Protection des céréales à paille, de la betterave et du colza contre les viroses transmises par les pucerons à l'aide de solutions variétales et de biocontrôle

Jean-Baptiste Thibord, Nathalie Robin, Romain Valade, Emmanuel Jacquot, Thomas Armand, Elodie Pichon, Marlène Souquet, Laurent Ruck, Fabienne Maupas, Gauthier Céline, et al.

▶ **To cite this version:**

Jean-Baptiste Thibord, Nathalie Robin, Romain Valade, Emmanuel Jacquot, Thomas Armand, et al.. Protection des céréales à paille, de la betterave et du colza contre les viroses transmises par les pucerons à l'aide de solutions variétales et de biocontrôle. Innovations Agronomiques, 2023, 89, pp.117-132. 10.17180/ciag-2023-vol89-art10 . hal-04338866

HAL Id: hal-04338866
https://hal.inrae.fr/hal-04338866

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

Protection des céréales à paille, de la betterave et du colza contre les viroses transmises par les pucerons à l'aide de solutions variétales et de biocontrôle

Thibord Jean-Baptiste[1], Robin Nathalie[1], Valade Romain[2], Jacquot Emmanuel[3], Armand Thomas[3], Pichon Elodie[3], Souquet Marlène[3], Ruck Laurent[4], Maupas Fabienne[5], Gauthier Céline[6], Vandeputte Luc[7], Lafleuriel Philippe[8], Reveillere Jacky[9], Herbach Michel[10], Nicolleau Sophie[11], Vernetti Pauline[12], Mignot Etienne[13]

[1]Arvalis – Institut du végétal, F-64 121 Montardon

[2]Arvalis – Institut du végétal, F-91 720 Boigneville

[3]Inrae – UMR PHIM, Campus international de Baillarguet, F-34 398 Montpellier cedex 5

[4]Terres Inovia, Route de Suippes, F-51 000 Châlons-en-Champagne

[5]Institut Technique de la Betterave, 45 rue de Naples, F-75 008 Paris

[6]Ceresia, 16 bd du Val de Vesle, 51 684 Reims Cedex 02

[7]Agora, 2 rue de Roye, BP 20119, F-60 201 Compiègne cedex

[8]Oxyane, 42-44 Rue du 11 novembre, F-38 200 Vienne

[9]Axereal, 36 rue de la Manufacture, F-45 160 Olivet

[10]Acteo, rue de la Menoue, F32 400 Riscle

[11]Terrena Innovation, BP20 199, F-44 155 Ancenis cedex

[12]Soufflet Agriculture, Quai du Général Sarrail, F-10 400 Nogent sur Seine

[13]Vivescia, 2 rue Clément Ader - B.P. 1017, F-51 685 Reims Cedex 2

Correspondance : jb.thibord@arvalis.fr

RESUME :

Trois maladies virales transmises par des pucerons peuvent être à l'origine de pertes de rendement significatives en production de betterave, de céréales à paille et de colza. La protection de ces cultures contre les jaunisses a longtemps ciblé les pucerons à l'aide de produits phytopharmaceutiques récemment interdits (famille des néonicotinoïdes) ou encore autorisés mais dont l'efficacité peut être insuffisante suite à l'apparition de populations de pucerons résistantes à certaines substances actives insecticides.

Des acteurs de la recherche académique, des instituts techniques et des organismes économiques ont collaboré dans le cadre du projet recherche ABCD_B avec l'objectif d'évaluer de nouvelles solutions pour la protection de ces cultures contre les viroses. Les travaux ont été réalisés sur les trois espèces cultivées, à la fois dans les conditions naturelles de plein champ et en conditions contrôlées.

Les résultats ont permis de mettre en évidence et de quantifier des différences de sensibilités variétales au sein de chacune des espèces cultivées (blé tendre, colza, betterave). En parallèle, un important travail d'évaluation de produits de biocontrôle a permis de produire des résultats encourageants pour deux substances actives (azadirachtine, huile de paraffine) même si leurs efficacités demeurent nettement inférieures par rapport aux solutions de référence.

MOTS-CLES : Pucerons, virus, céréales à paille, colza, betterave, biocontrôle, variétés

ABSTRACT: Protection of straw cereals, beet and rapeseed against aphid-borne viruses transmitted by aphids with varietal and biocontrol solutions

Three viral diseases transmitted by aphids can cause significant yield losses in beet, cereals and rapeseed production. The protection of these crops against yellows diseases has long targeted aphids using recently banned (neonicotinoid family) or authorized phytopharmaceutical products whose efficacy may be insufficient following the appearance of aphid populations resistant to certain insecticidal active substances.

Academic researchers, technical institutes and economic organizations have collaborated in the framework of the ABCD_B research project with the objective of evaluating new solutions for the protection of these crops against viruses. The work was carried out on the three cultivated species, both under natural field conditions and under controlled conditions.

The results have enabled us to highlight and quantify differences in varietal sensitivity within each of the cultivated species (wheat, rapeseed, sugar beet). An important evaluation of biocontrol products allowed to produce encouraging results for two active substances (azadirachtin, mineral oil) even if their efficiencies remain clearly inferior compared to the reference solutions.

KEYWORDS: Aphids, viruses, cereals, rapeseed, sugar beet, biocontrol, varieties

INTRODUCTION

Trois maladies virales transmises par des pucerons selon le mode persistant, la jaunisse nanisante de l'orge (JNO transmise par *Rhopalosiphum padi* et *Sitobion avenae*), la jaunisse du colza (JC transmise par *Myzus persicae*) et la jaunisse modérée de la betterave (JMB transmise par *Myzus persicae*) sont à l'origine de pertes de rendement significatives. Au cours des dernières décennies, la protection des cultures contre ces maladies s'est principalement appuyée sur le contrôle des populations d'insectes vecteurs de virus avec l'emploi de solutions chimiques à base de néonicotinoïdes. Toutefois, l'interdiction de cette famille de substances actives à partir de 2018 en France et l'identification d'insectes résistants à d'autres produits phytopharmaceutiques ont considérablement réduit le nombre de molécules d'intérêt pour lutter contre les insectes vecteurs de la jaunisse nanisante de l'orge, de la jaunisse du colza et de la jaunisse modérée de la betterave. En conséquence, des solutions alternatives doivent être identifiées dans le but de limiter les risques sanitaires liés à ces viroses.

Pour cela, des acteurs de la recherche académique, des instituts techniques et des organismes économiques ont collaboré dans le cadre du projet recherche ABCD_B dont les objectifs consistaient à évaluer de nouvelles solutions susceptibles de présenter des intérêts techniques et agronomiques, puis à préciser les conditions de mises en œuvre des solutions les plus pertinentes afin d'optimiser leur efficacité. Les solutions étudiées étaient de deux ordres :

- Variétal, avec la comparaison du comportement de différents génotypes de trois espèces cultivées pour identifier d'éventuelles tolérances/résistances variétales et comprendre les mécanismes impliqués,
- Produits de biocontrôle, avec la comparaison de différentes solutions visant à lutter contre les pucerons ou à modifier leur comportement et limiter indirectement la transmission de virus aux plantes.

L'intérêt des modalités expérimentales a été évalué en mesurant différents indicateurs relatifs aux pucerons (survie, multiplication), aux virus (infection des plantes et accumulation virale) et aux cultures (symptomatologie et incidence de la maladie sur le rendement). Les données collectées pour une modalité testée (une variété dont le phénotype résistant/tolérant/sensible est inconnu ou une modalité

traitée avec un produit de biocontrôle) ont été comparées aux données acquises avec une modalité bénéficiant d'une protection insecticide à l'aide d'un produit de référence.

