



HAL
open science

PALPuF – Exploitation des leviers biocontrôle et fertilisation pour la proposition de stratégies de Protection Alternatives contre les Pucerons du Fraisier

Maria-Martha Fernandez, Marion Tuquet, Christiane Raynal, Alain Bardet, Thibaut Verfaille, Elise Vaud, André Lenglard, Chloé Deneufbourg

► To cite this version:

Maria-Martha Fernandez, Marion Tuquet, Christiane Raynal, Alain Bardet, Thibaut Verfaille, et al.. PALPuF – Exploitation des leviers biocontrôle et fertilisation pour la proposition de stratégies de Protection Alternatives contre les Pucerons du Fraisier. *Innovations Agronomiques*, 2023, 89, pp.103-116. 10.17180/ciag-2023-vol89-art09 . hal-04338691

HAL Id: hal-04338691

<https://hal.inrae.fr/hal-04338691>

Submitted on 12 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

PALPuF – Exploitation des leviers biocontrôle et fertilisation pour la proposition de stratégies de Protection Alternatives contre les Pucerons du Fraisier

Fernandez Maria-Martha¹, Tuquet Marion², Raynal Christiane¹, Bardet Alain¹, Verfaillie Thibaut³, Vaud Elise¹, Lenglard André¹, Deneufbourg Chloé¹

¹ CTIFL, Centre opérationnel de Lanxade, F-24130 Prignonrieux

² INVENIO, Pôle Fraise, Domaine de Lalande, F-47110 Sainte Livrade sur Lot

³ Koppert France, F-84300 Cavaillon

Correspondance : maria-martha.fernandez@ctifl.fr

Résumé

Suite au retrait du thiaclopride, le projet PALPuF (2018-2019) s'est proposé de rechercher des stratégies de protection du fraisier contre les pucerons, en testant des solutions de biocontrôle (substances naturelles, macroorganismes), associées à une nutrition des plantes susceptible de favoriser leur état de défense vis-à-vis de ces ravageurs. Sur une culture hors-sol de fraisiers de la variété Gariguette, en abri chauffé, soumise à une pression modérée du puceron *Rhodobium porosum*, un régime de fertilisation appauvri en azote et renforcé en calcium a montré un effet limitant significatif sur le développement des populations du ravageur. Ce résultat ne s'est toutefois pas confirmé en conditions de production sur une culture soumise de janvier à fin avril à la succession des populations des pucerons *Acyrtosiphon malvae*, *Rhodobium porosum* et *Chaetosiphon fragaefolii*. Là où une seule application de thiaclopride permettait un nettoyage rapide et durable de la culture, les alternatives chimiques montrent des limites. Ainsi, le spirotetramat n'a pas montré d'efficacité sur l'espèce *Acyrtosiphon malvae*, au contraire du pyrimicarbe, qui, lui, s'est avéré d'efficacité insuffisante sur *Rhodobium porosum*.

Mots-clés : fraisier, pucerons, biocontrôle, *Chrysoperla carnea*, *Rhodobium porosum*, *Chaetosiphon fragaefolii*, *Acyrtosiphon malvae*, solution nutritive, culture hors-sol, Protection Biologique Intégrée

Abstract: PALPuF – Looking for alternative protection strategies against strawberry aphids using biocontrol and fertilization levers

Following the ban of the neonicotinoid insecticide thiacloprid, PALPuF project (2018-2019) was performed to test fertilization as a means of controlling strawberry aphids, in combination with biocontrol strategies (natural substances, macro-organisms). On a strawberry hydroponic culture grown in a heated greenhouse, under a moderate *Rhodobium* aphid pressure, a fertilization regime based on nutrient solutions depleted in nitrogen and reinforced in calcium showed a significant limiting effect on the development of the pest populations. This result was not confirmed in production conditions on a crop submitted from January to the end of April to successive populations of *Acyrtosiphon malvae*, *Rhodobium porosum* and *Chaetosiphon fragaefolii*. A single spray treatment with thiacloprid ensured a rapid and long-lasting clean-up for more than a month. Spirotetramat did not show any efficacy on *Acyrtosiphon malvae* species, while pyrimicarb was effective on this species, but poorly active on *Rhodobium porosum*.

Keywords: strawberry, aphids, biocontrol, *Chrysoperla carnea*, *Rhodobium porosum*, *Chaetosiphon fragaefolii*, *Acyrtosiphon malvae*, nutrient solution, hydroponic culture, Integrated Pest Management

Introduction

Avec 60 000 t/an, la production nationale de fraises ne représente que 5 % de la production européenne, mais elle se démarque sur le marché français par la richesse de sa gamme variétale reconnue pour ses qualités gustatives. Si les efforts de la filière française s'orientent depuis une décennie vers une production plus respectueuse de la santé et de l'environnement, la protection biologique du fraisier par l'apport d'auxiliaires reste d'une efficacité insuffisante contre les pucerons, dont douze espèces sont susceptibles d'affecter les fraisiers, avec un impact négatif fort sur la production. Les conditions de culture hors-sol des variétés de fraises précoces en serres chauffées offrent des conditions idéales à la pullulation non maîtrisée des pucerons, tandis qu'elles restent limitantes en début de cycle hivernal pour faciliter l'installation et l'activité prédatrice des auxiliaires. La stratégie de protection actuelle contre les pucerons du fraisier s'appuie donc sur la Protection Biologique Intégrée (PBI), en autorisant les interventions chimiques en cas de fortes attaques. Au démarrage du projet PALPuF, la protection chimique contre ces ravageurs reposait en pratique sur deux matières actives, le pyrimicarbe et un néonicotinoïde, le thiaclopride. Le retrait des néonicotinoïdes imposait donc d'identifier rapidement des stratégies alternatives, pour maintenir les performances de production de la filière française.

En s'appuyant d'une part sur des travaux de recherche antérieurs menés sur d'autres végétaux, qui établissaient une relation entre la pression des populations de pucerons et la composition biochimique de la sève phloémienne, et d'autre part sur un panel de solutions de biocontrôle, le projet PALPuF se proposait d'évaluer la pertinence technique de stratégies de protection minimisant le recours aux insecticides de synthèse, mais optimisées par une nutrition limitante pour le développement des pucerons.

Synthèse des connaissances au démarrage du projet

Les pucerons dépendent des plantes sur le plan trophique pour assurer leur développement et leur fertilité. La grande diversité des processus d'interaction mis en œuvre entre les pucerons et les végétaux est largement documentée : ceux-ci opposent un ensemble de mécanismes de défense déployés par la plante pour contrer leurs attaques, à des dispositifs développés par les pucerons pour contrecarrer ces défenses. La composition de la sève phloémienne se situe au cœur de ces interactions (Twayana *et al.*, 2022).

La fertilisation appliquée à la culture peut impacter conjointement les populations de pucerons et de parasitoïdes

Elle-même influencée par le régime nutritif de la plante et les équilibres qui le caractérisent, la composition du phloème oriente divers paramètres du développement et de la reproduction des ravageurs (Jansson, 2003). Sur pucerons, la qualité nutritive de la plante hôte a un effet à la fois sur la taille des individus et sur leur comportement (Dixon, 1998).

