



HAL
open science

Reducing sugar beet yellows symptoms with companion species

Audrey Fabarez, Armand Favrot, Paul Tauvel, David Makowski, Fabienne Maupas

► **To cite this version:**

Audrey Fabarez, Armand Favrot, Paul Tauvel, David Makowski, Fabienne Maupas. Reducing sugar beet yellows symptoms with companion species. *Innovations Agronomiques*, 2023, 89, pp.28-38. 10.17180/ciag-2023-vol89-art03 . hal-04338345

HAL Id: hal-04338345

<https://hal.inrae.fr/hal-04338345>

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

Réduire les symptômes de la jaunisse de la betterave sucrière grâce à des plantes compagnes

Fabarez Audrey¹, Favrot Armand², Tauvel Paul¹, Makowski David², Maupas Fabienne¹

¹ Institut Technique de la Betterave (ITB), F-75008 Paris

² INRAE AgroParisTech Université Paris-Saclay, 91120, Palaiseau

Correspondance : a.fabarez@itbfr.org

Résumé

Le Programme National de Recherche et d'Innovation (PNRI) vise à identifier des solutions opérationnelles pour gérer la jaunisse de la betterave sucrière. Plusieurs essais ont été mis en place, dans un réseau de parcelles d'agriculteurs situé au nord de la France, afin d'évaluer l'intérêt des plantes compagnes. Trois espèces ont été testées : avoine de printemps, orge de printemps et féverole de printemps. Les populations de pucerons *Myzus persicae*, les symptômes de jaunisse et les pertes de rendement liées à la compétition entre les plantes compagnes et les betteraves ont été évalués. Des résultats préliminaires sont présentés dans cet article pour les trois variables étudiées. Un modèle statistique bayésien a permis d'estimer l'efficacité des plantes compagnes sur les pucerons lorsqu'elles sont utilisées seules ou en combinaison avec un traitement aphicide (Teppeki® à base de flonicamide). Les plantes compagnes permettent de réduire les populations de pucerons sur betterave, mais elles sont moins efficaces qu'un traitement aphicide. Leur intérêt en combinaison d'un traitement aphicide n'a pas été démontré mais cela n'exclut pas qu'elles pourraient en avoir un dans les cas où la protection aphicide ne serait pas suffisante. L'efficacité des plantes compagnes sur les symptômes de jaunisse et les pertes de rendement liées à la concurrence ont été calculées pour chaque essai puis évaluées graphiquement. Une réduction des symptômes de jaunisse est observée pour les trois espèces mais les résultats sont très variables entre les essais. Enfin, une perte de rendement est observée, et elle est d'autant plus importante que les plantes compagnes ont été détruites tardivement. La réussite de ce levier repose sur une réduction du nombre de pucerons verts, des symptômes de jaunisse et une absence de concurrence avec les betteraves. Un ajustement de l'itinéraire technique est envisagé pour les futurs essais du PNRI.

Mots-clés : Jaunisse, Betterave sucrière, Plante compagne, *Myzus persicae*, Compétition

Abstract: Reducing sugar beet yellows symptoms with companion species

The National and Innovation Plan aims at identifying operational solutions to reduce sugar beet yellows symptoms. Several trials have been conducted in a network of farmers' plots, located in north of France, to assess the effect of companion plants. Three species were tested: oat, barley and fababeans. Populations of *Myzus persicae* aphids, beet yellows symptoms and yield losses caused by competition between companion plants and sugar beet were monitored. Preliminary results are presented here for the three studied variables. A Bayesian statistic model has enabled to estimate the efficiency of companion species on aphids when they are used alone or combined with an aphicide treatment. Companion species could reduce populations of aphids on sugar beet, but less than an aphicide treatment. The benefit of combining companion species and an aphicide treatment was not demonstrated but it is not excluded that an effect could be detected when treatments are not sufficient to control aphids (ex: high populations of aphids). The efficiency of companion species on beet yellows symptoms and yield losses caused by competition were calculated for each trial. Overall, symptoms on sugar beet were reduced with the three species tested but results were variable among trials. A yield loss due to competition was shown, and it was increasingly large as the destruction of the companion species was late. This solution must enable a reduction of aphid populations and beet yellows symptoms, without sugar beet yield loss due to

competition with the companion species. An adjustment of the management of companion species will be considered for the next trials.

Keywords: Yellows viruses, Sugar beet, Companion plant, *Myzus persicae*, Competition

Introduction

Depuis septembre 2018, l'interdiction des néonicotinoïdes (NNI) en traitements de semences a placé un certain nombre de filières en difficulté pour la gestion des insectes ravageurs. En 2020, la filière de la betterave sucrière a vu ses rendements chuter en partie à cause de la jaunisse, une maladie virale dont le vecteur principal est le puceron vert du pêcher, *Myzus persicae* (Audran, 2020). Ce puceron peut transmettre plusieurs virus responsables de la jaunisse : le Beet Chlorosis Virus (BChV, polérovirus), le Beet Mild Yellowing Virus (BMV, polérovirus), le Beet Yellowing Virus (BYV, clostérovirus) et le Beet Mosaic Virus (BtMV, potyvirus) (Hossain *et al.*, 2021). En réponse à cette situation, un Plan National de Recherche et d'Innovation (PNRI) a été déployé en 2020 pour identifier des solutions opérationnelles pour gérer durablement la jaunisse.

