



HAL
open science

Le contrôle biologique par conservation peut-il limiter l'incidence d'une maladie virale, la JNO, transmise par les pucerons aux céréales cultivées ?

Cécile Le Lann, Sacha Roudine, Christelle Buchard, Romuald Cloteau, Franck Duval, Romain Georges, Olivier Jambon, Stéphanie Llopis, Rémi Bodiguel, Thierry Fontaine, et al.

► To cite this version:

Cécile Le Lann, Sacha Roudine, Christelle Buchard, Romuald Cloteau, Franck Duval, et al.. Le contrôle biologique par conservation peut-il limiter l'incidence d'une maladie virale, la JNO, transmise par les pucerons aux céréales cultivées ?. *Innovations Agronomiques*, 2023, 89, pp.57-67. 10.17180/ciag-2023-vol89-art05 . hal-04337757

HAL Id: hal-04337757

<https://hal.inrae.fr/hal-04337757>

Submitted on 12 Dec 2023

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

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



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

Le contrôle biologique par conservation peut-il limiter l'incidence d'une maladie virale, la JNO, transmise par les pucerons aux céréales cultivées ?

Le Lann Cécile^{1,2}, Roudine Sacha^{1,2,3}, Buchard Christelle³, Cloteau Romuald^{1,2,3}, Duval Franck³, Georges Romain^{1,2}, Jambon Olivier^{1,2}, Llopis Stéphanie^{1,2}, Bodiguel Rémi^{1,2}, Fontaine Thierry^{1,2}, Mesmin Xavier⁴, Robin Nathalie⁵, Guet Sylvie⁶, Barrier Alexia⁷, Nicolas Hervé⁸, Adamko Andrea⁹, Bouvaine Sophie¹⁰, van Baaren Joan^{1,2}, Le Ralec Anne³

1. Université de Rennes, CNRS, ECOBIO (Ecosystèmes, Biodiversité, Evolution) - UMR 6553, 35042 Rennes, France
2. LTSER Zone Atelier Armorique, 35042 Rennes, France
3. UMR IGEPP, INRAE, Institut Agro Rennes Angers, Université de Rennes, 35600 Le Rheu et 35000 Rennes, France
4. Arvalis – Institut du végétal, station expérimentale de La Jaillière, 44370 Loireauxence, France
5. Arvalis – Institut du végétal, 21 Chemin de Pau, 64121 Montardon, France
6. Chambre Régionale d'agriculture Bretagne, Rue Maurice le Lannou, 35000 Rennes, France
7. Chambre Régionale d'agriculture des Pays de la Loire, 9 rue André Brouard, 49105 Angers, France
8. UMR SAS, INRAE, Institut Agro Rennes Angers, Université de Rennes, Rennes, France
9. GRAB /Plateforme Awen Bio, Lycée agricole Suscinio, 29600 Morlaix, France
10. Natural Resources Institute, University of Greenwich, Central Avenue, Chatham Maritime, Kent, ME4 4TB, United Kingdom

Correspondance : cecile.lann@univ-rennes.fr

Résumé

Les pucerons des céréales transmettent les virus de la Jaunisse Nanisante de l'Orge (JNO) à l'automne-hiver. Le réchauffement climatique augmente l'abondance des pucerons, la durée de leur présence et le nombre d'espèces de pucerons à cette période, ce qui risque d'être aggravé par l'interdiction des néonicotinoïdes. On peut donc craindre une augmentation des dégâts liés à la JNO et il faut développer des méthodes alternatives à la lutte chimique. Le projet PLANTSERV a testé si les bandes fleuries en hiver aux échelles locales et paysagères pouvaient limiter l'abondance des pucerons dans les parcelles de céréales, réduire l'incidence en virus de la JNO et les dégâts et pertes de rendement associés. Les bandes fleuries hivernales réduisent effectivement de 26% les abondances de pucerons par plant mais pas nécessairement via les prédateurs pourtant plus abondants à proximité des bandes (+25%). Cette réduction des densités de vecteurs de la JNO entraîne une légère diminution (2%) de l'incidence des virus dans les céréales mais pas des dégâts ni des pertes de rendement. Ces dégâts et pertes sont cependant limités dans notre région d'étude malgré une incidence virale élevée, probablement en raison de la dominance d'un virus de la JNO causant des symptômes moins sévères. Ce projet a permis (1) de mettre au point une méthode efficace de détection des virus dans les céréales et les pucerons, (2) d'identifier un virus recombinant, (3) de montrer que les mélanges fleuris semés dans les couverts d'interculture hivernaux sont facilement acceptés par les agriculteurs, limitent les pucerons et l'incidence virale et (4) qu'un certain niveau de symptômes peut être toléré en maintenant des rendements élevés. Il est maintenant nécessaire de tester les bandes fleuries en combinaison avec d'autres leviers pour limiter les dégâts de la JNO et de les adapter à différents climats et à d'autres cultures.

Mots-clés : blé, couverts d'inter-cultures hivernaux, ennemis naturels, lutte biologique, orge, parasitisme, ravageurs, santé des plantes cultivées, symptômes, télédétection.

Abstract: Can conservation biological control limit the incidence of BYD, a viral aphid-borne disease, in cultivated cereals?

