

Fertilisation et gestion des pucerons en fraise : étude de stratégies de protection

Protection intégrée des cultures sous abri



Fertilisation and aphid management in strawberries: study of control strategies
Integrated pest management in protected crops



Le puceron est actuellement le bioagresseur le plus problématique en culture de fraise hors-sol. Le retrait du spirotétramate (MOVENTO®), la substance active pivot permettant son contrôle, fin 2024, justifie d'expérimenter de nouvelles méthodes de protection. La fertilisation, du fait de son effet sur les relations plante-ravageur-auxiliaire, est un levier pertinent d'amélioration de la protection intégrée.

Auteur(s)

Nicolas Fleureau,
Benjamin Gard,
Amélie Bardel
CTIFL

Co-auteur(s)

Nicolas Desneux
INRAE

Mots-clés

#biocontrôle
#lutte biologique
#serre

Les données clés à retenir

Des essais menés entre 2018 et 2024 ont montré l'intérêt d'une fertilisation réduite en azote et enrichie en calcium pour limiter la multiplication des pucerons des espèces *Rhodobium porosum* et *Macrosiphum euphorbiae*. La fertilisation à elle seule n'est pas capable de gérer les infestations de pucerons mais peut être mobilisée comme levier complémentaire et préventif au sein des stratégies de protection intégrée. Une telle modulation de la fertilisation abaisse l'acidité des fruits et demande des ajustements car des pertes de rendement sont observées notamment sur la remontée. La modulation de la fertilisation n'a pas influencé la relation entre les pucerons et les insectes auxiliaires comme la coccinelle (*Adalia bipunctata*), la chrysope (*Chrysoperla lucasina*) et l'hémérobe (*Micromus angulatus*).

Key points

Trials carried out between 2018 and 2024 have shown the benefits of fertilisation reduced in nitrogen and enriched in calcium to limit the multiplication of aphids of the species *Rhodobium porosum* and *Macrosiphum euphorbiae*. Fertilisation alone cannot control aphid infestations, but it can be used as a complementary and preventive strategy within integrated pest management. Modifying fertilisation in this way lowers fruit acidity, and requires adjustments since yield losses are observed, particularly on the ever-bearing crops. Modifying fertilisation did not influence the relationship between aphids and beneficial insects such as the 2-spotted ladybird (*Adalia bipunctata*), the green lacewing (*Chrysoperla lucasina*) and the brown lacewing (*Micromus angulatus*).

Comment la fertilisation de la culture influence-t-elle le développement du puceron ?

Les principaux mécanismes de défense des plantes vis-à-vis des insectes ravageurs sont physiques (couleur, propriétés de surface, poils), mécaniques (fibres, silicium) et biochimiques (toxines, répulsifs). La nutrition de la plante peut affecter ces trois mécanismes. Parmi les différents nutriments, l'azote est largement impliqué dans la sensibilité des plantes cultivées aux insectes ravageurs. Dans leur méta-analyse Butler et collaborateurs [1] démontrent que l'apport d'engrais azoté favorise la dynamique des populations d'insectes piqueurs suceurs comme le puceron. Une explication possible à ce phénomène est que les plantes recevant davantage d'engrais azoté produisent une sève élaborée dont la teneur en acides aminés est plus élevée. Cela conférerait des qualités nutritionnelles supérieures à la sève qui favoriserait la croissance et la reproduction des pucerons [2], [3].

Le calcium joue un rôle dans la défense de la plante contre les pucerons. Le mécanisme d'occlusion d'un vaisseau du phloème, suite à sa lésion telle qu'une piqûre de puceron, est déclenché par un influx de calcium dans ce vaisseau. Le puceron est capable de réduire l'influx de calcium et donc de saboter l'occlusion via l'émission de composés salivaires [4]. Le calcium joue également un rôle important dans la solidité des tissus végétaux [5]. Ainsi la pénétration du stylet du puceron dans les tissus végétaux pourrait être ralentie par le calcium.