Les alternatives chimiques aux NNI employées à ce jour sont des traitements aphicides en végétation (Teppeki® à base de flonicamide et Movento® à base de spirotétramate, ce dernier étant soumis à une demande de dérogation chaque année). Toutefois, ces traitements n'ont pas permis de contrôler suffisamment les populations de pucerons sur l'ensemble du territoire betteravier en 2020. De plus, ces substances actives ne constituent pas non plus des solutions durables : risque d'apparition de résistance, arrêt de commercialisation pour le produit à base de spirotétramate etc. Des solutions alternatives sont donc testées dans le cadre du PNRI, et l'implantation de plantes compagnes pendant les stades sensibles de la culture figure parmi les plus prometteuses.

Les plantes compagnes sont des espèces cultivées avec la culture principale qui ne sont pas récoltées, et qui peuvent conférer des avantages à la culture. Beaucoup de travaux documentent leur intérêt pour la gestion des adventices (Verret *et al.*, 2017), mais elles peuvent aussi permettre de gérer certains insectes ravageurs, et participer à l'amélioration de la fertilité et la structure des sols (Ben-Issa *et al.*, 2017; Liebman et Dyck, 1993). Dans le cas de la betterave sucrière, les plantes compagnes pourraient limiter la présence des pucerons sur la culture en les piégeant, en altérant la reconnaissance de la culture (rupture chromatique) ou en attirant leurs ennemis naturels (Ben-Issa *et al.*, 2017). Par exemple, Heathcote (1974) a montré une réduction des populations de *Myzus persicae* dans les betteraves sucrières en présence de plantes compagnes (moutarde et orge). Les plantes compagnes auraient permis de camoufler les betteraves, empêchant la colonisation des pucerons au moment de l'atterrissage. D'autres cas de réussite ont été montrés sur les pucerons dans d'autres cultures, par exemple sur le chou blanc avec du souci (France ; Jankowska *et al.*, 2009) et sur le tabac avec de l'ail (Chine ; Lai *et al.*, 2011), mais moins de références existent sur les grandes cultures d'Europe occidentale.

Si les plantes compagnes ont le potentiel de réduire les populations de pucerons et donc les symptômes de jaunisse sur les betteraves sucrières, elles peuvent aussi concurrencer la culture principale et conduire à des pertes de rendement importantes (Liebman et Dyck, 1993). Un certain nombre de paramètres doit donc être anticipé dans la conduite des plantes compagnes. L'espèce choisie doit pouvoir s'intégrer facilement à l'itinéraire technique de la betterave (ex : tolérance au désherbage chimique des betteraves), et être adaptée aux conditions climatiques du secteur géographique du nord de la France. Les graminées sont des espèces intéressantes, car elles sont peu sensibles au gel et leur conduite est compatible avec l'itinéraire betteravier. Les légumineuses pourraient constituer une alternative intéressante dans les secteurs fortement infestés par les graminées adventices, et seraient moins concurrentielles que les graminées, notamment vis-à-vis de l'azote grâce à leur capacité à fixer l'azote atmosphérique (Verret *et al.*, 2017). Le type d'implantation dans les parcelles, la densité de semis et la période de destruction des plantes compagnes sont aussi des paramètres à prendre en compte dans la conduite. Une densité trop élevée ou une destruction trop tardive pourraient conduire à une perte de rendement plus importante.

Objectifs

Le premier objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de plantes compagnes sur les populations de *Myzus persicae* et les symptômes de jaunisse dans la culture de betterave sucrière. L'efficacité du levier sera évaluée seul et en combinaison avec une protection aphicide pour déterminer l'intérêt des plantes compagnes par rapport aux stratégies de protection déjà existantes et utilisées par les agriculteurs. Le second objectif est d'identifier un itinéraire technique cultural limitant les pertes de rendement dues à la compétition. Trois espèces de plantes compagnes sont travaillées : l'avoine rude (*Avena strigosa*), l'orge de printemps et la féverole de printemps.

Pour évaluer l'intérêt des plantes compagnes, des essais ont été mis en place dans des parcelles d'agriculteurs faisant partie d'un réseau de parcelles situé au nord de la France, au cours de deux années d'expérimentation (2021 et 2022). Le dispositif expérimental correspond à une alternance de bandes de betteraves avec et sans plante compagne. Les populations de plantes compagnes sont décrites de la levée à la destruction. Les populations de pucerons sont suivies pendant la période de sensibilité des betteraves, et les symptômes de jaunisse sont évalués en fin de campagne.

Méthodes

Un réseau de parcelles d'agriculteurs

Les essais ont été mis en place en 2021 et 2022, sur des parcelles du réseau des Fermes Pilotes d'Expérimentation (FPE) créé en 2021 dans le cadre du PNRI. Ce réseau est coordonné et suivi par l'ITB et les Services Agronomiques de Sucrerie (Tereos, Cristal Union, Saint Louis Sucre). Les parcelles sont réparties dans les principales régions betteravières de France pour pouvoir évaluer l'efficacité des leviers dans une diversité de situations. 86% des parcelles sont conduites en agriculture conventionnelle et 14% des parcelles en agriculture biologique.