Cereal aphids transmit several viruses causing the Barley Yellow Dwarf (BYD) disease in autumn and/or in winter. Global warming increases the abundance, diversity and persistence of aphids at this time of the year, which is likely to be exacerbated by the ban on neonicotinoids. We therefore fear an increase in damage due to BYD viruses, and alternative methods to chemical control need to be developed. The PLANTSERV project tested at local and landscape scale whether winter flowering strips could limit the abundance of aphids in cereal fields, reduce the incidence of BYD viruses and the associated symptoms and yield losses. Winter flowering strips effectively reduce aphid abundance per plant by 26%, but not necessarily via predators, even though they are more abundant near the flowering strips (+25%). This reduction in the density of BYD vectors led to a slight reduction (2%) in virus incidence in cereals, but not to a reduction of symptoms or yield losses. Disease severity and yield losses were limited in our study region despite the high incidence of viruses, probably due to the dominance of a BYD virus that causes less severe symptoms. This project made it possible (1) to develop an effective method for detecting viruses in cereals and aphids (2) to identify a recombinant virus (3) to show that flowering mixtures sown in winter intercropping cover crops are easily accepted by farmers, limit aphid and virus incidence and (4) that a certain level of symptoms can be tolerated while maintaining high yields. It is now necessary to test flower strips in combination with other methods to limit BYD damage and to adapt them to other climates and crops.

KEY-WORDS

Wheat, winter covers, biological control, barley, natural enemies, parasitism, pests, crop plant health, remote sensing.

Introduction

En Europe, trois espèces de pucerons des céréales (*Rhopalosiphum padi*, *Sitobion avenae* et *Metopolophium dirhodum*) représentent une menace importante en termes de rendement des cultures de céréales à paille, par la transmission d'un complexe de virus de la Jaunisse Nanisante de l'Orge (JNO), dont ils sont les vecteurs (van den Eynde *et al.*, 2020). Les données de 1980 à 2010 indiquent que les espèces virales BYDV-PAV, BYDV-MAV et CYDV-RPV sont les plus fréquentes en Europe (van den Eynde *et al.*, 2020). BYDV-PAV serait l'espèce la plus dommageable et la plus répandue à l'automne, du fait du large spectre de vecteurs pouvant la transmettre et des fortes abondances du vecteur principal *R. padi* à cette période (Jarošová *et al.*, 2013 ; van den Eynde *et al.*, 2020). Les principaux symptômes de la JNO, observés au printemps, sont le jaunissement, le nanisme et la disparition des pieds (Figure 1).



Figure 1 : Exemples de symptômes de la JNO sur céréales. a) Rougissement des feuilles de blé, (b) nanisme et jaunissement des feuilles d'orge et c) moutonnement sur une parcelle de blé semée précocement.

La JNO constitue un problème sanitaire majeur sur céréales, avec des pertes de rendement pouvant aller jusqu'à 80% en fonction des conditions biotiques (e.g. espèce et variété de céréale cultivée, interactions entre bioagresseurs, espèces virales impliquées) et abiotiques (e.g. température, humidité) (van den Eynde *et al.*, 2020). A l'heure actuelle, et cela malgré de nombreuses recherches, il existe peu de variétés de blé tolérantes ou résistantes à cette maladie ou aux pucerons (Jarošová *et al.*, 2016 ; Mc Namara *et al.*, 2020). Pour l'orge, plusieurs variétés permettent de réduire significativement les pertes de rendement liées à la JNO.

L'augmentation des températures automnales et hivernales liée au changement climatique augmente l'abondance, la durée de présence et le nombre d'espèces de pucerons dans les champs à cette période (Tougeron *et al.*, 2018), tendance qui pourrait être renforcée par l'interdiction récente des néonicotinoïdes (Mc Namara *et al.*, 2020). On peut ainsi s'attendre à une augmentation des dégâts liés à la JNO dans les années à venir. Dans ce contexte climatique et dans le cadre du plan Ecophyto II, se pose donc la question d'une gestion préventive et intégrée des pucerons des céréales dès l'automne. Certaines méthodes agronomiques permettent déjà de limiter les dégâts liés à la JNO telles que le retard de la date de semis, pouvant en contrepartie limiter la croissance et le rendement des céréales si elles sont semées trop tard (Kelley, 2001) et le choix de variétés de céréales tolérantes/résistantes, avec en contrepartie une durabilité faible des résistances dans un contexte de changement global (Jarošová *et al.*, 2016). Un autre type de levier potentiel pour lutter contre les maladies virales est la lutte biologique par conservation (Roudine *et al.*, 2023). Son principe est d'augmenter l'abondance des ennemis naturels indigènes afin de diminuer celle des vecteurs ravageurs en modifiant leur environnement, en particulier via l'utilisation de plantes de service (Landis *et al.*, 2000).

A l'échelle locale et paysagère, la lutte biologique par conservation vise notamment à conserver ou à implanter des infrastructures agro-écologiques telles que les haies et les bandes fleuries dans les paysages agricoles. En effet, il existe des relations positives entre la biodiversité et le fonctionnement et