Ces résultats scientifiques sur l'impact de l'azote et du calcium sur la plante et sur les pucerons ont amené à tester des solutions nutritives différenciées. Ces solutions sont

appauvries en azote et favorisent l'absorption du calcium pour limiter la croissance et la reproduction des pucerons du fraisier. En 2023, sur le centre CTIFL de Lanxade, une culture de fraise Gariguet hors-sol est cultivée sous abri sur l'itinéraire précoce chauffé. Cette culture est soumise à quatre solutions nutritives distinctes : une solution nutritive de référence, une solution nutritive réduite en azote, une solution nutritive enrichie en calcium et une solution réduite en azote et enrichie en calcium. Les solutions nutritives appauvries en azote présentent une teneur en azote réduite de 30 % en phase végétative et de 60 % en fructification. Les solutions enrichies en calcium présentent un rapport K/Ca fournissant un équilibre en faveur du calcium (Figure 1). La culture est infestée artificiellement avec le puceron *Rhodobium porosum*, voir l'encadré *Stratégies de lutte contre les pucerons testées en 2024 à Lanxade*. Les résultats obtenus montrent que la teneur en nitrates des jus pétioles des fraisiers de la modalité réduite en azote et de celle modulant azote et calcium est significativement réduite à partir de la mi-mars par rapport à la modalité de référence (Figure 2).

Le comptage des pucerons sur feuille met en évidence un accroissement significativement plus faible de la population de pucerons avec la fertilisation modulant azote et calcium. Le 26 avril 2023, la fertilisation modulant azote et calcium présente seulement 15 individus par feuille alors que la modalité de référence en présente 57 (Figure 3).

Ce résultat confirme les résultats expérimentaux obtenus en 2018 dans le cadre du projet Casdar PALPUF [6]. Baisser uniquement la fertilisation azotée (modalité réduite en azote) réduit les effectifs de pucerons mais non significativement par rapport à

la modalité de référence. Baisser uniquement le rapport K/Ca (modalité enrichie en calcium) n'impacte pas significativement l'accroissement de la population de pucerons. Entre le 1^{er} jet et la remontée, des traitements aphicides ont été réalisés afin de faire redescendre la pression puceron sur l'ensemble de l'essai. Malheureusement ces traitements ont été insuffisants pour contrôler les populations de pucerons qui ont explosé dans toutes les modalités. À la fin de la remontée, les effectifs de pucerons sont de 524 individus par feuille pour la fertilisation modulant azote et calcium et de 882 individus pour la fertilisation de référence. La modulation de la fertilisation est donc efficace pour réduire la cinétique d'accroissement des populations de pucerons de l'espèce *R. porosum*. Cependant, elle n'est pas suffisante, à elle seule, pour gérer ce bioagresseur et l'empêcher d'occasionner des dégâts. Le rendement brut sur le 1^{er} jet de production n'est pas réduit par la modification de fertilisation, même avec une baisse significative de l'azote. Le rendement est d'environ 285 g/plant pour les quatre modalités. La qualité des fruits est cependant significativement affectée par les modifications de fertilisation. La réduction de l'azote accompagnée d'une baisse du rapport K/Ca entraîne une baisse de l'acidité titrable de 1,6 meq/100 g de pulpe par rapport à la référence : cette baisse aurait une incidence plutôt positive sur la qualité gustative du fruit.

Utiliser la fertilisation comme levier de protection au sein des stratégies de protection intégrée

Les résultats encourageants observés en 2018 et 2023 ont soulevé la question

Figure 1 | Composition des solutions nutritives testées selon les quatre modalités de fertilisation et la phase de croissance de la plante – végétative ou de fructification – Valeurs en meq/l

		NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	H ₂ PO ₄ ⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	K/Ca	EC (mS/cm)
Référence	Phase végétative	9	0	1,4	0,3	5,0	5,6	1,3	0,1	1,3	0,89	1,3
N ⁻		6,3	0	1,0	0,2	3,5	3,9	0,9	0,1	0,9	0,90	0,9
Ca ⁺		9	0	1,4	1,8	1,5	10,6	1,3	0,1	1,3	0,15	1,5
N-Ca ⁺		6,3	0	1,0	1,3	1,1	7,4	0,9	0,1	0,9	0,15	1,0
Référence	Phase de fructification	8,5	0	1,4	0,2	4,7	5,2	1,3	0,2	1,3	0,90	1,3
N ⁻		3,5	0	0,6	0,1	1,9	2,1	0,5	0,2	0,5	0,90	0,5
Ca ⁺		8,5	0	1,4	1,4	1,3	9,9	1,3	0,1	1,3	0,13	1,4
N-Ca ⁺		3,5	0	0,6	0,5	0,5	4,0	0,5	0,1	0,5	0,13	0,6

Stratégies de lutte contre les pucerons testées en 2024

Figure A | Stratégies de lutte contre les pucerons testées en 2024 sur le centre CTIFL de Lanxade