Des travaux ont été réalisés au champ en conditions d'infestations naturelles pour évaluer l'intérêt agronomique (en particulier le rendement des cultures) des solutions à l'étude. En parallèle, des études ont également été réalisées en conditions contrôlées au laboratoire où le processus biologique de l'infection virale a été découpé en différentes étapes élémentaires afin d'accéder à des éléments de compréhension relatifs aux mécanismes impliqués et dans la perspective d'une optimisation des conditions de mises en œuvre des solutions au champ.

Les solutions ont été évaluées volontairement dans des expérimentations analytiques, étape indispensable avant de pouvoir proposer une éventuelle utilisation des solutions les plus pertinentes de façon combinée et intégrée dans un itinéraire technique.

Les méthodes mises en œuvre et résultats acquis dans le cadre du projet ABCD_B sont présentés dans l'ordre suivant : levier variétal pour les trois cultures (blé tendre, colza, betterave) puis évaluation de produits de biocontrôle (toutes cultures).

LEVIER VARIETAL - BLE TENDRE

Résultats acquis au champ

Quinze expérimentations ont été mises en place lors des campagnes 2019, 2020 et 2021 pour évaluer d'éventuelles différences de sensibilité à la JNO entre variétés de blé tendre. Celles-ci ont été réalisées dans des régions où les problèmes de JNO sont récurrents (Nord de la Nouvelle-Aquitaine, Pays de la Loire, Centre Val de Loire, Rhône-Alpes, Occitanie) et semées à dates précoces (semis réalisés jusqu'à 15 jours plus tôt que les dates de semis recommandées) pour augmenter les chances d'infestations par les pucerons vecteurs de JNO. Tous les essais ont été conduits jusqu'à la récolte.

Seize variétés de caractéristiques diverses (précocités à montaison et à épiaison, composantes de rendement) ont été explorées, dont dix variétés étaient présentes dans tous les essais, parmi lesquelles trois variétés de référence (UNIK, NEMO, RUBISKO) ont fait l'objet d'un suivi renforcé concernant la fréquence de plantes infestées par les pucerons au cours de l'automne.

Dans chaque essai, les variétés étaient comparées sans (NT) et avec traitement (T) insecticide (Karaté Zéon, 0,075 l/ha, 1 ou 2 applications), selon un dispositif en criss-cross avec 4 (ou 3) répétitions par modalité de microparcelles de 15 à 20 m², écartées de 30 à 60 cm. Hormis le traitement insecticide à l'automne, toutes les modalités suivent le même itinéraire technique cultural.

Après le suivi à l'automne des infestations de pucerons sur les trois variétés de référence, les principales mesures ont concerné les symptômes de JNO (% surface atteinte et caractérisation des symptômes selon une grille de notation) et le rendement.

- *Infestations par les pucerons à l'automne*

Les pucerons prélevés sur plantes ont été analysés dans 13 essais (2 essais sans puceron). Les identifications témoignent d'une représentation majoritaire de l'espèce *Rhopalosiphum padi* (9 essais sur 13). L'espèce *Sitobion avenae* est présente dans 11 essais et elle est majoritaire dans 4 essais. Les infestations de pucerons sont restées inférieures à 2% de plantes infestées dans 5 essais. Sur les 10 autres essais présentant un taux de plantes infestées supérieur ou égale à 2%, 6 essais ont présenté des infestations dépassant un taux de 10 % de plantes infestées.

La nature, l'intensité et la dynamique des infestations variaient selon les essais. Néanmoins, aucune différence concernant le pourcentage de plantes infestées par les pucerons n'a été mise en évidence entre les trois variétés de référence faisant l'objet de ce suivi.

- *Symptômes de JNO et pertes de rendement*

L'analyse des résultats acquis sur les trois variétés de référence présentes dans chaque essai permet de classer les quinze essais en 2 groupes selon le niveau de nuisibilité de la JNO calculé sur les écarts mesurés entre modalités traitées et non traitées. Près de la moitié des essais (8 essais) ont conduit à des pertes de rendement faibles à modérées (<10%), tandis que la nuisibilité est plus élevée (> 15% d'écart entre modalités traitées et modalités non traitées) dans les 7 autres essais.

Nous avons appliqué la méthode préconisée par la CEB pour la validation des essais d'évaluation de solution de lutte directe (qui requiert une différence significative entre la modalité non traitée et la modalité traitée avec un produit de référence). Cela conduit à sélectionner les 7 essais où la nuisibilité de la JNO est élevée. L'analyse statistique a été réalisée d'abord au niveau de chaque essai, puis les données ont été analysées en regroupant les 7 essais en intégrant la variance résiduelle et les degrés de liberté de chaque essai, suivi d'une analyse de variance (test de Newman & Keuls). Cette analyse des données a permis de mettre en évidence des différences entre les variétés étudiées (*p-value<0.05*) concernant les symptômes (Figure 1) et les rendements (Figure 2). La surface concernée des symptômes de JNO est proche de 40 % pour 5 variétés (CHEVIGNON, LG ABSALON, NEMO, RGT LIBRAVO, SOLINDO CS) alors qu'elle est significativement supérieure, avec près de 60 %, pour 3 autres (HYKING, RGT CESARIO et UNIK). L'intensité des symptômes (décoloration des feuilles, tassement des plantes) a fait l'objet de notations visuelles. Cette notation sur les caractéristiques des symptômes n'a pas permis de mettre en évidence d'écart entre variétés de blé tendre.

L'analyse des rendements permet de classer les variétés en 3 groupes de sensibilité (Figure 2) :

- les variétés moins sensibles ; 16 à 19% d'écart de rendement (SOLINDO CS, RGT LIBRAVO, NEMO et LG ABSALON),

- les variétés intermédiaires ; 20 à 23% d'écart de rendement (CHEVIGNON, HYKING),

- les variétés plus sensibles ; 24 à 29% d'écart de rendement (RGT CESARIO, RUBISKO, UNIK er KWS EXTASE).

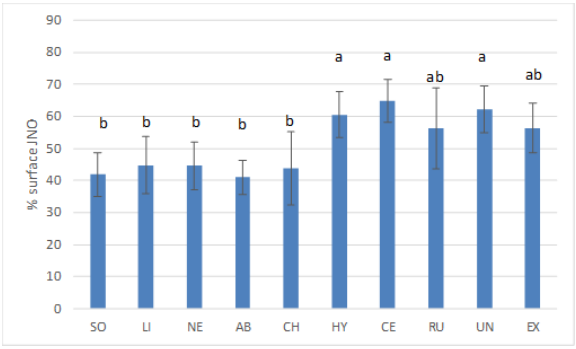

Figure 1 : Fréquence de symptômes JNO selon 10 variétés (moyenne 7 essais) classées par perte croissante de rendement (p-value<0.05)

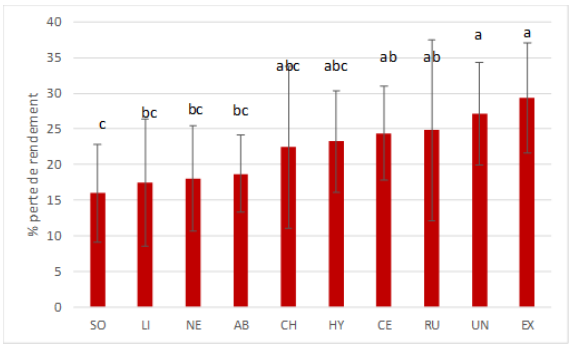

Figure 2 : Pourcentage de perte de rendement comparativement à la situation avec traitement insecticide de 10 variétés (moyenne 7 essais) (p-value<0.05)

Le réseau expérimental, conduit sur plusieurs sites et au cours de plusieurs campagnes, a permis de déceler des différences significatives de sensibilité variétale à la JNO avec des pertes de rendement allant du simple au double entre les variétés les plus sensibles et les variétés les moins sensibles.

