



PALPuF

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

Looking for alternative protection strategies against
strawberry Aphids using biocontrol and fertilization levers

« APR Néonicotinoïdes » - AFB/2018/117
Synthèse pour les décideurs V1
Date de la version du rapport: 10/07/2020

Identité et coordonnées du coordinateur du projet
de recherche (adresse et courriel) :

Maria-Martha Fernandez

Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
Centre Opérationnel de Lanxade, 28 route des Nébouts, 24130 Prignonieux
maria-martha.fernandez@ctifl.fr

Action pilotée par les Ministères chargés du développement durable (MTES), de l'agriculture (MAA), de la santé (MSS) et de la recherche (MESRI), avec l'appui financier de l'Agence Française pour la Biodiversité, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du Plan Ecophyto

Table des matières

SYNTHESE	3
Contexte général et enjeux scientifiques et techniques	5
Objectifs généraux du projet.....	5
Quelques éléments de méthodologie (et éventuelles difficultés rencontrées)	6
Résultats obtenus.....	8
Implications pratiques, recommandations, réalisations pratiques, valorisation..	10
Partenariats mis en place, projetés, envisagés	13
Pour en savoir plus (quelques références)	13
Liste des opérations de valorisation issues du contrat (articles de valorisation, participations à des colloques, enseignement et formation, communication, expertises...)	14
RESUMES	15
RESUME COURT	15
RESUME LONG	15
SHORT ABSTRACT	17
LONG ABSTRACT	17
RAPPORT SCIENTIFIQUE	20
A) Recherche de stratégies de nutrition limitantes pour les populations de pucerons en culture hors-sol de fraisier précoce sous abri chauffé	21
B) Evaluation, sur <i>Rhodobium porosum</i>, de stratégies de protection de biocontrôle intégrées alternatives à l'utilisation du thiaclopride	26
C) Test de combinaisons de stratégies PBI et solutions nutritives optimisées pour une régulation des populations de pucerons en conditions d'infestations naturelles	32
D) Discussion des résultats, perspectives et implications pratiques	42
Annexe : textes des publications	44
Publications scientifiques parues.....	44
Publications scientifiques à paraître	44
Publications scientifiques prévues	44
Annexe : partie confidentielle.....	45

SYNTHESE

(destinée aux utilisateurs et gestionnaires publics)

(Environ 10 pages, hors liste des publications et autres valorisations)

Merci de rédiger l'ensemble de cette partie de manière à ce qu'elle soit aisément compréhensible par un utilisateur non spécialiste.

Vous mettrez en évidence les points qui vous paraissent les plus porteurs pour l'élaboration, le suivi ou la mise en œuvre de politiques publiques de diminution des risques environnementaux liés aux pesticides et notamment pour le plan Ecophyto.



PALPuF

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

Looking for alternative protection strategies against
strawberry Aphids using biocontrol and fertilization levers

« APR Néonicotinoïdes » - AFB/2018/117
Synthèse pour les décideurs V1
Date de la version du rapport: 10/07/2020

Identité et coordonnées du coordinateur du projet
de recherche (adresse et courriel) :

Maria-Martha Fernandez

Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
Centre Opérationnel de Lanxade, 28 route des Nébouts, 24130 Prignonrieux
maria-martha.fernandez@ctifl.fr

Action pilotée par les Ministères chargés du développement durable (MTES), de l'agriculture (MAA), de la santé (MSS) et de la recherche (MESRI), avec l'appui financier de l'Agence Française pour la Biodiversité, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du Plan Ecophyto

En français

CONTEXTE GENERAL ET ENJEUX SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Avec 60 000 T/an, la production nationale de fraises ne représente que 5 % de la production européenne, mais elle se démarque, sur un marché national largement dominé par les importations étrangères, par la richesse de sa gamme variétale reconnue pour ses qualités gustatives.

Si, pour ce fruit « plaisir » qui se doit de véhiculer une image de qualité, 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 certains bioagresseurs, ce qui oblige à recourir au moins ponctuellement à des interventions chimiques.

C'est ainsi le cas des pucerons, dont 12 espèces sont susceptibles d'affecter les fraisiers, avec des conséquences qui peuvent être très préjudiciables sur la production. Concernant cette catégorie de ravageurs, les variétés de fraise hors-sol précoces sont d'autant plus sensibles, leurs conditions de culture dès l'hiver sous serre chauffée offrant à ces ravageurs les conditions idéales à leur pullulation, mais restant limitantes en début de saison pour 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, en s'autorisant les interventions chimiques en cas de fortes attaques. A la date du dépôt du projet PALPuF, la protection chimique contre ces ravageurs reposait en pratique sur deux matières actives, le pyrimicarbe et un néonicotinoïde, le thiaclopride. La forte inquiétude des fraisculteurs à l'annonce du retrait des néonicotinoïdes, qui a pris effet le 01/09/2018 dans le cadre de la « loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages », imposait donc d'identifier rapidement des stratégies alternatives, d'efficacité suffisante pour le maintien des performances de production de la filière française.

S'appuyant d'une part sur des travaux de recherche antérieurs menés sur d'autres végétaux, qui établissent une relation entre la pression des populations de pucerons et la composition biochimique de la sève phloémienne, et d'autre part sur une nouvelle solution de biocontrôle, de type substance naturelle, en cours d'expérimentation, le projet PALPuF se proposait d'évaluer la pertinence technico-économique de stratégies de protection minimisant le recours aux insecticides de synthèse, mais optimisées par une nutrition limitante pour le développement des pucerons.

OBJECTIFS GENERAUX DU PROJET

L'objectif du projet PALPuF est d'identifier une ou des stratégies de protection du fraisier contre les pucerons, alternatives au retrait du thiaclopride, transférables à court terme aux fraisculteurs, en combinant des actions sur la fertilisation et le biocontrôle. Les pistes testées comprennent l'intégration de solutions de biocontrôle, notamment une huile de paraffine fortement purifiée en cours de développement par la société KOPPERT, et une optimisation de la fertilisation des cultures sur substrat, par l'utilisation de solutions nutritives modifiées dans leurs équilibres pour une stimulation des défenses naturelles du fraisier.

La portée de ce travail se focalise sur le cas des productions de fraises précoces en système hors-sol sous abri chauffé. Ses enseignements sont toutefois susceptibles de

fournir des pistes de réflexion pour d'autres systèmes de culture, voire pour d'autres espèces.

QUELQUES ELEMENTS DE METHODOLOGIE (ET EVENTUELLES DIFFICULTES RENCONTREES)

Le projet PALPuF est construit sous la forme de trois expérimentations menées sur deux années d'étude. Les deux premiers essais sont menés par le CTIFL sur le premier semestre 2018 et consistent à évaluer, de manière indépendante, l'impact sur les populations de pucerons du fraisier de modalités de nutrition d'une part, et de stratégies de protection d'autre part. Le troisième essai, mené en conditions de production sur la station Invenio, en 2019, se base sur les conclusions des deux précédents, pour tester des stratégies de protection globales, définies comme une combinaison de la solution nutritive la plus limitante pour les pucerons identifiée en année 1 et d'un choix de stratégies de protection intégrant PBI et produit de biocontrôle, élaborées au vu des résultats 2018. L'ensemble de ces expérimentations est réalisée sur la variété précoce Gariguette.

► Année 2018 : Essais factoriels menés par le CTIFL sur les leviers « nutrition de la culture » et « protection de biocontrôle »

Les deux essais sont menés en conditions semi-contrôlées dans deux modules distincts d'une serre multichapelle double-paroi. Ils se limitent tous deux au premier jet de production des fraisiers.

La contamination en pucerons est ici provoquée par infestation artificielle, après mise en œuvre d'un élevage en chambre climatique, à partir de trois souches de pucerons de l'espèce *Rhodobium porosum*, fournies par l'IGEPP de Rennes. En préalable aux infestations, l'absence apparente de pucerons sur les plants fournis par le pépiniériste est vérifiée. L'objectif de cette contamination provoquée est de maîtriser au mieux l'homogénéité de présence du ravageur sur les différentes placettes des dispositifs expérimentaux.

On notera que le protocole initial prévoyait une inoculation en *Rhodobium porosum*, mais aussi en *Chaetosiphon fragaefolii*, ces deux espèces étant choisies car les plus fréquemment rencontrées en cultures précoces hors-sol sous abri, d'après un travail d'inventaire antérieur réalisé par l'IGEPP. Aucune source de *Chaetosiphon fragaefolii* n'ayant pu être identifiée, l'expérimentation ne portera donc, dans cette première phase du projet, que sur l'espèce *Rhodobium porosum*.

L'essai « nutrition » teste l'impact de 4 régimes de nutrition du fraisier sur le développement des populations de pucerons à partir des individus inoculés. Ces solutions nutritives, qui diffèrent par leur richesse en azote et leur équilibre K/Ca, sont choisies volontairement suffisamment différenciées pour être en mesure de révéler un éventuel impact sur le ravageur. Ces modalités sont les suivantes : (i) N : 15 meq/L, K/Ca : 0,90, (ii) N : 7 meq/L puis 3,5 meq/L en phase de fructification, K/Ca : 0,90, (iii) N : 15 meq/L, K/Ca : 0,16 puis 0,14, (iv) : N : 7 meq/L puis 3,5 meq/L en phase de fructification, K/Ca : 0,16 puis 0,13. On teste donc des niveaux d'azote sur un différentiel de 1:0,47 à 1:0,23 et des équilibres K/Ca de rapport 1:0,17.

L'essai « protection » teste deux stratégies de protection en comparaison d'une référence thiaclopride, sur des parcelles élémentaires suffisamment espacées pour éviter les interférences entre modalités concernant les applications chimiques ; toutes

sont préalablement équipées en début d'expérience de dispositifs insect-proof individuels, fabriqués à cet effet, afin d'éviter la « pollution » des modalités par les auxiliaires en provenance des placettes voisines. Les modalités testées dans cet essai sont les suivantes : (i) CALYPSO® le 11/05 puis le 23/05, (ii) huile DEV 1502 le 11/05 puis lâchers de chrysopes et de parasitoïdes les 25/05 et 08/06, puis PIRIMOR® G le 13/06, (iii) DEV 1502 les 11/05, 23/05, 13/06 et 20/06. Les auxiliaires sont apportés aux doses suivantes pour chacun des lâchers : *Chrysopea carnea* 50 larves/m², *Aphelinus abdominalis* 25 momies/m², *Aphidus ervi* 25 momies/m². L'huile DEV 1502 est appliquée à la dose de 15 L/ha dans un volume de 1000 L/ha de bouillie. L'essai est mené indépendamment du facteur « nutrition », avec donc une seule et même solution nutritive pour toutes les modalités ; sa teneur en azote est de 12 meq/L et son équilibre K/Ca est de 0,64.

Les indicateurs relevés concernant la présence des pucerons sont (i) pour l'essai « nutrition » : le nombre de pucerons par feuille, fleur ou fruit, pour chaque organe des 72 trayplants inoculés par modalité, (ii) pour l'essai « protection » : les classes d'infestation d'1 à 3 feuilles évaluées sur 64 trayplants inoculés, ces feuilles étant baguées en début d'expérience et choisies pour leur forte infestation. Le pas de temps d'observation est de 3-4 jours.

► Année 2019 : Essai système mené par Invenio sur l'efficacité de stratégies combinées

L'essai est ici mené en conditions de production, sous serre verre chauffée, sur la même variété Gariguette plantée, comme en 2018, sous forme de trayplants. Au contraire des deux essais précédents les contaminations en pucerons sont naturelles, ce qui permet d'observer la montée des populations en conditions réelles, dans leur variété d'espèces, et d'anticiper le positionnement des lâchers d'auxiliaires. L'étude se poursuit ici sur les deux jets de production.

Les modalités de nutrition testées s'inspirent des résultats obtenus en année 1 concernant l'équilibre K/Ca de la solution nutritive dite limitante pour les pucerons, mais le parti a été pris d'abaisser la teneur en azote de la fertilisation « témoin ». Il a en effet été convenu en comité de pilotage que la référence utilisée dans l'essai CTIFL était trop extrême et de fait non représentative de la fertilisation classique pratiquée par les fraiculteurs. Le protocole prévoira donc de tester ici les modalités suivantes : (i) N : 9,60 meq/L puis 8,37 meq/L en phase de fructification, K/Ca : 0,61 puis 0,91, (ii) : N : 7,41 meq/L puis 4,32 meq/L en phase de fructification, K/Ca : 0,17 puis 0,15. On teste donc des niveaux d'azote sur un différentiel de 1:0,5 et des équilibres K/Ca de rapport 1:0,2.

L'essai teste trois stratégies de protection, qui se concrétiseront au vu de l'efficacité des applications, et des espèces de pucerons en présence, par les interventions suivantes : (i) MOVENTO® le 29/01 puis PIRIMOR® G le 26/02 (1^{er} jet de production), puis FLIPPER® les 14 et 22/05, ERADICOAT® le 29/05 et PIRIMOR® G le 06/06 (2^{ème} jet de production) ; (ii) DEV 1502 les 31/01, 12/02 et 26/02, puis PIRIMOR® G le 14/03 (1^{er} jet de production), puis DEV 1502 le 14/05 sur le 2^{ème} jet, et un apport de larves de *Chrysoperla carnea* le 28/05 ; (iii) DEV 1502 les 31/01, 12/02 et 26/02, puis apport de larves de *Chrysoperla carnea* les 12/03 et 20/03 (1^{er} jet de production), puis DEV 1502 le 14/05 sur le 2^{ème} jet, et un dernier apport de larves de *Chrysoperla carnea*

le 28/05. L'huile DEV 1502 est appliquée à la dose de 15 L/ha dans 750 L de bouillie ; la dose de chrysopes apportées est de 10 larves/m². On notera que les autorisations d'utilisation des produits ayant évolué entre 2018 et 2019, la stratégie dite « chimique » (i) ne se base plus ici sur le thiaclopride, mais sur le MOVENTO, homologué depuis le 06/09/19, et le PIRIMOR® G.

L'indicateur relevé pour quantifier la présence des pucerons est 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 sont une feuille âgée, une jeune feuille, une hampe, une fleur, un fruit vert/blanc et un fruit rosé/rouge. Le pas de temps d'observation est de 7 jours. Les observations permettent aussi le calcul du pourcentage de plants occupés par les pucerons.

L'abondance des différentes espèces de pucerons en présence est également décrite au cours du temps.

En parallèle de ces expérimentations, une seconde tâche du projet prévoyait d'identifier les règles de décision de positionnement des interventions sur la base des indicateurs relevés sur les deux années d'étude, pour aboutir à l'élaboration d'une grille de décision pour les stratégies identifiées comme alternatives plausibles à l'utilisation du thiaclopride. Comme on le verra plus loin, aucune alternative crédible n'ayant pu être identifiée à travers ces travaux, cette grille de décision n'a pas pu être élaborée.

RESULTATS OBTENUS

► Expérimentations en conditions semi-contrôlées avec infestation artificielle en pucerons de la seule espèce *Rhodobium porosum* (Essais CTIFL 2018)

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.** Si la teneur en azote montre un effet significatif, le facteur « disponibilité en calcium » avantagé au niveau du rapport K/Ca semble prépondérant.

Cette solution nutritive identifiée ici comme limitante pour le puceron *Rhodobium porosum* n'a aucune incidence négative sur le rendement de la culture et a même **un effet positif 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.

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 PIRIMOR® G n'a eu qu'une efficacité partielle, et, bien qu'apportés à très forte dose, les auxiliaires n'ont pas permis de réduire les populations ; **alors qu'une seule application de CALYPSO® a permis de nettoyer efficacement le feuillage avec une rémanence de plus d'un mois.**

A noter que si l'installation de la culture a bien eu lieu à la date prévue, la mise en œuvre du protocole d'infestations puis le déclenchement des traitements ont été retardés par rapport au planning prévu, en raison du retard dans la réception de la confirmation du financement du projet. Ceci a écourté la période de suivi prévue dans l'essai « nutrition » et a conduit, dans l'essai « protection », à une situation où les populations de pucerons ont explosé après avoir tardé à s'installer. Cette forte pression a obligé à redéfinir les stratégies de protection testées, et 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). Ceci a pu introduire un biais dans la mauvaise appréciation qui ressort de la stratégie PBI testée.

► Expérimentation en conditions de production avec développement de populations naturelles de pucerons (Essai Invenio 2019)

Quatre espèces de pucerons se succèdent ou se chevauchent dans cet essai mené en conditions naturelles d'infestation : dès le début janvier *Acyrtosiphon malvae*, *Chaetosiphon fragaefolii* et *Macrosiphum euphorbiae* sont présents, alors que *Rhodobium porosum* n'apparaîtra qu'à la mi-mars. La première vague de production est ainsi d'abord 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 vague de production, qui se déroulera sur les trois premières décades de juin, sera quant à elle dominée par les pullulations de *Rhodobium porosum* et dans une bien moindre mesure d'*Acyrtosiphon malvae* et de *Chaetosiphon fragaefolii*.