Stratégie	Fertilisation	Interventions phytosanitaires
Référence	Fertilisation classiquement utilisée en production avec une teneur en azote variant de 14 à 5,5 meq/l selon le stade de la culture	Stratégie basée sur l'usage du spirotétramate et pirimicarbe
Stratégie mixte	Fertilisation N-Ca ⁺ (cf Figure 1)	Utilisation de l'ensemble des moyens de lutte à l'exception des substances actives retirées prochainement ou à risque de retrait (spirotétramate et pirimicarbe)
Biocontrôle	Fertilisation N-Ca ⁺ (cf Figure 1)	Seuls la lutte biologique et les produits de biocontrôle sont utilisés

Figure 2 | Teneurs en nitrate des jus pétioinaires

Les * indiquent une différence significative entre les modalités au seuil de 5 %. Les barres d'erreur indiquent l'écart-type.

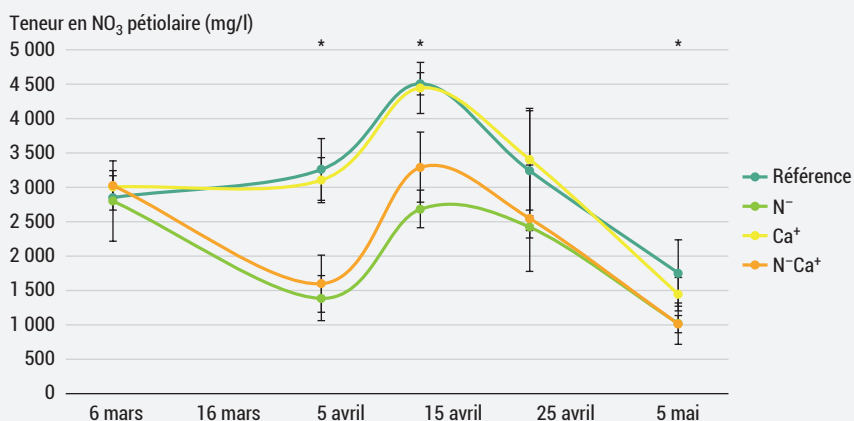
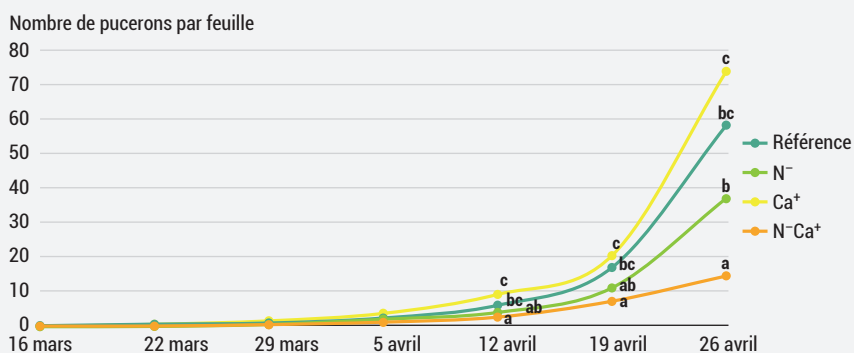


Figure 3 | Effectifs de pucerons sur feuille durant le 1^{er} jet de production. Comptage réalisé de façon hebdomadaire jusqu'à la fin du 1^{er} jet de production

Les lettres indiquent les groupes statistiques homogènes au seuil de 5 % (GLM quasi-Poisson)



suivante : l'utilisation d'une fertilisation appauvrie en azote et enrichie en calcium peut-elle aider à pallier le retrait de la substance active pivot de gestion des pucerons en culture de fraise ?

En 2024, des stratégies de lutte contre le puceron utilisant la fertilisation comme mesure prophylactique sont évaluées sur le centre CTIFL de Lanxade, voir l'encadré *Stratégies de lutte contre les pucerons testées en 2024*. Les trois stratégies de lutte se composent d'une modalité de référence et de deux modalités alternatives. La modalité de référence est basée sur un itinéraire cultural classique. Les deux modalités alternatives utilisent la modulation de la fertilisation en azote et calcium et des interventions phytosanitaires alternatives : la modalité Alternative conventionnelle se prive du pirimicarbe et du spirotétramate et la modalité Biocontrôle n'utilise que des produits de biocontrôle.