la résilience des écosystèmes, notamment agricoles (Landis *et al.*, 2000). Les ennemis naturels tels que les prédateurs et les parasitoïdes profitent souvent d'une diversité élevée de proies/hôtes, elle-même favorisée par une diversité végétale importante, permettant *in fine* une meilleure régulation des ravageurs (Damien *et al.*, 2017). Le mécanisme sous-jacent serait que l'apport de ressources trophiques (nectar, pollen, proies alternatives) et de refuges aux perturbations climatiques et agricoles via des plantes de service (Landis *et al.*, 2000 ; Damien, 2018), augmenterait la densité, la diversité et l'efficacité des auxiliaires de culture (Stratégie « PULL »). En effet, les prédateurs et parasitoïdes vivent plus longtemps, pondent plus et sont plus résistants lorsque leurs adultes ont accès à des ressources florales (Wäckers et van Rijn, 2012), spontanément peu présentes en cultures de céréales et en hiver. Même si la distance d'action des infrastructures agroécologiques est souvent limitée à quelques dizaines de mètres (Albrecht *et al.*, 2020), elles peuvent toutefois être efficaces pour limiter la diffusion des ravageurs dans les parcelles, ceux-ci arrivant souvent par les bordures (Damien *et al.*, 2017). Par ailleurs, certaines plantes peuvent aussi être utilisées pour directement éloigner les ravageurs des parcelles cultivées (Stratégie « PUSH »). En effet, les mélanges d'espèces cultivées et de plantes compagnes apportent souvent une meilleure résistance de l'association végétale aux attaques de ravageurs en rendant la détection et l'accès à la plante cultivée plus difficiles à ces derniers (Grauby *et al.*, 2022 ; Alvarez-Baca *et al.*, 2022). A l'échelle paysagère, la proportion des habitats semi-naturels (haies, prairies, boisements, etc.), représentative de la complexité des paysages, joue un rôle important sur la régulation des bioagresseurs (Bianchi *et al.*, 2006). Le rôle des bandes et des couverts fleuris, aux échelles locale et paysagère, pour la régulation des ravageurs vecteurs et la santé des plantes cultivées reste à déterminer en prenant en compte cette complexité paysagère.

La période automne-hiver est la période durant laquelle les céréales sont les plus sensibles à l'inoculation de la JNO (Klueken *et al.*, 2009). Elle est donc une saison prioritaire pour la mise en place d'une lutte intégrée. Pourtant, le contrôle biologique est rarement étudié à cette période. Ceci est dû au fait que les collectes hivernales d'individus nécessitent un effort d'échantillonnage plus fort en raison de leur moindre abondance à cette période par rapport au printemps, et que les ennemis naturels étaient jusqu'à maintenant considérés comme étant en diapause en automne-hiver et donc inactifs (Damien, 2018 ; Tougeron *et al.*, 2017, 2018). Les prédateurs sont également plus abondants (Damien, 2018) et les parasitoïdes plus efficaces pour la lutte contre les pucerons des céréales à proximité des couverts fleuris hivernaux (Damien *et al.*, 2017). De plus, l'utilisation des plantes de service pour la protection des plantes cultivées contre les maladies virales est rarement étudiée (Roudine *et al.*, 2023). Pourtant, dans les parcelles de céréales d'hiver, la prédation et le parasitisme des ravageurs dès l'automne pourraient significativement réduire les abondances de ravageurs et ainsi affaiblir la transmission des virus de la JNO (Roudine *et al.*, 2023).

Le projet PLANTSERV (2019-2022) a visé à identifier les apports de plantes de service (*i.e.* bandes fleuries implantées dans des couverts d'interculture hivernaux, Figure 2) aux échelles parcellaire et paysagère dans la lutte contre les pucerons des céréales et les virus de la JNO. Les attendus étaient que les bandes fleuries augmenteraient le contrôle biologique par les ennemis naturels des pucerons dans les cultures céréalières adjacentes et/ou réduiraient directement la colonisation des parcelles par les pucerons aux deux échelles. Ces effets pourraient être modulés par la complexité paysagère (*i.e.* % d'éléments semi-naturels). Les bandes fleuries pourraient limiter la dispersion des pucerons dès leur arrivée dans les parcelles et ainsi réduire les densités de vecteurs jusqu'à 34m dans la parcelle de céréales. Ceci pourrait se traduire par une réduction du nombre de plants infectés par les virus de la JNO, des dégâts et des pertes de rendement associés.



Figure 2 : Photo d'une parcelle de blé avant sa levée directement adjacente à une bande fleurie implantée dans un couvert d'interculture hivernal dans la Zone Atelier Armorique – 21/10/19 © Romain Georges

Les bandes fleuries limitent la colonisation des parcelles par les pucerons mais pas nécessairement via les ennemis naturels

Durant les deux hivers du projet PLANTSERV (2019-2021), 28 cultures de céréales (Blé : 20 parcelles et Orge : 8 parcelles) en agriculture conventionnelle, adjacentes à des bandes fleuries (moutarde, sarrasin, féverole/vesce et radis fourrager) (Figure 2), ont été échantillonnées de leur levée (fin novembre) jusqu'à la récolte (juillet) en Bretagne, dans la « Zone Atelier - LTER Armorique » (Ille et Vilaine), et en Pays de la Loire (Vendée, Loire-Atlantique et Maine et Loire) (Figure 3).