L'azote (N) en particulier est connu pour ses effets souvent favorables vis-à-vis des ravageurs en général et des pucerons en particulier. Ainsi, en culture de laitue, sous l'effet de régimes azotés croissants, les populations de *Nasonovia ribisnigri* augmentent significativement (Raynal *et al.*, 2014). Outre sa quantité, la forme de l'azote joue aussi un rôle important : la fertilité du puceron *Macrosiphum euphorbiae* est ainsi réduite par un équilibre azoté en faveur de la forme ammoniacale (Latigui et Dellal, 2009). D'autres éléments tels que le potassium (K), le magnésium, le phosphore, apparaissent aussi comme influents sur les populations de pucerons. À titre d'exemple, l'augmentation du niveau de potassium est favorable à *M. persicae* sur tabac (Jansson, 2003). Des résultats CTIFL récents non publiés montrent aussi, pour le pathosystème laitue - *Nasonovia ribisnigri*, l'effet des éléments potassium et calcium sur le nombre de pucerons, avec une composition en sucres et acide malique modifiée par rapport au témoin. Les niveaux d'apports en éléments ne sont pas seuls en jeu, mais aussi leurs ratios : ainsi, une fertilisation caractérisée

par un rapport N/K élevé favorise le développement du puceron *Macrosiphum euphorbiae* sur pomme de terre (Harrewijn et Piron, 1983).

Au même titre que la fertilisation peut agir vis-à-vis des pucerons, elle a aussi capacité à jouer un rôle sur leurs parasitoïdes. Ainsi, l'azote est décrit comme pouvant influencer la performance de parasitisme par les micro-hyménoptères (Jansson, 2003). Cet effet peut être rattaché à l'émission de composés organiques volatils par la plante, en lien avec son alimentation (Veromann *et al.*, 2013). Les résultats d'expériences menées spécifiquement sur la prédation du puceron *Macrosiphum euphorbiae* par l'hyménoptère *Aphidius ervi* soulignent ainsi l'importance de la solution nutritive apportée aux plantes (Jansson, 2003).

Toutefois, l'impact du régime nutritif appliqué à la culture est fortement contrasté selon les espèces considérées (hôte végétal, puceron, parasitoïde). Ainsi, le développement du puceron *Myzus persicae* est favorisé par un régime nutritif enrichi en azote et potassium sur pétunia, alors que l'effet inverse est observé sur hôte poivron (Jansson, 2003). De même, le projet FERTIPRO (2010-2012) met en évidence un effet significatif du régime de fertilisation sur le puceron *Nasanovia ribisnigri* sur hôte laitue, alors qu'aucun impact n'est décelé sur les ravageurs de la tomate (Rubio, 2015).

Sur fraisier, les effets à attendre d'une modification du régime de fertilisation sur la pression exercée par différentes espèces de pucerons méritait donc d'être étudiée. La question était d'autant plus pertinente que la fertilisation est à la fois un facteur potentiellement facile à manipuler et la base de la production. Toutes les options ne sont donc pas nécessairement possibles.

Contre les pucerons du fraisier, les moyens de protection biologique doivent être améliorés en cultures précoces

Les pucerons font partie, avec les thrips, des ravageurs les plus préjudiciables à la culture du fraisier et les plus difficiles à maîtriser. Contre ces ravageurs, plusieurs moyens de lutte biologique sont identifiés, notamment l'utilisation d'**hyménoptères parasitoïdes**, qui ont fait l'objet de diverses études en France et à l'étranger. Ainsi, l'Université de Louvain a pu caractériser les spécificités du parasitisme de plusieurs espèces de parasitoïdes vis-à-vis d'un panel d'espèces de pucerons observées sur culture de fraisier en Belgique (Hance et Salin, 2014). Mais l'installation et la performance des parasitoïdes peut s'avérer insuffisante, notamment en lien avec la présence de bactéries symbiotiques associées aux pucerons car ces dernières exercent un rôle protecteur vis-à-vis des parasitoïdes, et à une structuration génétique au sein d'une même espèce de parasitoïde, qui renforce leur spécificité vis-à-vis de leur hôte (Postic, 2016). D'après un recensement coordonné par le CTIFL en 2014, les producteurs de fraises ont à faire face à une douzaine d'espèces de pucerons dont les cinq principales sont par ordre décroissant d'importance : *Chaetosiphon fragaefolii*, *Acyrtosiphon malvae rogersii*, *Aphis spp.*, *Rhodobium porosum* et *Macrosiphum euphorbiae* (Trottin-Caudal, 2014). Cette grande diversité d'espèces impose un choix de parasitoïdes généralistes ou d'associations de différents parasitoïdes plus spécialisés complémentaires, ce qui rend complexe la mise au point de stratégies sur la base de ces seuls auxiliaires.

L'intérêt des **chrysopes** a par ailleurs été montré, lorsqu'elles sont apportées sous forme de larves sur les foyers de pucerons, et de manière répétée, mais cette efficacité reste incomplète (Trottin-Caudal, 2002 ; Lascaux, 2011). Ceci est d'autant plus vrai dans le cas des variétés de fraises précoces, dont la culture démarre dès les mois de décembre-janvier : même si les abris sont chauffés, le principal frein à l'installation des auxiliaires en culture précoce tient aux conditions encore fraîches en début de saison, avec des températures de l'ordre de 10 à 12°C. Il est donc potentiellement difficile de disposer d'une population d'auxiliaires installée au démarrage des attaques de pucerons. Il a été démontré que seule la chrysope *Chrysoperla carnea sensu stricto* est active et efficace dans ces conditions climatiques (Lorin, 2007). Cet auxiliaire, qui se caractérise par une forte capacité de prédation au stade larvaire semble donc bien indiqué en positionnement sur le démarrage de la culture. Dès lors que la température moyenne

dépasse les 18°C, les parasitoïdes peuvent entrer en action, soit lâchés en mélange, soit individuellement, selon les espèces de pucerons en présence : *Aphidius colemani* montre un très bon parasitisme contre *Aphis* spp., *Praon volucre* est efficace contre *Macrosiphum euphorbiae*, et *Aphelinus abdomibalis* est capable de contrôler *Rhodobium porosum*.

Enfin, l'utilisation **d'huiles paraffiniques** pourrait venir élargir le panel de solutions de biocontrôle disponible contre les pucerons, en provoquant leur mort par asphyxie. Il a aussi été démontré que les huiles interfèrent avec le comportement alimentaire des pucerons (Tjallingii, 1978), ou même qu'elles agissent sur les virus transmis par ces vecteurs en empêchant leur multiplication (Peters et Lebbink, 1975). La compatibilité du recours aux huiles paraffiniques avec une mobilisation d'auxiliaires peut toutefois se poser.