Comme en 2023, la culture est infestée artificiellement et de façon homogène avec des pucerons de l'espèce *R. porosum*. L'infestation a débuté dès le mois de janvier afin de mimer une arrivée précoce des pucerons. L'ensemble des traitements est réalisé à la dose maximale homologuée malgré quelques exceptions. Pour la modalité Biocontrôle, le traitement FLIPPER® du 2 février est appliqué à 8 l/ha, les traitements ERADICOAT® à 25 l/ha et les traitements NEUDOSAN® à 20 l/ha. Les larves de chrysopes sont apportées en vrac à raison de 10 individus par mètre linéaire. Le VERIMARK® est appliqué à la pipette au niveau de chaque goutteur afin d'être précis dans la dose apportée. Cette pratique n'est pas représentative de celles des producteurs car ce produit est normalement apporté via le réseau d'irrigation.

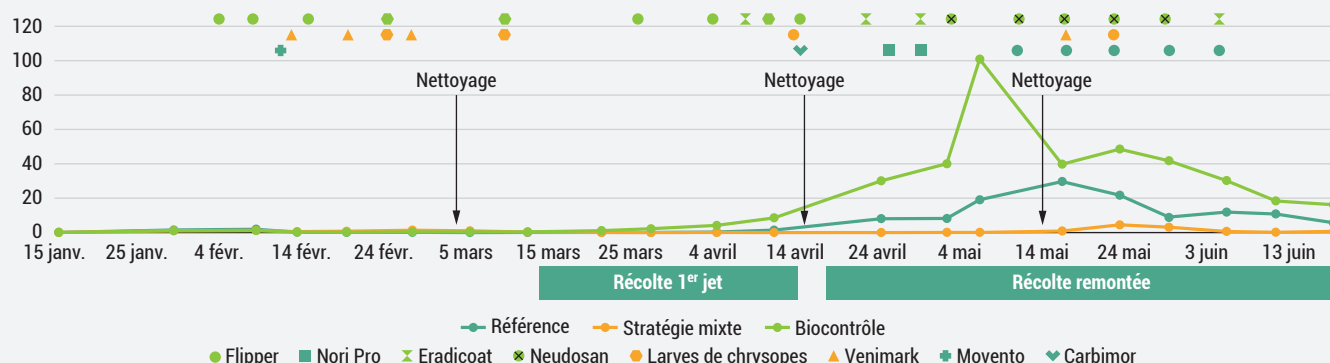
Les trois modalités maintiennent les populations de pucerons à un niveau relativement acceptable durant le 1^{er} jet de production (Figure 4). À partir de début avril, la modalité Biocontrôle décroche tout comme la modalité Référence mais dans une bien moindre mesure.

Pour la modalité Référence, l'absence de pause de floraison entre le 1^{er} jet et la remontée a empêché d'appliquer le MOVENTO® à ce stade, ce qui a pénalisé la gestion des pucerons. Le CARBIMOR® a réduit l'accroissement de la population de pucerons mais pas suffisamment pour éviter les dégâts (Figure 5). Les traitements FLIPPER® durant la remontée ont limité les dégâts.

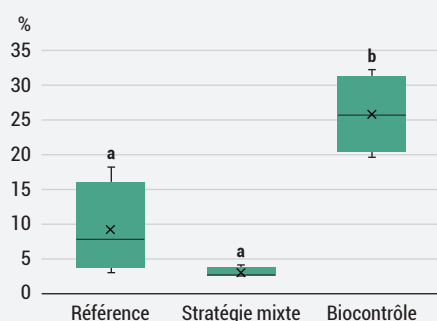
La modalité Biocontrôle a décroché du fait de l'absence d'activité des larves de chrysopes et de l'inefficacité des traitements FLIPPER® d'avril. Les traitements ERADICOAT® n'ont également montré aucune efficacité. Les

Figure 4 | Nombre de pucerons par feuille de l'inoculation à l'arrachage des plants

Les interventions phytosanitaires sont indiquées avec les symboles sur la partie haute du graphique. Les couleurs des symboles indiquent la stratégie dans laquelle l'intervention a été réalisée (vert foncé = Référence, orange = Stratégie mixte et vert anis = Biocontrôle). L'annotation nettoyage indique un retrait de vieilles feuilles et/ou vieilles hampes.