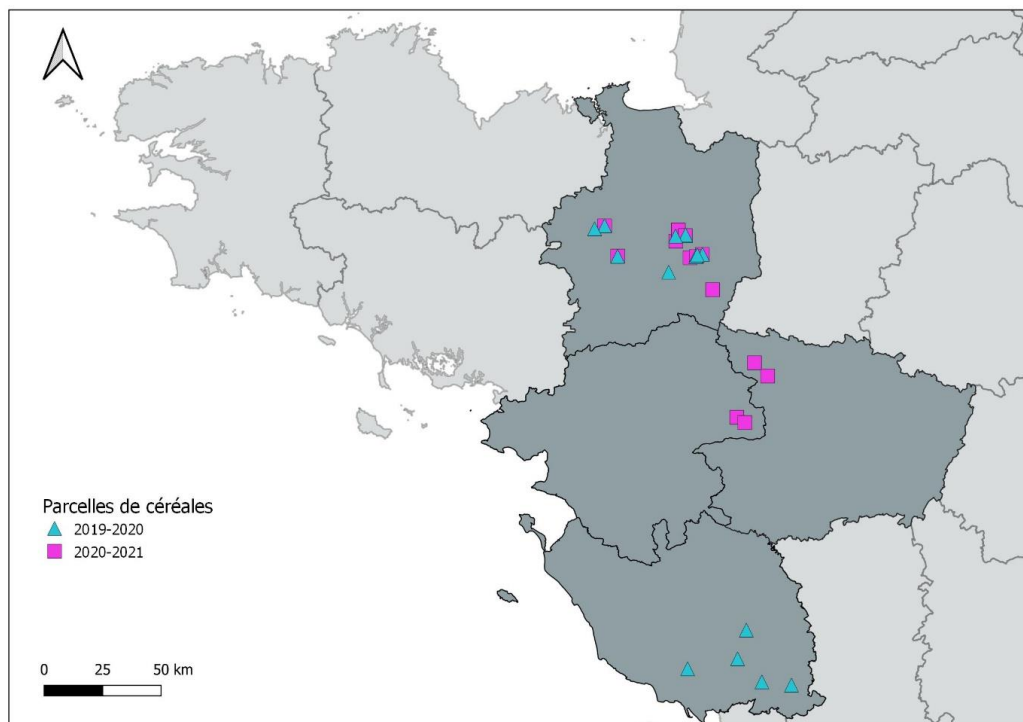


Figure 3 : Carte localisant les 28 parcelles de céréales échantillonnées durant le projet PLANTSERV en 2019-2020 (15 parcelles) et en 2020-2021 (13 parcelles), dans le grand-Ouest de la France (Bretagne et Pays de la Loire). La zone en gris foncé représente l'étendue de la zone d'échantillonnage.

L'abondance en pucerons par plant de céréales (*i.e.* nombre de pucerons par plant), le taux de parasitisme des pucerons (*i.e.* nombre de pucerons parasités sur nombre total de pucerons collectés) et l'activité-densité des prédateurs de pucerons (*i.e.* nombre total d'araignées, de carabes et de staphylins prédateurs de pucerons par piège et par session) ont été suivis toutes les trois semaines de fin novembre à mars chaque année, à la période la plus sensible pour la transmission de la JNO (Figure 4). Sur chaque parcelle, le même protocole a été mis en place à proximité d'une bordure constituée d'une végétation herbeuse spontanée, considérée ici comme la bordure témoin (Figure 4).

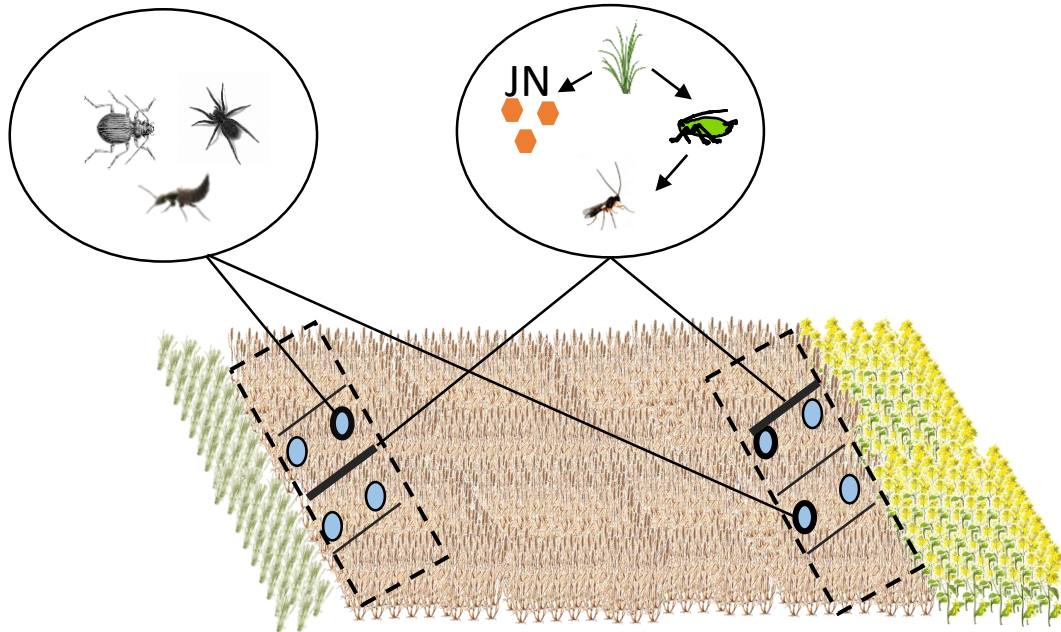


Figure 4 : Schéma du dispositif d'échantillonnage du projet PLANTSERV sur une parcelle de céréale. A gauche, la zone d'échantillonnage (traits pointillés) à proximité du bord herbacé (bande herbeuse). A droite, la zone d'échantillonnage (traits pointillés) à proximité de la bande fleurie hivernale. Les traits pleins dans les zones d'échantillonnage représentent les transects (1 à 34m depuis le bord vers le centre de la parcelle) le long desquels ont été prélevés les plants de céréales. Les flèches indiquent que ces plants ont été utilisés pour l'analyse des virus de la JNO (RT-qPCR) et le calcul des nombres de pucerons par plant. La dernière flèche indique que le taux de parasitisme (détection moléculaire du statut parasitaire des pucerons via des PCR diagnostic) a été calculé sur l'ensemble des pucerons collectés sur les plants. Les ronds représentent les pots Barber ayant servi aux captures des prédateurs épigés (carabes, staphylins et araignées), seules les espèces documentées comme prédatrices de pucerons ont été conservées pour les analyses (Roudine, 2023).