Les hypothèses de travail du projet PALPuF

Le projet PALPuF a été mené par le centre CTIFL de Lanxade, le Pôle Fraise de la station d'expérimentation Invenio et la société Koppert France, dans le cadre de l'APR ECOPHYTO II « Protection durable des cultures sans néonicotinoïdes » et grâce au financement de l'Agence Française de la Biodiversité. Il s'est focalisé sur le cas des productions de fraises précoces en système hors-sol sous abri chauffé, créneau particulièrement vulnérable face aux attaques de pucerons, et s'est astreint à explorer les deux hypothèses suivantes :

- Évaluer si les conclusions favorables obtenues sur le couple [*Nasonovia ribisnigri* – laitue] à travers les suites du projet FERTIPRO se vérifient sur fraisier, c'est à dire qu'un régime de fertilisation allégé en azote et avec un équilibre K/Ca favorable à la disponibilité du calcium influence négativement les populations de pucerons. Si oui, cet effet est-il d'intensité suffisante pour être considéré comme une voie prometteuse par les producteurs ?
- Évaluer l'efficacité de stratégies de biocontrôle proposées par KOPPERT pour ce créneau de production particulier, qui s'appuient sur l'utilisation conjointe de *Chrysoperla carnea sensu stricto*, d'un cocktail spécifique de parasitoïdes, et d'une huile paraffinique développée par KOPPERT. Cette dernière, adaptée pour un usage en cours de végétation sans risque de phytotoxicité pour la culture, était alors en cours de montage d'un dossier d'homologation par la firme.

Chacun de ces deux leviers a d'abord été testé de manière indépendante par le CTIFL en 2018, en conditions semi-contrôlées sur culture sous abris, puis par Invenio en 2019, sous forme de stratégies combinées en conditions réelles de production.

La production de fraises repose sur une première phase de culture menée en pépinière, qui consiste à produire et élever des plants aptes à fructifier (« tray-plants »), puis sur une seconde phase de culture menée chez le fraiculteur à partir des tray-plants, qui aboutira à la production des fruits. Les expérimentations du projet PALPuF se sont focalisées uniquement sur cette dernière étape de la culture.

1. Expérimentation factorielle de régimes de fertilisation et de stratégies de biocontrôle sur pathosystème *Rhodobium porosum* – Garigette

1.1 Méthodes

Deux études ont été menées en parallèle par le CTIFL de Lanxade (24) en 2018 : l'une consacrée à l'évaluation de l'impact de régimes nutritifs apportés à la culture sur la cinétique d'évolution des foyers de pucerons, sans mesure complémentaire de protection (« essai NUTRITION ») ; l'autre visant à évaluer deux stratégies de biocontrôle sur une culture soumise à un même régime de fertilisation (« essai PROTECTION »).

Les deux essais ont été conduits sur des tray-plants de fraisiers de la variété Gariguette plantés le 23/01/18 sur substrat de tourbe et écorce, à la densité de 8 plants par mètre linéaire, et alimentés à raison de 2 goutteurs par sac de substrat. Ils ont été conduits en conditions semi-contrôlées dans deux modules distincts d'une serre multichapelle double-paroi chauffée. La consigne de température appliquée était de 8°C la nuit et d'au moins 12°C le jour sur la période du 23/01/18 au 05/02/18 puis de 6°C la nuit (20h-6h) et d'au moins 12°C le jour jusqu'à la fin de la récolte (10h-18h).

1.1.1 Protocole d'inoculation artificielle en pucerons

Pour maîtriser au mieux l'homogénéité de présence du ravageur sur les différentes placettes des dispositifs expérimentaux, il a été retenu que la contamination en pucerons soit provoquée par infestation artificielle. Au préalable, un élevage de pucerons a donc été entrepris en chambre climatique (20°C), pour atteindre en deux mois le nombre d'individus nécessaire aux expérimentations, soit 300 individus de l'espèce *Rhodobium porosum*. Cette partie de l'étude s'est limitée à cette espèce de puceron, qui est décrite parmi les plus problématiques en culture de fraisier précoce sur substrat sous serre.

Pour procéder à l'inoculation (11/04/18), les pucerons ont été déposés individuellement sur des explants de fraisier (fragments de feuilles), à l'aide d'un pinceau ou d'un stylet manipulés sous loupe binoculaire. Ces explants ont été aussitôt transférés au cœur de chacun des plants de fraisier à inoculer, à raison de 6 individus par plant, sur 24 plants par parcelle élémentaire. En préalable aux infestations, l'absence de pucerons sur les plants fournis par le pépiniériste a été vérifiée.

1.1.2 Régimes nutritifs testés dans l'essai « NUTRITION »

Quatre régimes de nutrition du fraisier ont fait l'objet d'une évaluation. Ceux-ci ont fait varier la richesse en azote et l'équilibre K/Ca de la solution nutritive, les autres teneurs ioniques restant constantes (Tableau 1). Cela permettait, avec un nombre limité de modalités, de tester les deux paramètres donnés dans la littérature comme pouvant affecter la population de pucerons.

Tableau 1 : Solutions nutritives testées dans l'essai NUTRITION (CTIFL, 2018).

	MODALITES	N-NO3	N-NH4	P-PO4	Cl	K	Ca	Mg	Na	S-SO4	K/Ca
Phase végétative	T1 N+	15,0	0,0	2,1	0,3	8,1	9,0	2,1	0,3	1,9	0,90
	T2 N-	7,0	0,0	1,0	0,1	3,8	4,2	1,0	0,1	0,9	0,90
	T3 N+ Ca+	15,0	0,0	2,1	0,3	2,3	14,8	2,1	0,3	1,9	0,16
	T4 N- Ca+	7,0	0,0	1,0	0,1	1,1	6,9	1,0	0,1	0,9	0,16
Phase de production	T1 N+	15,0	0,0	2,1	0,3	8,1	9,0	2,1	0,3	1,9	0,90
	T2 N-	3,5	0,0	0,5	0,1	1,9	2,1	0,5	0,1	0,5	0,90
	T3 N+ Ca+	15,0	0,0	2,1	2,7	2,3	17,2	2,1	0,3	1,9	0,14
	T4 N- Ca+	3,5	0,0	0,5	0,6	0,5	4,0	0,5	0,1	0,5	0,13

1.1.3 Stratégies de protection testées dans l'essai « PROTECTION »

Deux stratégies de protection ont été évaluées en comparaison d'une référence mobilisant un néonicotinoïde : le thiaclopride (Tableau 2). Les placettes élémentaires ont été équipées en début d'expérience de dispositifs insect-proof individuels, afin d'empêcher la migration des auxiliaires. Pour isoler le seul effet des stratégies testées, un même régime nutritif a été appliqué à la culture.

Tableau 2 : Stratégies de protection contre les pucerons testées dans l'essai PROTECTION (CTIFL, 2018).

Date	Référence Thiaclopride	« Stratégie PBI »	« Stratégie Biocontrôle »
11/05/18		DEV 1502 ⁽¹⁾	DEV 1502 ⁽¹⁾
23/05/18	CALYPSO®		DEV 1502 ⁽¹⁾
25/05/18		Lâchers chrysope + parasitoïdes ⁽²⁾	
08/06/18		Lâchers chrysope + parasitoïdes ⁽²⁾	
13/06/18		PIRIMOR G® ⁽³⁾	DEV 1502 ⁽¹⁾
20/06/18			DEV 1502 ⁽¹⁾

(1) : Huile paraffinique développée par KOPPERT. Celle-ci a la particularité de pouvoir être appliquée en cours de végétation sans risque de phytotoxicité pour le végétal, par opposition aux huiles classiques. Elle n'est pas neutre en effet immédiat sur plusieurs espèces d'organismes utiles, mais sa faible rémanence permettrait une remontée des populations d'auxiliaires en quelques jours

(2) : Doses d'auxiliaires apportées : *Chrysoperla carnea*: 50 larves/m² ; *Aphelinus abdominalis* et *Aphidius ervi*: 25 momies/m²

(3) : Pirimicarbe (famille carbamates). Compatible PBI car « peu toxique » sur organismes utiles : anthocoridés, aranéidés, carabidés, chrysopidés, coccinellidés, mirridés, nabidés, phytoséidés et staphylinidés (AFSSA, 2008)

1.1.4 Indicateurs d'évaluation de la pression en pucerons

Les indicateurs relevés pour quantifier la présence des pucerons ont été les suivants : (i) pour l'essai NUTRITION, le nombre de pucerons par plante, relevé sur les 72 tray-plants inoculés pour chacune des modalités ; (ii) pour l'essai PROTECTION, les classes d'infestation d'1 à 3 feuilles évaluées sur 64 tray-plants inoculés, ces feuilles étant baguées en début d'expérience et choisies pour leur forte infestation. Un pas de temps d'observation de 3-4 jours a été retenu. Ces deux premiers essais se sont achevés avec la fin de la première phase de production des fraisiers (« premier jet »).