Parmi les essais mis en place, certains ont été exclus de l'analyse car les populations de plantes compagnes étaient trop faibles (présence d'un lot avec une mauvaise qualité germinative pour l'avoine, impact du désherbage ou du gel pour la féverole). Une absence de pucerons a également conduit à l'abandon de certains essais. En retirant ces essais, les résultats présentés dans cet article intègrent 54 essais exploitables. Ils ont été mis en place dans 47 parcelles du réseau des FPE, 3 parcelles des lycées agricoles impliqués dans le PNRI, et 4 parcelles hors réseau (Figure 1).

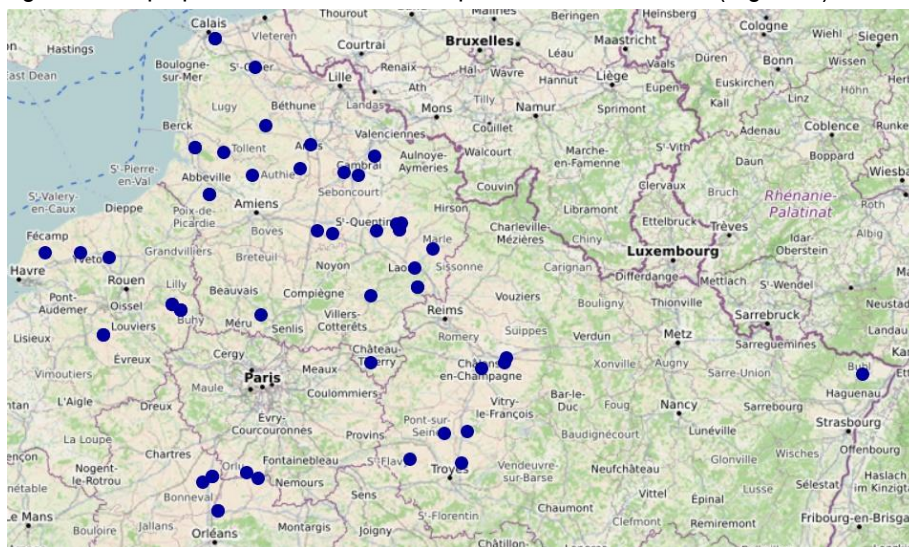


Figure 1 : Localisation des communes des 54 parcelles utilisées pour analyser l'effet des plantes compagnes sur la jaunisse de la betterave en 2021 et 2022. Un point bleu correspond à une commune proche d'une ou plusieurs parcelles du réseau – Geobatch_v1.5

Version du 22/02/2023

Implantation et destruction des plantes compagnes

Les plantes compagnes ont été semées en plein, au moment du semis des betteraves ou 2 à 3 semaines avant, pour favoriser leur développement à l'arrivée des pucerons. La densité de semis visée des

graminées est de 100 grains/m² en 2021 et de 75 grains/m² en 2022. La densité de semis a été réduite en 2022 car une perte de rendement betteravier due à la compétition exercée par les graminées, a été observée en 2021. La féverole a été semée à une densité de 20 grains/m² en 2021 et 2022. La destruction des graminées est réalisée à partir du stade 6 feuilles des betteraves, celles des légumineuses au stade 8 à 10 feuilles des betteraves.

Dispositif expérimental

Le dispositif choisi pour évaluer l'effet des plantes compagnes sur les pucerons et la jaunisse est un dispositif en bandes de betteraves alternées avec et sans plante compagne. Sur le schéma de la Figure 2A, les bandes correspondent aux colonnes. Ce dispositif non randomisé a été choisi pour travailler sur des surfaces significatives et pour simplifier l'implantation des plantes compagnes par l'agriculteur. Cette lacune dans le dispositif est compensée par un nombre important d'essais mis en place. Chacune des bandes fait au minimum 12 m de large et 30 m de longueur. Dans la plupart des essais, la longueur des bandes est bien supérieure et fait généralement toute la longueur de la parcelle, comme illustré sur la photo en Figure 2B. Une espèce de plante compagne peut être testée sur une ou plusieurs bandes d'un essai donné. De plus, les trois espèces ne sont pas systématiquement implantées sur un essai. Le choix des espèces testées dépendait du contexte de la parcelle et de l'intérêt de l'agriculteur pour une ou plusieurs espèces proposées.

Sur certaines parcelles, le dispositif a été dédoublé pour évaluer l'effet des plantes compagnes en combinaison avec une protection aphicide pour évaluer l'intérêt du levier dans une stratégie de protection classiquement utilisée par les agriculteurs (Figure 2A). La protection aphicide maximale correspond à une intervention de Tepeki® (flonicamide à 0,14 kg/ha) suivie de deux interventions de Movento® (spirotétramate à 0,45 L/ha) avec une rémanence estimée de 10 à 14 jours. Toutefois, le programme a été adapté à la pression en pucerons de chaque essai, et a pu être réduit dans le cas de faible pression, où un seul aphicide a été suffisant. La première intervention d'aphicide a été réalisée à un seuil de 10 % de betteraves colonisées par des pucerons verts aptères dans la zone la plus touchée. Les interventions suivantes ont été réalisées lorsque le seuil était de nouveau dépassé.