On ne retrouve pas dans cet essai les résultats encourageants obtenus en année 1 sur l'effet sur la régulation des populations de pucerons, d'une nutrition allégée en azote et avec un rapport K/Ca en faveur du calcium. En effet, sur toute la durée de l'expérimentation 2019, ce seront au contraire les modalités « nutrition de référence » qui se maintiendront à un taux de colonisation par les pucerons globalement inférieur de 15 à 20 % à celui des modalités utilisant une solution nutritive modifiée. **Il se confirme toutefois 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. Par contre, 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 très fugace.** Les recommandations de la firme étant 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.

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 appliquées 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. Cette observation coïncidant avec la fin de période de récolte, elle n'a pas pu être confirmée par un renouvellement des lâchers.

Parmi les insecticides de synthèse utilisés dans la « référence 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 du ravageur. 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. A 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 biocontrôles : 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.

A l'issue de ces deux années de travaux, aucune stratégie de protection efficace, et encore moins généralisable, n'a pu être identifiée, qu'elle soit à dominante chimique ou intégrant des solutions de biocontrôle. Les fraisculteurs demeurent donc sans solution face à la problématique pucerons, qui reste un enjeu majeur pour la filière.

IMPLICATIONS PRATIQUES, RECOMMANDATIONS, REALISATIONS PRATIQUES, VALORISATION

- Implications pratiques :

Si les résultats encourageants de la première année du projet n'ont pas été confirmés en année 2 en conditions de production, plusieurs points d'attention méritent d'être relevés pour nuancer ce constat et servir aux expérimentations ultérieures.

Ainsi, même si les régimes nutritifs « optimisés » utilisés en année 1 et 2 sont annoncés comme présentant des niveaux d'azote et un rapport K/Ca du même ordre de grandeur, ils ne sont en réalité pas comparables. En effet, dans la solution nutritive de l'année 1, qui donnera les meilleurs résultats sur la régulation des pucerons, l'équilibre K/Ca de 0,13 utilisé en phase de production est obtenu en jouant à la fois sur le potassium et le calcium, ce qui n'est pas le cas dans la solution de l'année 2, où seul le taux de potassium est modulé. D'autre part, les solutions de l'année 2 sont fabriquées à partir d'une combinaison d'engrais liquides du commerce, et non de sels « de laboratoire », et, peut-être en raison d'installations défectueuses, les solutions obtenues en entrée de ligne hors-sol présentent des teneurs ioniques fortement modifiées par rapport aux dosages pilotés en entrée de cuves. Ainsi, si les teneurs en azote sont correctes par rapport à ce qui était demandé, les équilibres K/Ca sont en réalité de 0,33 en phase végétative et de 0,69 en phase de fructification.

Il sera donc important de reproduire l'expérience en conditions de production en veillant à respecter les équilibres des solutions optimisées de l'année 1. Par ailleurs, le fraiseur n'utilisant pas lui non plus de sels de laboratoire, les préconisations devront être affinées pour une utilisation à base d'engrais combinés du commerce et une adaptation aux différents types d'équipements de fabrication des solutions nutritives utilisés dans la pratique. Enfin, la nature du substrat, dont l'incidence n'a pas été prise en compte ici, est un facteur qui méritera d'être exploré.

D'autre part, 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 recommandera donc de poursuivre les travaux sur des cultures implantées précocement (sur l'exemple de l'expérience 2019) afin de se placer en situation de risque 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 bien installées de manière homogène pour déclencher le protocole de traitements, stade où une action efficace des auxiliaires ou des substances de biocontrôle devient alors impossible. La possibilité d'isoler physiquement les modalités reste quant à elle un impératif, pour éviter toute interférence entre traitements chimiques et auxiliaires.

Enfin, plusieurs méthodes ont été utilisées dans le projet pour quantifier les infestations de pucerons, ce qui ne permet pas une comparaison rigoureuse des résultats. Les dénombrements sur pousses baguées semblent a posteriori mieux adaptés aux études d'efficacité d'insecticides de synthèse qu'aux solutions de biocontrôle et notamment de lutte biologique, qui impliquent des interactions biotiques et intègrent une dynamique spatiale. Les dénombrements sur plante entière sont certainement les plus robustes mais ils sont très chronophages, particulièrement sur une espèce comme le fraisier, qui émet de nouvelles pousses tout au long de son cycle de végétation. Les dénombrements sur un panel d'organes choisis au hasard, tels que proposés par TROTTIN et utilisés ici dans l'expérience 2019, semblent un compromis acceptable et peuvent être proposés comme l'option à retenir pour les essais futurs.

On notera pour finir que deux années d'étude sont très insuffisantes pour ce type de problématique. Une multiplication des essais sur plusieurs années ou plusieurs sites serait nécessaire pour tenter d'identifier les facteurs biotiques et abiotiques de succès

des solutions de protection testées, qui restent à l'issue de ce projet très insuffisamment maîtrisés.

- Recommandations :

Aucune stratégie de protection efficace ne peut être préconisée au fraiseur à l'issue de ce projet. 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, par contre, n'a 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'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 pourrait être réduite à deux dans une éventuelle homologation future, ce biocontrôle ne pourra être que l'une des composantes d'une stratégie de protection, et ne sera pas à lui seul une « alternative au thiaclopride ».

Enfin, si l'effet de la composition des solutions nutritives sur l'évolution des pucerons n'est pas 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 méritera toutefois d'être vérifié.

- Limites ou généralisations éventuelles des résultats :

Même si les pistes de travail relevées dans cette étude peuvent ouvrir des perspectives pour d'autres variétés de fraises, voire d'autres espèces légumières, les conclusions du projet ne valent aujourd'hui que pour le cas particulier de la variété Gariguette produite en culture hors-sol sous abri chauffé. En particulier, les conclusions concernant l'impact de la nutrition de la culture sont susceptibles de différer selon les variétés de fraise, comme déjà signalé en 2001 par RAYNAL (Infos Ctifl N° 170).

Par ailleurs, comme montré dans le projet, l'efficacité des interventions contre les pucerons est très dépendante de la sensibilité aux matières actives des espèces de pucerons présentes sur la culture. Ceci accroît la difficulté de proposer des stratégies efficaces, d'autant que les matières actives disponibles sont limitées en nombre d'applications, et qu'il est impossible de pronostiquer à l'avance quelles seront les espèces dominantes au cours des deux jets de production.

Ceci plaide en faveur d'une multiplication des essais, pour cerner au mieux la sensibilité de chacune des espèces et préciser les facteurs d'efficacité du petit choix de solutions de biocontrôle disponibles.

- Réalisations pratiques et valorisation :

Le projet et ses résultats partiels ont fait l'objet de diverses présentations vers un public de fraisiculteurs, de techniciens de la filière fraise et d'expérimentateurs des cultures légumières.

Les enseignements du projet seront mis à profit pour poursuivre l'élaboration de stratégies de protection intégrant le levier fertilisation dans le cadre du projet DEPHY Expé FragaSyst, porté par Invenio, et du réseau de fermes DEPHY Fraise, dont les acteurs ont été intégrés au comité de pilotage du projet dès son démarrage. Par ailleurs, une suite du projet, dans un cadre de financement qui n'est pas encore arrêté, est d'ores et déjà envisagé.

Comme précisé plus haut, le livrable annoncé (grille de décision des interventions accompagnant les stratégies de protection identifiées) n'a pas été produit, aucune stratégie de protection efficace ne pouvant être transférée au fraisiculteur à l'issue de ces deux années d'études.

PARTENARIATS MIS EN PLACE, PROJETS, ENVISAGES

Une suite au projet, qui pourrait aller au-delà de la seule culture du fraisier, est en cours de réflexion. Les partenaires pressentis sont le CTIFL, le pôle fraise d'Invenio, l'unité PSH de l'INRAE PACA (F. Lecompte) et l'IGEPP de Rennes (A. Le Gallec).

POUR EN SAVOIR PLUS (QUELQUES REFERENCES)

Néant (les résultats de ce travail n'ont pas encore été publiés).

LISTE DES OPERATIONS DE VALORISATION ISSUES DU CONTRAT (ARTICLES DE VALORISATION, PARTICIPATIONS A DES COLLOQUES, ENSEIGNEMENT ET FORMATION, COMMUNICATION, EXPERTISES...)

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES	
Publications scientifiques parues	<i>Néant</i>
Publications scientifiques à paraître	<i>Néant</i>
Publications scientifiques prévues	<i>Néant</i>
COLLOQUES	
Participations passées à des colloques	
Participations futures à des colloques	
THESES	
Thèses passées	<i>Néant</i>
Thèses en cours	<i>Néant</i>
ARTICLES DE VALORISATION-VULGARISATION	
Articles de valorisation parus	
Articles de valorisation à paraître	
Articles de valorisation prévus	Publications dans la revue Infos Ctifl Une publication dans la revue Arboriculture Fruitière Une publication dans la revue Fruits et Légumes
AUTRES ACTIONS VERS LES MEDIAS	
Actions vers les médias (interviews...) effectuées	<i>Néant</i>
Actions vers les médias prévues	<i>Néant</i>
ENSEIGNEMENT - FORMATION	
Enseignements/formations dispensés	<i>Néant</i>
Enseignements/formations prévus	<i>Néant</i>
EXPERTISES	
Expertises menées	<i>Néant</i>
Expertises en cours	<i>Néant</i>
Expertises prévues	<i>Néant</i>
METHODOLOGIES (GUIDES...)	
Méthodologies produites	<i>Néant</i>
Méthodologies en cours d'élaboration	<i>Néant</i>
Méthodologies prévues	<i>Néant</i>
AUTRES	
<ul style="list-style-type: none"> - Deux présentations vers un public de fraiseiculteurs et de techniciens de la filière Fraise lors des réunions du GTR d'Invenio à Douville (24) les 26/05/2018 et 25/06/19 - Une présentation au séminaire de lancement des APR Néonicotinoïdes le 09/10/18 à Paris (75) - Un poster présenté lors de la porte ouverte sur le site Invenio de Ste Livrade le 05/03/19 - Une présentation au séminaire intermédiaire des APR Néonicotinoïdes le 18/11/19 à Paris (75) - Une présentation vers un public de techniciens et expérimentateurs des cultures légumières lors de la réunion du GT PBI du CTIFL le 11/02/20 à Balandran (30) 	

RESUMES

En français

RESUME COURT

Sur culture de fraisiers hors-sol en abri chauffé, soumise un mois avant la fin du premier jet de production à une pression modérée du puceron *Rhodobium porosum*, un régime de fertilisation basé sur des solutions nutritives appauvries en azote et renforcées en calcium montre un effet limitant significatif sur le développement des populations du ravageur. Ce résultat encourageant, qui pourrait se combiner à l'action d'une huile paraffinique appliquée selon une cadence hebdomadaire, ne se confirme pas 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*.

RESUME LONG

Les pucerons font partie des ravageurs de la fraise particulièrement difficiles à contrôler, notamment dans le cas des cultures précoces sur substrat chauffé, qui offrent les conditions optimales à leur prolifération mais sont peu favorables, en début de cycle, à l'installation des auxiliaires. La protection chimique contre ces ravageurs reposait en pratique jusqu'en fin 2018 sur deux matières actives, le pirimicarbe et un néonicotinoïde, le thiaclopride. Avec un potentiel de dégâts de 50 % du rendement commercial et une demande accrue de l'aval d'intégrer le biocontrôle dans les mesures de protection de cette culture, la nécessité d'identifier des stratégies de protection en PBI efficaces contre ces ravageurs est aujourd'hui essentielle pour les fraisculteurs. Dans ce contexte, l'objectif du projet est d'identifier des stratégies de protection du fraisier alternatives au retrait des néonicotinoïdes, transférables à court terme aux fraisculteurs, et combinant l'intégration de solutions de biocontrôle, dont une huile de paraffine développée par la société Koppert, et l'action sur les équilibres nutritionnels de la culture pour une stimulation des défenses naturelles du fraisier.

Le projet PALPuF s'est déroulé sous forme de trois essais. Les deux premiers, réalisés en conditions semi-contrôlées par le Ctifl sur le centre de Lanxade (24), avaient pour objectif, d'une part d'évaluer l'intérêt d'agir sur la richesse en azote et en calcium de solutions nutritives pour limiter le développement des pucerons, et d'autre part d'identifier des stratégies de protection en PBI efficaces contre ces ravageurs. Dans ces conditions, le puceron *Rhodobium porosum*, introduit artificiellement par l'application d'un protocole d'infestation, s'est montré sensible aux solutions nutritives apportées : ainsi, une solution nutritive à 3,5 meq/L utilisée en phase de fructification, avec un équilibre K/Ca de 0,13, a permis de contenir les populations à 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. Ceci sans impact négatif sur le rendement en fraises, et avec même un effet positif sur le rapport sucre/acidité des fruits et donc leur qualité gustative. L'essai mené en parallèle pour évaluer l'efficacité de diverses stratégies de protection a montré qu'en conditions de forte infestation, la solution de biocontrôle développée par Koppert montre une efficacité significative mais fugace, suggérant de proposer une utilisation à raison d'applications répétées selon une cadence hebdomadaire. Les

auxiliaires apportés (*Chrysoperla carnea*, *Aphelinus abdominalis* et *Aphidus ervi*) n'ont pas quant à eux permis de réduire les populations et le pirimicarbe n'a eu qu'une efficacité partielle. La stratégie basée sur le thiaclopride a pour sa part donné les résultats les plus satisfaisants, puisqu'une seule application a permis de nettoyer efficacement le feuillage avec une rémanence de plus d'un mois.

Le troisième essai, mené par Invenio en 2019 sur le site de Sainte-Livrade-sur-Lot (47) a consisté à reprendre de manière croisée les conclusions de l'expérimentation 2018, pour les valider en conditions de production sur une culture ultra-précoce et sous une pression naturelle en pucerons. Dans ces conditions, et en présence d'une diversité d'espèces de pucerons qui se sont succédées de manière naturelle de janvier à fin avril (*Acyrtosiphon malvae*, *Rhodobium porosum*, puis *Chaetosiphon fragaefolii*), les résultats encourageants de l'année 1 ne se sont pas confirmés. Les stratégies utilisant une fertilisation allégée en azote et renforcée en calcium, se sont ainsi montrées les moins bien positionnées en termes de régulation du ravageur (mais néanmoins les mieux positionnées en termes de production). Avant floraison, une application de spirotetramat, ou trois applications d'huile paraffinique, n'ont eu aucune efficacité. Seul le pirimicarbe a permis de faire chuter le niveau des populations, mais ceci uniquement de façon temporaire. Apportée sur le deuxième jet de production, pendant la phase de recrudescence des pucerons après effeuillage, et sous une pression *Rhodobium porosum* dominante, l'huile DEV 1502 a cette fois montré une action fugace, et un apport de larves de *Chrysoperla carnea* en fin d'expérience semble avoir eu une petite efficacité, très temporaire, sur les plants fertilisés par une solution nutritive modifiée. Les applications des biocontrôles FLIPPER® et ERADICOAT® n'ont quant à elles montré aucune efficacité dans les conditions de l'expérience.

Du point de vue méthodologique, aucune des expérimentations menées ne se montre pleinement satisfaisante, puisque dans les deux premières on cherche à faire décroître un niveau de présence du ravageur, après l'avoir provoqué et avoir attendu qu'une pression suffisamment sévère se soit installée (ce qui place l'essai en situation particulièrement défavorable à l'efficacité des auxiliaires), alors que dans le troisième on cherche à contenir la montée de populations naturelles de pucerons, avec des biais possibles dus à la difficulté d'isoler les parcelles expérimentales entre elles, rendant impossible de conclure sur l'efficacité des auxiliaires. Par ailleurs, une analyse a posteriori des solutions nutritives en entrée de ligne hors-sol révèle que les solutions nutritives « optimisées » utilisées en année 1 et 2 ne sont en réalité pas comparables. On recommandera donc une poursuite de ces travaux en veillant à respecter la composition de la solution nutritive identifiée en année 1, en étudiant une adaptation aux engrais liquides du commerce et aux différents types d'installations de fabrication des solutions utilisées par les fraisculteurs et en intégrant le facteur lié à la nature du substrat.

D'autre part, l'efficacité aléatoire des biocontrôles à base d'huile paraffinique, de savon potassique ou de maltodextrine, qui agissent tous en étouffant les foyers de pucerons, pourrait être liée à leurs conditions d'application, qu'il conviendra d'affiner.

Enfin, si à l'issue du projet aucune stratégie alternative au retrait du thiaclopride ne peut être transférée au fraisculteur, quelques points sont à retenir : l'espèce *Acyrtosiphon malvae* est peu sensible au MOVENTO® mais très sensible au PIRIMOR® G, au contraire de *Rhodobium porosum* qui est peu affecté par le pirimicarbe ; une fertilisation à 7 meq/L d'azote en phase végétative puis 3,5 meq/L en

phase de fructification, avec un équilibre K/Ca de l'ordre de 0,15, n'est pas pénalisante pour le rendement de la variété Gariguette, et favorable à sa qualité gustative.