1.2. Résultats des expériences en conditions semi-contrôlées avec infestation artificielle en pucerons de la seule espèce *Rhodobium porosum*

Le puceron *Rhodobium porosum* s'est montré sensible aux solutions nutritives apportées, dans les conditions de l'essai NUTRITION, qui a connu de manière globale une lente progression des populations depuis le 10/04 jusqu'au 30/04 (date qui marquait déjà la fin de la récolte et donc de l'essai). **Une solution nutritive à 3,5 meq/L en phase de fructification, avec un équilibre K/Ca de 0,13 a ainsi permis de contenir les populations à 8 individus par plante, soit un niveau 2,5 fois moins élevé que celui observé avec la solution à 15 meq/L d'azote et un équilibre K/Ca de 0,90** (Figure 1).

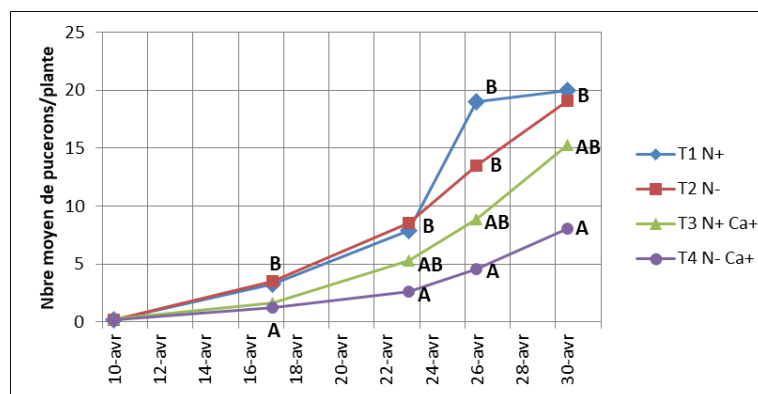
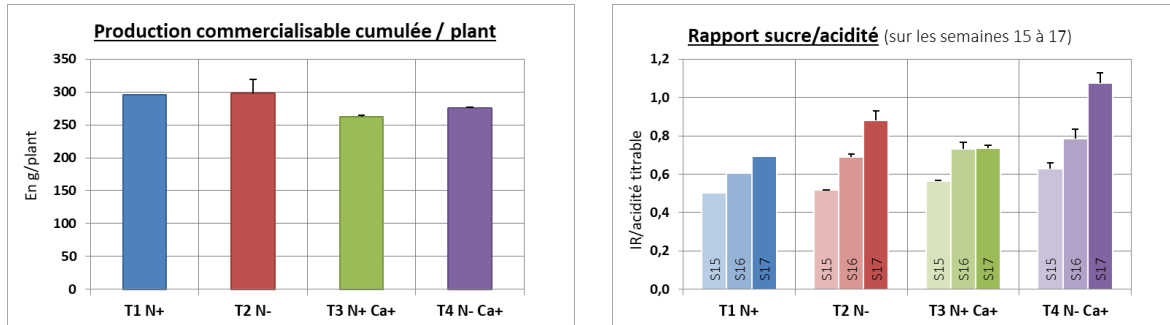


Figure 1 : Évolution des populations du puceron *Rhodobium porosum* dans l'essai NUTRITION (CTIFL, 2018)

Les lettres majuscules identifient les groupes statistiques homogènes par le test de Duncan, après significativité par le test de Fisher ($\alpha=5\%$)

Point positif, cette solution nutritive identifiée ici comme limitante pour le puceron *Rhodobium porosum* n'a eu **aucune incidence négative sur le rendement de la culture** (Figure 2) et a même eu un **effet favorable sur le rapport sucre/acidité des fruits et donc leur qualité gustative**, comme révélé par l'analyse physico-chimique des récoltes et confirmé par un test sensoriel « 2 parmi 5 » réalisé sur un panel de dégustateurs.

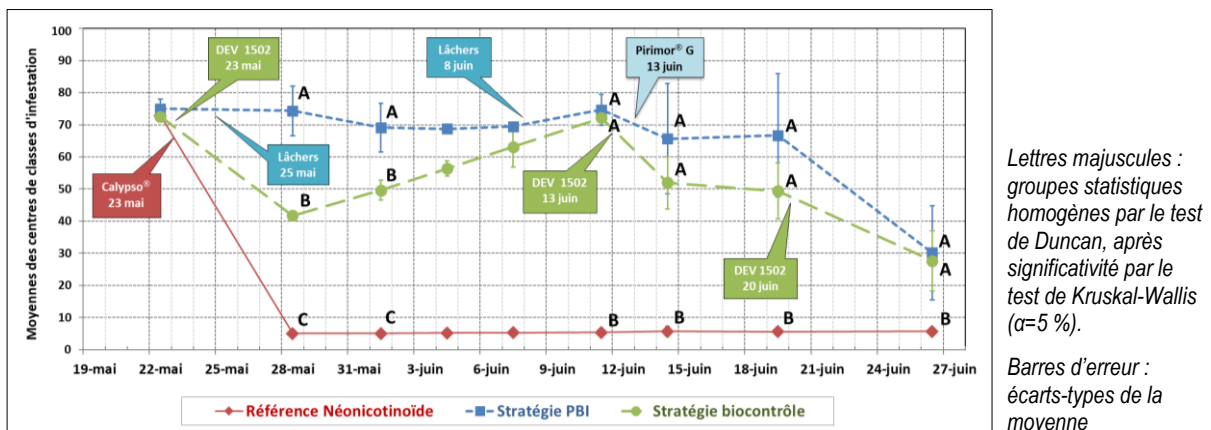


Les barres d'erreur représentent les écart-types. S15, S16, S17 : semaines de production 15 à 17.

Figure 2 : Impact des régimes nutritifs sur la récolte et la qualité gustative des fruits (essai NUTRITION, CTIFL, 2018)

Dans les conditions de forte pression qui ont été celles de l'essai PROTECTION (avec une majorité de feuilles avec plus de 50 individus en début d'application du protocole de traitement), **la solution de biocontrôle DEV 1502 développée par Koppert (huile paraffinique) a montré une efficacité significative mais fugace**, conduisant à recommander l'utilisation de ce biocontrôle à raison d'applications répétées selon une cadence hebdomadaire.