Le contexte paysager des parcelles a été caractérisé par les pourcentages de couverts fleuris (0,3% à 20,3%) et d'habitats semi-naturels (gradient de complexité allant de 3,9 % à 59,3 %, incluant prairies, bois et lisières de champs) dans un rayon de 1000 m autour de chaque champ (logiciel QGIS 3.16.14, 2020).

Les abondances de pucerons par plant sont faibles en hiver mais les pucerons *Rhopalosiphum padi*, *Sitobion avenae* et *Metopolophium dirhodum* sont présents et survivent durant toute la période (Roudine, 2023). En moyenne, l'abondance de pucerons par plant dans la parcelle de céréales était réduite de 26% dans la zone adjacente à la bande fleurie par rapport à celle adjacente à la bande herbeuse (Figure 5a) et cela quelle que soit la distance à la bordure et sur l'ensemble du gradient de complexité paysagère (Roudine, 2023). Nous avons également montré que l'abondance des pucerons diminuait significativement avec une augmentation de la surface en couverts fleuris dans le paysage (non illustré ici mais voir Roudine, 2023). A l'échelle locale, les bandes fleuries renforcent l'abondance des prédateurs de pucerons de 25% jusqu'à 30m de la bordure (Figure 5b, carabes : +39% et staphylins : +22%, mais pas celle des araignées) mais pas les taux de parasitisme (Figure 5c). Des observations complémentaires

(non illustrées ici, mais voir Roudine, 2023) suggèrent que la réduction des abondances de pucerons n'est pas nécessairement due à une meilleure régulation par les ennemis naturels mais plutôt à des effets directs de la bande fleurie. A l'échelle paysagère, le pourcentage de couverts fleuris n'a pas d'effet sur les auxiliaires. En revanche, l'abondance des prédateurs de pucerons et le taux de parasitisme des pucerons augmentent avec la proportion d'éléments semi-naturels (Roudine, 2023).