MOTS-CLES : fraisier ; pucerons; biocontrôle ; *Chrysoperla carnea* ; *Rhodobium porosum* ; *Chaetosiphon fragaefolii* ; *Acyrtosiphon malvae* ; solution nutritive ; tray-plant ; culture hors-sol

In English

SHORT ABSTRACT

On a strawberry hydroponic culture grown in an heated greenhouse, and submitted to a moderate pressure of the aphid *Rhodobium porosum* one month before the end of the first production phase, a fertilization regime based on nutritive solutions depleted in nitrogen and reinforced in calcium shows a significant limiting effect on the development of the pest populations. This encouraging result, which could be combined with the action of a paraffinic oil applied at a weekly rate, is not confirmed in production conditions on a crop submitted from January to the end of April to the succession of populations of *Acyrtosiphon malvae*, *Rhodobium porosum* et *Chaetosiphon fragaefolii*.

LONG ABSTRACT

Aphids are among the strawberry pests that are particularly difficult to control, especially in early hydroponic cultures grown in heated greenhouses, which offer optimal conditions for their proliferation but are not very suitable, at the beginning of the crop cycle, for the installation of beneficials. In practice, chemical protection against these pests relied until the end of 2018 on two active ingredients, pirimicarb and a neonicotinoid, thiacloprid. With a potential damage of 50% of the commercial yield and an increased demand from retailers to integrate biocontrol into crop protection measures, the need to identify efficient Integrated Biological Protection (IBP) strategies against these pests is now essential for strawberry growers.

In this context, the objective of the project is to identify alternative strawberry protection strategies to neonicotinoids suppression, which can be applied to strawberry growers in a short-term, combining biocontrol solutions, especially a paraffin oil developed by Koppert, and the action on the nutritional balance of the crop to stimulate strawberry's natural defences.

PALPuF project involved three experiments. The aim of the first two, performed under semi-controlled conditions by the Ctifl centre of Lanxade (24), was to assess the benefits of acting on the nitrogen and calcium content of nutritive solutions to limit the development of aphids, and to identify effective IBP strategies to control these pests. Under these conditions, the aphid *Rhodobium porosum*, introduced artificially using an infestation procedure, proved to be sensitive to the nutrient solutions provided: thus, a nutrient solution at 3.5 meq/L of nitrogen used in the fruiting phase, with a K/Ca balance of 0.13, made it possible to contain the populations at a level 2.5 times lower than a solution at 15 meq/L of nitrogen and a K/Ca balance of 0.90. This had no negative

impact on strawberry yield, and even had a positive effect on the sugar/acidity ratio of the fruit and therefore its organoleptic quality.

The trial carried out in the same year to evaluate the efficacy of various protection strategies; showed that under conditions of heavy infestation, the biocontrol solution developed by Koppert showed significant but brief efficacy, suggesting that it should be used in repeated applications at a weekly rate. The beneficials (*Chrysoperla carnea*, *Aphelinus abdominalis* and *Aphidus ervi*) did not reduce aphid populations and pirimicarb was only partially effective. The strategy based on thiacloprid, for its part, gave the most successful results, since a single application allowed to clean effectively the foliage with a persistence of more than one month.

The third trial, conducted by Invenio in 2019 in Sainte-Livrade-sur-Lot (47), consisted in combining the conclusions of the 2018 experiments to validate them under production conditions on an ultra-early strawberry crop and under natural aphid pressure. Under these conditions, and in the presence of a diversity of aphid species that succeeded each other naturally from January to the end of April (*Acyrtosiphon malvae*, *Rhodobium porosum*, then *Chaetosiphon fragaefolii*), the encouraging results of year 1 were not confirmed. Strategies using low-nitrogen and calcium-reinforced fertilization were the worst positioned for pest regulation (but nevertheless the best ranked regarding to production). Before flowering, one spirotetramat treatment, or three paraffinic oil sprays were not effective. Only pirimicarb reduced the aphid population level, but only temporarily. When applied on the second strawberry production stage, and during the aphid outbreak phase after leaf removal, when *Rhodobium porosum* was predominant, the oil DEV 1502 showed this time a brief action. A release of *Chrysoperla carnea* larvae at the end of the experiment seems to have had little and very temporary efficacy on the plants fertilized with a modified nutrient solution. Applications of the biocontrol products FLIPPER® and ERADICOAT® did not show any efficacy under the conditions of the experiment.

With regard to methodology, none of these experiments was fully satisfactory. Thus, in the first two trials, we introduced the aphids and then we had to wait until sufficient pressure was reached before intervening, which left little chance for the action of beneficials. effectiveness of the auxiliaries. in the first two experiments the aphids were introduced and then we had to wait tried to reduce the level of presence of the pest, after having provoked it and waited for a high enough pressure to be reached (which placed the trial in a very unfavourable condition for the efficacy of the beneficials). In the third trial, the aim is to prevent an increase in natural aphid populations, with possible limitations due to the difficulty to isolate the experimental plots from each other, making it impossible to conclude on the effectiveness of the beneficials. Moreover, an a posteriori analysis of the nutrient solutions at the start of the off-ground line reveals that the "optimised" nutrient solutions used in years 1 and 2 are not in reality comparable.

We therefore recommend to continue this work by ensuring that the composition of the nutrient solution identified in year 1 is respected, by studying an adaptation to commercial liquid fertilizers and to the different types of installations used by strawberry growers for fabricating the nutritive solutions, and by integrating the the nature of the substrate as an additional factor.

Secondly, the uncertain efficacy of biocontrol products based on paraffinic oil, potassium soap or maltodextrin, which all act by smothering aphid colonies, could be linked to their application conditions, which need to be clarified.

Finally, even if no alternative strategy to the prohibition of thiacloprid can be transferred to the strawberry grower at the end of this project, a few points should be retained: *Acyrtosiphon malvae* species is not very sensitive to MOVENTO® but is highly sensitive to PIRIMOR® G, in contrast to *Rhodobium porosum*, which is little affected by pirimicarb; fertilization at 7 meq/L of nitrogen in the vegetative phase then 3.5 meq/L in the fruiting phase, with a K/Ca balance of around 0.15, is not penalizing for the yield of the Gariguet variety, and is favorable to its gustative quality.

KEY WORDS : strawberry; aphids; biocontrol; *Chrysoperla carnea*; *Rhodobium porosum*; *Chaetosiphon fragaefolii*; *Acyrtosiphon malvae*; nutritional solution ; tray-plant; hydroponic culture



RAPPORT SCIENTIFIQUE

PALPuF

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

Looking for alternative protection strategies against
strawberry Aphids using biocontrol and fertilization levers

« APR Néonicotinoïdes » - AFB/2018/117
Synthèse pour les décideurs V1
Date de la version du rapport: 10/07/2020

Identité du coordinateur du projet de recherche:

MARIA-MARTHA FERNANDEZ

Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes

Centre Opérationnel de Lanxade, 28 route des Nébouts, 24130 Prignonrieux

maria-martha.fernandez@ctifl.fr

Nom des autres partenaires scientifiques bénéficiaires :

MARIO TURQUET, Pôle Fraise Invenio

THIBAUT VERFAILLE, Koppert France

Action pilotée par les Ministères chargés du développement durable (MTES), de l'agriculture (MAA), de la santé (MSS) et de la recherche (MESRI), avec l'appui financier de l'Agence Française pour la Biodiversité, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du Plan Ecophyto

Le projet PALPuF consiste en la réalisation de trois essais. Les deux premiers, réalisés en conditions semi-contrôlées avec infestations artificielles en pucerons, ont pour objectif, d'une part d'évaluer l'intérêt d'agir sur la richesse en azote et en calcium de solutions nutritives pour limiter le développement des pucerons, et d'autre part d'identifier des stratégies de protection en PFI efficaces contre ces ravageurs ; ces deux essais ont été menés en 2018 par le Ctifl sur le centre de Lanxade (24). Le troisième essai, mené par Invenio sur le site de Sainte-Livrade-sur-Lot (47) consiste à reprendre les conclusions de l'expérimentation 2018 pour les valider en conditions de production sur une culture ultra-précoce et sous une pression naturelle en pucerons.

A) RECHERCHE DE STRATEGIES DE NUTRITION LIMITANTES POUR LES POPULATIONS DE PUCERONS EN CULTURE HORS-SOL DE FRAISIER PRECOCE SOUS ABRI CHAUFFE

L'expérimentation mise en place consiste à observer le développement de populations de pucerons sur une culture de Gariguette sur substrat soumise à des programmes de nutrition différenciés. Ceci pour valider ou invalider l'hypothèse qu'une solution nutritive allégée en azote et renforcée en calcium pourrait être défavorable à l'extension du ravageur. L'expérience est menée en conditions semi-contrôlées.

► Matériels et méthodes

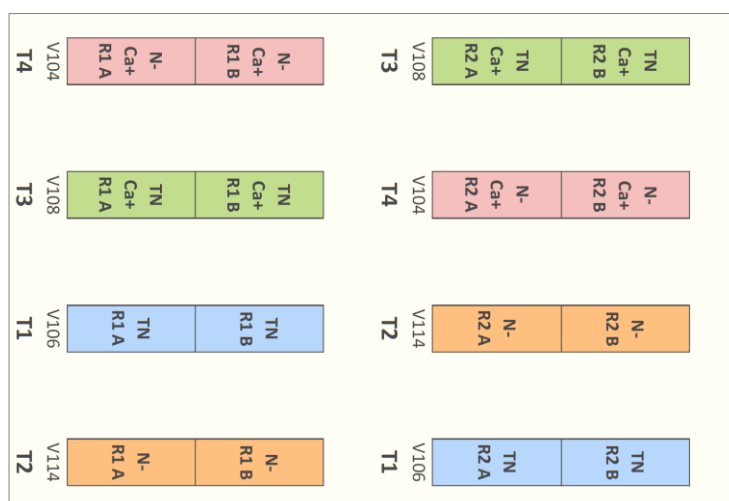
Dispositif expérimental

L'expérimentation est conduite sous multichapelle double paroi chauffée. Le régime de température appliqué est de 8°C la nuit et d'au moins 12°C le jour sur la période du 23/01/2018 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)).

L'essai est mené sur des trayplants de fraisiers de la variété Gariguette plantés le 23 janvier 2018 sur substrat de tourbe et écorce (DUMONA), à la densité de 8 plants par mètre linéaire, et alimentés à raison de 2 goutteurs par sac de substrat.

L'essai est réalisé selon un dispositif en blocs de Fisher à deux blocs, chaque parcelle élémentaire étant formée de 10 sacs adjacents, chacun portant 8 trayplants, soit 80 trayplants au total. Chaque parcelle élémentaire est subdivisée en deux sous-parcelles de 40 trayplants chacune. Le plan de l'essai est présenté dans la figure 1.

Figure 1 : Plan de l'essai nutrition



Modalités évaluées

Trois modalités de nutrition, différant par leur richesse en azote et leurs équilibres K/Ca, sont comparées à un témoin.

Tableau 2 : Modalités dans l'essai nutrition

	TEMOIN : « T1 TN »	« T2 N- »	« T3 TN Ca+ »	« T4 N- Ca+ »
AZOTE	Non limitant N	Limitant N-	Non limitant N	Limitant N-
CALCIUM (rapport K/Ca)			Renforcé Ca+	Renforcé Ca+

Ces principes sont respectés tant sur la phase végétative que sur la phase de fructification (voir la composition des solutions nutritives dans le tableau 2).

Pendant toute la durée de l'expérience la culture ne reçoit aucun traitement contre les pucerons, que ce soit sous forme d'insecticide chimique ou par apport d'auxiliaires.

Tableau 2 : Solutions nutritives appliquées (quantités d'éléments exprimées en meq/l)

		N-NO3	N-NH4	P-PO4	Cl	K	Ca	Mg	Na	S/SO4	K/Ca
Phase végétative	T1 TN	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
Production début avril	T1 TN	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

Suivis et observations

- **Qualité des trayplants**

Les trayplants utilisés proviennent de la pépinière Martailac (47). Leur homogénéité est vérifiée avant mise en culture par des mesures de biomasse sur un échantillon de 10 plants pris au hasard : celle-ci est d'1,97 g de matière sèche par plant (écart-type de 0,03 g), soit 9,2 g de matière fraîche ; ils portent en moyenne 2,8 feuilles de plus d'un cm. A réception ces plants sont indemnes de pucerons.

- **Contamination artificielle en pucerons**

Les pucerons qui serviront de base au protocole d'infestation prévu sont fournis par l'UMR IGEPP de Rennes. Trois souches de l'espèce *Rhodobium porosum* sont utilisées à raison d'une centaine d'individus par souche pour initier un élevage afin d'atteindre le nombre d'individus nécessaire aux expérimentations ; parmi ces souches, deux sont naturellement porteuses de la bactérie symbiotique *Regiella insecticola* (S2_B_P2_13 et S2_B_P2_16) alors qu'une autre en est indemne (S2_B_P2_23). 80 trayplants sont utilisés pour l'élevage de ces pucerons, réalisé en chambre climatique maintenue à 20°C sur une période de deux mois.

Rhodobium porosum fait partie, avec *Chaetosiphon fragaefolii*, des espèces de pucerons identifiées comme les plus problématiques en culture de fraisier précoce sur substrat sous serre. Aucune source de *Chaetosiphon fragaefolii* n'a pu être trouvée en début d'expérience, que ce soit en laboratoire de recherche ou chez les fraisculteurs locaux, obligeant à ne conduire les expérimentations que sur la seule espèce *Rhodobium porosum*.

Une première infestation a été réalisée les 15 et 16 mars à raison de 6 pucerons par plante, déposés au pinceau sur 32 plantes par parcelle élémentaire (3 sur une jeune feuille et 3 sur une hampe). Celle-ci n'a pas donné les résultats escomptés, les comptages effectués montrant une forte hétérogénéité de présence des pucerons, incompatible avec la mise en œuvre du protocole de l'étude.

Une seconde contamination artificielle a donc été entreprise le 11/04/18 en modifiant la méthode de transfert des pucerons : ceux-ci sont prélevés au pinceau sous loupe binoculaire (ce qui permet par un travail plus méticuleux de s'assurer de leur intégrité) et transférés sur des fragments de feuille qui sont alors rapidement déposés au cœur des trayplants de l'essai. Cette infestation est réalisée sur les sous-parcelles non utilisées lors de la première tentative d'infestation, à raison de 6 pucerons par plante sur 24 plantes par parcelle élémentaire. Un dénombrement a été effectué la veille sur chaque trayplant pour s'assurer de l'absence de pucerons en amont.

- ***Suivi des populations de pucerons :***

Les comptages sont réalisés à quatre reprises durant les trois semaines suivant l'inoculation (les 17, 23, 26 et 30 avril) sur chacun des trayplants inoculés. Le nombre total de pucerons est comptabilisé (sur feuilles, fleurs et fruits) de même que le nombre de feuilles par plante, pour obtenir les trois indicateurs suivants : nombre de pucerons par feuille, pourcentage de feuilles occupées, nombre de pucerons par plante.

- ***Suivi du potentiel de production et de la qualité :***

La récolte est effectuée sur les fruits à maturité sur les 80 plantes de chaque parcelle élémentaire. Pour chaque passage de récolte les fruits sont pesés et triés en 4 catégories (Extra, I, II et déchet). Les variables calculées seront donc le poids moyen des fruits commerciaux, la production par catégorie et la production cumulée.

Les mesures du taux de sucre (IR), de l'acidité (PT) et de la fermeté (pénétrömètre) sont réalisées au pic de la production.

Enfin, un test sensoriel « 2 parmi 5 » est réalisé le 19/04 entre les deux modalités T1 TN (témoin) et T4 N- Ca+. Ce test consiste à placer les fruits de la première modalité dans deux coupelles et ceux de la seconde dans trois autres (un fruit par coupelle), les 5 coupelles étant disposées de façon aléatoire. Chaque juge doit regrouper selon son appréciation gustative les deux coupelles identiques d'une part et les trois autres d'autre part. Pour 12 panélistes le seuil de signification à 5% est de 4 bonnes réponses (norme AFNOR V09-001 juillet 1983).

- ***Analyses statistiques :***

Les données sont traitées par l'analyse de variance, suivie si significativité par le test de Duncan pour la comparaison post-hoc des moyennes (logiciel Statistica®).

La répétition 2 de la modalité témoin (T1 Tn) a été écartée des analyses statistiques suite à un accident de traitement qui a causé des dégâts de phytotoxicité sur les plantes. Les moyennes des comptages de pucerons sont établies sur 20 plantes par parcelle élémentaire (en excluant donc les plantes d'extrémité, adjacentes des sous-parcelles utilisée pour la 1^{ère} série d'inoculations, qui auraient pu induire un biais).