Dans ces mêmes conditions, l'aphicide PRIMOR® G n'a eu qu'une efficacité partielle, et, bien qu'apportés à très forte dose, les auxiliaires n'ont pas suffi à réduire les populations du ravageur. **Une seule application de CALYPSO® a quant à elle permis de nettoyer efficacement le feuillage avec une rémanence de plus d'un mois** (Figure 3), soulignant bien ce qui en faisait son attrait majeur pour la profession.



Lettres majuscules : groupes statistiques homogènes par le test de Duncan, après significativité par le test de Kruskal-Wallis ($\alpha=5\%$).

Barres d'erreur : écarts-types de la moyenne

Figure 3 : Évolution des effectifs de pucerons par feuille dans l'essai PROTECTION (CTIFL, 2018)

À noter que si l'installation de la culture a bien eu lieu à la date prévue, la mise en œuvre du protocole d'infestation puis le déclenchement des traitements ont été involontairement retardés par rapport au planning initialement prévu. Ceci a écourté la période de suivi dans l'essai NUTRITION et a conduit, dans l'essai PROTECTION, à une situation où les populations de pucerons se sont fortement accrues après avoir tardé à s'installer. Cette forte pression n'a pas permis de positionner les apports d'auxiliaires de

manière adéquate (c'est-à-dire sur des foyers de pucerons encore peu développés) et ceci a pu introduire un biais dans la mauvaise appréciation qui ressort de la stratégie PBI testée.

2. Expérimentation en conditions de production de stratégies combinant les leviers nutrition et protection

2.1. Méthodes

Cette étude, réalisée par le Pôle Fraise d'Invenio (47) en 2019, a été menée en conditions de production, sous serre verre chauffée, sur la même variété Gariguette plantée sous forme de tray-plants. Au contraire des deux essais précédents, les contaminations en pucerons n'ont pas été ici provoquées, ce qui a permis d'observer la montée des populations en conditions réelles, dans leur diversité d'espèces, et d'anticiper le positionnement des lâchers d'auxiliaires. L'étude a été conduite ici sur les deux jets de production.

Deux régimes de fertilisation ont été testés, en combinaison avec trois stratégies de protection.

2.1.1 Identification des espèces de pucerons observées dans l'essai

L'identification des pucerons en présence a été réalisée à l'espèce tout au long de l'étude. Typiquement, trois espèces de pucerons se sont succédées ou chevauchées dans l'essai : la première vague de production a été sujette à un fort développement des populations d'*Acyrtosiphon malvae*, puis à partir de la mi-mars à une montée en puissance de *Rhodobium porosum* ; la seconde phase de fructification a été dominée par les pullulations de *Rhodobium porosum* et dans une bien moindre mesure d'*Acyrtosiphon malvae* et de *Chaetosiphon fragaefolii* (Figure 4).

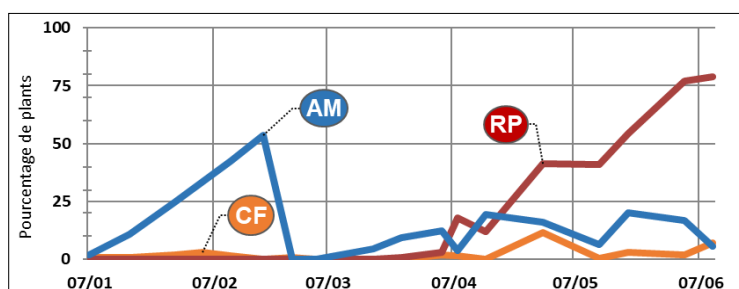


Figure 4 : Succession d'espèces de pucerons rencontrées dans l'expérimentation menée en conditions de production (Invenio 2019)

AM: *Acyrtosiphon malvae*. **RP:** *Rhodobium porosum*. **CF:** *Chaetosiphon fragaefolii*.

2.1.2 Régimes nutritifs testés dans l'expérimentation croisée

Les modalités de nutrition testées se sont inspirées des résultats obtenus en 2018 concernant l'équilibre K/Ca de la solution nutritive dite limitante pour les pucerons, mais le choix a été fait d'abaisser la teneur en azote de la fertilisation « témoin », pour la mettre en cohérence avec les niveaux d'azote classiquement apportés aujourd'hui par les fraisculteurs. Deux régimes de fertilisation ont été évalués (Tableau 3).

Tableau 3 : Solutions nutritives testées dans l'expérimentation en conditions de production (Invenio, 2019).

	MODALITES	N-NO3	N-NH4	P-PO4	Cl	K	Ca	Mg	Na	S-SO4-	Ec	TOT-Nmin	K/Ca
Phase végétative	Témoin	8,2	1,4	1,4	0,1	3,1	5,1	1,3	0,1	1,3	1,2	9,6	0,61
	N- Ca+	7,4	0,0	1,1	0,2	1,3	7,8	0,9	0,3	0,7	1,1	7,4	0,17
Phase de production	Témoin	8,4	0,0	1,3	0,2	4,6	5,1	1,2	0,2	1,2	1,2	8,4	0,91
	N- Ca+	4,3	0,0	0,6	0,2	0,8	5,2	0,7	0,3	0,5	0,8	4,3	0,15

2.1.3 Stratégies de protection testées dans l'expérimentation croisée

Ces régimes nutritifs ont été croisés avec trois stratégies de protection : (I) une stratégie chimique, basée sur le MOVENTO® (spirotetramat) et le PIRIMOR® G (pirimicarbe), le thiaclopride n'étant plus autorisé en 2019 ; (II) une stratégie PBI reposant sur l'huile DEV 1502 et le PIRIMOR® G ; (III) une stratégie de biocontrôle sans intervention chimique, basée sur l'huile DEV 1502, puis l'apport de chrysopes et de parasitoïdes. Les fortes infestations observées dans l'essai, et les restrictions réglementaires du nombre d'applications autorisées pour chaque molécule, conduiront en réalité à devoir déroger à ces principes posés au départ, en ajoutant notamment dans la première stratégie deux solutions de biocontrôle récemment homologuées : les produits FLIPPER® (savon potassique) et ERADICOAT® (maltodextrine). Le calendrier des stratégies utilisées est donné dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Calendrier des stratégies de protection appliquées dans l'expérimentation en conditions de production (Invenio, 2019).

Dates d'interventions	« Stratégie chimique » + Régime Témoin (MOD 1)	« Stratégie PBI » + Régime Témoin : MOD 2 + Régime N-Ca+ : MOD 4	« Stratégie Biocontrôle » + Régime Témoin : MOD 3 + Régime N-Ca+ : MOD 5
29/01/2019	Movento® (0,75L/ha)		
31/01/2019		DEV1502 (15L/ha)	DEV1502 (15L/ha)
12/02/2019		DEV1502 (15L/ha)	DEV1502 (15L/ha)
26/02/2019	Pirimor® G (0,75kg/ha)	DEV1502 (15L/ha)	DEV1502 (15L/ha)
12/03/2019			Larves de <i>Chrysoperla carnea</i> (10/m ²)
14/03/2019		Pirimor® G (0,75kg/ha)	
20/03/2019			Larves de <i>Chrysoperla carnea</i> (10/m ²)
14/05/2019	Flipper® (15L/ha)	DEV1502 (15L/ha)	DEV1502 (15L/ha)
22/05/2019	Flipper® (15L/ha)		
28/05/2019		Larves de <i>Chrysoperla carnea</i> (10/m ²)	Larves de <i>Chrysoperla carnea</i> (10/m ²)
29/05/2019	Eradicoat® (18L/ha)		
06/06/2019	Pirimor® G (0,75kg/ha)		

Dans cet essai, planté le 12/12/18, 4 répétitions de 60 plants ont été utilisées par modalité. La stratégie chimique a été conduite dans un compartiment isolé de la serre afin de ne pas interférer avec le reste du dispositif, tandis que les stratégies PBI et Biocontrôle ont été mises en place dans un même compartiment.