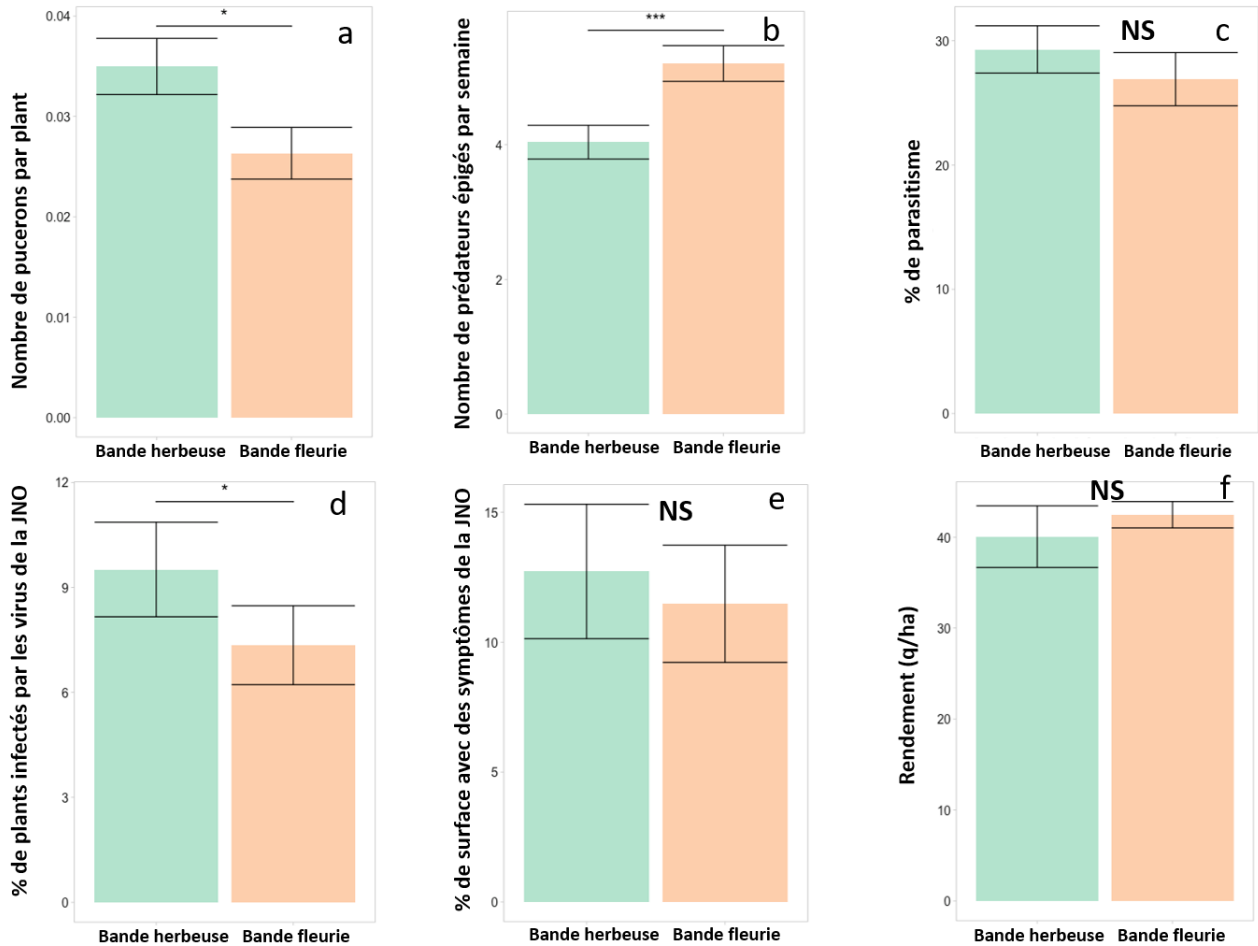


Figure 5 : (a) Abondance en pucerons par plant, (b) Abondance des prédateurs épiés collectés par semaine (carabes, araignées, staphylins), (c) Pourcentage de parasitisme, (d) Pourcentage de plants infectés par les virus de la JNO, (e) Dégâts exprimés en pourcentage de surface avec des symptômes de la JNO et (f) Rendement : Masse des grains en quintaux par hectare (q/ha) en fonction du bord de la parcelle (bande herbeuse ou fleurie) (moyennes \pm erreurs standard). Les astérisques indiquent que les différences sont significatives entre les deux bandes : * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$; NS indique qu'il n'y a pas de différence significative (Modèles GLMMs).

La réduction des abondances de pucerons via les bandes fleuries réduit le pourcentage de plants infectés par les virus de la JNO

L'analyse moléculaire des plantes et des insectes a permis de mettre à jour la composition des virus responsables de la JNO dans le Nord-Ouest de la France. Parmi les 1626 plants de céréales échantillonnés aléatoirement pendant l'hiver, environ 8,5 % étaient infectés par la JNO, avec une incidence par champ variant de 0 à 30%. Ce pourcentage était significativement réduit du côté de la bande fleurie avec 7,5% de plants infectés contre 9,5 % du côté de la bordure témoin (soit une réduction de 21 % d'incidence de la JNO du côté de la bande fleurie) (Figure 5d) et cela quelle que soit la distance à la bande (Roudine, 2023). Environ 15% des pucerons collectés étaient porteurs d'au moins une souche virale, et cela pour les 3 espèces de pucerons (Roudine, 2023), un taux 2 à 3 fois plus élevé que dans les études précédentes (van den Eynde *et al.*, 2020). Cela peut être expliqué d'une part par la mise au point d'un test de détection moléculaire RT-qPCR plus spécifique et plus sensible (Roudine, 2023) et d'autre part par la présence maintenant continue des 3 espèces de pucerons (Tougeron *et al.*, 2018), susceptibles de transmettre les virus en hiver (Roudine, 2023). Ces analyses ont aussi montré que l'espèce de virus la plus fréquente était BYDV-PAS (75%) dont on connaît peu l'efficacité de transmission par les vecteurs, suivie par l'espèce BYDV-PAV (43%), causant supposément le plus de dégâts (Jarošová *et al.*, 2013), et enfin par un nouveau recombinant entre PAV et PAS (36%), dont le pouvoir pathogène est encore inconnu (Roudine, 2023). Grâce au développement de ce nouveau test moléculaire, il est maintenant possible de détecter ces deux espèces et le recombinant de façon efficace dans les plantes hôtes et dans les insectes vecteurs. Ceci représente une avancée importante pour la surveillance épidémiologique des céréales.

Dans l'Ouest de la France, les dégâts de la JNO et les pertes de rendement sont restés faibles durant l'étude

Les dégâts (pourcentage de surface de plants présentant des symptômes de la JNO) ont été évalués au printemps par deux méthodes. Tout d'abord une estimation visuelle qui a montré une légère baisse des dégâts à proximité de la bande fleurie mais non significative ($p=0.06$) (Figure 5e). Ensuite, une estimation par drone qui n'a pas permis d'isoler les symptômes de JNO des autres sources de variabilité spatiale et temporelle des signaux spectraux analysés (sol, pente, conditions culturales, cycle végétatif, carences, état sanitaire lié à d'autres pathogènes). Si ce lien n'a pas pu être établi clairement, on détecte toutefois par la méthode « drone » des zones à faible teneur en pigments foliaires qui sont plus abondantes du côté de la bande herbeuse, côté où les symptômes visuels de JNO tendent aussi à être un peu plus fréquents que du côté de la bande fleurie.

L'incidence globalement faible des dégâts de la JNO (12% de surface symptomatique en moyenne, sans conséquence majeure sur les rendements, Figure 5f) dans notre étude peut expliquer cette difficulté à extraire des résultats clairs en termes de signaux spectraux. Cette faible incidence peut être attribuée à la dominance de l'espèce virale PAS (connue comme causant moins de dégâts que l'espèce PAV) (Jarošová *et al.*, 2013) et à la culture étudiée, le blé (céréale la plus cultivée dans le Grand-Ouest), qui exprime moins de symptômes de la JNO que l'orge (faible nanisme, décoloration moins marquée), ce qui engendre des pertes de rendement moins importantes.