▶ **Résultats**

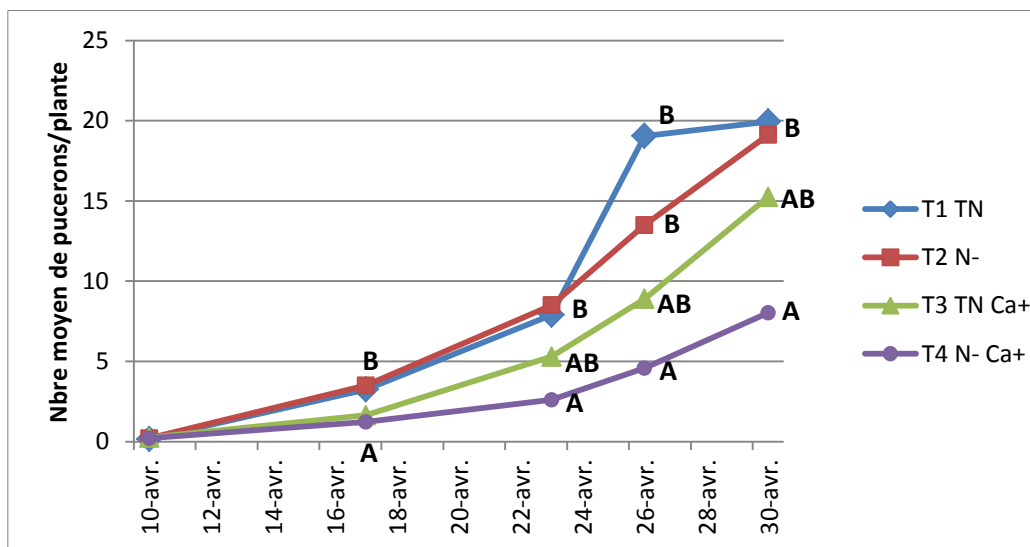
Impact de la composition des solutions nutritives sur le développement des populations de pucerons

Dès le 1^{er} comptage réalisé 7 jours après infestation, les trayplants nourris par la solution nutritive allégée en calcium se démarquent par des populations de pucerons significativement inférieures et cette tendance s'observera jusqu'en fin d'expérience. Comme déjà observé sur d'autres cultures, une fertilisation plus riche en azote favorise le développement des populations, mais l'effet d'un équilibre K/Ca en faveur du calcium semble ici prépondérant.

Ainsi la stratégie de nutrition à 3,5 meq/l d'azote sous forme nitrique avec un rapport K/Ca de 0,13 (T4 TN- Ca+) est ici la fertilisation la plus favorable à un bon état sanitaire des fraisiers, avec au 30/04

un nombre moyen de pucerons par plante qui n'a pas dépassé 8 pucerons alors qu'il atteint 19,95 pucerons dans la modalité témoin (Figure 2).

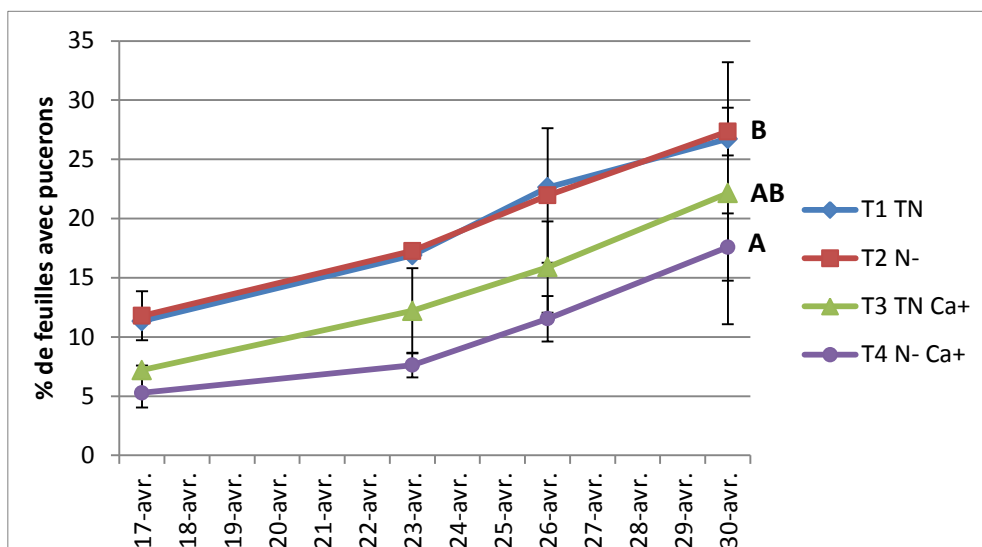
Figure 2 : Evolution du nombre moyen de pucerons par plant de fraisier



Les groupes homogènes sont déterminés date par date par le test de Duncan ($\alpha=5\%$)

Ce résultat se retrouve au niveau du pourcentage de feuilles occupées par des pucerons, qui suit une évolution identique et à un niveau significativement plus élevé sur les plants recevant les fertilisations non enrichies en calcium : 27 % en moyenne au 30/04 contre 22 % de feuilles occupées avec la solution nutritive à 15 meq/l d'azote mais allégée en calcium et 18 % avec ce même équilibre K/Ca mais seulement 3,5 meq/l d'azote (Figure 3).

Figure 3 : Evolution du pourcentage de feuilles occupées par des pucerons

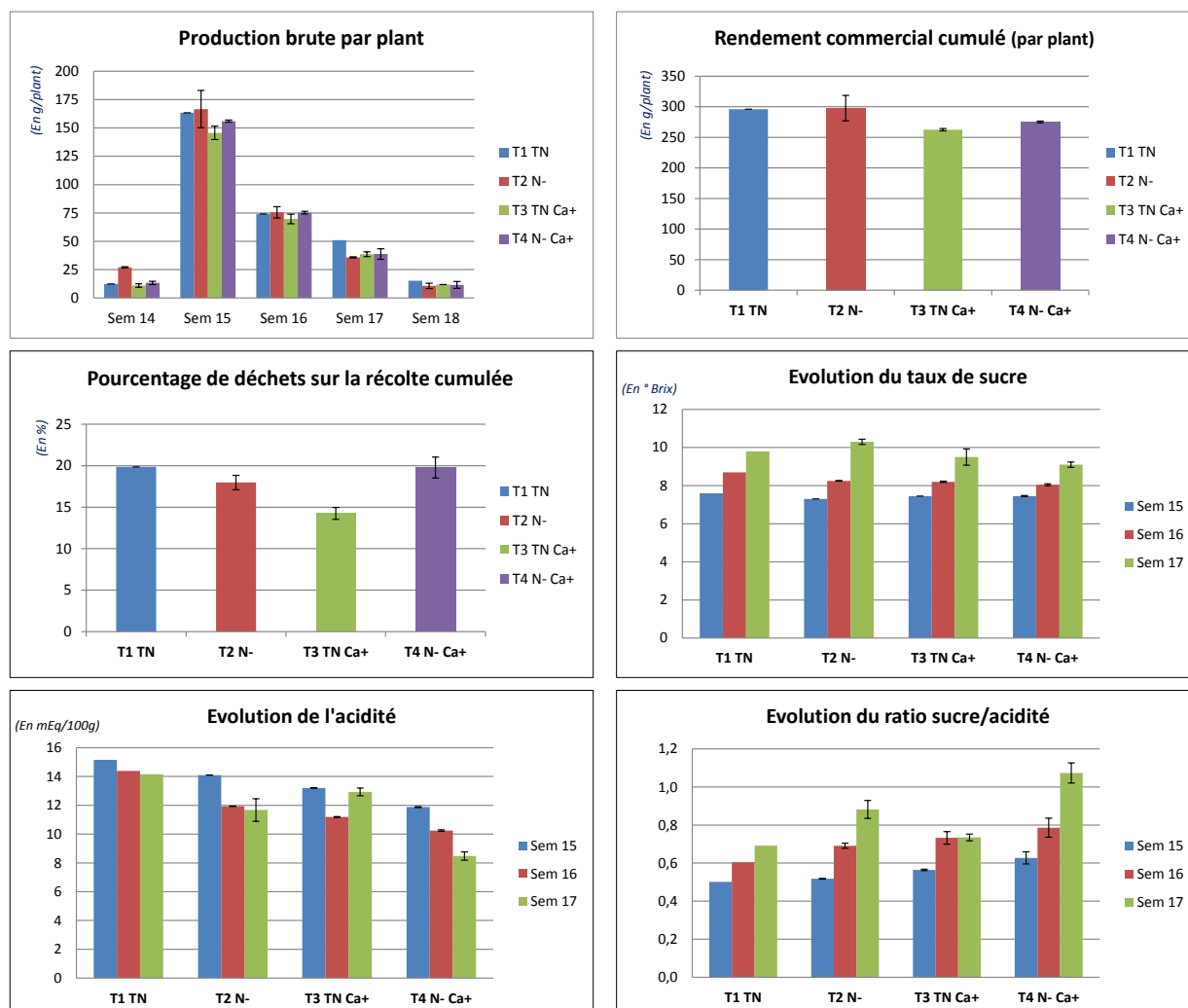


Impact des solutions nutritives sur le potentiel de production et la qualité de la récolte

Les différents régimes de fertilisation appliqués n'ont eu aucune incidence sur la précocité et l'étalement de la récolte, qui s'est déroulée sur cinq semaines du 06/04 au 05/05. Aucun effet significatif des modalités de nutrition testées n'est relevé sur le rendement global (281 g/plant en moyenne) ou le taux moyen de déchets (5,9 %).

Concernant la qualité des fruits, la modalité à moindre niveau d'azote et renforcée en calcium se démarque significativement sur toute la durée de la récolte par une moindre acidité et un ratio sucre/acidité plus élevé (Figure 4). Le test sensoriel pratiqué sur le pic de récolte démontre que ces différences mesurées par les analyses physico-chimiques sont suffisamment marquées pour être détectées par le consommateur.

Figure 4 : Production et qualité des fruits en fonction des régimes de nutrition dans l'essai



► Conclusions et perspectives

Le puceron *Rhodobium porosum* se montre donc sensible à l'état de nutrition du fraisier dans les conditions de cet essai mené sur la variété Gariguette. Des solutions nutritives à 3,5 meq/l d'azote avec un équilibre K/Ca de 0,13 ont permis ici de contenir les populations à un niveau relativement faible, sans aucune conséquence négative sur le rendement et même avec un effet positif sur la qualité gustative des fruits.

Comme pressenti lors d'observations antérieures réalisées sur fraise mais aussi sur d'autres espèces légumières, le facteur nutrition est donc un levier à intégrer dans les stratégies de protection pour optimiser leur efficacité. Ces résultats seront utilisés en 2019 dans le test mené en conditions de production par Invenio, en combinaison d'un panel de stratégies de protection ; ils auraient toutefois mérité d'être confortés par une seconde année d'essai pour intégrer notamment les effets climatiques annuels.

B) EVALUATION, SUR RHODOBIUM POROSUM, DE STRATEGIES DE PROTECTION DE BIOCONTROLE INTEGRES ALTERNATIVES A L'UTILISATION DU THIACTOPRIDE

L'objectif de cet essai, mené comme le précédent en conditions semi-contrôlées, sur la variété Gariguetta cultivée sur substrat sous abri chauffé, est d'étudier l'efficacité directe de deux stratégies de protection contre les pucerons – l'une en PBI intégrant une nouvelle solution de biocontrôle, et l'autre par l'utilisation de ce biocontrôle seul – en comparaison d'une stratégie de référence à base de thiaclopride. L'essai est réalisé par le CTIFL dans son centre de Lanxade (47).

► Matériels et méthodes

Dispositif expérimental

L'expérimentation est menée sur des fraisiers de la variété Gariguetta, plantés la 23/01/18 et cultivés sur substrat de tourbe/écorce (DUMONA) en multichapelle double paroi chauffée (6 à 8°C la nuit et au moins 12°C le jour). Un seul facteur est étudié ici – la stratégie de protection – sous un même régime de nutrition des plants. La solution nutritive utilisée est donc invariante sur toute la durée de l'essai et correspond à un apport de 12 meq/L d'azote avec un équilibre K/Ca de 0,64 ; sa composition en sels minéraux est donnée dans le tableau 3.

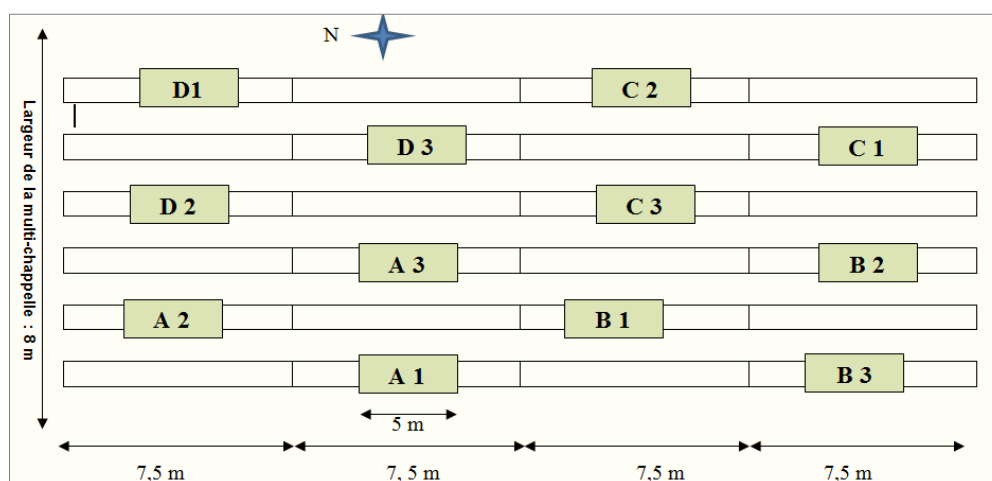
Tableau 3 : Composition de la solution nutritive utilisée dans l'essai protection Ctifl 2018
(quantités d'éléments exprimées en meq/l)

N-NO3	N-NH4	P-PO4	Cl	K	Ca	Mg	Na	S/SO4	K/Ca
12,0	0,0	1,9	0,0	4,7	7,3	1,8	0,0	1,7	0,64

L'essai est mené selon un dispositif en blocs de Fisher à 4 blocs, chaque parcelle élémentaire étant constituée de 5 sacs adjacents portant chacun 8 trayplants, soit de 40 trayplants au total sur 2 fois 5 m linéaires.

Un dispositif insect-proof a été fabriqué pour permettre d'isoler les parcelles élémentaires et ainsi d'empêcher l'interférence entre modalités, puisque l'essai prévoit des lâchers d'auxiliaires. Le dispositif expérimental est présenté dans la figure 5.

Figure 5: Plan de l'essai protection – CTIFL - 2018



Modalités évaluées

Trois modalités de protection sont testées, dont deux utilisent une nouvelle solution de biocontrôle en cours de développement par la société Koppert : l'huile DEV 1502 (huile de paraffine, figurant sur la

liste biocontrôle dans la catégorie des « Produits phytopharmaceutiques de biocontrôle comprenant des substances naturelles d'origine végétale, animale ou minérale ») :

• Modalité 1	Référence néonicotinoïde : applications de CALYPSO®
• Modalité 2	Stratégie PBI : huile DEV 1502 intégrée dans un programme comprenant des lâchers d'auxiliaires (chrysope et parasitoïdes) et si besoin l'application d'un aphicide (PIRIMOR®)
• Modalité 3	Stratégie de biocontrôle : applications répétées d'huile DEV 1502

Le Calypso® est appliquée à la dose homologuée de 0,25 L/ha, le PIRIMOR® à 0,75 L/ha et l'huile DEV 1502 à 15 L/ha (avec dans tous les cas un volume de bouillie de 1000 L/ha).

Sur recommandation de la société KOPPERT, partenaire du projet, les auxiliaires utilisés dans l'essai seront la chrysope *Chrysoperla carnea* (250 larves par parcelle élémentaire, soit 50 individus par m²) et les parasitoïdes *Aphelinus abdominalis* (25 adultes par m²) et *Aphidus ervi* (125 adultes par parcelle élémentaire=25 individus par m²).

Suivis et observations

• **Contamination artificielle en pucerons**

Deux séries d'infestations artificielles en pucerons ont été réalisées, d'abord le 15/03 au pinceau, puis le 11/04 par transfert au cœur des trayplants de fragments de feuilles portant les individus à inoculer. La source de pucerons pour cet essai est la même que pour l'essai nutrition précédemment décrit (*Rhodobium porosum* en provenance de l'IGEPP de Rennes, multipliés en chambre climatique). Les infestations sont ici réalisées à raison de 3 individus apportés sur chacun des plants du 2^{ème} et 3^{ème} sac de chaque parcelle élémentaire (soit sur 16 trayplants), ceci pour chacune des dates d'infestation, soit un total de 6 individus apportés par trayplant inoculé.

L'efficacité de l'infestation a été vérifiée par comptage du nombre de pucerons par feuilles sur les plants contaminés.

• **Application du protocole de traitements**

Le calendrier appliqué est décrit dans le tableau suivant ; les décisions d'intervention sont guidées par l'observation de la pression du ravageur.

Tableau 4 : Calendrier d'interventions

Date	Modalité 1	Modalité 2	Modalité 3
11-mai	CALYPSO®	DEV 1502	DEV 1502
23-mai	CALYPSO®		DEV 1502
25-mai		Lâchers chrysope + parasitoïdes	
08-juin		Lâchers chrysope + parasitoïdes	
13-juin		PIRIMOR G®	DEV 1502
20-juin			DEV 1502

• **Suivis des populations de pucerons**

Des comptages sont effectués chaque semaine à partir des dates d'infestations pour vérifier le développement des populations et décider du déclenchement du protocole.

A partir de là, au moins une notation sera effectuée 24 à 48 h avant chaque traitement (ou lâcher) puis tous les 3 à 4 jours jusqu'en fin d'expérience (soit 12 dates d'observation au total : les 9, 14, 17, 22 et 28 mai puis le 1^{er}, 4, 7, 11, 15, 19 et 25 juin). Les observations sont réalisées exclusivement sur les sacs 2 et 3 préalablement infestés.