2.1.4 Indicateurs d'évaluation de la pression pucerons

L'indicateur relevé pour quantifier la présence des pucerons était ici la classe d'infestation par plant, évaluée sur 10 plants pris au hasard par parcelle élémentaire, soit sur 40 plants par modalité ; pour chaque plant les organes observés consistaient en une feuille âgée, une jeune feuille, une hampe, une fleur, un fruit vert/blanc et un fruit rosé/rouge. L'échelle de notation retenue a été la suivante : classe 0 : moins de 10 pucerons ; classe 1 : 10-20 pucerons ; classe 2 : 21 à 50 pucerons ; classe 3 : plus de 50 pucerons. Le pas de temps d'observation était fixé à 7 jours. Ces observations ont aussi permis le calcul du pourcentage de plants infestés par les pucerons.

2.2 Résultats obtenus en conditions de production sous une installation naturelle de quatre espèces de pucerons

Les résultats qui avaient été obtenus en 2018 sur l'effet limitant sur les pucerons, d'une nutrition allégée en azote et avec un rapport K/Ca en faveur du calcium, ne se sont pas vérifiés dans cet essai. En effet, sur toute la durée de l'expérimentation 2019, ce sont au contraire les modalités « Régime nutritif témoin » qui se sont maintenues à un taux de colonisation par les pucerons globalement inférieur de 15 à 20 % à celui des modalités utilisant une solution nutritive modifiée. Il s'est toutefois confirmé que cette modification de la fertilisation par rapport à la pratique classique du fraiseur n'a pas d'impact négatif sur le rendement commercial, puisqu'elle a même ici conduit à un gain significatif de production de l'ordre de 14 %.

Trois applications de l'huile DEV 1502, réalisées de manière successive – comme recommandé suite aux résultats 2018 – n'ont eu ici aucune efficacité sur les populations de pucerons présentes sur le premier jet de production (Figure 5). En revanche, appliqué sur la seconde phase de la culture, une semaine après le nettoyage des fraisiers pratiqué classiquement entre les deux jets (effeuillage des feuilles âgées), le DEV 1502 a permis de réduire la fréquence de plants infestés par le *Rhodobium*, mais de façon, là encore, très fugace. Les recommandations de la firme étant alors de limiter son utilisation à 4 applications sur ce type de cible, il a été impossible de renouveler ce traitement et donc d'apprécier la capacité de ce biocontrôle à nettoyer la culture dans ces conditions d'utilisation.

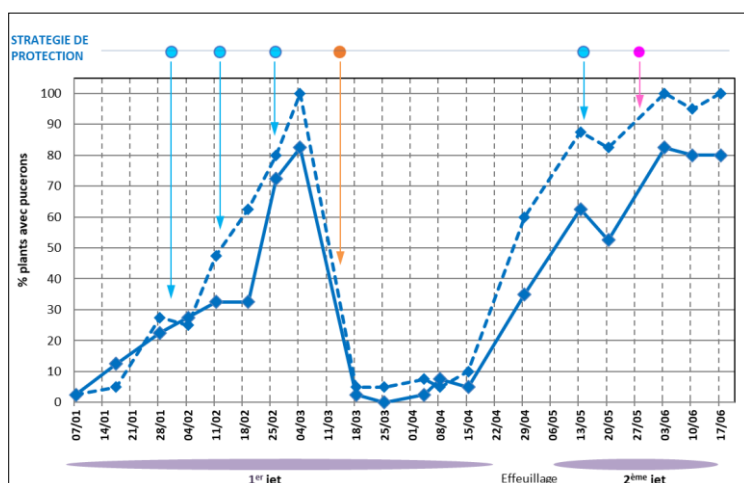


Figure 5 : Évolution du pourcentage de plants occupés par des pucerons sous la « stratégie PBI » testée et deux régimes de fertilisation (Invenio 2019)

Légende : Courbe en ligne pleine : régime nutritif témoin. Courbe en tirets : régime nutritif allégé en N et renforcé en Ca. Positionnement de la protection : en bleu, huile DEV 1502 ; en orange, PIRIMOR® G ; en rose, larves de chrysopes.

L'action de lâchers de larves de *Chrysoperla carnea* effectués sur le premier jet de production, après l'échec des pulvérisations de DEV 1502, et donc sur des niveaux d'infestation en *Acyrtosiphon malvae* déjà élevés, n'a pas pu être appréciée car les modules concernés par ces modalités semblent avoir pu être « pollués » par les vapeurs de PIRIMOR® G appliqué à proximité. Sur le 2^{ème} jet de production, les lâchers de cet auxiliaire, effectués 15 jours après le DEV 1502, et donc en pleine recrudescence des pucerons *Rhodobium porosum*, juste temporairement affectés par l'huile paraffinique, semblent avoir eu une petite efficacité, fugace, sur les modalités fertilisées sous le régime appauvri en azote et renforcé en calcium (Figure 6). Cette observation coïncidant avec la fin de période de récolte, elle n'a pas pu être confirmée par un renouvellement des lâchers.

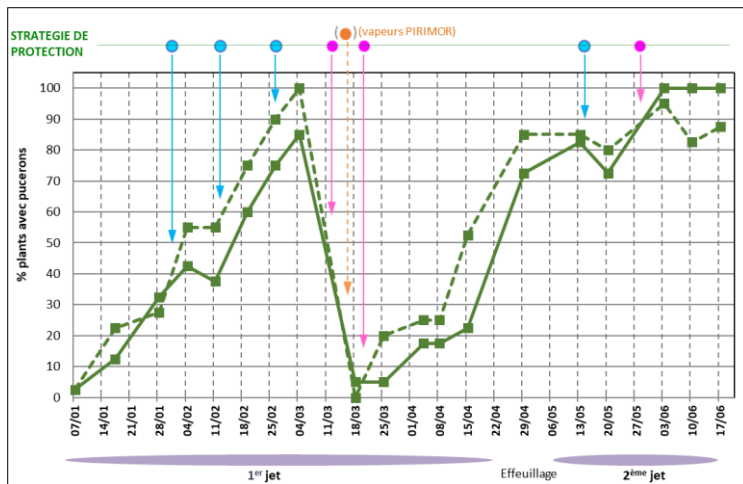


Figure 6 : Évolution du pourcentage de plants occupés par des pucerons sous la « stratégie Biocontrôle » testée et deux régimes de fertilisation (Invenio 2019)

Légende : Courbe en ligne pleine : régime nutritif témoin. Courbe en tirets : régime nutritif allégé en N et renforcé en Ca.

Positionnement de la protection : en bleu, huile DEV 1502 ; en rose, larves de chrysopes ; en orangé, vapeurs de PIRIMOR® G, pollution du dispositif expérimental depuis les placettes PBI).