A

	Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	
Avec protection aphicide	Ligne 6	601	602	603	604	605	606
	Ligne 5	501	502	503	504	505	506
	Ligne 4	401	402	403	404	405	406
Sans protection aphicide	Ligne 3	301	302	303	304	305	306
	Ligne 2	201	202	203	204	205	206
	Ligne 1	101	102	103	104	105	106
	Betteraves avec PC	Betteraves seules	Betteraves avec PC	Betteraves seules	Betteraves avec PC	Betteraves seules	



Figure 2 : Schéma (A) et photographie (B) du dispositif expérimental type. Sur le schéma, les colonnes correspondent aux bandes avec et sans plantes compagnes, les nombres correspondent aux codes des unités expérimentales. PC = Plantes Compagnes.

Observations

La période de suivi s'étend de la levée jusqu'à la récolte des betteraves.

Caractérisation des populations de betteraves et de plantes compagnes

Au stade 2 à 4 feuilles des betteraves, le nombre de betteraves est compté sur 4 rangs x 10 m pour décrire la population de betteraves et noter une éventuelle hétérogénéité de levée sur l'essai. Le nombre de plantes compagnes par mètre carré est également mesuré avec des quadrats.

A chaque date d'observation, le stade des betteraves et des plantes compagnes est noté pour chaque objet (1 valeur par objet). Un objet correspond au croisement de deux modalités (ex : Avoine rude X Sans protection aphicide, Sans plante compagne X Avec protection aphicide etc).

Suivi des populations de pucerons

Dans chaque unité expérimentale, les pucerons verts (*Myzus persicae*), noirs (*Aphis fabae*), aptères et ailés sont comptés sur 2 rangs x 5 betteraves. Les comptages débutent à l'observation du premier puceron vert dans la parcelle, puis tous les 15 jours, et jusqu'à 15 jours après la destruction des plantes compagnes (stade 8 à 12 feuilles des betteraves selon les sites). Les observations sont réalisées au centre de chaque unité expérimentale (Figure 2), à au moins 20 m des bords de l'essai.

Suivi des symptômes de jaunisse

Avant la récolte, les symptômes de jaunisse sont mesurés selon une échelle de notation de gravité visuelle, complétée par une photographie par drone en cas de difficulté : 0 – 0% de la surface touchée ; 1 – 1 à 10% de la surface touchée ; 2 - environ 20% de la surface touchée ; ... ; 10 – 100% de la surface touchée. A chaque date d'observation, une note de gravité jaunisse est notée pour chaque objet (1 valeur par objet). En cas de doute sur la présence de jaunisse, des tests sérologiques sont réalisés pour confirmer le diagnostic.

Impact de la compétition sur le rendement des betteraves

Pour évaluer l'impact des plantes compagnes sur le rendement betteravier, des prélèvements de betteraves, ne présentant pas de symptômes de jaunisse visibles, ont été réalisés dans des zones avec et sans plante compagne, pour chaque espèce de plante compagne testée sur chaque essai. Un prélèvement correspond à 4 rangs de betteraves sur 4 m, et 3 à 4 prélèvements (répétitions) espacés de 20 m ont été réalisés dans les deux zones ciblées. La productivité (t/ha) et la richesse en sucre (%) ont ensuite été mesurées sur une plateforme dédiée.

Analyses des données

Efficacité sur les pucerons verts aptères

Pour estimer précisément l'efficacité des plantes compagnes, combinées ou non à une protection aphicide, un modèle statistique hiérarchique bayésien a été ajusté aux données en tenant compte de la variabilité des effets des traitements entre les sites-années et de l'évolution temporelle du nombre de pucerons verts. Le modèle est basé sur celui utilisé par Laurent *et al.* (2023), pour évaluer l'efficacité de produits phytosanitaires contre les pucerons. Il a été adapté afin de pouvoir évaluer l'effet des plantes compagnes, et les résultats de 36 essais factoriels évaluant l'efficacité du Teppeki® (méthode et résultats présentés dans Laurent *et al.*, 2023) ont été ajoutés pour enrichir la base de données. Le modèle statistique estime l'efficacité de chaque traitement (plante compagne et/ou aphicide), la répétition statistique correspond aux unités expérimentales et l'essai a été considéré en effet aléatoire.

Efficacité sur les symptômes de jaunisse

L'efficacité des plantes compagnes sur les symptômes de jaunisse a été calculée pour chaque essai individuellement, et un graphique en boîte à moustache a été réalisé pour synthétiser l'ensemble des essais. L'efficacité est exprimée en pourcentage et correspond à la différence relative de l'intensité des symptômes observés dans les betteraves avec des plantes compagnes (note_jaun_PC) par rapport aux

betteraves sans plante compagne (note_jaun_témoin) : Efficacité (%) = $(1 - (\text{note_jaun_PC} / \text{note_jaun_témoin})) \times 100$. L'efficacité des plantes compagnes sur la jaunisse a d'abord été calculée sans protection aphicide, puis avec protection aphicide.

Impact de la compétition sur le rendement des betteraves

La perte de rendement due aux plantes compagnes a été calculée pour chaque essai individuellement, et un graphique en boîte à moustache a été réalisé pour synthétiser l'ensemble des essais. La perte de rendement est exprimée en pourcentage et correspond à la différence relative de rendement entre les betteraves avec des plantes compagnes (rend_PC) par rapport aux betteraves sans plante compagne (rend_témoin), soit Perte (%) = $(1 - (\text{rend_PC} / \text{rend_témoin})) \times 100$. Cette perte de rendement a été calculée pour différentes périodes de destruction des plantes compagnes, pour déterminer celle à privilégier.

