite trois espèces de pucerons différentes et un maximum de sept espèces a été dénombré dans un même abri. Parmi les plus fréquentes, on trouve *Macrosiphum euphorbiae*, *Acyrtosiphon malvae*, *Rhodobium porosum*, *Chaetosiphon fragaefolii*, *Aphis gossypii*, *Aulacorthum solani*. Les communautés aphidiennes s'avèrent très variables, en fonction des régions, des années et des saisons, mais cette variation semble principalement expliquée par des facteurs locaux. La très grande majorité des abris est colonisée par des insectes parasitoïdes. Huit espèces différentes ont été identifiées, avec là aussi une grande variabilité locale (Postic *et al.*, 2020, a). Les réseaux d'interactions pucerons - parasitoïdes (Figure 1) ont permis de détecter des espèces potentiellement intéressantes pour la lutte biologique. Ainsi, une espèce de parasitoïde spécialiste du puceron *C. fragaefolii* a été identifiée : il s'agit d'*Aphidius eglanteriae*. Ce résultat est particulièrement intéressant puisqu'actuellement aucun parasitoïde n'est commercialisé contre ce puceron spécialiste du fraisier qui fait partie des espèces les plus nuisibles sur cette culture. Deux parasitoïdes généralistes ont également été fréquemment retrouvés, *Aphidius ervi* et *Praon volucre*. Ces deux espèces parasitent trois des espèces de pucerons les plus fréquentes, *M. euphorbiae*, *A. malvae* et *R. porosum*. Ces parasitoïdes sont commercialisés et utilisés par des producteurs de fraises. Mais, dans la plupart des cas, les espèces ayant fait l'objet de lâchers par les producteurs n'ont pas été retrouvées dans les échantillonnages, confirmant la faible efficacité des auxiliaires commerciaux. Inversement, leur présence dans les abris où il n'y a pas eu de lâchers suggère que des populations sauvages capables de parasiter les pucerons du fraisier existent dans l'environnement des abris qu'elles colonisent spontanément.

En culture de concombre conduite en AB, les échantillonnages effectués à une échelle locale (Nord Bretagne) chez cinq producteurs en 2019 et 2020 (Saliou, 2019 ; Allard, 2020) ont confirmé que trois espèces principales de pucerons colonisent les cultures de concombre, avec un décalage temporel. Une contamination des abris via les plants est possible pour les deux espèces les plus précoces (*A. solani*, *M. euphorbiae*), détectées dès le mois de mars en 2019. La 3^{ème} espèce, *A. gossypii*, arrive plus tardivement, vers la mi-mai. Les suivis réalisés en 2020 ont confirmé la dominance de ces trois espèces et le décalage temporel de leur dynamique. Neuf taxons de parasitoïdes ont été identifiés sur les différentes espèces de pucerons (Figure 1). Comme en culture de fraises, le puceron *M. euphorbiae* est fréquemment parasité par les parasitoïdes généralistes *A. ervi* et *P. volucre*, ces deux espèces attaquant également *A. solani*. Le puceron *A. gossypii* est quant à lui majoritairement parasité par *Aphidius colemani* et plus rarement par *P. volucre* et *Aphidius matricariae*. Cette dernière espèce a aussi été retrouvée sur *A. solani*. À noter que parmi les espèces commercialisées sous forme de mélanges utilisés par les producteurs, certaines n'ont quasiment jamais été retrouvées au cours des échantillonnages¹. C'est par exemple le cas d'*Ephedrus cerasicola* ou d'*Aphelinus abdominalis*.

¹ C'est également le cas pour un certain nombre de prédateurs faisant l'objet de lâchers réguliers par les producteurs de concombre, comme les coccinelles par exemple.

L'analyse des communautés de pucerons et de parasitoïdes en cultures sous abris a donc permis de mettre en évidence une diversité spécifique élevée et une colonisation spontanée très fréquente de ces structures par des parasitoïdes sauvages.