Parmi les insecticides de synthèse utilisés dans la « Stratégie chimique » sur la première phase de production, le PIRIMOR® G a montré une excellente efficacité sur *Acyrtosiphon malvae*, même appliqué sur un taux d'infestation de 100 % de plants occupés, alors que le MOVENTO® appliqué en début d'infestation, sur des niveaux de fréquence de l'ordre de 30 % de plants occupés, s'est montré totalement inefficace sur cette espèce (Figure 7). Ceci est du reste en concordance avec les recommandations accompagnant l'utilisation du MOVENTO® sur l'usage pucerons du fraisier, qui le signalent comme d'efficacité avérée sur les espèces *Aphis grangulae*, *A. gossypii*, *A. forbesi*, et sur *Chaetosiphon frangulae*, mais ne mentionnent pas d'efficacité sur *Acyrtosiphon malvae*.

Appliqué sur une forte pression à dominante *Rhodobium porosum* (sur le second jet de production), le PIRIMOR® G n'a eu aucune efficacité, en concordance avec les résultats de l'année 2018 obtenus sur cette même espèce, corroborés par les observations de terrain des expérimentateurs et techniciens. À noter que le PIRIMOR® G a été utilisé ici en derniers recours, après avoir tenté de contenir les populations, après l'effeuillage de la culture, par l'application de deux solutions de biocontrôle : le FLIPPER® (savon potassique) répété 1 fois à T+7j, puis l'ERADICOAT® (maltodextrine) pulvérisé la semaine suivante. Aucune de ces applications, réalisées sur des taux d'infestation déjà très élevés (95 % de plants occupés), mais, du moins pour la première, sur des volumes foliaires éclaircis par l'effeuillage, n'a montré la moindre efficacité.

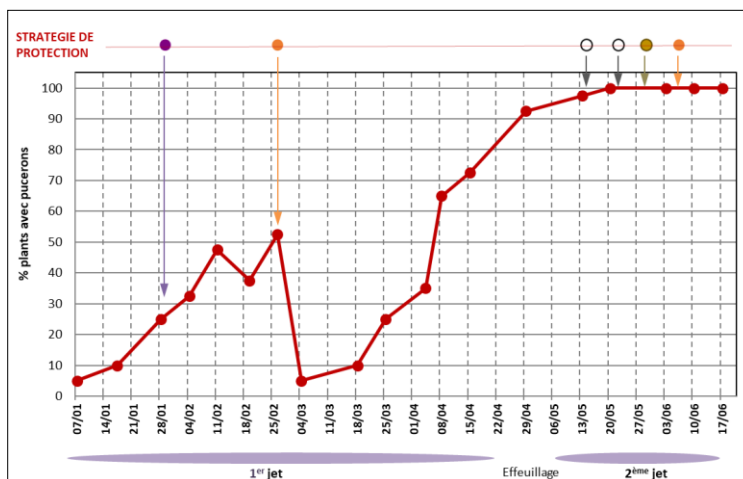


Figure 7 : Évolution du pourcentage de plants occupés par des pucerons sous la « stratégie chimique » appliqué et le régime de fertilisation témoin (Invenio 2019)

Légende : Courbe rouge : régime nutritif témoin (seul testé dans la modalité « chimique »).

Positionnement de la protection : en violet, MOVENTO® ; en orangé, PIRIMOR® G ; en blanc, FLIPPER® ; en marron, ERADICOAT®.

3. Discussion des résultats et implications pratiques

Différents protocoles testaient séparément puis conjointement deux leviers, susceptibles de réduire la pression de différentes espèces de pucerons sur fraisier conduit sous serre chauffée. Dans chaque cas, il a été retrouvé des éléments corroborant ce que disait la littérature, à savoir des effets inhibiteurs sur

les populations de pucerons. En revanche, aucun des leviers n'a été d'efficacité suffisante pour pouvoir être envisagé par les producteurs. L'association des leviers à effet partiel n'a pas convaincu sur leur effet cumulatif possible et conduit même plutôt à conclure à une absence de complémentarité. Ainsi, à l'issue du projet PALPuF, aucune stratégie de protection efficace n'a pu être identifiée, qu'elle soit à dominante chimique ou intégrant des solutions de biocontrôle. Néanmoins, quelques enseignements peuvent être dégagés de cette étude.

On retiendra ainsi que le MOVENTO® n'a pas d'efficacité sur l'espèce *Acyrtosiphon malvae*, au contraire du PIRIMOR® G qui peut être positionné même sur des infestations fortes sur cette espèce, mais qui n'a, en revanche, qu'une activité très insuffisante sur *Rhodobium porosum*. Après application de cet aphicide, qui agit par contact et vapeur, un retour des infestations est observé 15 jours après application.

Le cas de l'huile paraffinique DEV 1502 est plus ambigu. Ce biocontrôle n'a en effet pas eu ici d'efficacité sur le puceron *Acyrtosiphon malvae* mais a semblé actif, deux années de suite, sur l'espèce *Rhodobium porosum*. Il serait toutefois prématuré d'interpréter ce constat par une différence de sensibilité de ces espèces, car d'après d'autres expérimentations réalisées sur cette huile, ses conditions d'application pourraient expliquer son efficacité aléatoire. Ainsi, le taux d'hygrométrie (positionnement sur un feuillage sec), un volume de bouillie adapté à la densité du feuillage, et la qualité de pulvérisation pourraient être des facteurs déterminants. Ce point mériterait donc d'être clarifié. Toutefois, avec une limite à quatre applications, qui aurait même pu être réduite à deux s'il avait été homologué sur fraisier (ce qui jusqu'à présent n'est pas le cas), ce biocontrôle n'aurait pu être que l'une des composantes d'une stratégie de protection et n'aurait pas été à lui seul une « alternative au thiaclopride ».

Enfin, si l'effet de la composition des solutions nutritives sur l'évolution des pucerons n'a pas été démontré, on peut retenir que la fertilisation par des solutions nutritives modérées dans leur apport d'azote (7 meq/L en phase végétative puis 3,5 meq/L en phase de fructification) et avec un équilibre K/Ca en faveur du calcium (K/Ca de l'ordre de 0,15) n'a pas d'incidence négative sur le rendement de la variété Gariguette en culture hors-sol, et a une action positive sur la qualité organoleptique des fruits. L'effet de ce régime sur la tenue en conservation des fraises mériterait toutefois d'être vérifié.

Du point de vue méthodologique, on notera que la durée de la culture influe directement sur la sévérité des pullulations de pucerons et sur l'échelonnement des espèces en présence. De ce point de vue, l'expérience de l'essai NUTRITION 2018, qui s'est déroulée sur un temps très court, s'est trouvée avantagée. On pourrait donc recommander de poursuivre les travaux sur des cultures implantées précocement afin de se placer en situation de risques de fortes pullulations. Par ailleurs, la réalisation de l'étude sur la base d'infestations artificielles ne semble pas, *a posteriori*, la mieux adaptée, car elle oblige à attendre que les populations soient installées de manière homogène pour déclencher le protocole de traitements, stade où une action efficace des auxiliaires ou des substances de biocontrôle devient alors beaucoup moins justifiée et hautement aléatoire. La possibilité d'isoler physiquement les modalités expérimentales reste quant à elle un impératif, pour éviter toute interférence entre traitements chimiques et auxiliaires.