Résultats

Qualité des implantations de plantes compagnes

Le développement de l'avoine, l'orge et la féverole a été impacté par plusieurs facteurs au cours des deux années d'essais : le gel, les conditions peu poussantes (faibles températures au printemps, surtout en 2021), et certains herbicides utilisés dans la conduite des betteraves. Pour le désherbage, les graminées sont globalement peu affectées, même si l'orge de printemps est plus sensible que l'avoine, et tend à être plus chétive. La féverole a été impactée surtout par le triflurosulfuron-méthyl, mais elle est rarement totalement détruite. En 2022, une partie des avoines semées en 2022 avait une très mauvaise qualité germinative (attaques de charançons sur les lots fournis), ce qui a conduit à des populations plus faibles qu'envisagées sur la moitié des essais pour cette année.

Efficacité sur les pucerons verts aptères

L'analyse statistique a été réalisée sur 52 essais où des suivis de pucerons verts aptères ont été réalisés (sur les 54 essais). Nous présentons ci-dessous les résultats obtenus pour le traitement chimique aphicide Teppeki®, pour l'avoine en tant que plante compagne, et pour un traitement combinant à la fois Teppeki® et l'avoine. Même si les plantes compagnes et l'aphicide n'ont pas le même mode d'action, la comparaison de l'efficacité a été faite à 14 jours après l'application de l'aphicide pour se positionner dans une situation où l'intérêt supplémentaire des plantes compagnes pourrait être observé en raison de la durée d'action limitée du traitement aphicide. Si aucun aphicide n'a été réalisé sur l'essai, la date de

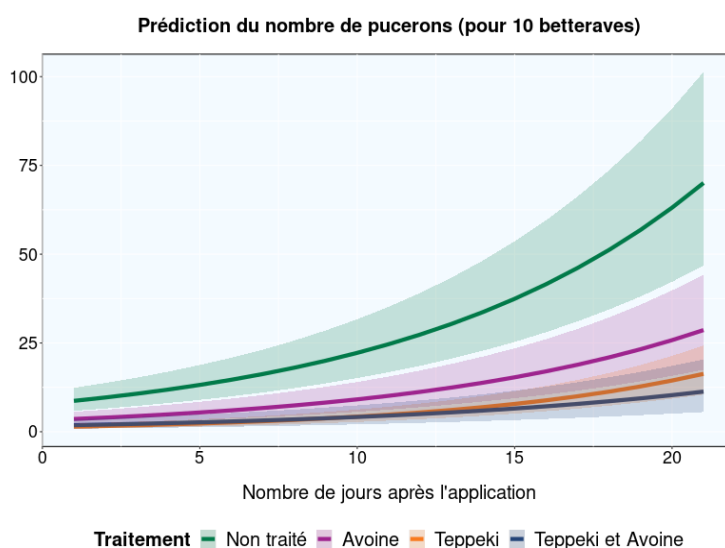


Figure 3 : Dynamique des pucerons verts aptères pour plusieurs traitements : avoine en plante compagne (n = 30), aphicide (Teppeki®, n = 53) et la combinaison des deux (n = 11), par rapport au témoin non traité (n = 74). Pour pouvoir comparer l'efficacité des traitements, la dynamique des pucerons est exprimée en fonction du nombre de jours après l'application.

traitement fictive, correspond au t₀, est définie comme la moyenne des dates de traitement des essais avec un traitement aphicide.

A 14 jours après l'application, le traitement aphicide seul a une efficacité de 80,5% [intervalle de confiance à 95% = (74,5 ; 85,4)]. Pour l'avoine en plante compagne (sans protection aphicide), les résultats montrent qu'elle permet de réduire de 45,5% [intervalle de confiance à 95% = (22,6 ; 63,4)] le nombre de pucerons verts aptères sur les betteraves (Figure 3). La féverole et l'orge sont des plantes compagnes légèrement moins efficaces que l'avoine, avec 43,2 et 39,4% d'efficacité respectivement (avec un niveau d'incertitude plus important compte tenu du plus faible nombre d'essais). Un niveau de contrôle légèrement plus fort est obtenu en associant un aphicide (Teppeki®) et l'avoine en plante compagne. Cette combinaison conduit à une efficacité de 82,5% à 14 jours [intervalle de confiance à 95% = (68,5 ; 91,5)]. Cependant, ce niveau d'efficacité reste proche de celui obtenu avec le traitement Teppeki® seul (Figure 3). Enfin, le nombre de pucerons observé sur la période considérée est acceptable pour le Teppeki® seul (et la combinaison avec l'avoine), mais il est trop élevé pour l'avoine seule à 14 jours et au-delà.

Efficacité sur les symptômes de jaunisse

L'efficacité des plantes compagnes sur les symptômes de jaunisse a été évaluée sur les 34 essais où des symptômes de jaunisse ont été observés dans la zone sans protection aphicide. Visuellement, des différences de symptômes de jaunisse peuvent être observées sur plusieurs essais (un exemple en Figure 4A). L'efficacité moyenne des graminées sur les symptômes de jaunisse est de 34% pour l'avoine et 31% pour l'orge. Celle de la féverole est de 19% (Figure 4B). Les plantes compagnes ne permettent pas à elles-seules de gérer la jaunisse puisque des symptômes sont encore présents mais elles permettent parfois une réduction non négligeable.