Pour ce suivi, des feuilles sont préalablement repérées et baguées (avec un code couleur) sur chacun des 16 trayplants infestés, à raison d'une à 3 feuilles adultes par plant, ces feuilles étant volontairement choisies parmi les plus infestées (classes 2 à 3 ; voir plus bas l'échelle utilisée). Ce premier baguage est effectué le 09/05.

Dans un second temps, le 22/05, ce sont des feuilles suffisamment jeunes pour être suivies jusqu'à la fin de l'essai qui ont été baguées et notées (selon le même critère de forte infestation). Les observations de pucerons porteront donc sur les mêmes feuilles depuis le 09/05 jusqu'au 17 mai, puis sur la seconde série de feuilles (exclusivement) du 22/05 jusqu'à la fin de l'essai.

Les suivis des populations se font par estimation du niveau d'infestation des feuilles, selon les classes présentées dans le tableau 6 :

Tableau 6 : Classes d'infestation en pucerons utilisées pour les suivis

Nombre de pucerons	Classes d'infestation	Centre des classes
< 10	0	5
10 à 20	1	15
21 à 50	2	35
> 50	3	75

On estime aussi le « pourcentage de mortalité » des pucerons en distinguant ceux qui semblent « vivants » des autres (pucerons desséchés marron).

Les variables collectées sont donc la classe d'infestation et le pourcentage de « mortalité » pour chaque feuille baguée.

- **Phytotoxicité :**

15 feuilles baguées le 22 mai ont été prélevées par parcelle élémentaire en fin d'essai, le 28 juin, et une estimation de la surface foliaire non saine a été effectuée (selon une échelle de 0 à 10), afin de déceler une éventuelle phytotoxicité liée aux traitements appliqués.

- **Traitements statistiques**

Les données sont analysées par l'analyse de variance après, le cas échéant, transformation des données par la fonction (Arsin(racine carrée)) si les hypothèses ne sont pas respectées ; les comparaisons post-hoc des moyennes sont réalisées par le test de Newman Keuls (logiciel Statbox® sous Excel®).

► **Résultats**

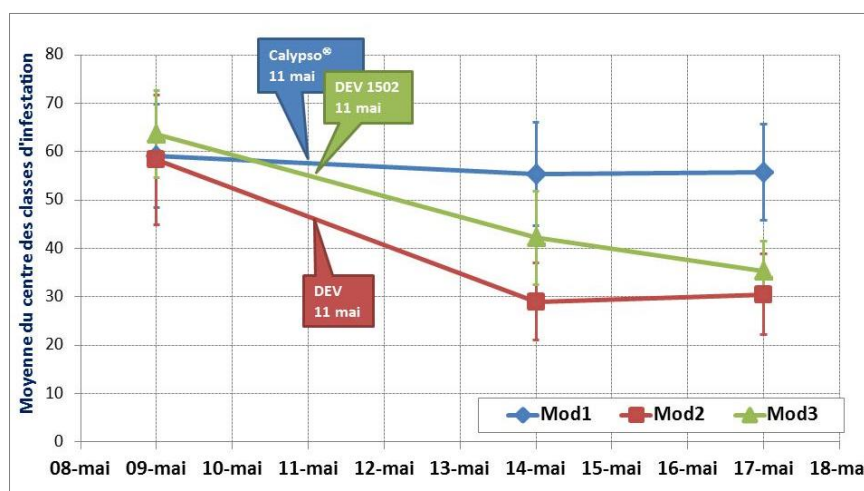
Evolution de la colonisation par les pucerons selon les stratégies de protection appliquées

Période du 09/05/2018 au 17/05/2018 : effet du 1^{er} traitement sur la 1^{ère} série de feuilles baguées

Le traitement du 11 mai avec le Calypso® semble n'avoir eu aucun effet, sans que la raison n'en soit clairement expliquée (problème d'application ? produit périmé ?). Il sera donc renouvelé le 23/05 dans l'essai, en utilisant du produit récemment acheté.

L'application de l'huile DEV 1502 sur les modalités 2 et 3 a quant à elle permis une chute significative de l'infestation des feuilles et une mortalité estimée à environ 40 %, six jours après l'application. La figure 6 présente l'observation de présence de pucerons (exprimée en centre de classe, soit une estimée du nombre de pucerons vivants par feuille) avant et après cette première intervention. Rappelons que les observations sont effectuées sur les mêmes feuilles de date à date et ce, jusqu'au 22/05, date à laquelle une nouvelle série de feuilles (jeunes) est repérée pour pouvoir continuer à suivre les infestations sur la durée.

Figure 6: Evolution du nombre estimé de pucerons par feuille suite à la 1^{ère} intervention
(estimation par la variable « centre de classe d'infestation »)



Période du 22/05/2018 au 26/06/2018 : incidence des stratégies appliquées sur l'infestation de la 2nde série de feuilles baguées

Les figures 7 et 8 (page suivante) illustrent l'évolution de l'infestation des pucerons, d'une part sous l'angle « dénombrement de pucerons survivants » et d'autre part sous celui des mortalités. La figure 9 vient compléter l'analyse par la description de la fluctuation des fréquences de classes d'infestation sous l'effet des traitements.

Modalité 1 : référence thiaclopride

Le traitement Calypso® du 23/05 a eu une efficacité totale. La totalité des feuilles est passée en classe 0 le 28/05 avec un pourcentage de mortalité de 100 %.

Avant l'application, 95% des feuilles observées étaient en classe 3, soit avec plus de 50 pucerons par feuille (rappelons que c'est sur ce critère qu'elles sont sélectionnées). 5 jours après traitement plus aucun puceron vivant n'est observé. Notons qu'au bout de 8 jours quelques pucerons ont de nouveau été observés (moins de 1% des feuilles en classe 1), mais sans réelle conséquence puisqu'en fin d'essai, soit 30 jours après le traitement, le niveau d'infestation ne dépasse pas 4% des feuilles en classes 1 (10-20 pucerons) et moins de 1% en classe 2 (21 - 50 pucerons), le restant étant indemne de pucerons.

Il n'y a donc pas eu, sur cette modalité, de remontée significative de l'infestation : le Calypso® a donc eu un effet suffisamment rémanent sur les feuilles traitées pendant plus d'un mois.

Modalité 2

Les lâchers du 25/05 et du 08/06 ne semblent pas permettre une chute significative du niveau d'infestation dans ces conditions de fortes pressions (100 % des feuilles baguées ont plus de 50 pucerons au 22/05). On observe cependant que plus de 10 % des feuilles sont passées en classe 2 lors de la notation des 1^{er} et 04 juin (soit 8 à 10 jours après le lâcher), alors qu'en parallèle une augmentation du taux de mortalité est mesurée. L'introduction de chrysopes et de parasitoïdes a donc permis une stabilisation des populations de pucerons dans un laps de temps d'une à deux semaines.

Après le 2nd lâcher du 08/06, on note que les populations de pucerons commencent par progresser, ce qui traduit une multiplication du ravageur plus rapide que la prédation ou le parasitisme par les auxiliaires. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les conditions climatiques sont alors particulièrement favorables au développement des pucerons, alors que les larves de chrysopes introduites en mai sont désormais inactives (les stades prédateurs, c'est-à-dire les larves, ne durent que 10 à 15 jours) et que les auxiliaires nouvellement introduits sont encore en phase d'acclimatation et d'installation.

Il faut attendre l'application du Pirimor® G (13/06) pour voir la tendance s'inverser : 83 % des feuilles sont ainsi passées en classe 3 le 14/06 et 17 % en classe 2. L'action cumulée des auxiliaires et de

l'aphicide n'a au final qu'une efficacité partielle, puisqu'au 26/06 le nombre de pucerons peut être estimé à 30 individus en moyenne sur les feuilles suivies depuis le 22/05.

Figure 7 : Evolution du nombre estimé de pucerons par feuille à partir des interventions du 23/05

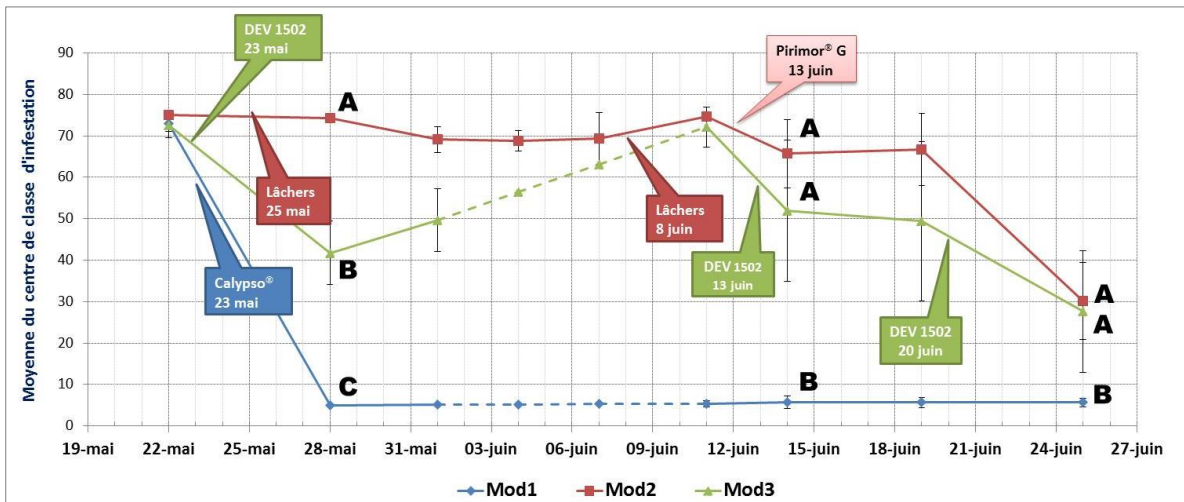
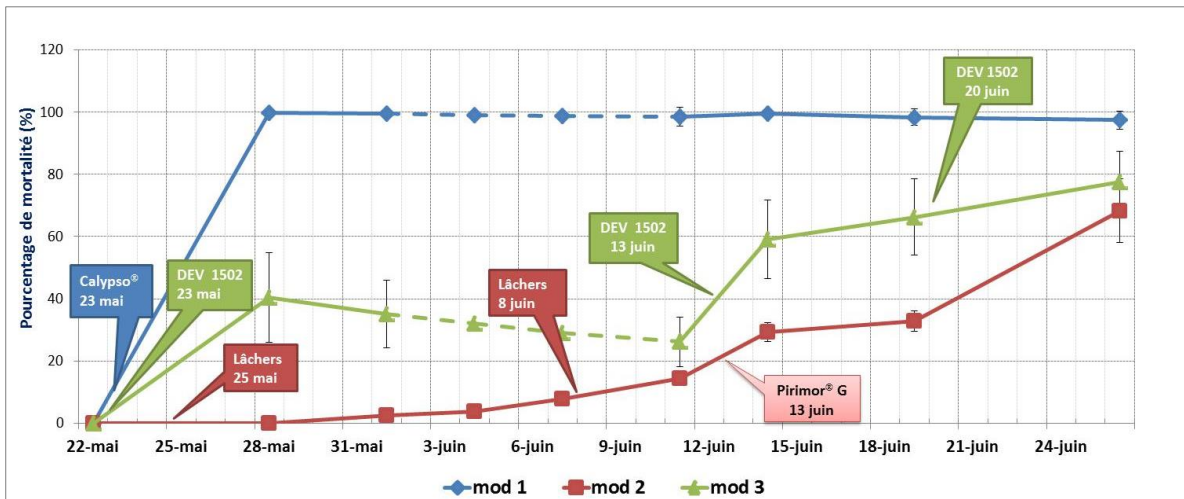


Figure 8 : Evolution des mortalités de pucerons à partir des interventions du 23/05



Modalité 3

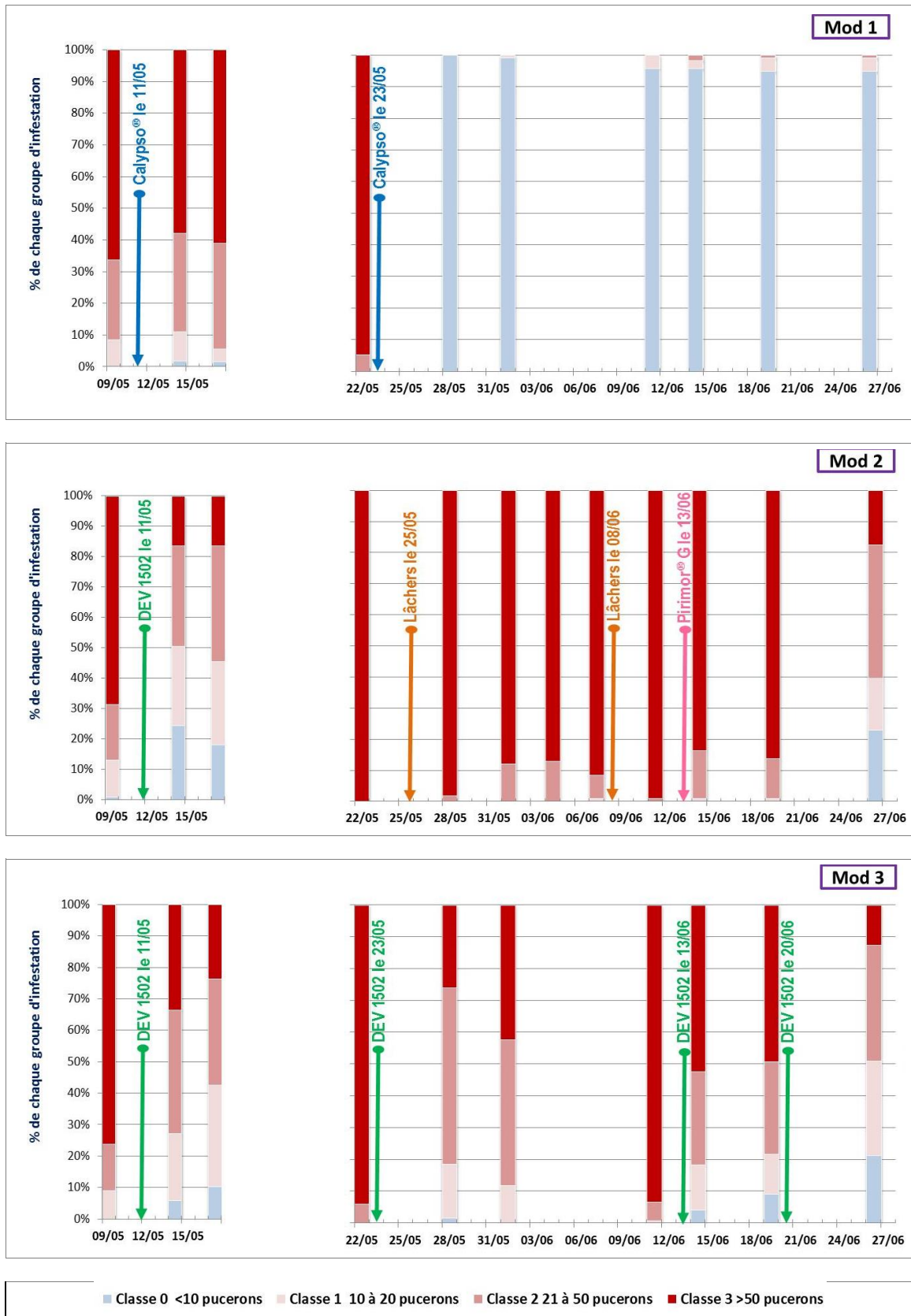
Après chaque application de l'huile DEV 1502, une baisse relative des populations de pucerons est systématiquement observée, avec des feuilles passant de la classe 4 aux classes inférieures.

L'action de ce biocontrôle ne semble toutefois pas très persistante : ainsi, après une régression significative du ravageur suite à l'application du 23/05, les populations ré-augmentent 9 jours après, pour revenir au niveau d'infestation initial 10 jours plus tard (le 11/06, soit 19 jours au total après l'intervention).

Les applications des 13 et 20 juin nous montrent qu'une cadence d'une semaine entre deux applications d'huile permet d'avoir un effet cumulatif intéressant, dans les conditions de fortes pressions de cet essai : ceci permet de profiter de l'effet de l'application suivante avant que les populations n'aient le temps de reprendre leur progression.

Avec trois applications d'huile DEV 1502 sur la saison, dont deux rapprochées, on atteint avec cette stratégie un taux de mortalité de 77 %, mais, avec encore 58 % des feuilles occupées par plus de 20 pucerons, on peut estimer qu'il reste encore en moyenne 28 individus par feuille.

Figure 9 : Evolution des fréquences de classes d'infestation des feuilles par les pucerons selon les stratégies de protection appliquées (la période du 9 au 18 mai correspond à la 1^{ère} série de feuilles baguées et la période du 22 mai au 27 juin à une nouvelle série de feuilles)



Vérification de l'absence de phytotoxicité

La notation des surfaces foliaires non saines, réalisée en fin d'essai sur un échantillon de feuilles, ne met en évidence aucune distinction entre modalités ; aucun signe de phytotoxicité (de type brûlure, décolorations) n'a par ailleurs été observé en saison. Le nouveau biocontrôle développé par la société Koppert ne semble donc pas induire de phytotoxicité, du moins dans les conditions de cet essai.