Au sein de cette gamme variétale, les écarts mesurés entre pertes de rendement ne sont pas expliqués par une différence de précocité (montaison, épiaison), de potentiel de rendement ou par des caractéristiques spécifiques des composantes de rendement. Pour ces différents critères, il est en effet observé des écarts plus marqués entre variétés d'une même classe (par exemple : de précocité) qu'entre les classes étudiées. Les différences de sensibilité apparaissent ainsi liées aux caractéristiques intrinsèques des variétés. Aucune variété n'a présenté de tolérance/résistance complète. Les mécanismes en jeu restent à identifier puis à caractériser.

Résultats acquis en conditions contrôlées :

Les travaux conduits en conditions contrôlées ont permis d'évaluer une gamme de 12 variétés de blé - toutes étant évaluées au champ en parallèle - quant à plusieurs paramètres impliqués dans l'épidémiologie de la JNO concernant soit des interactions puceron-hôte (multiplication des pucerons, taux de colonisation), soit des interactions virus-hôte (taux d'infection, accumulation virale et durée de la latence) (Pichon et *al.,* 2022).

Les données générées pour suivre le taux d'infection des différentes variétés de blé (reflétant le niveau de sensibilité de l'hôte, i.e. le succès de l'infection primaire ayant lieu lors de l'introduction de la maladie dans la parcelle), ne permettent pas de différencier les 12 génotypes (Figure 3-a). Cependant, l'analyse de l'accumulation virale mesurée à l'aide de tests immunologiques montre que dans trois variétés (NEMO, TARASCON et HYKING, Figure 3-b) le niveau maximal d'accumulation du Barley yellow dwarf virus-PAV (BYDV-PAV) est significativement plus faible que celui observé dans les plantes infectées de la variété RUBISKO. A l'inverse, l'accumulation virale décrite pour la variété KWS EXTASE est significativement plus élevée suggérant pour cette variété des interactions virus-plante plus favorables au virus.

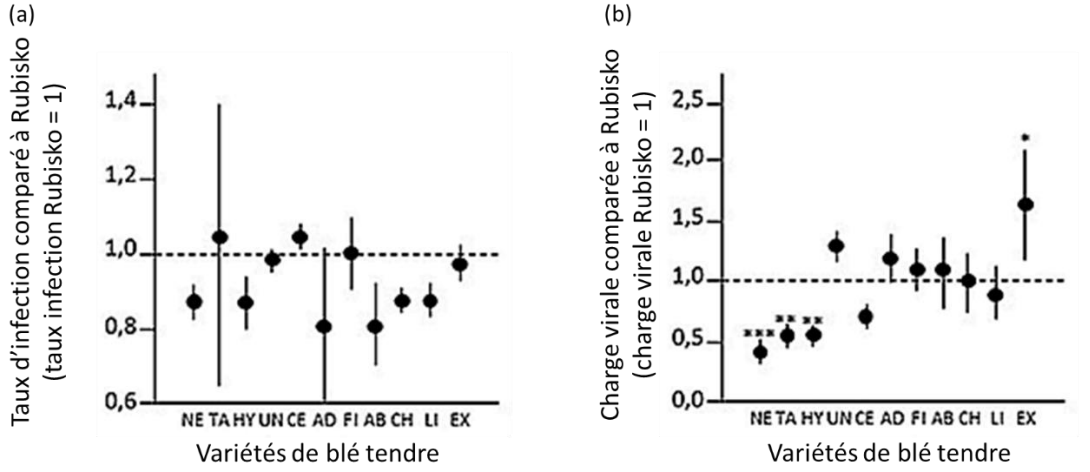

Figure 3 : Ratios des taux d'infection (BYDV-PAV4) de 11 génotypes comparativement à la variété RUBISKO (a), et ratio respectif des charges virales (b) trois semaines après inoculation. Les astérisques illustrent une différence significative (obtenue avec un modèle linéaire généralisé (GLM) quasibinomial) entre une variété testée et la variété de référence RUBISKO. * :>0.05 ; **>0.01.

De manière à étudier simultanément l'ensemble des interactions virus-vecteur-plante, un dispositif multi-plantes (de type 'Aréna test') a été mis en place et appliqué à 6 des 12 variétés précédemment étudiées. Les paramètres collectés au cours de cette expérimentation ont permis de montrer que i) le taux de colonisation des plantes du dispositif par les pucerons ne présente pas de différence significative entre les variétés évaluées et la variété de référence (RUBISKO), ii) le nombre total de pucerons produits est significativement plus faible pour la variété ADVISOR, iii) le nombre moyen de pucerons présents sur les plantes colonisées est équivalent pour l'ensemble des variétés évaluées et iv) quelle que soit la méthode

utilisée pour calculer le taux de transmission virale au sein du dispositif multi-plantes, aucune différence significative entre la référence RUBISKO et les différentes variétés testées n'a pu être mise en évidence.

Le dernier paramètre correspond à l'analyse de la durée de latence au sein des plantes infectées. Cette durée est particulièrement importante pour appréhender la dynamique de dispersion de la maladie au sein de la parcelle puisqu'elle va décrire le délai après lequel une plante infectée devient à son tour infectieuse, pouvant ainsi participer à propager la virose. Dans le cadre de l'étude réalisée sur la variété de référence RUBISKO, les plantes infectées se révèlent être sources de virus pour la transmission dès le 3ème jour après inoculation avec environ 15% de réussite à la transmission virale. Dès le 7ème jour après infection, les plantes sources ont atteint leur potentiel maximal (autour de 65% de taux de transmission). Ainsi, la sortie de latence observée pour la variété RUBISKO est initiée dès les premiers jours de l'infection et semble être terminée avant le 7ème jour après infection. En conduisant cette étude sur d'autres génotypes, plusieurs différences de dynamique de sortie de latence ont été observées, notamment pour les génotypes HYKING, TARASCON et UNIK. Pour ces trois variétés, le taux de transmission associé aux plantes sources infectées depuis 7 jours est significativement plus faible que celui de la variété RUBISKO. Aussi, la sortie de latence pour ces trois variétés est plus lente.

L'ensemble des éléments descriptifs du processus infectieux apporté par cette étude permet de mettre en avant le comportement de ces variétés de blé face à l'arrivée de *R. padi* et du BYDV-PAV que ces derniers peuvent transporter. Même si aucune variété étudiée ne permet de limiter l'efficacité d'introduction de la maladie en parcelle de blé (taux d'infection équivalents), plusieurs des étapes du processus d'extension des foyers infectieux (reproduction de pucerons et durée de latence) se sont révélées moins efficaces pour certains génotypes, ce qui peut être considéré comme encourageant pour la suite des travaux visant à élaborer de nouvelles stratégies de protection contre la jaunisse nanisante de l'orge en parcelles de blé tendre. De plus, une relation tend à apparaître entre l'accumulation virale analysée en conditions contrôlées et la perte de rendement évaluée au champ. Par conséquent, il serait pertinent de poursuivre conjointement les investigations au champ et en conditions contrôlées en focalisant les travaux sur les quelques génotypes ayant eu des comportements contrastés dans l'une ou l'autre des situations. Ces résultats confirment également le besoin de disposer de moyen d'identifier et de quantifier avec une meilleure précision l'accumulation des particules virales dans les plantes.