**Figure 5 | Proportion de fruits présentant des dégâts potentiels de puceron (présence de miellat et/ou fumagine)**

Les lettres indiquent les groupes homogènes statistiquement au seuil de 5 %

**Figure 6 | Données cumulées de production du 1er jet et de la remontée ainsi que la qualité des fruits du 1er jet de production**

L'écart type et le groupe statistique homogène au seuil de 5 % sont indiqués à droite de la donnée

	Rendement brut par plant	Rendement commercial par plant	Taux de déchet	Nb de fruits produits par plant	Fermeté (indice Durofel 50)	Taux de sucre	Acidité titrable pour 100 g de pulpe
Référence	459 g ± 30 a	333 g ± 28	27 %	52	35,1 ± 4,3	7,7 % Brix ± 0,5	13,5 meq ± 1,8 b
Stratégie mixte	448 g ± 35 a	333 g ± 35	26 %	52	33,8 ± 4,5	7,5 % Brix ± 0,4	12,3 meq ± 0,9 ab
Biocontrôle	383 g ± 9 b	280 g ± 21	27 %	45	35,3 ± 2,9	7,4 % Brix ± 0,4	12,0 meq ± 1,4 a

quatre applications de NEUDOSAN® au mois de mai et juin ont permis de limiter les dégâts alors qu'ils étaient déjà très importants.

La modalité stratégie mixte permet le meilleur contrôle des populations de pucerons et de limiter au maximum les dégâts sur fruits. Le principal facteur explicatif est la très bonne efficacité et la rémanence du VERIMARK®. Cependant, ces résultats sont très probablement dus au mode d'application utilisé, par pipette, car de telles efficacités ne sont pas forcément observées sur le terrain.

La modalité Biocontrôle a nécessité 17 interventions phytosanitaires alors que la modalité Alternative conventionnelle a nécessité 8 interventions et la modalité Référence 9 interventions.

Concernant les rendements, il n'y a pas de différence significative entre la modalité Référence et la modalité Alternative conventionnelle. La fertilisation modulant azote et calcium fournit un moins bon rendement puisque la modalité Référence avec une pression puceron supérieure,

atteint un rendement équivalent à la modalité Alternative conventionnelle. Un épisode de surbutinage par les bourdons est survenu la semaine du 4 au 8 mars de façon homogène sur toutes les modalités. Cet épisode a entraîné une déformation des fruits qui présentaient des calibres inférieurs à des fruits dits « normaux ». Cela explique des taux de déchets très élevés (Figure 6). Comme en 2023, l'acidité des fruits est abaissée par la fertilisation modulant azote et calcium.

Contrôler la fertilisation pour influencer les interactions entre ravageurs et auxiliaires

Les changements induits par une modulation de la fertilisation dans les profils nutritionnels et défensifs des plantes peuvent déclencher des réactions en cascade affectant les organismes herbivores, ici le puceron, mais également leurs auxiliaires. Par exemple, l'augmentation de la fertilisation

azotée accroît la taille et la qualité nutritionnelle du puceron. Cet accroissement augmente les temps nécessaires aux coccinelles *Hippodamia variegata* pour trouver et consommer les pucerons *Aphis gossypii* [7], ce qui est défavorable à la lutte biologique. Les chrysopes vertes *Chrysoperla carnea* s'attaquent mieux aux pucerons des céréales lorsqu'ils sont élevés sur des plants dont la fertilisation en azote est plus faible [8]. Une récente synthèse de travaux scientifiques sur ce sujet souligne l'importance des interactions entre les plantes, les ravageurs et les auxiliaires pour réguler les ravageurs dans les stratégies de protection intégrée [9]. L'étude montre également l'importance de contrôler les facteurs tels que la fertilisation pour modifier les relations entre cultures, ravageurs et auxiliaires. Le contrôle de ces facteurs peut accroître l'efficacité de la lutte biologique dans les stratégies de protection intégrée, en agissant sur les mécanismes de régulation des ravageurs (défense des plantes, attraction des auxiliaires...) (Figure 7).