► **Conclusions et perspectives**

Deux infestations artificielles en pucerons ont été nécessaires au départ pour atteindre un niveau de colonisation satisfaisant et suffisamment homogène ; une fois ce stade atteint, les populations se sont très vite emballées, conduisant à mener l'essai dans des conditions de forte pression.

Dans de telles conditions l'huile de paraffine DEV 1502 montre une efficacité relative intéressante mais fugace : la répétition des applications à une cadence hebdomadaire semble la stratégie à retenir pour utiliser ce produit.

Les lâchers de chrysopes et de parasitoïdes (apportés pourtant à doses élevées) n'ont pas permis de réduire les populations mais seulement de les stabiliser ; la stratégie qui était testée ici, qui a consisté à appliquer successivement le DEV 1502 (en une seule application), des lâchers d'auxiliaires répétés, puis le Pirimor® G, ne semble pas à retenir.

L'option qui semble se dégager de l'essai pourrait être d'utiliser plusieurs applications rapprochées de l'huile DEV 1502 puis d'enchaîner sur des lâchers d'auxiliaires afin de maintenir les populations à un faible niveau.

Il est toutefois à noter qu'aucune des solutions testées ici, qu'elle soit biologique, de biocontrôle ou chimique, n'a donné des résultats d'un niveau comparable à la stratégie de référence, puisqu'une seule application de thiaclopride, soit un IFT chimique, a permis un nettoyage rapide et durable de la culture, les feuilles touchées par le produit étant restées quasiment indemnes de pucerons jusqu'à la fin de la saison.

Avec les conclusions de l'essai « nutrition », on peut espérer qu'une fertilisation basée sur des solutions nutritives allégées en azote mais renforcées en calcium puisse améliorer l'efficacité de la stratégie de biocontrôle pressentie.

C) TEST DE COMBINAISONS DE STRATEGIES PBI ET SOLUTIONS NUTRITIVES OPTIMISEES POUR UNE REGULATION DES POPULATIONS DE PUCERONS EN CONDITIONS D'INFESTATIONS NATURELLES

Cet essai, conduit en 2019 en conditions de production sous serre verre sur le site expérimental d'Invenio à Ste Livrade sur Lot (47), a pour objectif de tester l'efficacité sur les populations de pucerons de la combinaison des deux meilleures modalités de nutrition et de protection identifiées dans les essais factoriels réalisés par le CTIFL en 2018.

► **Matériels et méthodes**

Les trayplants de variété Gariguettes ont été plantés le 12 décembre 2018 en hors sol à la densité de 12 plants par mètre linéaire.

Modalités évaluées

Cinq modalités, combinant les deux leviers « Fertilisation » et « Protection », ont été définies en comité de pilotage :

	Mod 1	Mod 2	Mod 4	Mod 3	Mod 5
Fertilisation	Témoin	Témoin	N- Ca+	Témoin	N- Ca+
Protection	Référence chimique	DEV1502 + Pirimor G	DEV1502 + Pirimor G	DEV1502 + auxiliaires	DEV1502 + auxiliaires

Les principes de pilotage de ces stratégies de protection ont été définis en début d'expérience selon les règles énoncées dans le tableau 7. Le CALYPSO® ayant été interdit d'utilisation le 01/09/18, la modalité de référence « chimique » se basera ici sur le MOVENTO®, en cours d'homologation en 2019 (et autorisé par dérogation sur la période de réalisation de l'essai) et le PIRIMOR® G.

Tableau 7 : Principes de pilotage des stratégies de protection définis en début d'expérience pour l'essai Invenio 2019

	Mod 1	Mod 2	Mod 4	Mod 3	Mod 5
Protection Pucerons	*En janvier-février, si présence pucerons après ouverture des cœurs, et avant floraison, traitement au Movento à 0,75L/ha *Si traitement Movento pas efficace, avant récolte, traitement Pirimor G à 0,75kg/ha *Entre deux jets, si infestation en pucerons, traitement Pirimor G à 0,75kg/ha	*En janvier-février, si présence pucerons après ouverture des cœurs, et avant floraison, 2 traitements à 7 jours d'intervalle au DEV1502 à 15L/ha (750L/ha de bouillie) *Si 2 traitements DEV1502 pas efficaces, avant récolte, traitement Pirimor G à 0,75kg/ha *Sur 2 semaines, si augmentation pop pucerons, traitement DEV1502 à 15L/ha, selon efficacité possibilité d'en faire un 2nd (max 4 applications de DEV 1502) *Entre deux jets, si pas efficacité des traitements avec DEV1502, traitement Pirimor G à 0,75kg/ha			*Puis si pucerons, apports de larves de Chrysoperla carnea à la dose de 5-10 ind/m ² , répétés à 7-14 jours d'intervalle selon évolution des populations (max 5 apports) *Dès présence de miellat, 2 traitements à 7 jours d'intervalle au DEV1502 à 15L/ha (750L/ha de bouillie) (max 4 applications de DEV1502)
Protection oïdium	*A partir de janvier, traitement Bastid à 2L/ha tous les 14 jours (max 5 applications) *Traitement Luna sensation à 0,8L/ha sur le 1er tiers de la floraison (env mi février) *Si présence d'oïdium en fin de 1er jet, Luna sensation à 0,8L/ha				
Protection acarien tétranyque	*En janvier et février, si présence d'acariens tétranyques à la reprise des plants, élimination des vieilles feuilles + traitement Floramite * Traitement Floramite ou autre acaricide si nécessaire				
Protection Thrips	*Début mars, apport de Neoseiulus californicus en sachet à la dose de 1 sachet/2ml *A partir de mi mars, dès détection acariens tétranyques, apports de Phytoseiulus persimilis à la dose entre 10-20/m ² à renouveler à 7-14 jours d'intervalle selon évolution des populations				
	*Dès 1er thrips observé : 2 à 4 apports N. cucumeris en vrac (50 à 150 ind/m ²) à 7-14 jours d'intervalle *Début février, apport de 1 sachet de N. cucumeris/2ml *Renouveler 1 mois après si moins de 20% des fruits blancs avec acariens prédateurs et/ou présence thrips				

● **Equilibres de fertilisation :**

Les équilibres de fertilisation ont été discutés en comité de pilotage et le choix a été fait de retenir comme niveau d'azote pour la modalité témoin la valeur qui est couramment pratiquées chez les fraisculteurs, soit moins que celle des essais nutrition menés par le Ctifl en 2018, où le niveau d'azote avait été volontairement renforcé pour bien différencier les modalités testées.

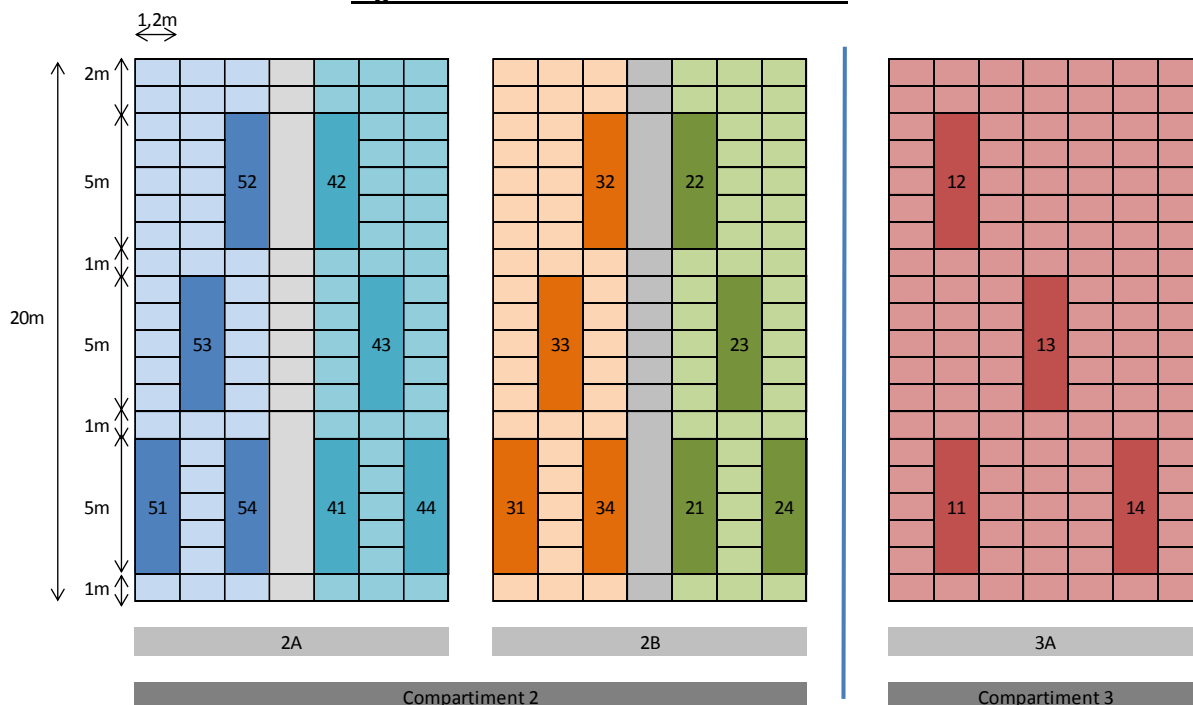
Ceci s'est traduit par un pilotage nutritif de ce nouvel essai selon les équilibres du tableau suivant (valeurs exprimées en meq/L) :

		N-NO3	NH4+	H2PO4-	Cl-	K+	Ca++	Mg++	Na+	SO4--	Ec	N	K/Ca
Phase végétative	Témoin	8,19	1,41	1,36	0,13	3,11	5,12	1,28	0,13	1,28	1,20	9,60	0,61
	N- Ca+	7,41	0,00	1,10	0,22	1,34	7,78	0,90	0,25	0,72	1,13	7,41	0,17
	Témoin vs N- Ca+	1:0,9	1:0,0	1:0,8	1:1,7	1:0,4	1:1,5	1:0,7	1:1,9	1:0,6	1:0,9	1:0,8	1:0,3
Fruification	Témoin	8,37	0,00	1,27	0,18	4,64	5,08	1,19	0,18	1,19	1,20	8,37	0,91
	N- Ca+	4,32	0,00	0,56	0,22	0,80	5,23	0,68	0,25	0,50	0,76	4,32	0,15
	Témoin vs N- Ca+	1:0,5	-	1:0,4	1:1,2	1:0,2	1:1,0	1:0,6	1:1,4	1:0,4	1:0,6	1:0,5	1:0,2

Dispositif expérimental

L'essai est conduit avec 4 répétitions de 60 plants par modalité (parcelles élémentaires de 5 m de long ; voir Figure 10). Les contaminations en pucerons sont ici naturelles

Figure 10 : Plan de l'essai Invenio – 2019



	Ferti	Protection	Cpt	N° répétition			
Mod 1	Témoin	Référence chimique	3A	11	12	13	14
Mod 2	Témoin	DEV1502 + Pirimor G	2B	21	22	23	24
Mod 3	Témoin	DEV1502 + auxiliaires	2B	31	32	33	34
Mod 4	N- Ca+	DEV1502 + Pirimor G	2A	41	42	43	44
Mod 5	N- Ca+	DEV1502 + auxiliaires	2A	51	52	53	54

Application du protocole de traitements et de lâchers d'auxiliaires

L'inefficacité de certaines interventions et la nature des espèces de pucerons en présence ont obligé à dévier du protocole de protection initial. Ainsi, les aphicides de synthèse autorisés étant limités en nombre d'applications, deux biocontrôles ont été introduits dans la stratégie de référence « chimique » (FLIPPER® - sel de potassium d'acides gras- et ERADICOAT® - maltodextrine).

L'essai comparera donc au final une stratégie chimique complétée par des biocontrôles de type substance naturelle (avec une seule modalité de fertilisation – MOD 1), une stratégie PBI à base d'huile paraffinique, d'auxiliaires et de PIRIMOR® G, déclinée selon les deux modalités de fertilisation prévues (MOD 2 et MOD 4) et une stratégie entièrement biocontrôle (huile paraffinique et auxiliaires) déclinée selon ces deux mêmes modalités de fertilisation (MOD 3 et MOD 5). Le tableau 8 donne les calendriers d'intervention réellement réalisés dans l'essai pour chacune des modalités.

Du point de vue pratique, comme décrit plus haut, la stratégie « chimique » est isolée physiquement des autres modalités, alors que la stratégie PBI (MOD 2 et 4) et la stratégie biocontrôle (MOD 3 et 5) se situent dans un même compartiment de la serre.

Tableau 8 : Calendrier d'interventions appliqué contre les pucerons dans l'essai Invenio – 2019

Date d'intervention	Stratégie "chimique" + Ferti Témoin (MOD 1)	Stratégie PBI + Ferti TEM : MOD 2 + Ferti N-Ca+ : MOD 4	Stratégie biocontrôle + Ferti TEM : MOD 3 + Ferti 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 Chrysoperla carnea (10/m ²)
14/03/2019		Pirimor® G (0,75kg/ha)	
20/03/2019			Larves de Chrysoperla carnea (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 Chrysoperla carnea (10/m ²)	Larves de Chrysoperla carnea (10/m ²)
29/05/2019	Eradicoat® (18L/ha)		
06/06/2019	Pirimor® G (0,75kg/ha)		

Pour faciliter la compréhension de ces stratégies, le tableau 9 donne les caractéristiques des produits utilisés et leur conditions d'utilisation, telles que permises par la réglementation. On notera que parmi ces produits, deux ont été obtenus en homologation sur l'usage pucerons du fraisier au cours de la période de réalisation du projet. Deux matières actives viennent compléter la liste des substances autorisées sur cet usage (la lambda-cyhalothrine et la deltaméthrine) mais celle-ci ne sont pas compatibles avec la production biologique intégrée, en raison de leurs effets néfastes sur les auxiliaires (que ceux-ci soient introduits ou naturellement présents).

Tableau 9 : Caractéristiques des produits utilisés dans les stratégies testées et conditions d'applications (Source ephy.anses.fr)

Produit commercial	Substance active	DAR	Nombre maximal d'applications et restrictions d'usage	Date de l'homologation
PIRIMOR® G	Pyrimicarbe	7 jours	<u>2 appli maxi.</u> Uniquement autorisé sous serre. Non autorisé contre <i>Myzus persicae</i>	30/06/15
MOVENTO®	Spirotetramat	Avant BBCH 56 (avant fleur)	<u>2 appli maxi</u> (14 j d'intervalle) par cycle cultural pour contrôler l'ensemble des ravageurs. Efficacité montrée sur <i>Aphis frangulae</i> , <i>Aphis gossypii</i> , <i>Aphis forbesi</i> , et <i>Chetosiphon frangulae</i> .	06/09/19
FLIPPER® (Liste biocontrôle)	Acides gras C7-C20 sels de potassium	1 jour	<u>5 appli maxi.</u> Uniquement autorisé sous abri. Stade d'application : dès le premier signe d'infestation. Mention abeille.	07/08/18
ERADICOAT® (Liste biocontrôle)	Maltodextrine	1 jour	<u>20 appli maxi</u> (3 j d'intervalle). Uniquement autorisé sous abri.	29/02/16
DEV 1502 (Liste biocontrôle)	Huile paraffinique	1 jour	<u>4 appli maxi dans l'essai</u> (mais probablement 2 appli maxi sur cible pucerons, si homologué)	Pas encore d'homologation

Suivis et observations

• Suivi hebdomadaire de la culture vis-à-vis des pucerons

Sur 10 fraisiers choisis au hasard par parcelle élémentaire, observation, par fraisier, d'une feuille âgée, d'une jeune feuille, du cœur, d'une hampe, d'une fleur, d'un fruit vert/blanc et, si présence, d'un fruit rosé/rouge. Les notations effectuées sont les suivantes :

1) Classe d'intensité d'attaque sur l'ensemble de la plante :

- 0 : pas de pucerons
- 1 : faible présence, jusqu'à 5 individus
- 2 : présence moyenne, jusqu'à 20 individus
- 3 : présence élevée jusqu'à 50 individus
- 4 : présence très élevée avec plus de 50 individus

2) Identification des espèces présentes (CF : *Chaetosiphon fragaefolii*, ME : *Macrosiphum euphorbiae*, AM : *Acyrtosiphon malvae*, RP : *Rhodobium porosum*, A : *Aphis sp.*, M : *Myzus sp.*)

• Suivi du rendement sur les deux jets de production

Sur les 60 plants par parcelle élémentaire, tous les fruits sont récoltés à maturité et triés en 4 catégories (Extra, Cat I, Cat III et pourris).

Les rendements sont enregistrés à chaque récolte (à partir de 20 g par plant).