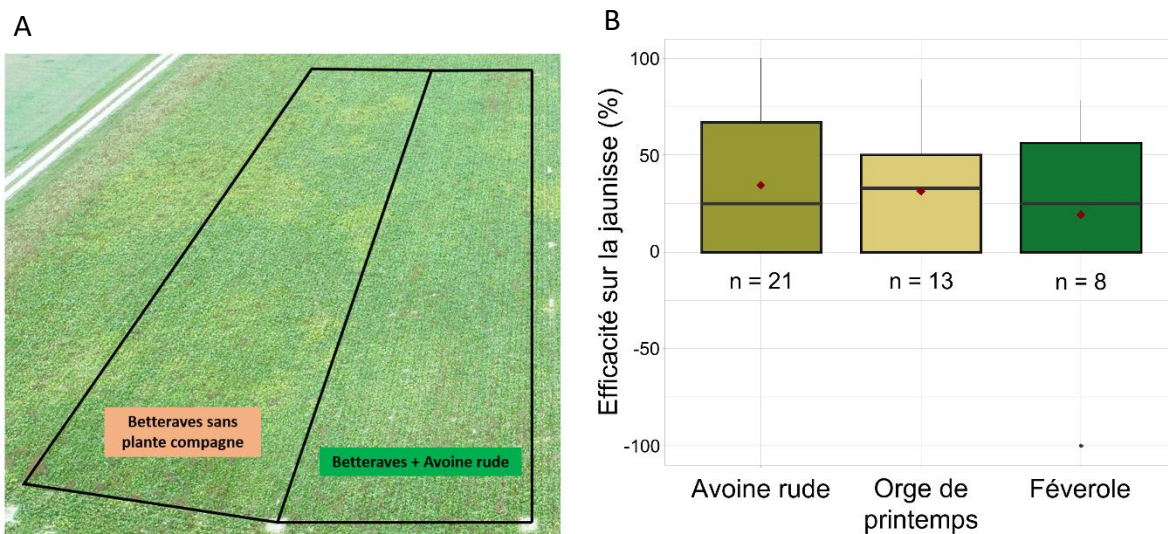


Figure 4 : Efficacité des plantes compagnes sur les symptômes de jaunisse, sans protection aphicide. Photographie prise par drone de l'essai ITB de Somme-Vesle (51) conduit en 2022, montrant visuellement la différence de symptômes entre les betteraves avec et sans avoine en plante compagne (A). Sur le graphique en boîte à moustache (B), le point rouge correspond à la valeur moyenne, et la valeur n correspond au nombre d'essais par plante compagne.

Dans la zone avec un ou plusieurs traitements aphicides, les trois espèces de plantes compagnes ont permis une réduction supplémentaire des symptômes de jaunisse dans quelques situations (6 essais sur 16). Dans les autres essais, la protection aphicide a été suffisante pour maîtriser la jaunisse.

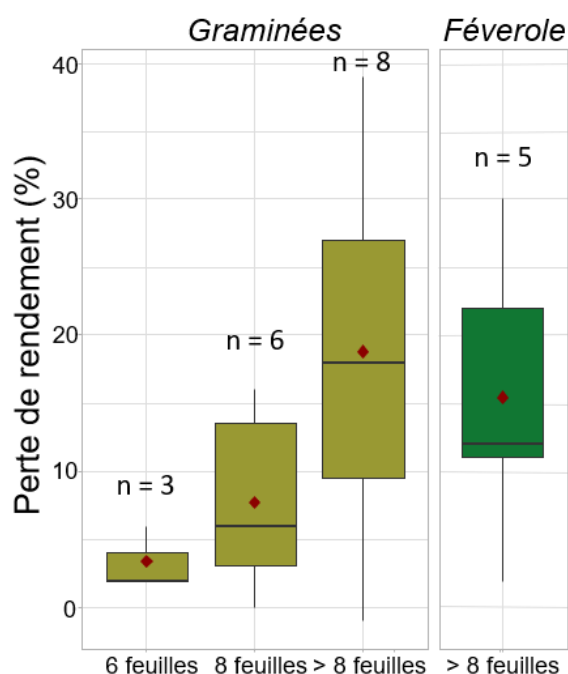
Impact de la compétition sur le rendement des betteraves

L'année sèche de 2022 est particulièrement intéressante pour analyser l'effet concurrentiel des plantes compagnes en situation de ressource hydrique limitée, ce qui n'était pas le cas de 2021 où les conditions étaient optimales. Des betteraves sans symptôme de jaunisse visible ont été prélevées sur 20 essais.

À deux exceptions près, tous les essais affichent une perte de rendement quelle que soit la plante compagne, qui peut être plus ou moins importante : 2 (au minimum) à 39% (au maximum) de perte par rapport aux betteraves sans plante compagne.

Sur 18 des 20 essais, le stade des betteraves à la destruction des plantes compagnes a été noté (Figure 5). L'avoine et l'orge de printemps ont été regroupées sous l'intitulé « graminées » car les résultats sont similaires pour les deux espèces. Les pertes de rendement les plus importantes observées avec des graminées, 19% en moyenne, sont associées à une destruction plus tardive des plantes compagnes, lorsque les betteraves ont 8 feuilles ou plus. Des pertes de rendement plus faibles, d'en moyenne 3%, sont observées pour une destruction au stade 6 feuilles des betteraves. Pour la féverole, la destruction a été réalisée au stade 12 feuilles des betteraves et une perte de rendement d'en moyenne 15% est observée. Aucun effet des plantes compagnes sur la richesse n'a été observé.