LEVIER VARIETAL - COLZA

Résultats acquis au champ :

Cinq essais ont été mis en place dans les régions Haut-de-France et Grand-Est au cours des campagnes 20217-2018 et 2018-2019. Ces essais ont permis de comparer le comportement d'une variété résistante partielle TuYV (LG ARCHITECT) et d'une variété sensible (référence DK EXCEPTION) en situation traitée et non traitée. Une autre variété (RGT QUIZZ) a été ajoutée dans deux essais en 2018-19 afin de vérifier l'hypothèse d'une moindre sensibilité imputable à un mécanisme distinct par rapport à LG ARCHITECT. Des échantillons prélevés dans six essais réalisés au cours de la campagne 2016-2017 ont été utilisés et analysés dans le but de disposer de résultats consolidés acquis au total dans 11 essais et au cours de trois campagnes (Ruck et *al.* 2019-a).

Dans les conditions de la campagne 2018-2019 favorables à une pression virale importante, la variété LG ARCHITECT à résistance partielle a présenté une charge virale plus élevée que lors des précédentes expérimentations (2016-2017 et 2017-2018). Toutefois, même dans ces conditions, la prévalence du TuYV et sa charge virale au sein des plantes infectées sont restées significativement inférieures au référent sensible DK EXCEPTION (Figure 4) soulignant son statut de résistant partiel.

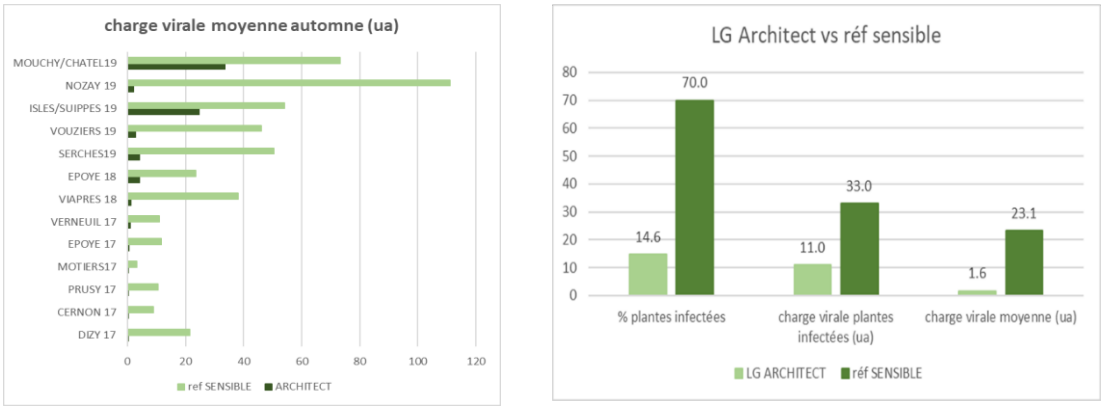

Figure 4 : Infection virale de LG ARCHITECT vs référence sensible, synthèse et détail par essai
(ua : Unité arbitraire définie à partir d'un échantillon de référence)

Les essais réalisés en différents lieux et au cours de différentes campagnes ont permis d'évaluer le comportement de LG ARCHITECT sous différentes pressions virales allant de faibles à très fortes (Ruck *et al.*, 2018, 2019b). Ces situations contrastées ont permis de montrer que (Tableau 1) :

- sous faible pression, LG ARCHITECT ne permet pas de gain de rendement par rapport à la variété sensible du fait de l'incidence modérée du virus dans ce type de scénario,

- sous pression moyenne à forte, la résistance au TuYV portée par LG ARCHITECT conduit à un gain de rendement de l'ordre de 6% en moyenne par rapport à une variété sensible non traitée. Dans ces situations où la variété résistante exprime un bénéfice par rapport à une variété sensible non traitée, la protection aphicide permet un gain de rendement uniquement sur la variété sensible,

- sous très forte pression, les données ne montrent pas de gain de rendement pour LG ARCHITECT. Dans cette situation de très forte pression, la protection aphicide ne permet donc pas de gain de rendement, que la variété soit résistante ou sensible.

Tableau 1 : Pourcentage de plantes infectées et rendements pour différents niveaux de pression virose entrée hiver.

	Infection faible 1 essai				Infection moyenne 3 essais				Infection forte 3 essais				Infection très forte 4 essais			
	LG ARCHITECT		Réf. sensible		LG ARCHITECT		Réf. sensible		LG ARCHITECT		Réf. sensible		LG ARCHITECT		Réf. sensible	
	témoin	traité	témoin	traité	témoin	traité	témoin	traité	témoin	traité	Témoin	Traité	témoin	Traité	témoin	Traité
% plantes infectées	2.5	0	22.5	17.5	9	7	84	80	20.1	13.3	95	90.6	32	23.4	90	73.3
	b	b	a	a	b	b	a	a	b	b	a	A	b	b	a	a
Rendement q/ha	44.1	45.2	44.6	43.8	47	47.6	43.8	44.8	49.9	51.8	46.8	49.7	45.5	45.1	45	46.7
	a	a	a	a	ab	a	c	bc	a	a	b	a	a	a	a	a

Résultats acquis en conditions contrôlées :

Le volet terrain a été complété par une approche expérimentale en conditions contrôlées visant à caractériser le phénotype de résistance à la JC observé pour les génotypes LG ARCHITECT et RGT QUIZZ en les comparant au référent sensible DK EXCEPTION.

Les méthodes mises en œuvre et résultats acquis (présentés dans l'article Souquet *et al.*, 2021a, 2021b) ont permis de démontrer le statut de résistance partielle du génotype LG ARCHITECT grâce à une réduction du taux d'infection. Pour compléter la caractérisation de la résistance partielle portée par LG ARCHITECT, le dispositif expérimental a été adapté afin d'évaluer l'effet de l'âge de la plante lors de l'inoculation. Les résultats ont montré un comportement de résistance partielle pour les plantes inoculées aux stades 2-4 feuilles et un comportement de résistance de maturité pour les plantes inoculées à un stade de croissance plus avancé. De plus, l'analyse des plantes infectées a mis en évidence (i) une mauvaise qualité des plantes LG ARCHITECT infectées comme source de virus pour la transmission et (ii) une période de latence prolongée pour les plantes infectées. Ainsi, la dynamique de propagation du virus au champ devrait être plus lente pour LG ARCHITECT par rapport aux génotypes de colza sensibles, ce qui devrait conduire à une baisse de la dynamique d'expansion des foyers infectieux et au maintien d'une proportion plus élevée de plantes saines au champ.

Les données générées montrent que, comparées au référent sensible, les interactions plante-vecteurs ne sont pas impactées pour la variété LG ARCHITECT, suggérant que la résistance partielle portée par LG ARCHITECT s'exprime uniquement vis-à-vis du virus. Les données associées à RGT QUIZZ ne lui permettent pas de se différencier du référent sensible dans les conditions expérimentales de notre étude.

LEVIER VARIETAL - BETTERAVE

Résultats acquis au champ :

En 2019, 2 essais de résistance variétale au virus de la jaunisse modérée ont été mis en place en Normandie et dans l'Aisne. Au total, 14 hybrides en cours de sélection ont été fournis par les principaux sélectionneurs en betterave, en comparaison avec 2 variétés commerciales supposées sensibles, EPERVIER et PLATINA KWS. Chaque génotype a été semé sur des micro-parcelles de 3 rangs sur 6m, avec 4 répétitions randomisées.