Conclusion et perspectives pour l'amélioration de la santé des plantes cultivées

Le projet PLANTSERV a démontré que les bandes fleuries permettent de réduire l'abondance des pucerons et le nombre de plants infectés par les virus de la JNO en hiver. En revanche, aucun effet sur les dégâts liés à la JNO n'ont été observés et les rendements sont restés élevés quel que soit le type de bordure (Figure 5). Ce projet est un des premiers à tester l'efficacité d'une méthode alternative (utilisation des plantes de service) à l'utilisation des insecticides pour améliorer la santé des plantes cultivées liée aux maladies vectorielles (Roudine *et al.*, 2023). Par rapport à nos hypothèses de départ, nous avons vu que les ennemis naturels de pucerons étaient effectivement favorisés par la présence des bandes fleuries. De manière inattendue toutefois, l'effet a été significatif uniquement pour les prédateurs généralistes non floricoles (carabes, staphylins), et non significatif pour les parasitoïdes, dont la fitness dépend pourtant directement de la présence de ressources florales (Damien *et al.*, 2017). Dans l'optique d'optimiser l'utilisation de plantes de service pour l'accueil d'auxiliaires de culture, il sera nécessaire de bien comprendre quels paramètres (disponibilité et accessibilité des ressources florales des bandes en période hivernale, continuité des ressources florales à l'échelle paysagère, composition du paysage, etc.) déterminent l'effet ou l'absence d'effet sur ces auxiliaires particulièrement efficaces. Ensuite, conformément à nos attentes, les densités de pucerons ont été réduites près des bandes fleuries. Les facteurs ayant déterminé ce résultat, plutôt imputable à une moindre colonisation par les pucerons qu'à un meilleur contrôle biologique, restent flous. Une piste d'explication pourrait résider dans les spectres lumineux reflétés par les bordures ou encore par les composés organiques volatiles émis par les plantes des bandes. Contrairement à nos hypothèses de départ, les dégâts et dommages liés à la JNO n'ont pas été réduits près des bandes fleuries, ce qui peut s'expliquer par une incidence faible de la JNO et par la dominance de l'espèce virale PAS, réputée peu virulente, durant l'année étudiée. Enfin, un point très positif de ce projet est de montrer la forte acceptation par les agriculteurs des plantes à fleurs au sein des couverts d'interculture hivernaux (<https://osur.univ-rennes1.fr/actualites/biodiversite-et-si-favorisait-les-fleurs-dans-les-paysages-agricoles>), ce qui pourrait permettre de généraliser leur implantation. En effet, ces couverts fleuris présentent également d'autres avantages agronomiques : par exemple en piégeant les nitrates, en limitant les adventices et l'érosion du sol, et en favorisant la pollinisation.

Bien que l'utilisation de plantes de service soit généralement bénéfique pour limiter les densités de ravageurs au printemps, elle a cependant montré un succès variable selon les localisations ou les années, y compris pour un même ravageur (Bianchi *et al.*, 2006 ; Albrecht *et al.*, 2020 ; Jeavons *et al.*, 2021) et notamment pour l'amélioration des rendements. Les recherches dans ce domaine sont encore assez fragmentaires, notamment en période hivernale, et il est maintenant nécessaire de comprendre les mécanismes sous-jacents afin d'améliorer l'efficacité des mélanges de plantes de service en adaptant leur composition, leur configuration et leur phénologie aux conditions climatiques locales, aux cultures adjacentes à la culture cible, aux espèces d'ennemis naturels dont on souhaite augmenter les populations, ainsi qu'aux ravageurs des cultures ciblées et les virus qu'ils transmettent. Globalement, l'utilisation de plantes de service à proximité et au sein des parcelles, telles que les bandes fleuries (Roudine, 2023), les associations de plantes cultivées tels que les mélanges céréales-légumineuses (Grauby *et al.*, 2022) et le maintien de certaines adventices au sein des parcelles (Blaix *et al.*, 2018), sont des leviers prometteurs pour réduire l'abondance des ravageurs de céréales, vecteurs de la JNO. En cas d'abondance plus importante des pucerons et/ou en présence de virus à plus fort pouvoir pathogène, la combinaison de ces pratiques pourrait être intéressante pour limiter les populations de pucerons même si les synergies/compromis associés à ces combinaisons restent largement à étudier. D'autres leviers, comme les semis tardifs des céréales, l'utilisation de variétés tolérantes/résistantes à la JNO, la préservation de paysages agricoles riches en haies et boisements, seront également à tester en combinaison afin d'améliorer la santé des plantes cultivées. Les recherches futures devront identifier et dissocier les effets des facteurs paysagers de ceux des pratiques agricoles et climatiques, favorisant les épidémies de JNO et leurs conséquences néfastes sur les rendements.

Le projet PLANTSERV permet enfin d'actualiser les données épidémiologiques dans le Grand Ouest français, mais l'étude de la diversité des espèces virales de la JNO et leur abondance relative restent à poursuivre et à étendre à d'autres régions et pays.