Figure 5 : Perte de rendement observée selon le stade des betteraves à la destruction des plantes compagnes (18 essais). Le point rouge correspond à la valeur moyenne, et la valeur n correspond au nombre d'essais par plante compagne.



Discussion

Efficacité sur les pucerons verts aptères

L'intérêt des plantes compagnes a été évalué sur les pucerons verts aptères (représentés majoritairement par *Myzus persicae*) car c'est le principal vecteur de la jaunisse de la betterave sucrière (Audran, 2020).

Sans protection aphicide

Dans les situations sans protection aphicide, les résultats montrent une réduction intéressante des populations de pucerons verts aptères sur betterave en présence des trois espèces de plantes compagnes. L'avoine rude semble être la plante compagne qui permet la meilleure efficacité mais c'est aussi celle pour laquelle un plus grand nombre d'essais a été réalisé. Malgré un nombre d'essais conséquent, une forte hétérogénéité est observée dans les résultats. Cela s'explique en partie par des populations hétérogènes en densité (nombre de pieds/m²) due à une très mauvaise qualité germinative des semences d'avoine rude utilisées en 2022, et à certains herbicides classiquement utilisés en betterave sucrière qui ont affaibli la féverole sur certains essais.

Le dispositif utilisé n'avait pas pour vocation de travailler la question du mécanisme qui expliquerait l'effet des plantes compagnes sur le comportement du puceron (Döring, 2014). Néanmoins, il est plausible dans notre cas que la présence des plantes compagnes puisse altérer la reconnaissance des betteraves sucrières par *M. persicae* par un mécanisme visuel et/ou olfactif. Si tel est le cas, alors le dispositif en bandes choisi dans cette étude pourrait accentuer le contraste entre les zones avec et sans plantes compagnes, surestimant l'efficacité des plantes compagnes sur les pucerons et la jaunisse. Pour limiter cet effet supposé, les futurs essais seront réalisés sur des zones de 2 ha minimum. Pour poursuivre sur les mécanismes, il n'est pas exclu que la présence de graminées puisse réduire le taux de croissance du puceron comme cela a été montré par Davis et Radcliffe (2008). Enfin, les plantes compagnes pourraient favoriser certains auxiliaires augmentant leur impact sur les pucerons.

Avec protection aphicide

La protection aphicide a montré une efficacité intéressante à 14 jours après l'application. Comme attendue, l'efficacité est supérieure aux plantes compagnes seules. Lorsque la protection aphicide est combinée à l'avoine en plantes compagnes, l'effet additif de l'avoine est marginal par rapport au traitement aphicide. Ce résultat soutient que dans les situations où la protection aphicide permet de contenir les pucerons, il n'y a pas un intérêt majeur à mettre en place des plantes compagnes. Bien que ces situations correspondent à la majorité de celles rencontrées au cours des deux dernières années d'expérimentation, l'année 2020 a montré que ce n'était pas toujours le cas puisque les traitements aphicides n'étaient pas suffisants pour gérer la jaunisse. Par ailleurs, les plantes compagnes pourraient permettre une réduction du nombre de traitements aphicides, c'est une piste qui sera explorée dans de futurs essais grâce à des dispositifs croisant des plantes compagnes avec un nombre de traitements aphicides croissant (1, 2 et 3 traitements aphicides).

Efficacité sur les symptômes de jaunisse

L'intérêt des plantes compagnes a ensuite été évalué sur la jaunisse pour voir si la réduction des populations de pucerons sur les betteraves conduisait à une réduction des symptômes.

Sans protection aphicide

Dans les situations sans protection aphicide, les premières analyses conduites sur la jaunisse montrent une réduction des symptômes en présence des trois espèces de plantes compagnes. L'avoine rude et l'orge de printemps montrent une réduction des symptômes équivalente, tandis que la féverole présente une réduction plus faible. Une plus forte variabilité est observée entre essais mais comme pour les pucerons, cela peut s'expliquer en partie par des populations de plantes compagnes et des niveaux de développement hétérogènes. Par ailleurs, le lien entre la pression en pucerons dans la parcelle et l'intensité des symptômes de jaunisse n'est généralement pas linéaire selon le caractère virulifère des pucerons (Werf *et al.*, 1992).

Avec protection aphicide

Peu de situations montrent un intérêt des plantes compagnes en plus d'une protection aphicide, les aphicides étant suffisants dans la majorité des essais conduits. Ce résultat sur jaunisse est cohérent avec ce qui a été observé précédemment pour les pucerons.

Impact de la compétition sur le rendement

Une compétition peut s'établir entre les plantes compagnes et les betteraves sucrières. L'impact sur le rendement betteravier doit donc être évalué pour juger de l'intérêt global des plantes compagnes, et ajuster l'itinéraire technique si cela est possible.