Dans l'essai de Coucy-Lès-Eppes dans l'Aisne, une inoculation artificielle de *Myzus persicae* porteur du virus BMYV a été réalisée sur une moitié de l'essai. Ceci a permis de mesurer les pertes de rendement induites suite à l'inoculation du virus. Si la variété témoin PLATINA KWS présente un profil sensible (Figure 5), la variété Témoin EPERVIER s'avère intermédiaire parmi tous les génotypes testés. Les variétés MARIBO VY2, SV1, KWS J4 présentent un niveau de gravité (% de surface avec symptômes) significativement inférieur à la meilleure des variétés témoin (EPERVIER). Les variétés MARIBO VY2, SV1, KWS J4 présentent un maximum de 7% de feuilles symptomatiques et une perte de rendement inférieure à 10%.

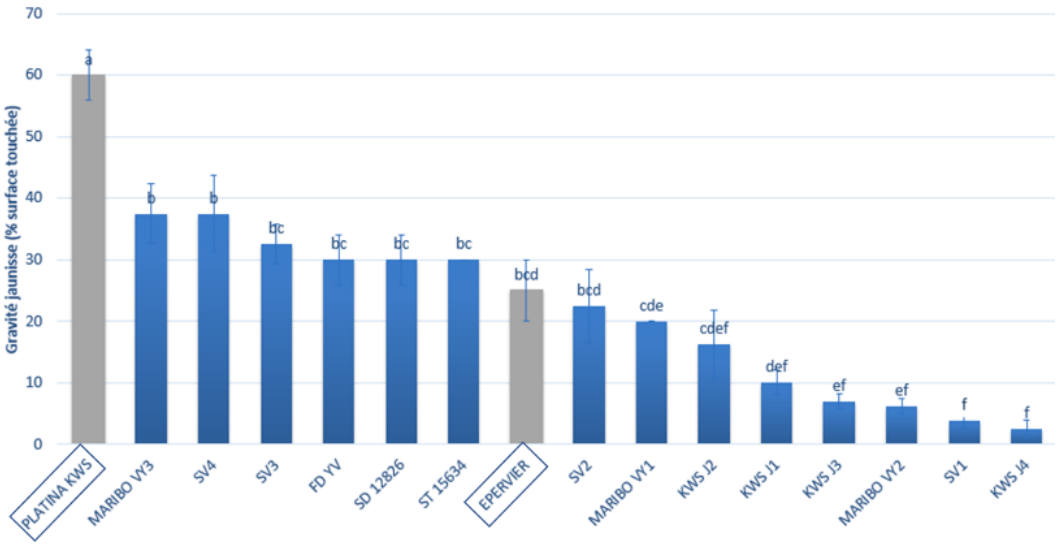

Figure 5 : Gravité de la jaunisse sur l'ensemble des génotypes de betteraves. Notation réalisée le 12 août 2019, Coucy les Eppes

En 2020, 14 génotypes ont à nouveau été testés en plus des 2 variétés témoin PLATINA KWS et EPERVIER. Seuls 4 génotypes communs ont été conservés sur les 14 génotypes de 2019, en raison d'un manque de disponibilité de semences et du choix de rechercher du matériel *a priori* plus performant. L'essai de Luneray (76) en conditions naturelles a montré une plus grande variabilité dans les notations de jaunisse. Les génotypes communs entre 2019 et 2020 sont identifiés en orange dans la figure 6 ci-dessous. Les résultats confirment ceux observés dans l'Aisne en 2019, avec des symptômes statistiquement moindres que la variété témoin EPERVIER pour MARIBO VY2 et SV1. Néanmoins, leurs rendements sont respectivement de 78% et 65% des témoins. D'autres génotypes testés uniquement en 2020 présentent de bons comportements vis-à-vis de la jaunisse et illustrent le progrès réalisé par les sélectionneurs. Leurs rendements varient de 76 à 93% par rapport aux témoins, avec une moyenne à 88%, ce qui souligne là encore l'impact de l'effort de sélection.

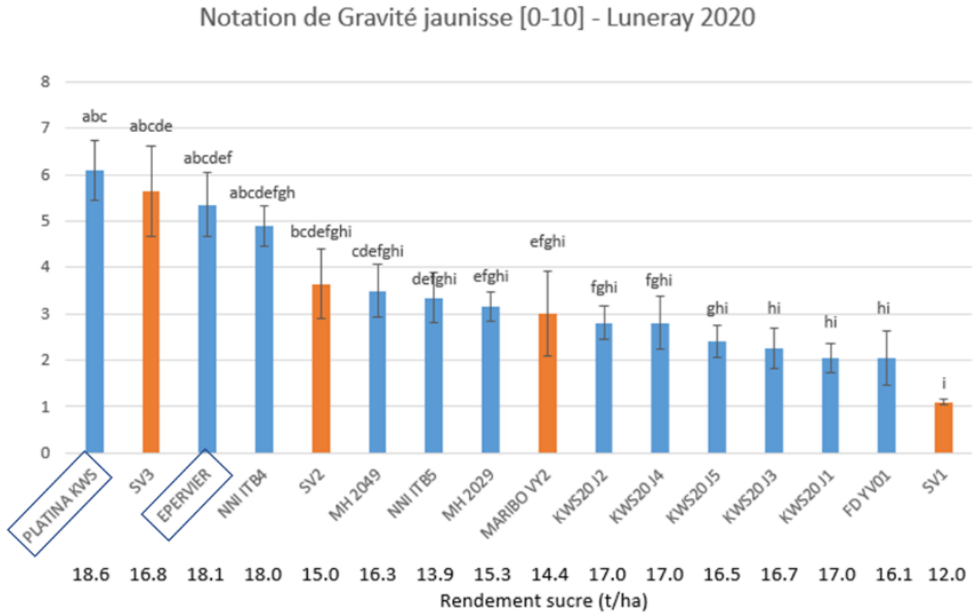

Figure 6 : Gravités moyennes de la jaunisse mesurées les 22/07/2020 et 21/08/2021 sur l'essai de Luneray (76) en 2020. Sous le graphique : rendement en sucre (t/ha)

Résultats acquis en conditions contrôlées :

Concernant la betterave, la mise en place des dispositifs expérimentaux en conditions contrôlées a nécessité l'optimisation du système de production de plantules utilisé au laboratoire et le calibrage des procédures de diagnostic viral (Souquet et *al.*, 2021b). Les travaux n'ont pas permis d'identifier de génotypes moins sensibles que le référent sensible utilisé dans l'étude (VY0). De plus, l'approche quantitative utilisée pour décrire la charge virale de plantes infectées a montré que tous les génotypes accumulent le virus avec une efficacité équivalente, voire supérieure (cas de VY10) au référent sensible. Les travaux conduits sur les interactions vecteur-plante ont révélé plusieurs génotypes (VY2, VY6 et VY10) ayant un comportement d'« hôte » favorables pour *Myzus persicae*. Ces résultats indiquent que le pool de génotypes introduits dans l'étude n'inclut pas de ressource défavorable à la dynamique infectieuse. Ce constat a conduit à ne pas poursuivre les travaux de caractérisation de la latence pour le pathosystème betterave.