La problématique « pucerons » restant un enjeu majeur pour la filière fraise, des suites ont été données à ce projet sous forme de deux essais menés par le CTIFL en 2021 et 2022. En 2021, l'expérimentation a été étendue aux variétés Gariguette et Mariguette, avec comparaison de deux substrats (tourbe/écorce de pin ; fibre de coco). Six solutions nutritives, plus ou moins limitantes en azote ou enrichies en calcium, et différenciées sur la phase végétative, la floraison, ou la fructification, ont été testées, en conditions semi-contrôlées et sous une infestation naturelle en pucerons. En 2022, l'étude a porté sur six variétés de fraises (remontantes ou non remontantes), cultivées sur un même substrat et soumises à six régimes de fertilisation ; la pression en pucerons a ici été provoquée par l'inoculation préalable d'individus de l'espèce *Chaetosiphon fragaefolii*. Aucun de ces travaux n'a permis de dégager une stratégie de fertilisation défavorable à l'augmentation des populations de pucerons, qui atteindront dans ces essais

des niveaux de 50 à 100 % de plants infestés, indépendamment de la composition des solutions nutritives apportées aux cultures.

Conclusion

Sur le plan scientifique, ces études auraient gagné à inclure des indicateurs du métabolisme de la plante, notamment de composition de la sève phloémienne (sucres, calcium, autres constituants), qui auraient pu amener des éléments de compréhension complémentaires sur l'interaction pucerons-fraisiers, sous les régimes nutritifs imposés et des niveaux de populations de pucerons variables. Le test de solutions nutritives modifiées dans leurs équilibres aurait aussi mérité d'être réitéré à l'identique (mêmes régimes nutritifs, introduction maîtrisée du ravageur) pour confirmer ses résultats en situation de pression modérée (ceci sera réalisé par le CTIFL en 2023).

À ce stade, le régime de fertilisation ne peut pas être préconisé dans la pratique comme levier complémentaire de protection des fraisiers contre les pucerons. Avec des solutions de biocontrôle difficiles d'utilisation et d'efficacité éphémère, les fraiseiculteurs restent aujourd'hui sans conduite alternative robuste, d'autant que les matières actives disponibles, chimiques ou de biocontrôle, sont réglementairement limitées en nombre d'applications (face aux risques résidus et de phytotoxicité pour la culture).

Comme illustré par ces travaux, une difficulté particulière vient du fait que l'efficacité des interventions chimiques contre les pucerons reste très dépendante des degrés variables de sensibilité aux matières actives des espèces de pucerons présentes sur la culture. Ceci accroît la difficulté de proposer des stratégies robustes, face à l'impossibilité actuelle de pronostiquer quelles seront les espèces dominantes au cours des deux jets de production. Il en va de même pour l'utilisation des parasitoïdes, qui sont plus ou moins spécifiques de leur hôte, ce qui complique la lutte et oblige le fraiseiculteur à une certaine technicité pour s'en servir. Ceci plaide en faveur d'une multiplication des observations dans diverses situations, pour cerner au mieux la sensibilité de chacune des espèces de pucerons et préciser les facteurs d'efficacité du petit choix de solutions de biocontrôle disponibles. Dans ce cadre, le développement d'un schéma d'aide à la prise des bonnes décisions pourrait aussi avoir sa place.

Contre les pucerons du fraisier, d'autres pistes de solutions sont à l'étude, comme le développement de souches d'hyménoptères parasitoïdes spécifiquement adaptés à la diversité des pucerons rencontrés dans les fraiseraies françaises (projet APHIDIUS 2.0, 2021-2024). Une autre voie, travaillée plus largement sur cultures légumières, est celle de l'utilisation de plantes de services (plantes ressources et plantes-banques) pour faciliter l'entrée en action précoce des auxiliaires puis leur régularité de prédation (projet REGULEG, 2018-2020 ; projet EFFICACE, 2023-2026). Si individuellement chacun de ces leviers n'aura probablement qu'une efficacité très partielle en comparaison du thiaclopride, on peut imaginer que leur combinaison puisse réussir à maintenir les pucerons à un niveau peu impactant sur la production. Dans le cas où ces hypothèses s'avèreraient justes du point de vue agronomique, il conviendra toutefois d'en mesurer la pertinence sur le plan économique.

Références bibliographiques

- AFSSA, 2008. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à la demande d'extension d'usage mineur de la préparation phytopharmaceutique PRIMOR G. p.3.
- Dixon A.F.G., 1998. Aphid ecology: an optimization approach. 2nd edition. Chapman & Hall. London.
- Hance T., Salin C., 2014. Potential of strawberry aphids control by parasitoids. IOBC-WPRS Bulletin 102, 85-90.
- Harrewijn P., Piron P.G.M., 1988. Effect of nitrogen on the level of resistance of lettuce to aphids. ISOSC Proceedings.
- Jansson J., 2003. The influence of plant fertilisation regime on plant aphid parasitoid interactions. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Lascaux E., 2011. Les pucerons en fraisier : étude de la diversité des espèces et perspectives de lutte. 9ème Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, 26 et 27 octobre 2011, Montpellier SupAgro, 10 p.
- Latigui A., Dellal A., 2009. Effect of different variation of NH₄⁺ compared to N (NH₄⁺ + NO₃⁻). American Journal of Plant Physiology, 4 (2): 80-88.
- Lorin G., 2007. Biological control of aphids with *Chrysoperla carnea* on strawberry crop. Integrated Plant protection in soft fruits, IOBC/ wprs Bulletin 39, 125-129.
- Peters D., Lebbink G., 1975. Inhibitory action of mineral-oil on number of local lesions on *Nicotiana-Glutinosa* L. leaves inoculated with Tobacco Mosaic-Virus. Virology 65, 574-578.
- Postic E., 2016. Caractérisation de pucerons et efficacité des parasitoïdes dans le cadre d'un programme de lutte biologique en culture de fraisier sous abri. Mémoire de stage.
- Raynal C., Julhia L., Nicot P. 2014. Fertilisation et sensibilité des cultures de laitue et de tomate aux bioagresseurs. Innovations Agronomiques 34, 1-17.
- Rubió L., 2015. Bilan des projets Fertileg et Fertipro : moins d'azote pour moins de bio-agresseurs. Culture Légumière. N°145, 20-21.
- Tjallingii W.F., 1978. Electronic recording of penetration behaviour by Aphids. Entomologia Experimentalis et Applicata 24, 721-730
- Trottin-Caudal Y., 2002. Situation actuelle de la protection intégrée en culture de fraisier sous abri en France. 2ème Conférence Internationale sur les Moyens alternatifs de lutte contre les organismes nuisibles aux végétaux, Lille, 4 au 7 mars 2002, 381-388
- Trottin-Caudal Y., 2014. Le Point sur les maladies et ravageurs : les pucerons en culture de fraisier sous abris. Ed. CTIFL. 9p.
- Twayana M., Girija A.M., Mohan V., Shah J. 2022. Phloem: at the center of action in plant defense against aphids. Journal of Plant Physiology 273, 15p.
- Veromann E., Toome M., Kännaste A., Kaasik R., Copolovici L., Flink J., Kovacs G., Narits L., Luik A., Niinemets Ü., 2013. Effects of nitrogen fertilization on insect pests, their parasitoids, plant diseases and volatile organic compounds in *Brassica napus*. Crop Protection 43, 79-88.



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.