Sur la base de ces résultats, les parasitoïdes potentiellement intéressants pour une lutte biologique contre les différentes espèces de pucerons, ont été sélectionnés :

- *Diaeretiella rapae*, parasitoïde commun et unique des deux pucerons des brassicacées, dont la seule production à visée commerciale connue en France (If Tech) a été arrêtée en 2020.
- *Aphidius eglanteriae* : un parasitoïde spécialiste du puceron du fraisier *C. fragaefolii*, jamais commercialisée.
- *Aphidius ervi* et *Praon volucre*, parasitoïdes généralistes fréquemment trouvés sur plusieurs pucerons du fraisier et du concombre, en particulier *A. malvae* et *R. porosum* sur fraisier, *M. persicae* (*A. ervi*) et *A. gossypii* (*P. volucre*) sur concombre, et *M. euphorbiae* et *A. solani* sur les deux cultures. Ces deux espèces sont actuellement commercialisées, mais elles montrent une efficacité très insuffisante et n'ont été que très rarement retrouvées sur fraise dans notre étude, là où des lâchers avaient été effectués. Elles ont été retrouvées plus régulièrement en culture de concombre.

2. 2. Populations sauvages et commerciales des parasitoïdes d'intérêt

La colonisation spontanée des abris par des populations sauvages nous a conduits à les caractériser d'un point de vue génétique et biologique, à la fois pour comprendre le manque d'efficacité des produits commerciaux et pour évaluer leur potentiel par rapport à ces derniers.

Des analyses moléculaires ont tout d'abord été conduites sur plusieurs espèces de parasitoïdes, en particulier *A. ervi*, *A. matricariae* et *P. volucre* par une approche de barcoding en utilisant un fragment du gène mitochondrial CO1 permettant de détecter des niveaux élevés de variabilité génétique. Elles ont mis en évidence une différenciation génétique au sein de l'espèce *A. ervi*, sans que celle-ci soit associée au caractère sauvage ou commercial, ni à l'origine géographique, ni à l'hôte d'origine des individus (Postic et al., 2021). Ce résultat confirme le caractère généraliste d'*A. ervi* (Derocles et al., 2015, 2020). Pour *P. volucre*, aucune différenciation claire n'a été mise en évidence. En revanche, une structuration marquée est observée chez *A. matricariae*, entre les individus récoltés dans les serres et ceux provenant de produits commerciaux (Saliou, 2019), ce qui renforce l'hypothèse d'un biotype commercial peu ou pas adapté à certaines des cibles annoncées par les fournisseurs. Des études doivent être engagées pour éclaircir le statut taxonomique de cette entité et relier les groupes génétiques et les gammes d'hôtes exploités.

Dans un second temps, une variabilité génétique associée à la plante hôte, au puceron hôte, à la localisation géographique ou à l'origine, sauvage ou commerciale, a été recherchée chez l'espèce *A. ervi* à l'aide d'un autre type de marqueurs (microsatellites). Si aucune structuration liée à la plante ou au puceron hôte n'a été observée, il existe une nette différenciation génétique entre les individus sauvages et commercialisés (Postic et al., 2021). Ces résultats offrent une explication possible au manque d'efficacité des lâchers d'*A. ervi* observé chez les producteurs. En effet, la faible diversité génétique dans les populations commercialisées pourrait affecter l'adaptation des parasitoïdes aux hôtes cibles et donc leurs performances.

Pour vérifier la relation entre faible diversité génétique et taux de parasitisme sur pucerons du fraisier, des parasitoïdes du commerce ont été testés sur les espèces hôtes potentiels (indications des fournisseurs) les plus dommageables : *A. malvae*, *M. euphorbiae* et *R. porosum*. Les taux de parasitisme obtenus sont plus élevés sur les deux premières espèces, mais globalement faibles, respectivement de 38%, 28% et 7%, sur différentes lignées de pucerons non porteuses de bactéries symbiotiques secondaires. Une large étude de la prévalence de ces bactéries symbiotiques pouvant conférer une résistance aux parasitoïdes aux pucerons hôtes ayant été conduite, à partir d'un échantillonnage national

(Postic et al., 2020, b), des tests de parasitisme comparant des lignées porteuses et non porteuses de la bactérie *Hamiltonella defensa*, seule ou en co-infection avec la bactérie *Regiella insecticola*, avec des *A. ervi* du commerce ont été réalisés. Ils montrent une forte réduction du taux de parasitisme chez le puceron *A. malvae*, pour les lignées porteuses d'*H. defensa* (Postic et al., 2020 b). Ces résultats ont été comparés avec les taux de parasitisme obtenus avec des parasitoïdes issus de populations sauvages. Les résultats, encore préliminaires, montrent une meilleure efficacité des parasitoïdes sauvages par rapport aux parasitoïdes commercialisés, notamment sur les lignées de pucerons pour lesquelles de faibles taux de parasitisme avaient été observés avec les parasitoïdes commercialisés (Figure 2).