LEVIER PRODUITS DE BIOCONTROLE [BETTERAVE, COLZA, CEREALES A PAILLE]

Résultats acquis au champ :

- **Dispositifs expérimentaux**

L'évaluation de produits de biocontrôle a été conduite au champ lors des campagnes 2018-2019 et 2019-2020 avec différents essais sur colza, orge d'hiver (espèce privilégiée au blé tendre car la gravité de la maladie est plus sévère sur orge d'hiver) et betterave en situations exposées à des infestations naturelles de pucerons (Robin *et al., 2021a, 2021b)*. Sur orge, des essais complémentaires ont été réalisés en 2020-2021. Au total,17 essais ont été réalisés : 3 essais sur colza, 10 sur orge d'hiver, 4 sur betterave.

Chaque essai avait pour objectif de comparer plusieurs solutions en évaluation (environ 6 modalités par essai) à une modalité témoin non traitée (TNT) et à une modalité protégée avec un produit de référence à base de lambda-cyhalothrine sur orge (Karaté Zéon, 0,075 l/ha), à base de flonicamide sur colza (Teppeki, 0,1 kg/ha) et sur betterave (Teppeki 0,14 kg/ha appliqué avec une huile adjuvante pour bouillie insecticide).

Sur colza et orge, les essais ont été conduits avec un dispositif en bloc (4 répétitions) ; sur betterave, 2 répétitions de 60 m² ont été réalisées sur grande parcelle, et un essai (2019 - site 76) a été conduit avec un dispositif en bloc (3 répétitions).

Les solutions étudiées (Tableau 2) sont essentiellement composées de substances naturelles et de micro-organismes. Certaines solutions ont été évaluées sur les trois cultures. Les modalités ayant produit des résultats encourageants en 2019 ont été maintenues pour les essais de 2020 et complétées avec de nouvelles modalités expérimentales à évaluer.

Tableau 2 : Répartition des solutions évaluées (dose/ha par application) selon la culture, l'année et le site d'essai.

	Cultures	**COLZA**		**ORGE HIVER**			**BETTERAVE**	
	Années	**2019**	**2020**	**2019**	**2020**	**2021**	**2019**	**2020**
	Nombre d'essais	2	1	2	4	4	2	2
Substances actives	**Départements**	78, 80	80	17, 81	17, 81, 18, 49	17, 81, 18, 49	62, 76	62, 76
Azadirachtine 1		36 g SA	36 g SA	36 g SA	36 g SA	44 g SA	36 g SA	36 g SA
Azadirachtine 2			29 g SA		20 g SA (17, 81)			
Huile de paraffine A (10 l produit formulé)		X	X	X	X	10 OU 5 L	X	
Huile de paraffine B (10 l produit formulé)			X		X	(17, 81)		X
Huile de paraffine C (10 l produit formulé)						(17, 81)		
Acides gras (7,68 kg SA)					X			
Huile d'orange douce (1,6 l produit)				X				
Maltodextrine (5,98 kg SA)		X		X	(81)		X	X
Saccharose (50 g)		X (78)						
Lecanicillium muscarium Ve6 2x10^{13} UFC		X (80)					X	X
Beauvaria bassiana GHA 2,5x10^{12} UFC								X
Soufre (4,2 kg SA)		X		X			X	
Extrait d'ail (3 ou 6 l produit formulé)			3 l		6 l (17, 81)			
Argile kaolinite (10 kg produit formulé)		X					X	

SA : Substance active ; UFC : unité formatrice de colonie, X = Modalité présente dans l'essai.

Chaque produit était appliqué plusieurs fois, généralement 4 applications (T1, T2, T3 et T4) à environ une semaine d'intervalle avec une bouillie à 200 l/ha, dans le but d'augmenter les chances de mettre en évidence une efficacité de la solution évaluée. La référence était appliquée selon les recommandations usuelles, souvent à T2, hormis sur les essais sur betterave de 2020 (T1 et T3).

L'intérêt des solutions a été évalué à l'aide de différents indicateurs relatifs aux pucerons (fréquence de plantes infestées, effectifs moyens par plante), à l'infection (estimation visuelle du pourcentage de surface parcellaire affectée sur orge et sur betterave, analyse virologique sur colza) et sur le rendement final.

- **Résultats**

Les applications répétées d'azadirachtine ont produit des résultats intéressants notamment sur colza en 2019 (Figure 7) puis à nouveau en 2020 à la fois sur la fréquence de plantes infestées et l'effectif de *Myzus persicae* par plante : 4 applications d'azadirachtine apportent une meilleure protection contre les pucerons que la référence appliquée une seule fois. L'infection virale n'a cependant pas pu être significativement réduite par rapport au témoin non traité que ce soit pour l'azadirachtine ou la référence insecticide. Sur orge, l'application répétée d'azadirachtine a également présenté une certaine efficacité avec un gain moyen de rendement proche du tiers de celui acquis avec la référence (+ 10 q/ha *vs* 37 q/ha pour la référence appliquée à une seule date). Différentes doses d'azadirachtine ont été évaluées mais aucun effet dose n'a été mis en évidence dans nos essais. Par contre, à l'automne 2019 au cours duquel les conditions ont été particulièrement pluvieuses, les performances acquises avec cette modalité étaient inférieures à celles acquises au cours des 2 autres campagnes. Sur betterave, l'application répétée d'azadirachtine a permis de réduire les effectifs de pucerons *A. fabae* avec une légère baisse des symptômes de jaunisse dans un essai. Lors des essais de 2020, avec seulement 2 ou 3 applications, aucun effet n'a été observé sur les infestations par *Myzus persicae*. Le bilan global des applications d'azadirachtine est dans l'ensemble encourageants sur colza vis-à-vis de *Myzus persicae* à l'automne. Des études complémentaires seront nécessaires pour préciser la fréquence d'application et les doses permettant d'obtenir une protection satisfaisante.

Les applications répétées d'huile de paraffine ont permis d'obtenir un certain niveau de protection avec des variations selon les cultures cibles. Sur colza, des résultats intéressants obtenus en 2019 n'ont pas été confirmés en 2020. De même, sur betterave, des gains n'ont été observés qu'en 2019. Sur orge, 9 essais ont été réalisés au cours des 3 campagnes. L'application répétée d'huile de paraffine a permis de réduire les infestations de pucerons et d'augmenter le rendement avec un gain atteignant la moitié de celui acquis avec la référence : +17 q/ha avec l'huile de paraffine contre +33 q/ha pour la référence (Figure 8). Cette solution est celle qui a présenté en moyenne la meilleure protection, avec un effet plus prononcé lors de la campagne 2020 (forte pression de jaunisse). Ces résultats acquis dans le cadre du projet ABCD_B confirment des premiers résultats antérieurs obtenus avec la même huile de paraffine (données Arvalis). Les travaux poursuivis au champ en 2021 ont mis en évidence l'incidence du positionnement des applications : deux applications réalisées tardivement (T3, T4) ont permis un gain de rendement de 9 q/ha contre 11 q/ha avec 4 applications. Les autres combinaisons n'ont permis qu'un faible gain de rendement (3 q/ha) que la dose appliquée soit de 5 ou 10 l/ha. Les tests avec d'autres huiles de paraffine mettent également en évidence un gain de rendement par rapport au témoin, mais jamais supérieur au gain acquis avec l'huile de paraffine de référence. A noter que des symptômes de phytotoxité ont pu être observés sur quelques essais ayant subi de faibles infestations de pucerons et lors d'application en programme avec un traitement herbicide (post semis). Ces symptômes se sont avérés relativement fugaces. Les travaux seront à poursuivre, en laboratoire et au champ pour définir les conditions optimales d'utilisation (efficacité, sélectivité).

Concernant les autres solutions évaluées :

- Les applications de la solution à base d'acides gras ou d'huile d'orange douce ont présenté une faible efficacité et un gain de rendement non significatif (gain moyen 1 à 3 q/ha).