Figure 7 | Résumé des facteurs influençant les forces ascendantes de régulation atteignant les deuxième (ravageurs) et troisième (ennemis naturels) niveaux trophiques dans les agroécosystèmes

Les flèches vertes indiquent la direction du flux d'énergie dans les interactions trophiques, d'après Han et al. 2022

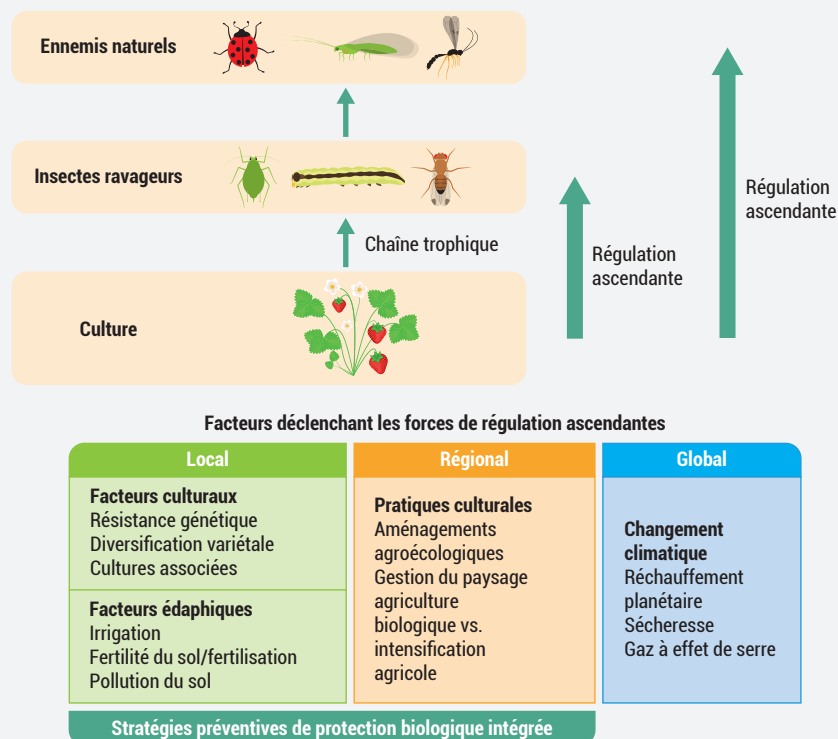
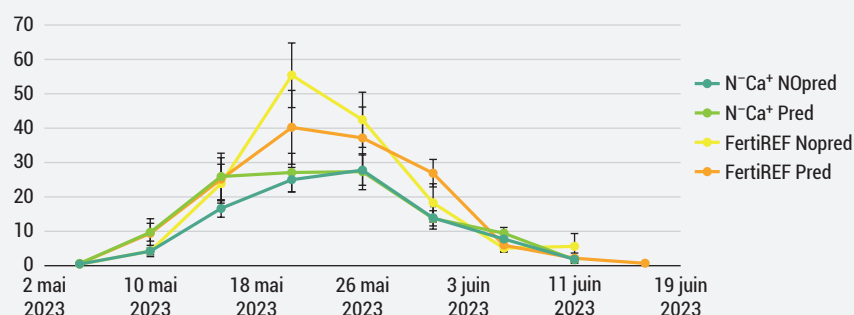


Figure 8 | Nombre de pucerons observés par plant de fraisier (feuille, hampes et cœur) au cours de l'essai réalisé sur le centre de Balandran en 2023

Avec N-Ca⁺ = fertilisation faible en azote et renforcée en calcium, FertiREF : équilibre de référence et NOpred : pas de lâcher d'auxiliaire, Pred : introduction des œufs de *Adalia bipunctata*



Des résultats mitigés pour le puceron du fraisier

En 2023 et 2024, des essais sont conduits sur le centre CTIFL de Balandran pour déterminer si la fertilisation modulant azote et calcium permet d'adapter les relations entre les pucerons et leurs ennemis naturels, et ainsi favoriser le contrôle biologique. Chaque année une espèce différente de pucerons est étudiée : *Macrosiphum euphorbiae* puis *Chaetosiphon fragaefolii*. Les essais sont réalisés en serre verre, en

conditions semi-contrôlées en culture de fraise remontante, avec la variété Amandine (Planasa). Les parcelles sont isolées les unes des autres avec des filets insect-proof pour pouvoir comparer correctement les traitements. Les infestations sont artificielles pour s'assurer de la présence des pucerons. Deux modalités de fertilisation sont comparées : une modalité avec une fertilisation modulant azote et calcium et une modalité de référence. La modulation de la fertilisation est identique à celle des essais du centre CTIFL de Lanxade (Figure 1).