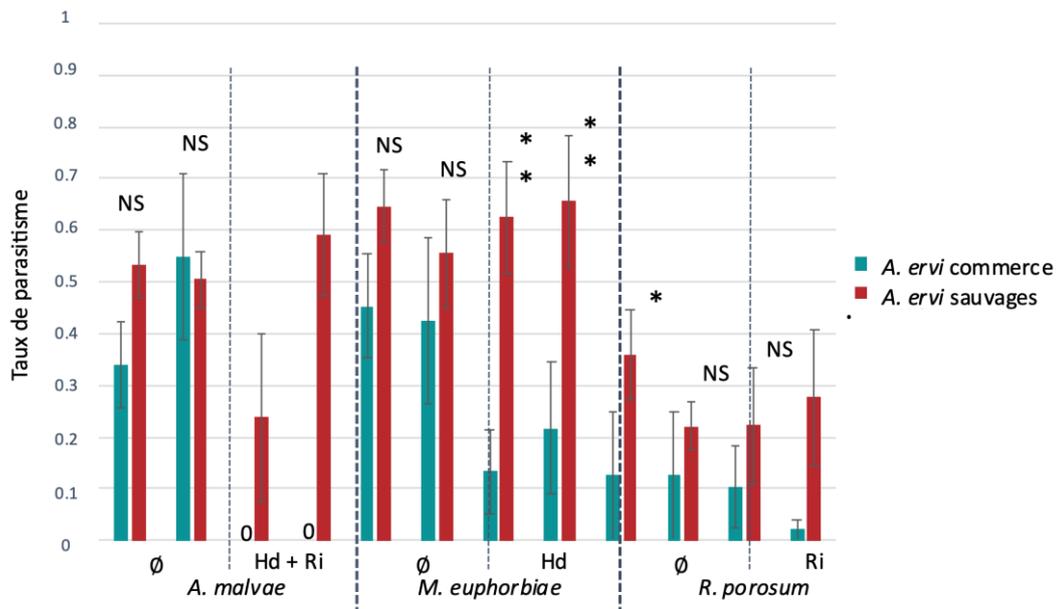


Figure 2 : Taux de parasitisme obtenus par des femelles d'*Aphidius ervi* issues de 18 lignées iso-femelles (6 lignées commerciales et 12 lignées sauvages). Ø : aposymbiotique, Hd : *Hamiltonella defensa*, Ri : *Regiella insecticola*. Les barres d'erreur représentent les erreurs standards (Postic, 2020).

Cette différence de performance est particulièrement forte pour les pucerons *A. malvae* co-infectés par *H. defensa* et *R. insecticola* : tandis que le taux de parasitisme avec des parasitoïdes commerciaux est nul, il peut atteindre 60 % avec les parasitoïdes sauvages. Les niveaux de parasitisme obtenus sur le puceron *R. porosum*, bien que toujours inférieurs à ceux obtenus sur les deux autres espèces, sont cependant susceptibles de contribuer au contrôle de ce ravageur, avec des taux de parasitisme pouvant dépasser les 30% (Figure 2).

Ces résultats ouvrent donc des perspectives très prometteuses pour la lutte biologique contre trois espèces de pucerons ravageurs des fraisiers, dont deux sont également des ravageurs du concombre, par l'exploration des potentialités des populations sauvages de ce parasitoïde généraliste.

2. 3 Des stratégies de protection combinant différents leviers

Pour deux des systèmes de cultures pour lesquels nous disposons de parasitoïdes potentiellement efficaces, des stratégies de protection des cultures en AB sous abris contre les pucerons ont été testées à petite échelle.

- En culture de choux porte-graines, précocité des apports et combinaison d'auxiliaires

Les quatre essais réalisés entre 2018 et 2021 ont montré que l'apport précoce, dès l'automne, du parasitoïde *D. rapae* était crucial pour obtenir un contrôle des populations des pucerons *B. brassicae* et

M. persicae au printemps. La présence de plants de féveroles dans les tunnels semble favorable à l'installation du parasitisme, probablement par l'apport continu de nectar extra-floral. Seuls des lâchers de prédateurs de l'espèce *Chrysoperla lucasina*, sous forme d'œufs apportés par un atomiseur adapté (Pulzor®) en combinaison avec les apports répétés de parasitoïdes (lâchers des deux auxiliaires tous les 15 jours) ont permis d'obtenir un niveau correct de régulation des populations de pucerons. Les photographies présentées en Figure 3 illustrent ce résultat : seule cette modalité a permis une survie des plants mâles (au centre), une pollinisation et une récolte de graines. Toutefois, moins d'un tiers des plants femelles ont produit des graines et aucune n'était viable. Il semble nécessaire d'apporter des quantités plus élevées de parasitoïdes.