- Les apports de maltodextrine, sans efficacité vis-à-vis de *Myzus persicae* sur colza en 2019, ont montré un effet favorable sur les infestations de pucerons sur betterave. Sur orge, l'intérêt de cette solution s'est avéré plus limité (gain moyen de 5 q/ha).

- Les applications répétées d'une souche du champignon entomopathogène *Leucanicillium muscarium* ont permis une forte réduction des symptômes de jaunisse modérée de la betterave,

comparable à celle de la référence (1 essai [relativement peu précis], Figure 9) ; cet effet n'a pas été observé sur colza (non présenté). En 2020, les résultats acquis sur betterave avec une souche d'un autre champignon entomopathogène *Beauvaria bassiana* ont mis en évidence une efficacité plus en retrait ; aussi, ce résultat nécessitera d'être validé. Compte tenu du mode d'action de ces champignons, les conditions optimales d'utilisation (conditions d'application, conditions météorologiques) mériteront d'être précisées.

- Les applications de soufre ont présenté en 2019 une bonne efficacité vis-à-vis des pucerons *Aphis fabae* sur betterave mais aucun effet n'a été noté sur les pucerons cibles du colza ou de l'orge.

- La solution à base d'extrait d'ail expérimentée en 2020 ne s'est pas avérée efficace sur colza (1 essai). Sur orge, les premiers résultats sont un peu plus encourageants vis-à-vis des infestations de pucerons mais le gain de rendement observé sur deux essais ne s'est ensuite pas avéré significatif.

- Les applications répétées d'argile kaolinite sur colza et betterave n'ont pas présenté d'efficacité. Ces résultats confirment ceux acquis précédemment sur orge (données Arvalis, 2016).

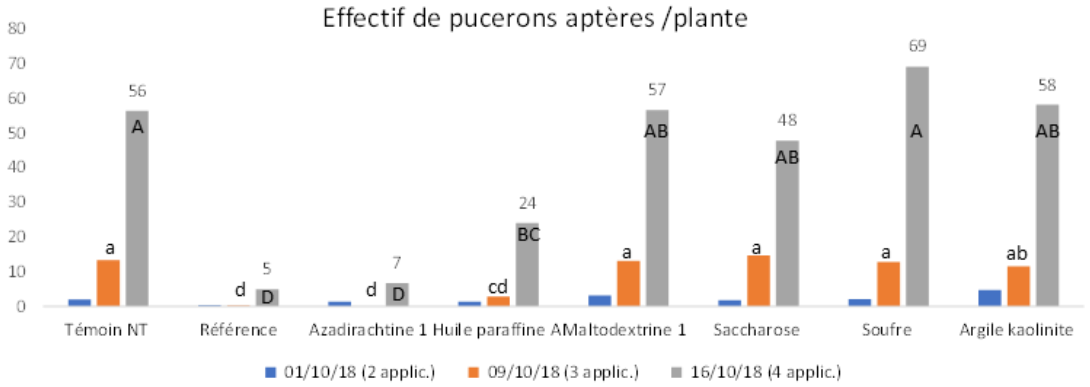

Figure 7 : Evolution des effectifs de pucerons par plante sur colza - un site (2019 -80). *p-value* < *0.05*

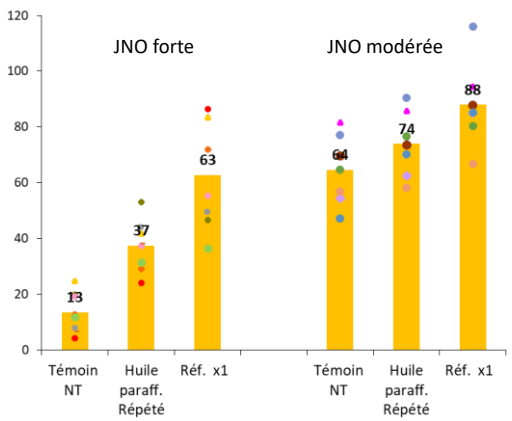

Figure 8 : Rendement (q/ha) en orge d'hiver selon différentes stratégies de protection et regroupé selon le potentiel de rendement du témoin (<25 q/ha, > 45 q/ha) – 15 essais

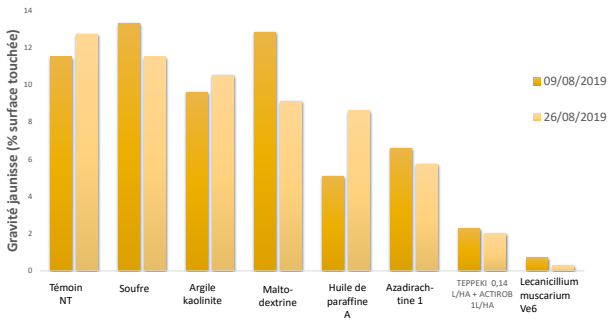

Figure 9 : Evaluation de différentes solutions de protection de la betterave (un essai, 2019 – 62). Notation visuelle de gravité de jaunisse

Résultats acquis en conditions contrôlées :

Les travaux réalisés en conditions contrôlées ont concerné deux modalités ayant préalablement démontré un intérêt dans les essais réalisés au champ :

- Huile de paraffine (spécialité : Finavestan Ema, 10 l/ha pour un volume de bouillie de 200 l/ha)
- Azadirachtine (spécialité : Azatin, 1,4 l/ha, volume de bouillie de 200 l/ha).

Les travaux ont été réalisés de manière simultanée sur les trois pathosystèmes : *Myzus persicae* sur colza et sur betterave, *Rhopalosiphum padi* sur blé d'hiver. Les résultats acquis ont permis de dégager les enseignements suivants :

- Les applications d'huile de paraffine conduisent à une augmentation de la mortalité de *M. persicae* sur betterave. Toutefois, la fécondité des deux espèces de pucerons (*R. padi* et *M. persicae*) n'est pas altérée par ce traitement. Il convient de noter que les plantes de betterave et de colza traitées montrent un taux d'infection plus faible qu'en absence de traitement.
- L'application d'azadirachtine conduit i) à augmenter la mortalité de *R. padi* et de *M. persicae* et ii) à abaisser la fécondité de *R. padi* sur orge et de *M. persicae* sur betterave. Cependant, les données sanitaires associées aux plantes traitées montrent que les taux d'infections observés ne sont pas modifiés par l'application de ce produit de biocontrôle.

Les deux produits de biocontrôle évalués en conditions contrôlées ont potentiellement la capacité d'impacter la multiplication des pucerons et la transmission virale. L'efficacité semble varier en fonction de l'espèce de puceron et de l'espèce végétale concernées. Enfin, les données montrent que leur efficacité peut être curative et préventive dans la lutte contre la jaunisse nanisante de l'orge en augmentant la mortalité ou en abaissant la fécondité de *R. padi*.

DISCUSSION

Les solutions évaluées dans le cadre du projet ABCD_B ont des efficacités le plus souvent partielles dont le niveau de protection est dépendant de la pression en maladie virale.