En 2023, l'utilisation de la fertilisation modulant azote et calcium a réduit la colonisation du puceron *M. euphorbiae* sur les plants de fraisier. Les résultats obtenus viennent étayer ceux obtenus avec le puceron *R. porosum*. La population totale de pucerons, mesurée sur les feuilles, les cœurs et les hampes florales, est significativement plus faible avec la fertilisation modulant azote et calcium. Lors du pic de population le 30 mai 2023, la population de pucerons est réduite de 37 % sur les plants de fraisier ayant reçu la fertilisation modulant azote et calcium (Figure 8). Il n'a pas été possible de mesurer l'effet de la modulation de la fertilisation sur le prédateur choisi, la coccinelle *Adalia bipunctata* qui a été introduite sous forme d'œufs dans la culture. Les œufs ont été en partie déplacés ou détruits par les fourmis, et très peu de larves de coccinelles ont été retrouvées.

Sur les aspects qualité, la fermeté ainsi que le taux de sucre ne sont pas différents entre les deux modalités, alors que le taux d'acidité des fruits est plus faible pour la fertilisation modulant azote et calcium avec 4,3 mg/l en moyenne contre 5,7 mg/l pour la fertilisation de référence. En ce qui concerne la production, le poids moyen commercialisable n'est pas différent lors du 1^{er} jet. Par contre, une baisse significative de rendement est observée sur le 2^e jet, qui se traduit par une baisse du rendement total de 24 % pour la fertilisation modulant azote et calcium par rapport à la fertilisation de référence. Des ajustements de la fertilisation azotée sont donc nécessaires, peut-être pendant la phase végétative entre les deux jets de production, pour ne pas pénaliser la culture dans le cas des variétés remontantes.

En 2024, le puceron *C. fragaefolii* ne semble pas être affecté par la modification des équilibres de fertilisation. En moyenne, sur la durée de l'essai, la population de ce puceron n'est pas différente entre les deux modalités de fertilisation testée. Au pic de population, le 16 juin 2024, les plants de fraisier qui ont reçu la fertilisation modulant azote et calcium sont plus colonisés (+36 %). Lors de cet essai, deux espèces de prédateurs sont utilisées la chrysope (*Chrysopa lucasina*) et l'hémérobe (*Micromus angulatus*). Leur présence entraîne une baisse des effectifs de pucerons sur les fraisiers (-63 %) mais le contrôle obtenu n'est pas influencé par le type de fertilisation. Les effets en cascade attendus ne se manifestent pas dans les conditions de cet essai. Le prédateur *C. carnea* s'est mieux installé que *M. angulatus* bien que, pour les deux prédateurs, le nombre d'individus observés reste faible, avec moins d'un individu par plante.

L'activité nocturne de ces prédateurs rend leur observation plus difficile.

Contrairement à l'essai conduit en 2023, la concentration en azote dans les plantes, mesurée grâce aux jus pétioles, est peu différente entre les deux modalités de fertilisation. De plus, la différenciation entre les deux modalités de fertilisation intervient tardivement, environ 1,5 mois après le début de l'essai (Figure 9). Ceci s'explique en partie par la difficulté à baisser les apports d'azote dans la solution nutritive puisque l'eau de départ est riche en carbonates sur le centre de Balandran. La neutralisation des carbonates afin d'abaisser le pH à la valeur souhaitée requiert l'apport d'acide nitrique et donc un apport d'azote dans la solution nutritive. Une baisse en azote moins importante en 2024 peut expliquer l'absence d'effet observée.