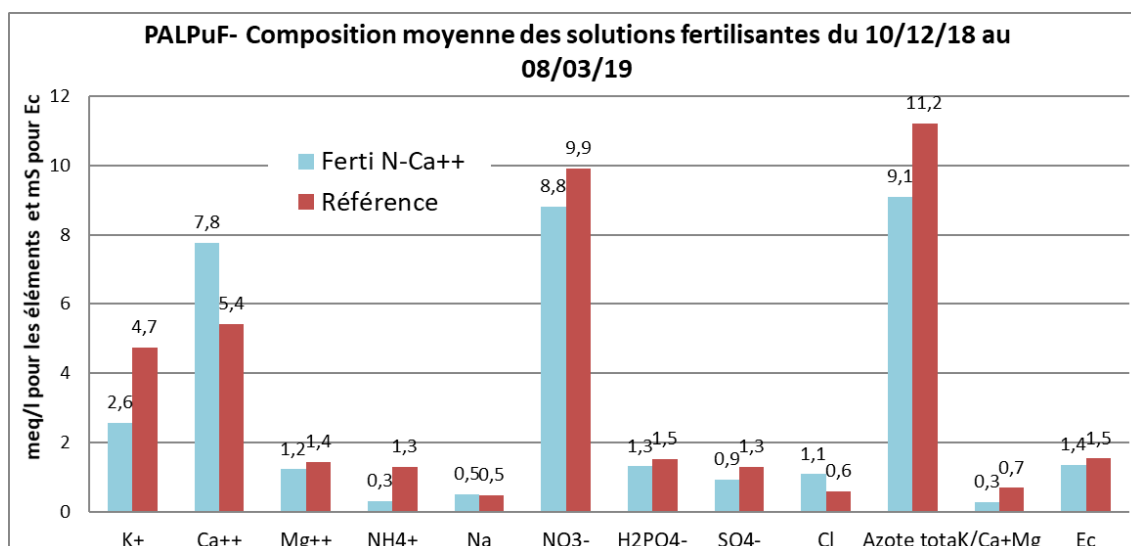
► Résultats

Fertilisation réalisée

En cours de culture, des analyses des différents éléments composants les solutions nutritives ont été réalisées auprès du laboratoire Gestasol. Ces analyses permettent de savoir exactement ce qui est apporté à la culture.

• Phase végétative du 12/12/18 au 08/03/19

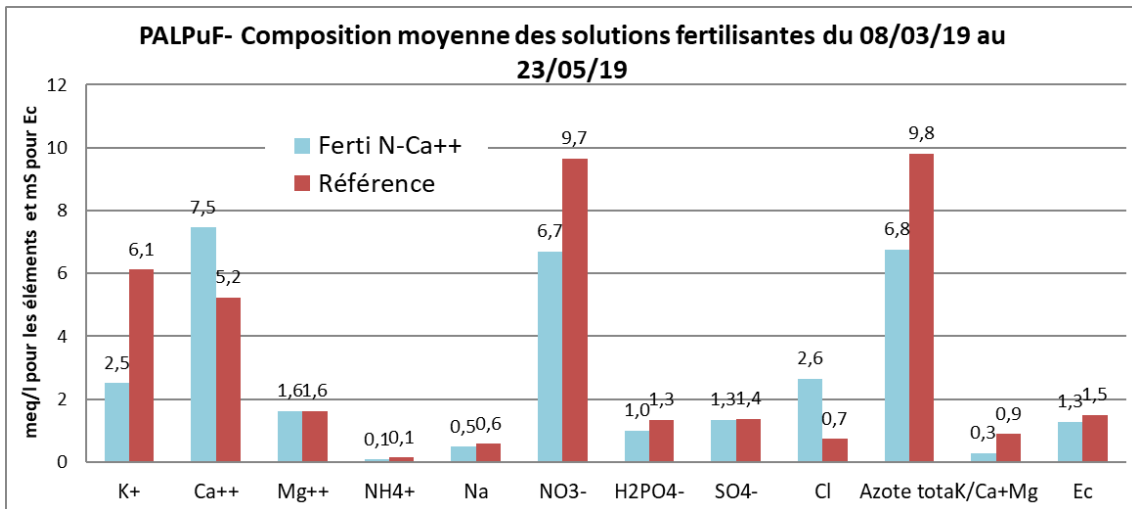
Au cours de cette période, 4 analyses des solutions nutritives ont été réalisées, les 14/12, 14/01, 07/02 et 18/02. Le graphique ci-dessous présente la composition moyenne des solutions nutritives sur cette première phase végétative.



Sur la période végétative, le différentiel entre la fertilisation « N- Ca+ » et celle de référence est donc de -19% pour l'azote total, +31% pour le calcium et -44,6% pour le potassium (en meq/L). La modulation de la dose d'apport s'explique surtout par une baisse de l'apport d'azote ammoniacal (NH₄⁺). Les équilibres K/Ca sont donc ici de 0,87 pour la référence et de 0,33 pour la modalité « N- Ca+ ».

● **Phase de fructification du 08/03/19 au 23/05/19 (1^{er} jet de production)**

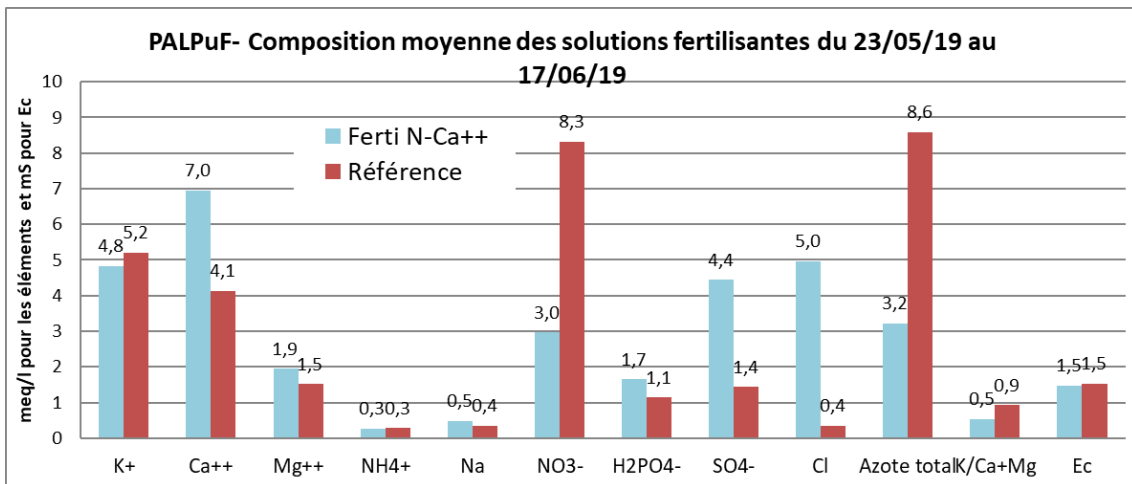
Au cours de cette période, 2 analyses des solutions nutritives ont été réalisées, les 18/03 et 12/04. Le graphique ci-dessous présente la composition moyenne des solutions nutritives sur cette première phase de fructification.



Sur ce premier jet de production la fertilisation « N- Ca+ » apporte donc -31% d'azote total, +31% de calcium et -59% de potassium par rapport à la fertilisation de référence (en meq/L). Les équilibres K/Ca sont de 1,17 pour la référence et de 0,33 pour la modalité « N- Ca+ ».

● **Phase de fructification du 23/05 au 17/06/19 (2^{ème} jet de production)**

Au cours de cette période, 2 analyses des solutions nutritives ont été réalisées, les 03/06 et 12/06. La composition moyenne des solutions nutritives sur cette seconde phase de fructification est représentée dans le graphique suivant :



Le différentiel entre la fertilisation « N- Ca+ » et celle de référence est donc, sur cette seconde période de fructification de -63% pour l'azote total, de +41% pour le calcium et de -7,7% pour le potassium (en meq/L). La baisse des apports azotés est ici compensée par des apports de sulfates et de chlorures. Les équilibres K/Ca sont de 1,27 pour la référence et de 0,69 pour la modalité « N- Ca+ ».

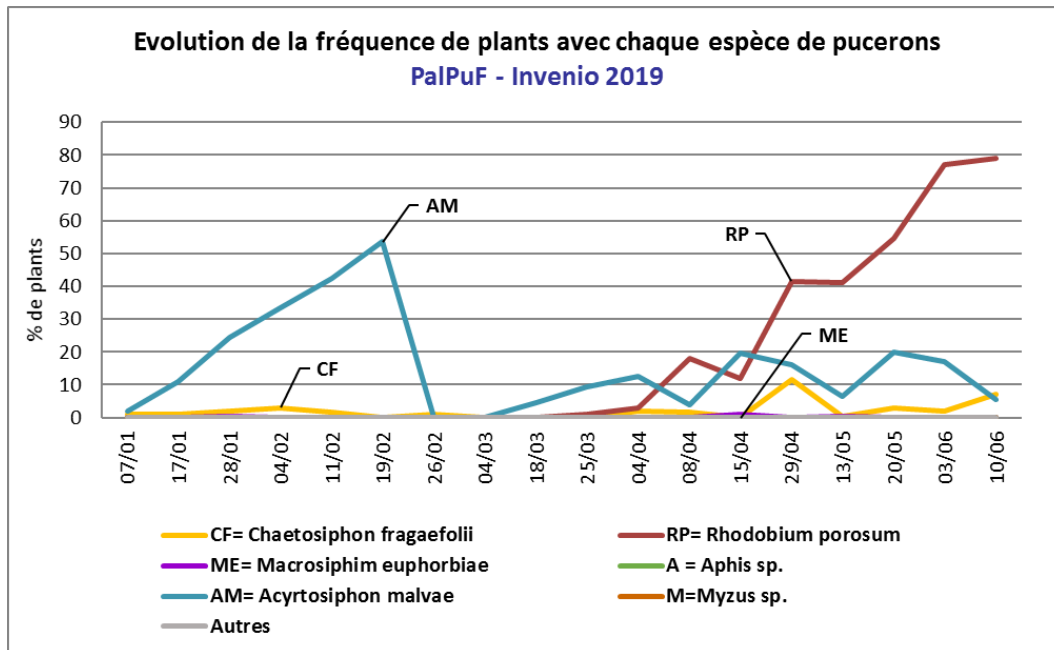
● **Sur toute la durée de la culture**

Au total sur toute la période de culture, les plants de la fertilisation « N- Ca+ » ont reçu 28% en moins d'azote total et 45% en plus de calcium par rapport à la fertilisation de référence.

Suivi des populations de pucerons

• Espèces de pucerons présentes

De janvier à fin mars, la principale espèce de pucerons observée est *Acyrtosiphon malvae*. A partir de début avril, on observe en mélange les espèces *Acyrtosiphon malvae* et *Rhodobium porosum*, auxquelles s'ajoute fin avril l'espèce *Chaetosiphon fragaefolii*. Les pucerons sont présents dès début janvier, moins d'un mois après installation de la culture.



• Evolution des populations de pucerons en fonction des stratégies appliquées

La figure 11 (page suivante) présente l'évolution de la fréquence de plants colonisés par les pucerons (sans distinction d'espèce), selon les stratégies [nutrition x protection] testées.

Référence chimique

Sur la modalité 1, référence chimique, le traitement Movento® (spiromtetrat) du 29/01 n'a pas eu une bonne efficacité. Un second traitement au Pirimor® G (pirimicarbe) a donc été réalisé le 26/02 avec cette fois une excellente efficacité. A partir de fin mars, les populations de pucerons sont en recrudescence. L'espèce de puceron présente (*Rhodobium porosum*) étant peu sensible au PIRIMOR® G, un traitement au Flipper (sel potassique d'acide gras) à 15L/ha a été réalisé le 14 mai. Ce dernier n'a pas présenté d'efficacité. En fin de culture, en juin, les pucerons sont présents sur 100% des plants et provoquent des dégâts avec présence de miellat.

Action de l'huile DEV 1502

Sur les modalités 2 à 5, 3 traitements au DEV 1502 à 15 L/ha ont été réalisés les 31/01, 12/02 et 26/02 (soir à 12-14 jours d'intervalle). Ces applications n'ont pas eu l'efficacité escomptée sur les pucerons. Une des hypothèses de cette inefficacité tiendrait aux conditions climatiques autour des applications. En effet, le DEV 1502, huile de paraffine, doit sécher rapidement après application afin d'asphyxier rapidement les pucerons. Le 1^{er} traitement au DEV 1502 (31/01) a été réalisé par temps couvert. L'hygrométrie enregistrée dans la serre est restée supérieure à 90 % les heures suivant le traitement. Les deux traitements suivants ont été réalisés en milieu de journée ensoleillée et les hygrométries enregistrées pendant et après les traitements sont supérieures à 50 %.

Sur les modalités 2 et 4 (stratégie PBI-DEV1502), suite à l'inefficacité du DEV 1502, un traitement au Pirimor® G a été réalisé le 14/03 : celui-ci a eu une très bonne efficacité en diminuant de 95 % (MOD 4) et de 80 % (MOD 2) la fréquence de plants avec pucerons.

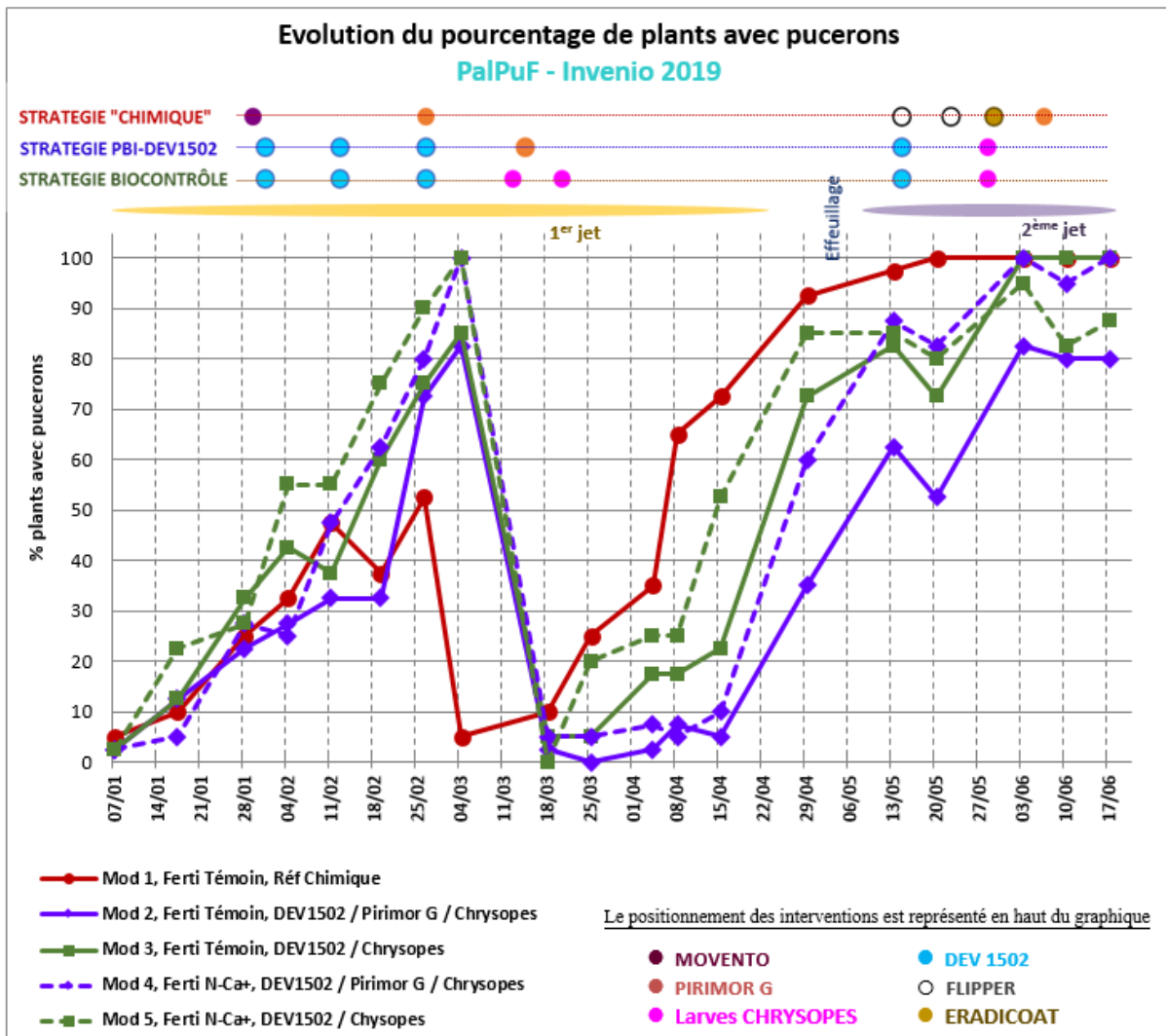
Sur la seconde vague de présence des pucerons un traitement au DEV 1502 à 15L/ha est réalisé le 14/05. Celui-ci a permis de diminuer la fréquence de plants avec pucerons la semaine après le traitement uniquement.

Apports d'auxiliaires

Sur les modalités 3 et 5 (stratégie biocontrôle), suite à l'inefficacité du DEV 502, deux apports de 10 larves de chrysope par m² ont été réalisés les 12 et 20/03. Ces modalités sont situées dans le même compartiment que les modalités 2 et 4 traitées au Pirimor® G et ont dû bénéficier de l'effet vapeur de ce produit. En effet, la fréquence de plants avec pucerons chute également fortement sur ces modalités dès le 18/03. D'expérience nous savons que les larves de chrysope n'ont pas une efficacité aussi importante en si peu de temps. Il nous semble donc probable que ce soit la combinaison des vapeurs de pirimicarbe, de l'apport de larves de chrysope et de la présence de syrphes indigènes qui ont permis cette diminution des populations de pucerons.