Figure 3 : Photos des quatre modalités d'un essai réalisé à l'OBS montrant les dégâts dus aux pucerons sur les plants de chou. a) modalité témoin : aucun auxiliaire introduit ; b) modalité chrysopes seules ; c) modalité parasitoïdes *Diaeretiella rapae* seuls ; d) modalité chrysopes + *D. rapae*. À noter la mortalité des plants mâles (rang du milieu), sauf dans la dernière modalité (d). (Photographies prises le 15 avril 2021, S. Perennec)

- En culture de concombres, évolution de la conduite de la culture et installation durable de la lutte biologique

Pour cette culture, le contrôle des populations de pucerons repose en grande partie sur la conduite des plants, en particulier sur une nouvelle méthode de palissage, inspirée de la pratique sur tomate, le palissage dit "sur fil haut" ou "training", en remplacement de la technique de taille "en parapluie" utilisée classiquement dans les serres basses (Voir Flourey, 2019 pour des détails). Cette méthode implique un effeuillage régulier de la végétation. Des observations faites à Terre d'essais montraient que ces effeuillages pouvaient améliorer sensiblement l'état sanitaire de la culture, en particulier diminuer les populations de pucerons. Toutefois, cette pratique pourrait également avoir un effet très défavorable sur l'installation de la lutte biologique en éliminant les pucerons parasités et donc en limitant la production d'une nouvelle génération. Un essai comprenant des lâchers réguliers des parasitoïdes *A. ervi* et *A. colemani* a été conduit pour mesurer l'effet de l'effeuillage et de l'exportation des feuilles sur les populations de pucerons et sur le contrôle biologique par les parasitoïdes. L'utilisation d'un dispositif de

type augmentorium (Deguine *et al.*, 2011) a permis de montrer que le nombre de pucerons évacués de la serre par le biais de l'effeuillage est élevé quand les populations sont fortes, mais que l'on observe aussi une perte importante de parasitoïdes. Cependant, le ratio pucerons-parasitoïdes évacués est largement en faveur des pucerons dans les 1^{ères} semaines, puis lorsque la lutte biologique s'installe dans les abris, que le taux de parasitisme augmente et que la densité de population des pucerons diminue, la proportion de parasitoïdes évacués augmente. La préconisation qui ressort de cet essai serait d'évacuer les feuilles issues des 1^{ers} effeuillages pour diminuer le développement des populations de pucerons puis de les laisser dans les serres pour permettre l'émergence des parasitoïdes et avoir ainsi une lutte biologique plus durable. Les résultats semblent confirmer aussi que le parasitoïde *A. ervi* commercial utilisé est plus efficace sur concombre que sur fraise contre le puceron *M. euphorbiae*.

3 - Conclusion - Perspectives

Les travaux conduits par les différents partenaires du projet AphidInnov ont permis de confirmer la plupart des hypothèses émises pour expliquer la faible efficacité des auxiliaires commercialisés contre les pucerons des cultures sous abri (espèces inadaptées, faible diversité génétique, résistance des pucerons, ...). Ils ont démontré l'existence d'un parasitisme naturel dans les abris, malgré leur isolement du milieu extérieur, et donc l'existence d'espèces ou populations susceptibles d'être plus adaptées et plus efficaces contre les pucerons des cultures étudiées. La production de parasitoïdes répondant aux besoins propres à chaque culture apparaît donc possible, en termes de matériel biologique. Cependant, nos résultats montrent aussi qu'une attention toute particulière doit être portée au maintien de la variabilité génétique des populations produites en masse et au risque de sélection par les hôtes d'élevage. De plus, dans certains cas, il apparaît nécessaire de produire des espèces spécialistes, s'adressant à un marché réduit, et donc à rentabilité faible pour les gros fournisseurs d'auxiliaires. Cette problématique peut être en partie résolue par le développement de structures de production spécialisées à destination d'une filière ou d'un groupement de producteurs localisés. Quelques structures de ce type existent déjà, telle que Savéol Nature, qui produit depuis de nombreuses années des auxiliaires pour les producteurs de tomates adhérents à la Coopérative Maraîchère de l'Ouest (marque commerciale Savéol) dans la région de Brest (29).