Des partenariats ont été mis en place pour donner suite à ce projet à une échelle européenne. Les projets ConservES (Biodiversa) et GRADIENTS (International Research Project du CNRS) rassemblent des partenaires scientifiques (dont le laboratoire ECOBIO de l'Université de Rennes 1 et le Natural Resources Institute de l'Université de Greenwich) et des professionnels du monde agricole. Le projet ConservES vise à tester des méthodes de gestion durables et innovantes à l'échelle européenne dans les cultures de céréales permettant notamment d'optimiser le service de régulation des pucerons des céréales, vecteurs de la JNO. Le projet GRADIENTS a pour objectif d'étendre la mise à jour de la diversité des virus de la JNO à l'échelle européenne le long d'un gradient climatique (France, Belgique, Allemagne, République Tchèque), afin de pouvoir proposer des méthodes de gestion adaptées à de nouvelles souches virales, en fonction du contexte paysager et des pratiques agricoles. Des partenariats nationaux ont également été développés pour travailler sur l'effet des plantes de service sur d'autres cultures. Ainsi dans le cadre du PNRI Betteraves, le projet IAE-2 (2022-2024) vise à l'évaluation multi-échelles (champ et paysage) de l'efficacité d'infrastructures agroécologiques (bandes herbeuses et fleuries) pour renforcer le contrôle biologique des pucerons vecteurs des jaunisses de la betterave. Ce projet implique plusieurs partenaires français dont les laboratoires IGEPP et ECOBIO.

Références bibliographiques

- Albrecht M., Kleijn D., Williams N.M., Tschumi M., [...], Wilby A., Woltz M., Wratten S., Sutter L., 2020. The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 23, 1488-1498.
- Alvarez-Baca J.K., Montealegre X., Le Lann C., van Baaren J., Lavandero B., 2022. Effect of a cover crop on the aphid incidence is not explained by increased top-down regulation. *PeerJ*, 10, e13299.
- Blaix C., Moonen A.C., Dostatny D.F., Izquierdo J., Le Corff J., Morrison J., Von Redwitz C., Schumacher M., Westerman P.R., 2018. Quantification of regulating ecosystem services provided by weeds in annual cropping systems using a systematic map approach. *Weed Research*, 58, 151-164.
- Bianchi F.J., Booij C.J.H., Tscharntke T., 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273, 1715-1727.
- Damien M., Le Lann C., Desneux N., Alford L., Al-Hassan D., Georges R., van Baaren J., 2017. Flowering crops in winter increases pest control but not trophic link diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 418-425.
- Damien M., 2018. Thèse de l'université de Rennes1 « Favoriser les ennemis naturels de ravageurs par la diversité végétale dans un contexte hivernal ». Soutenue le 4 octobre 2018 à Rennes. 293 p.
- Grauby S., Ferrer A., Tolon V., Roume A., Wezel A., Jacquot E., 2022. Can Mixed Intercropping Protect Cereals from Aphid-Borne Viruses? An Experimental Approach. *Insects*, 13, 521-535.
- Jarošová J., Chrpová J., Šíp V., Kundu J.K., 2013. A comparative study of the Barley yellow dwarf virus species PAV and PAS: distribution, accumulation and host resistance. *Plant Pathology*, 62, 436-443.
- Jarošová J., Beoni E., Kundu J.K., 2016. Barley yellow dwarf virus resistance in cereals: approaches, strategies and prospects. *Field Crops Research*, 198, 200-214.

- Jeavons E., van Baaren J., Le Ralec A., Buchard C., Duval F., Llopis S., Postic E., Le Lann C., 2021. Third and fourth trophic level composition shift in an aphid-parasitoid-hyperparasitoid food web limits aphid control in an intercropping system. *Journal of Applied Ecology*, 59, 300-313.
- Kelley K.W., 2001. Planting date and foliar fungicide effects on yield components and grain traits of winter wheat. *Agronomy Journal*, 93, 380-389.
- Klueken A.M., Hau B., Ulber B., Poehling H.M., 2009. Forecasting migration of cereal aphids (Hemiptera: Aphididae) in autumn and spring. *Journal of Applied Entomology*, 133, 328-344.
- Landis D.A., Wratten S.D., Gurr G.M., 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual review of entomology*, 45, 175-201.
- Mc Namara L., Gauthier K., Walsh L., Thébaud G., Gaffney M., Jacquot E., 2020. Management of yellow dwarf disease in Europe in a post-neonicotinoid agriculture. *Pest Management Science*, 76, 2276-2285.
- Roudine S., 2023. Thèse de l'université de Rennes « Impact des plantes de service sur le contrôle des ravageurs des grandes cultures céréalières ». Soutenue le 08/03/2023 à Rennes. 224 p.
- Roudine S, Le Lann C, Bouvaine S, Le Ralec A, van Baaren J., 2023. Can biological control be a strategy to control vector-borne plant viruses? *Journal of Pest Science*, sous presse.
- Tougeron K., Le Lann C., Brodeur J., van Baaren J., 2017. Are aphid parasitoids from mild winter climates losing their winter diapause? *Oecologia*, 183, 619-629.
- Tougeron K., Damien M., Le Lann C., Brodeur J., van Baaren J., 2018. Rapid Responses of Winter Aphid-Parasitoid Communities to Climate Warming. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 173, 1-9.
- Van den Eynde R., Van Leeuwen T., Haesaert G., 2020. Identifying drivers of spatio-temporal dynamics in barley yellow dwarf virus epidemiology as a critical factor in disease control. *Pest Management Science*, 76, 2548-2556.
- Wäckers F.L., Van Rijn P.C., 2012. Pick and mix: selecting flowering plants to meet the requirements of target biological control insects. *Biodiversity and insect pests: key issues for sustainable management*, 9, 139-165.



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

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

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