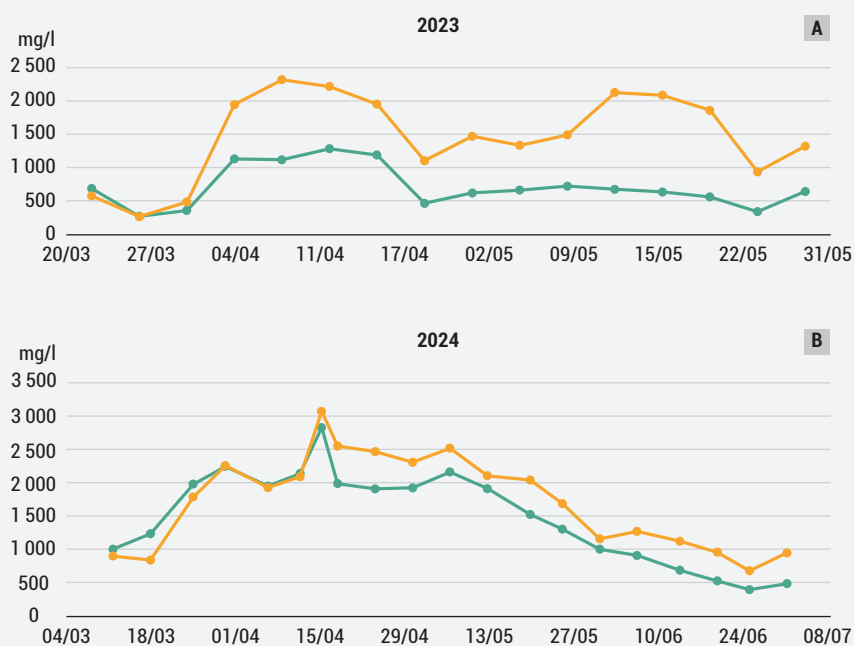
Bien que ces premiers résultats ne montrent pas d'effet notable sur les relations pucerons-auxiliaires pour les espèces étudiées, ces interactions restent à étudier sur d'autres espèces. En effet, les espèces de pucerons sur fraisier sont nombreuses tout comme leurs auxiliaires. Aucune donnée n'est à ce jour disponible pour les parasitoïdes des pucerons du fraisier mais ces derniers pourraient être affectés positivement par la manipulation de la fertilisation, c'est-à-dire qu'ils pourraient parasiter plus de pucerons, comme le suggèrent d'autres études sur les parasitoïdes [10]. D'autres recherches se focalisent sur l'effet de la réduction de l'azote sur les agents pathogènes. Plusieurs essais en conditions contrôlées montrent une baisse de la sensibilité du fraisier à l'oïdium et au botrytis à la suite d'une baisse de la fertilisation azotée ce qui ouvre des pistes pour le contrôle d'autres bioagresseurs [11]. Ces pistes sont explorées dans le projet PRICE financé par le CASDAR et porté par le CTIFL [12].

Une méthode efficace qui demande une maîtrise technique

L'ajustement de la fertilisation, et principalement de l'azote, est un levier préconisé en protection biologique intégrée pour de nombreuses cultures. En culture de fraisiers, cet ajustement peut réduire l'infestation des pucerons et ainsi contribuer à l'efficacité de la stratégie globale de protection. *R. porosum* et *M. euphorbiae* répondent bien à la modification de la fertilisation modulant azote et calcium, avec une baisse effective de la population sur les fraisiers. Les conditions de l'essai 2024

Figure 9 | Évolution du taux d'azote dans les pétioles des fraisiers en fonction de la fertilisation, centre CTIFL de Balandran

A – Résultats obtenus en 2023 ; B – Résultats obtenus en 2024



EFFICACE, un projet pour piloter les stratégies de lutte biologique

Les expérimentations conduites sur le centre CTIFL de Balandran sont réalisées dans le cadre du projet EFFICACE (Adaptation et pilotage des pratiques agronomiques pour améliorer l'efficacité des stratégies de lutte biologique contre les pucerons en cultures légumières) financé par le CASDAR.

L'objectif principal est d'identifier les facteurs biologiques, agronomiques et écologiques qui conditionnent l'efficacité des stratégies de lutte biologique par conservation. Les travaux menés se focalisent sur l'acquisition de connaissance sur l'effet des facteurs agronomiques (la fertilisation). Cinq grands modèles de cultures légumières sont étudiés : artichaut, les légumes feuilles, les solanacées, les cucurbitacées, et la fraise, en plein champ et sous abri, avec des essais conduits en métropole et en outre-mer. À l'issue du projet, les connaissances acquises devraient permettre d'établir des règles de décision et des indicateurs permettant de les appliquer afin de piloter les stratégies de lutte biologique par conservation dans plusieurs contextes de production.

ne permettent pas de statuer sur un potentiel effet sur *C. fragaefolii*. Cependant, des ajustements des apports liés à la fertilisation sont nécessaires pour ne pas pénaliser le rendement de la culture.

La réduction de l'azote dans la solution peut être contrainte par des limites techniques comme la teneur en carbonates dans l'eau de départ. En effet, l'utilisation d'acide nitrique pour abaisser le pH de la solution nutritive apporte des quantités significatives d'azote qui peuvent placer la plante en situation de confort azoté sans autres apports d'engrais.

De nombreux producteurs ont déjà réduit les quantités d'azote par rapport aux équilibres de références. Ces pratiques répondent aux enjeux environnementaux et économiques liés à l'utilisation des fertilisants de synthèse. Les travaux présentés ici montrent aussi l'intérêt de ces pratiques dans la gestion du puceron et d'autres bioagresseurs. ■

Bibliographie

• Consultable sur la version en ligne de l'article.