A l'issue du projet AphidInnov, pour que les producteurs puissent rapidement disposer de solutions leur permettant de lever le verrou constitué par les pucerons sur fraisiers pour limiter, voire supprimer l'usage des insecticides, l'AOPn Fraises de France et la Coopérative Maraîchère de l'Ouest ont décidé de créer conjointement, sur la base des résultats obtenus dans le projet, une entreprise dédiée, Frais'Nat, en 2021. Cette entreprise, installée à Guipavas (29) a pour objectif de produire dans un premier temps les parasitoïdes *A. eglanteriae* et *A. ervi*, dans une optique de service aux adhérents des deux structures. Cette initiative bénéficie du soutien du plan Ecophyto 2+ par le biais d'un projet de recherche porté par l'entreprise Frais'Nat et associant l'UMR IGEPP et deux organisations de producteurs dans le cadre de l'appel à projet ANR Ecophyto-Maturation 2021. Dénommé "Aphidius 2.0 - Des parasitoïdes optimisés et des lâchers améliorés pour ouvrir de nouvelles perspectives de lutte biologique", son objectif est de développer une méthode de contrôle biologique des pucerons sur fraisier utilisant le parasitoïde généraliste *A. ervi* et le parasitoïde spécialiste *A. eglanteriae*, en considérant particulièrement la question de la variabilité génétique des populations en élevage et en évaluant la possibilité d'avoir recours à des plantes banques pour permettre une installation précoce et durable du parasitoïde généraliste dans les serres. La situation rencontrée en production de semences de brassicacées légumières en AB pourrait, elle aussi, relever d'une solution de ce type : une production locale du parasitoïde *D. rapae* à destination des producteurs de semences est envisagée par l'OBS pour satisfaire ce marché de niche dont l'intérêt économique est limité pour les fournisseurs d'envergure européenne.

Au-delà du développement d'auxiliaires adaptés et performants pour la lutte biologique inondative, le projet AphidInnov ouvre des perspectives concernant le développement de stratégies de lutte biologique par conservation, c'est-à-dire reposant sur des aménagements de l'environnement des cultures. Ainsi, à partir des résultats obtenus sur les flux d'insectes ravageurs et auxiliaires entre l'extérieur et l'intérieur des abris, une étude sur l'évaluation des contributions relatives des pratiques culturales, de l'environnement immédiat des serres et du paysage sur les communautés d'insectes dans les abris, avec une approche multi-ravageurs, pour proposer des méthodes de gestion prophylactiques et biologiques de ces insectes a démarré en octobre 2022 (Thèse CIFRE AOPn Fraises de France - UMR IGEPP). Les connaissances acquises concernant les différents aspects de la spécialisation des parasitoïdes de pucerons seront également mobilisées dans le cadre du projet EFFICACE (CASDAR Connaissances) porté par le CTIFL (2023-2026). Ce projet a pour objectif de proposer des stratégies de lutte biologique par conservation reposant sur l'utilisation de plantes de service contre les pucerons des cultures légumières.

La lutte biologique reste donc une méthode de gestion des populations de pucerons sous abri d'intérêt, susceptible de pallier la disparition progressive des insecticides, par l'utilisation d'insectes parasitoïdes choisis et élevés pour s'adapter aux différents contextes de production, mais aussi par la valorisation du parasitisme naturel et l'aménagement des pratiques culturales (Figure 4).