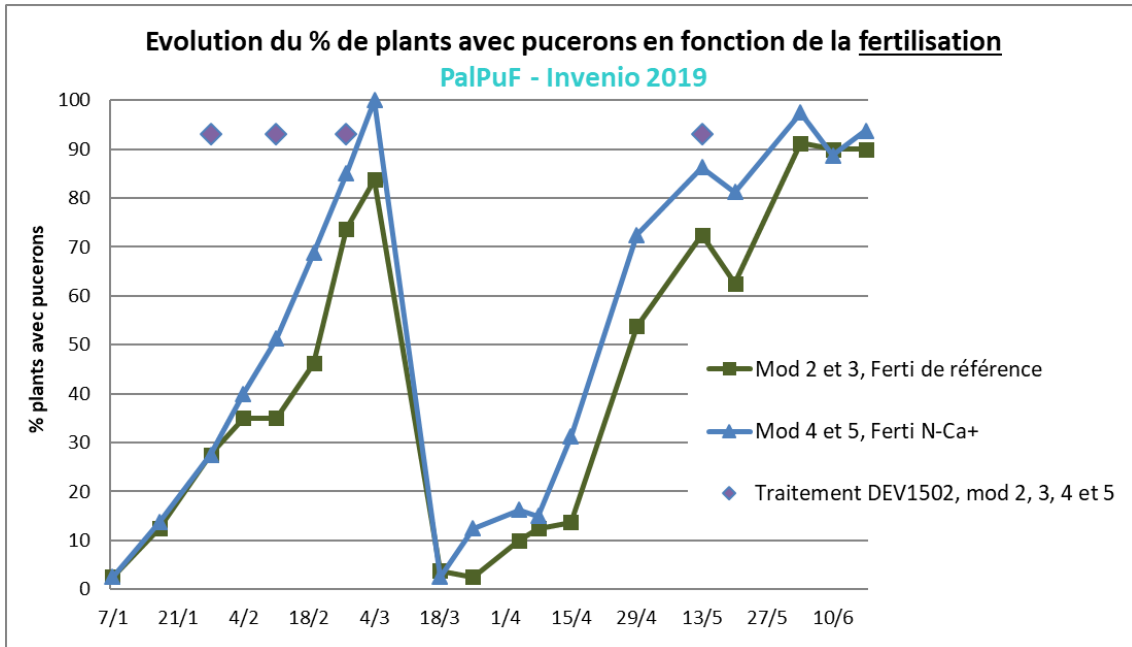
Sur la seconde vague de présence des pucerons, un apport de 10 larves par m² a été réalisé le 28 mai. Suite à cet apport, on observe une petite efficacité, très temporaire, sur les modalités fertilisées par la solution « N- Ca+ ».

Figure 11 : Evolution des infestations de pucerons sur les deux jets de production de l'essai Invenio 2019



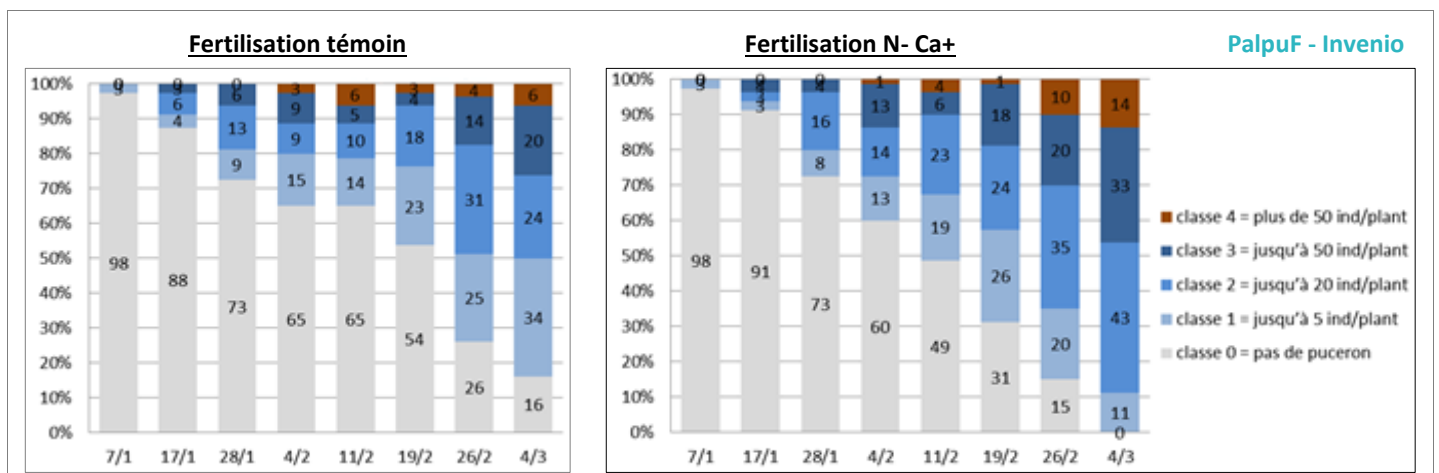
• **Evolution des populations de pucerons en fonction de la fertilisation apportée**

Sur toute la durée de l'essai (sauf très temporairement en fin d'essai sur la stratégie biocontrôle), la fréquence de plants colonisés par les pucerons est globalement plus élevée avec la fertilisation allégée en azote et renforcée en calcium (« N- Ca+ » : modalités 4 et 5).



Cette tendance se retrouve au niveau des fréquences de classes de présence des pucerons (par plant) qui montrent également que les pucerons sont en plus grand nombre sur la zone fertilisée avec la solution nutritive « N- Ca+ » (Figure 12).

Figure 12 : Evolution de la répartition des classes de présence de pucerons par plant selon la solution nutritive utilisée - Invenio – 2019



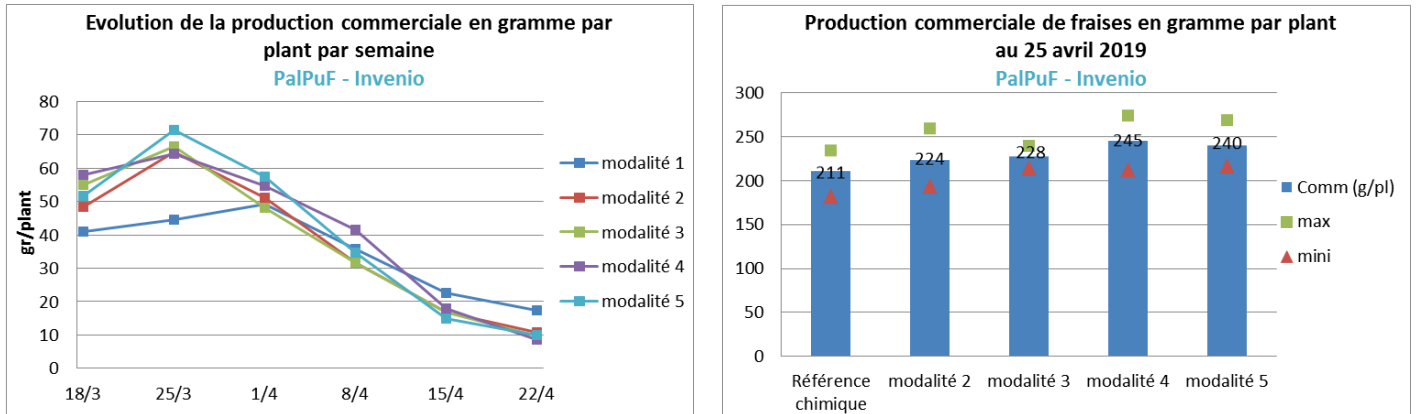
Incidence des modalités testées sur la production des fraisiers

● **1^{er} jet de production :**

La production a commencé mi-mars, pour se terminer fin avril. Aucun décalage dans l'étalement des récoltes n'est relevé entre modalités.

Au 25 avril 2019, il n'y a pas de différence statistique de rendement entre les modalités évaluées.

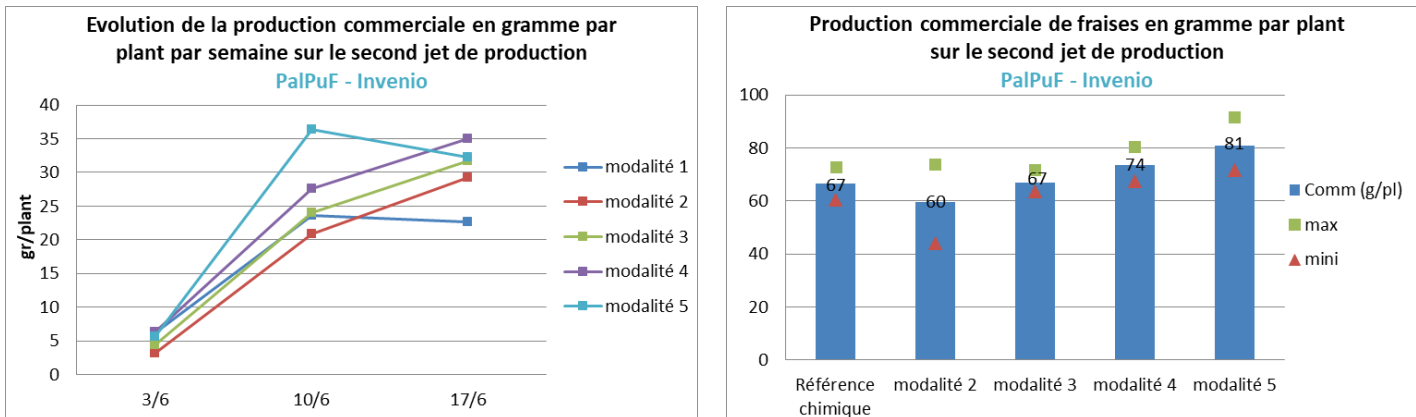
Figure 12 : 1^{er} jet de production : suivi des récoltes date à date et production cumulée



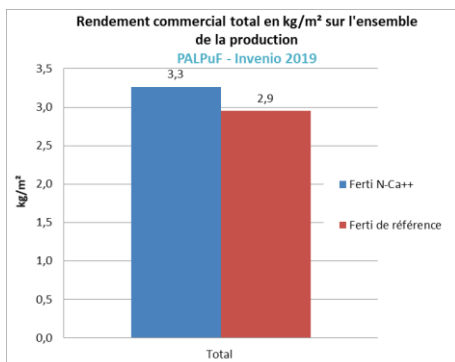
● **2nd jet de production :**

La production du second jet s'est déroulée en 3 semaines du 3 juin au 17 juin 2019. Il n'y a pas de différence statistique de rendement entre les modalités évaluées.

Figure 13 : 2nd jet de production : suivi des récoltes date à date et production cumulée



Incidence de la fertilisation N-Ca2+ sur la production des fraisiers



La fertilisation allégée en azote et renforcée en calcium n'a pas eu d'impact négatif sur le rendement en fruits commercialisables. Au contraire, toutes stratégies de protection confondues, cette fertilisation test a permis d'obtenir un rendement commercial statistiquement supérieur à la référence (gain moyen de 13,8 %).

► Conclusions sur l'essai 2019

Les résultats vis-à-vis des pucerons ne sont pas en concordance avec ceux obtenus en 2018 dans les essais réalisés par le CTIFL. Nous n'avons pas observé d'effet bénéfique d'une fertilisation avec moins d'azote et plus de calcium sur la régulation des populations de pucerons. Les traitements au DEV 1502 à 15 L/ha (750 L de bouillie) n'ont pas eu l'efficacité escomptée vis-à-vis des pucerons.

Comme dans les essais CTIFL, il n'y a pas eu d'impact négatif de la fertilisation ou des produits évalués sur le rendement commercial. La fertilisation testée avec moins d'azote et plus de calcium a permis d'obtenir un rendement commercial supérieur à la fertilisation de référence.

D) DISCUSSION DES RESULTATS, PERSPECTIVES ET IMPLICATIONS PRATIQUES

Si les résultats encourageants de la première année du projet n'ont pas été confirmés en année 2 en conditions de production, plusieurs points d'attention méritent d'être relevés pour nuancer ce constat et servir aux expérimentations ultérieures.

Ainsi, même si les régimes nutritifs « optimisés » utilisés en année 1 et 2 sont annoncés comme présentant des niveaux d'azote et un rapport K/Ca du même ordre de grandeur, ils ne sont en réalité pas comparables. En effet, dans la solution nutritive de l'année 1, qui donnera les meilleurs résultats sur la régulation des pucerons, l'équilibre K/Ca de 0,13 utilisé en phase de production est obtenu en jouant à la fois sur le potassium et le calcium, ce qui n'est pas le cas dans la solution de l'année 2, où seul le taux de potassium est modulé. D'autre part, les solutions de l'année 2 sont fabriquées à partir d'une combinaison d'engrais liquides du commerce, et non de sels « de laboratoire », et, peut-être en raison d'installations défectueuses, les solutions obtenues en entrée de ligne hors-sol présentent des teneurs ioniques fortement modifiées par rapport aux dosages pilotés en entrée de cuves. Ainsi, si les teneurs en azote sont correctes par rapport à ce qui était demandé, les équilibres K/Ca sont en réalité de 0,33 en phase végétative et de 0,69 en phase de fructification.

Il sera donc important de reproduire l'expérience en conditions de production en veillant à respecter les équilibres des solutions optimisées de l'année 1. Par ailleurs, le fraiseur n'utilisant pas lui non plus de sels de laboratoire, les préconisations devront être affinées pour une utilisation à base d'engrais combinés du commerce et une adaptation aux différents types d'équipements de fabrication des solutions nutritives utilisés dans la pratique. Enfin, la nature du substrat, dont l'incidence n'a pas été prise en compte ici, est un facteur qui méritera d'être exploré.

D'autre part, 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 recommandera donc de poursuivre les travaux sur des cultures implantées précocement (sur l'exemple de l'expérience 2019) afin de se placer en situation de risque 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 bien installées de manière homogène pour déclencher le protocole de traitements, stade où une action efficace des auxiliaires ou des substances de biocontrôle devient alors impossible. La possibilité d'isoler physiquement les modalités reste quant à elle un impératif, pour éviter toute interférence entre traitements chimiques et auxiliaires.

Enfin, plusieurs méthodes ont été utilisées dans le projet pour quantifier les infestations de pucerons, ce qui ne permet pas une comparaison rigoureuse des résultats. Les dénombrements sur pousses baguées semblent a posteriori mieux adaptés aux études d'efficacité d'insecticides de synthèse qu'aux solutions de biocontrôle et notamment de lutte biologique, qui impliquent des interactions biotiques et intègrent une dynamique spatiale. Les dénombrements sur plante entière sont certainement les plus robustes mais ils sont très chronophages, particulièrement sur une espèce comme le fraisier, qui émet de nouvelles pousses tout au long de son cycle de végétation. Les dénombrements sur un panel d'organes choisis au hasard, tels que proposés par TROTTIN et utilisés ici dans l'expérience 2019,

semblent un compromis acceptable et peuvent être proposés comme l'option à retenir pour les essais futurs.

Pour conclure, si aucune stratégie de protection efficace ne peut être préconisée au fraiseiculteur à l'issue de ce projet, quelques enseignements peuvent toutefois 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, par contre, n'a qu'une activité très insuffisante sur *Rhodobium porosum*. Après application de cet aphicide (qui agit par contact et vapeur) sur une espèce sensible, 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 pourrait être réduite à deux dans une éventuelle homologation future, ce biocontrôle ne pourra être que l'une des composantes d'une stratégie de protection, et ne sera pas à lui seul une « alternative au thiaclopride ».

Enfin, si l'effet de la composition des solutions nutritives sur l'évolution des pucerons n'est pas 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 de cette variété de fraises méritera toutefois d'être vérifié.

ANNEXE : TEXTES DES PUBLICATIONS

*Cette partie peut être rendue sous forme non modifiable (fichier pdf de préférence).
Son format est laissé à la libre appréciation de ses rédacteurs.*

Néant

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES PARUES

Merci de joindre des tirés à part, et d'indiquer les restrictions éventuelles en termes de droits de reproduction (notamment sur le site Internet du MTES). Notez que ce rapport pourra être mis en ligne sur le site Internet du MTES.

Néant

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES A PARAITRE

Néant

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES PREVUES

Articles dans les magazines « Infos Ctifl », « Cultures légumières » et « Réussir Fruits et Légumes »

ANNEXE : PARTIE CONFIDENTIELLE

Vous pouvez insérer ici toute information ou résultat qui revêt une part de confidentialité.

Merci de préciser le degré de confidentialité de ces données.

Nous vous recommandons de préciser dans la partie non confidentielle l'existence de ces données confidentielles et d'expliquer la raison de leur confidentialité.

Cette partie ne sera pas diffusée sur le site Internet d'Ecophyto.

*Cette partie peut être rendue sous forme non modifiable (fichier pdf de préférence).
Son format est laissé à la libre appréciation de ses rédacteurs.*

Néant