Pour les trois espèces, une perte de rendement est observée dans la majorité des essais. Celle-ci est d'autant plus importante que la destruction des plantes compagnes a été réalisée tardivement. Il semblerait toutefois qu'une destruction plus précoce puisse permettre de limiter l'impact sur le rendement

des betteraves (Figure 5). Une destruction au stade 4 à 6 feuilles des betteraves sera donc envisagée dans les futurs essais, avec le risque d'avoir un effet plus faible sur les pucerons et la jaunisse. Des essais conduits en microparcelles comparant différentes conduites (espèces de plantes compagnes, densité de semis, stades de destruction) pourraient également permettre d'optimiser plus finement l'itinéraire technique des plantes compagnes. Par ailleurs, des expérimentations avec destruction mécanique de la plante compagne chez des agriculteurs en AB seront conduites en 2023 pour en évaluer la faisabilité.

Conclusion

La réussite du levier « plantes compagnes » doit concilier une réduction du nombre de pucerons verts, des symptômes de jaunisse et une absence de concurrence avec les betteraves. Ces deux années d'expérimentation montrent les plantes compagnes (sans protection aphicide) permettent de réduire les populations de *Myzus persicae* d'en moyenne 45,5% pour l'avoine de printemps, 43,2% pour l'orge de printemps et 39,4% pour la féverole de printemps, avec un niveau d'incertitude plus important pour ces deux dernières espèces. Les symptômes de jaunisse sont également réduits d'en moyenne 34% pour l'avoine de printemps, 31% pour l'orge de printemps et 19% pour la féverole de printemps. A ce jour, leur intérêt dans une stratégie de protection globale intégrant la protection aphicide (3 aphicides) n'a pas encore été démontré, cette dernière étant suffisante dans la majorité des situations travaillées au cours des deux années avec des niveaux de pression jaunisse modérés. Néanmoins, il est possible que le nombre de traitements aphicide disponibles soit réduit dans les années à venir, et il conviendra donc d'évaluer l'intérêt des plantes compagnes dans ces situations. Enfin, la perte de rendement liée à la compétition entre les plantes compagnes et les betteraves n'est pas négligeable, elle est d'en moyenne 19% pour les graminées lorsque la destruction est tardive. Des conduites moins risquées sont possibles pour limiter la compétition et leur intérêt doit être évalué *vis-à-vis* des pucerons et de la jaunisse. Dans les travaux du PNRI, les plantes compagnes sont combinées à d'autres leviers comme des produits de biocontrôle (huile de paraffine, champignon entomopathogène), des bandes fleuries ou des lâchers d'auxiliaires (chrysopes) pour évaluer l'efficacité de stratégies plus économes en aphicide.

Références bibliographiques

- Audran X., 2020. France's Sugar Beet Crop Devastated by Disease—Sugar Industry's Viability Threatened, USDA, <https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=France%27s%20Sugar%20Beet%20Crop%20Devastated%20by%20Disease%20-%20Sugar%20Industry%27s%20Viability%20Threatened> Paris France 08-11-2020
- Ben-Issa R., Gomez L., Gautier H., 2017. Companion Plants for Aphid Pest Management. *Insects*, 8, 112, 1-19. <https://doi.org/10.3390/insects8040112>
- Davis J. A., Radcliffe E. B., 2008. Reproduction and Feeding Behavior of *Myzus persicae* on Four Cereals. *Journal of Economic Entomology*, 101, 9-16.
- Döring T. F., 2014. How aphids find their host plants, and how they don't : Aphid host finding. *Annals of Applied Biology*, 165, 3-26. <https://doi.org/10.1111/aab.12142>
- Heathcote G. D., 1974. The effect of plant spacing, nitrogen fertilizer and irrigation on the appearance of symptoms and spread of virus yellows in sugar-beet crops. *The Journal of Agricultural Science*, 82, 53-60. <https://doi.org/10.1017/S002185960005022X>
- Hossain R., Menzel W., Lachmann C., Varrelmann M., 2021. New insights into virus yellows distribution in Europe and effects of beet yellows virus, beet mild yellowing virus, and beet chlorosis virus on sugar beet yield following field inoculation. *Plant Pathology*, 70, 584-593. <https://doi.org/10.1111/ppa.13306>
- Jankowska B., Poniedziałek M., Jędruszczak E., 2009. Effect of intercropping white cabbage with French Marigold (*Tagetes patula nana* L.) and Pot Marigold (*Calendula officinalis* L.) on the colonization of plants by pest insects. *Folia Horticulturae*, 21, 95-103. <https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0129>
- Lai R., You M., Lotz L. A. P. (Bert), Vasseur L., 2011. Response of Green Peach Aphids and Other Arthropods to Garlic Intercropped with Tobacco. *Agronomy Journal*, 103, 856-863. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0404>
- Laurent A., Favrot A., Maupas F., Royer C., Makowski D., 2023. Assessment of non-neonicotinoid treatments against aphids on sugar beets. *Crop Protection*, 164, 106140. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106140>
- Liebman M., Dyck E., 1993. Crop Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. *Ecological Applications*, 3, 92-122. <https://doi.org/10.2307/1941795>
- Verret V., Gardarin A., Pelzer E., Médiène S., Makowski D., Valantin-Morison M., 2017. Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. *Field Crops Research*, 204, 158-168. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.010>
- Werf W. V. D., Westerman P. R., Verweij R., Peters D., 1992. The influence of primary infection date and establishment of vector populations on the spread of yellowing viruses in sugar beet. *Annals of Applied Biology*, 121, 57-74. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1992.tb03987.x>



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.