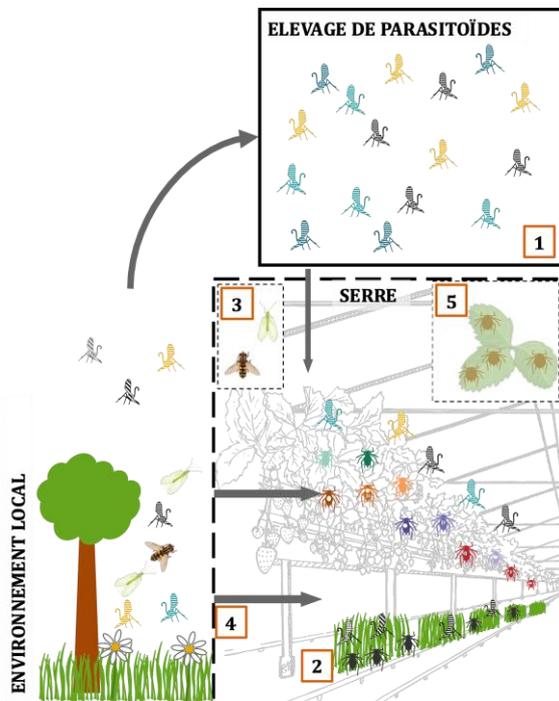


Figure 4 : Schéma présentant les leviers d'amélioration de la lutte biologique sous abri. (1) Élever des parasitoïdes spécialistes et généralistes adaptés aux ravageurs à contrôler. (2) Apporter ces auxiliaires de façon précoce et leur fournir des ressources dans la serre grâce à des plantes de service. (3) Combiner les parasitoïdes avec des prédateurs. (4) Favoriser la colonisation spontanée des serres par les auxiliaires via la gestion des abords. (5) Gérer les effeuillages pour permettre l'installation durable de la lutte biologique. D'après Postic, 2020. Dessin de fond : M. Charrois.

Références bibliographiques

- Allard A., 2020. Détermination et suivi de l'efficacité des auxiliaires parasitoïdes utilisés pour lutter contre les pucerons des cultures de concombres en AB sous abris. Rapport de stage de M1 "Amélioration Production et Valorisation du Végétal (APVV)", Agrocampus Ouest, Rennes.
- Deguine J-P., Atiama-Nurbel T., Douraguia Quessary E., Rousse P., 2011. L'augmentorium, un outil de protection agroécologique des cultures. Conception et évaluation en milieu paysan de l'île de la Réunion. Cahiers Agricultures 20, 261-265.
- Derocles S.A.P., Plantegenest M., Rasplus JY., Marie A., Evans D., Lunt D., Le Ralec A., 2015. Are generalist Aphidiinae (Hym. Braconidae) mostly cryptic species complexes? Systematic Entomology 41, 379-391.
- Derocles S.A.P., Navasse Y., Buchard C., Plantegenest M., Le Ralec A., 2020. "Generalist" aphid parasitoids behave as specialists at the agroecosystem scale. Insects 11, 1-18.
- Floury H. 2019. Concombre en agriculture biologique, la lutte contre les pucerons se "systémise", Aujourd'hui et Demain 138, 32-35.
- Le Ralec A. Ribulé A., Barragan A., Outreman Y., 2011. Host range limitation caused by incomplete host regulation in an aphid parasitoid. Journal of Insect Physiology 5, 363-371.
- Navasse Y. 2016 Spécialisation parasitaire chez les Aphidiinae : existe-t-il des parasitoïdes de pucerons généralistes ? Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, France.
- Navasse Y., Derocles S.A.P., Plantegenest M., Le Ralec A., 2017. Ecological specialization in *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) on aphid species from wild and cultivated plants. Bulletin of Entomological research 108, 175-184.
- Postic E., 2020. : Ecologie des interactions et lutte biologique : voies d'amélioration du contrôle des pucerons du fraisier sous abri. Thèse de Doctorat. L'institut Agro - Agrocampus Ouest, Rennes, France.
- Postic E., Le Ralec A., Buchard C., Granado C., Outreman Y. 2020, a. Variations in community assemblages and trophic webs between aphids and parasitoids in protected crops. Ecosphere 11, 1-22.
- Postic E., Le Ralec A., Buchard C., Granado C., Outreman Y. 2020, b. Variable impacts of prevalent bacterial symbionts on a parasitoid used to control aphid pests of protected crops. *Biological Control*, 148, 1-11.
- Postic E., Outreman Y., Derocles S.A.P., Granado C., Le Ralec A., 2021. Genetics of wild and mass-reared populations of a generalist aphid parasitoid and improvement of biological control. *PlosOne*, 16, 1-20.
- Saliou C., 2019. Détermination et suivi de l'efficacité des auxiliaires parasitoïdes et prédateurs utilisés pour lutter contre les pucerons des cultures de concombre en AB sous abri. Mémoire de fin d'étude Master Biologie végétale GSP, Université d'Angers.
- Schmid M., Sieber R., Zimmermann Y.S., Vorburger C., 2012. Development, specificity and sublethal effects of symbiont-conferred resistance to parasitoids in aphids. Functional Ecology 26, 207-215.
- Stireman J. O., Nason J. D., Heard S. B., Seehawer, J. M., 2006. Cascading host-associated genetic differentiation in parasitoids of phytophagous insects. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences 273, 523-530.
- Turquet, M., Geny, A., Ginez, A., Souriau, R., 2019. Réduire l'emploi des produits phytosanitaires en culture de fraises hors sol : Projet DEPHY Fraise 2013 - 2018. Innovations Agronomiques 76, 3-16.



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations Agronomiques* et son DOI, la date de publication.