Pour le blé tendre, les différences de sensibilité qui sont mesurées entre variétés sont proportionnelles à la pression de la maladie. Cela signifie qu'une protection contre les pucerons demeure nécessaire quelle que soit la sensibilité de la variété dès lors qu'un risque de JNO existe. Poursuivant l'objectif d'actionner d'autres leviers, de nombreuses solutions de biocontrôle ont été évaluées. Seules l'azadirachtine et l'huile de paraffine ont pu démontrer une certaine efficacité dans nos expérimentations. L'huile de paraffine présente une efficacité moyenne de l'ordre de 50% aussi bien en faible qu'en forte pression de maladie (Robin *et al.*, 2022). La combinaison de ces deux leviers – choix d'une variété tolérante protégée à l'aide d'un produit de biocontrôle – semble opportune sur blé tendre afin de limiter les pertes. Néanmoins, les deux leviers ayant des efficacités partielles, leur combinaison ne restituera pas le niveau de rendement obtenu auparavant avec l'imidaclopride ou actuellement avec l'application de produits de la famille des pyréthrinoïdes.

Pour le colza, l'azadirachtine a montré des résultats intéressants pour le contrôle des populations de pucerons. Cette efficacité n'a cependant pas permis de réduire significativement la charge virale des plantes protégées que ce soit avec l'azadirachtine ou la référence insecticide et aucune différence significative n'a été observée concernant le rendement dans nos conditions expérimentales. La résistance variétale est le levier à actionner en priorité pour la protection du colza contre le risque de jaunisse (Ruck *et al.,* 2021). L'intérêt de solutions de biocontrôle, et de l'azadirachtine en particulier, mériterait d'être évalué pour la protection contre la transmission des mosaïques virales par les pucerons. Les deux mosaïques connues sur colza sont des viroses moins fréquentes mais dont la nuisibilité est potentiellement élevée et pour lesquelles la résistance dite « TuYV » ne semble pas efficace. Combiner une variété résistante TuYV et un produit de biocontrôle pourrait alors être opportun pour lutter à la fois contre la jaunisse et les mosaïques. L'application de produits de biocontrôle sur variétés résistantes à la

jaunisse permettrait également d'abaisser la pression de sélection sur la résistance à la jaunisse et maintenir la durabilité du levier génétique pour la protection contre les viroses.

Concernant les betteraves, les résultats acquis montrent à la fois une grande variabilité du comportement entre variétés et des perspectives encourageantes compte tenu de l'évolution des symptômes observés entre les variétés évaluées en 2019 et celles évaluées en 2020. Cependant, la perte de rendement des hybrides les moins symptomatiques demeure élevée et les deux génotypes ayant eu de moindres symptômes au champ n'ont pas démontré d'intérêt sur les indicateurs évalués en conditions contrôlées. Cela pose la question de la pertinence de juger les variétés sur la base de leurs symptômes.

CONCLUSION

Le projet ABCD_B a été réalisé par un consortium large et diversifié. Les travaux ont concerné trois filières végétales (betterave, céréales à paille, colza) et ont été réalisés au champ et en conditions contrôlées, par des partenaires de la recherche académique, de la recherche appliquée et des organismes économiques.

Concernant le levier génétique, les conséquences opérationnelles varient selon les filières. Pour le colza, les résultats ont permis d'accompagner sur le terrain le positionnement et le développement de variétés bénéficiant de la résistance partielle au virus TuYV. Pour le blé tendre, les résultats confirment l'intérêt du levier génétique pour la protection contre la JNO et ouvrent le champ à la sélection de génotypes plus résilients. Les méthodes utilisées et résultats produits dans le cadre d'ABCD_B devraient aider la recherche privée à proposer des variétés de blé tendre de moindre sensibilité à la JNO. Concernant la betterave, les résultats acquis au champ sont encourageants même s'ils n'ont pu être confirmés en conditions contrôlées. Ces travaux sont précurseurs d'autres travaux plus ambitieux et plus collaboratifs entrepris dans le cadre du PNRI.

En parallèle, l'évaluation de nombreux produits de biocontrôle a permis de produire des résultats encourageants pour deux substances actives : l'azadirachtine et l'huile de paraffine. Ces solutions présentent des efficacités nettement inférieures à celles obtenues avec les produits de références. Les travaux réalisés en conditions contrôlées permettent d'expliquer – au moins partiellement – les modes d'action, ce qui devrait aider à optimiser l'emploi de ces produits au champ. Ces résultats permettront aux instituts techniques, organismes économiques et autres organismes de développement d'accompagner la ou les solutions de biocontrôle sur les usages pour lesquels des autorisations sont envisagées.

L'important travail d'évaluation et de sélection des solutions les plus pertinentes réalisé dans le cadre du projet ABCD_B permet d'envisager la poursuite de l'évaluation de ces solutions dans des itinéraires techniques. La combinaison des deux leviers – choix d'une variété tolérante protégée à l'aide d'un produit de biocontrôle – présentera un intérêt variable selon les cultures : s'il semble potentiellement opportun dans un avenir proche sur blé tendre, il est à ce jour plus limité pour protéger le colza contre la jaunisse compte tenu de l'efficacité du levier génétique avec néanmoins un potentiel bénéfice à explorer pour augmenter la durabilité du levier génétique contre jaunisse ou pour limiter l'incidence des mosaïques. Concernant la betterave, la combinaison des leviers génétiques et de lutte à l'aide de produit de biocontrôle pourra être étudiée dès lors que des variétés moins sensibles à la jaunisse auront été identifiées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Pichon, E., Souquet, M., Armand, T., Jacquot, E. 2022. Wheat cultivars and natural-based substances: Impacts on epidemiological parameters of yellow dwarf disease. Plant Pathology, 71(6), 1293-1303. https://doi.org/10.1111/ppa.13564

Robin N., Thibord J-B., Ruck L., Boyer F., 2021. Solutions de biocontrôle pour lutter contre les jaunisses virales, Phytoma, n°742, mars 2021 – p. 34-40

Robin N., Thibord J-B., Ruck L., Boyer F., 2021. Biocontrôle pour lutter contre les jaunisses virales en grandes cultures - Conférence Internationale sur les Ravageurs et Auxiliaires en Agriculture, 26-28 octobre 2021, Montpellier

Robin N. et al., 2022. Vers de nouvelles solutions de protection contre la jaunisse nanisante de l'orge sur céréales à paille - PHLOEME 3-4 novembre 2022

Ruck, L., Jacquot, E., Guerle, G., Piot, F., 2018, September. Are rapeseed varieties resistant to Turnip yellows virus (TuYV) the solution against viruses transmitted by aphids?. In 17th IOBC Working Group Meeting on Integrated Control in Oilseeds, SM Cook, M. Jedryczka, I. Juran, and W. Truman, eds., Zagreb, Croatia (pp. 28-32).

Ruck L., Jacquot E., Van Boxsom A., 2019. De nouveaux moyens pour faire face aux pucerons et viroses du colza. Phytoma, n°724, mai 2019 p 14-18

Ruck L., Jacquot E., Pichon E., Souquet M., Van Boxsom A. 2019. Turnip yellows virus-resistant rapeseed varieties as a possible solution against aphid-borne virus disease - GCIRC BERLIN congrès international du colza

Ruck L., Jacquot E., Van Boxsom A., 2021. Résistance variétale : un levier efficace contre la jaunisse sur colza - Conférence Internationale sur les Ravageurs et Auxiliaires en Agriculture, 26-28 octobre 2021, Montpellier

Souquet, M., Pichon, E., Armand, T., Jacquot, E. 2021. Fine Characterization of a Resistance Phenotype by Analyzing TuYV-Myzus Persicae-Rapeseed Interactions. Plants, 10(2), 317. https://doi.org/10.3390/plants10020317

Souquet M., Pichon E., Armand A., Pinault Q., Le Blaye S., Dallot S., Thébaud G., Jacquot E., 2021 *Analyse des interactions virus-pucerons-plantes impliquées dans l'épidémiologie des jaunisses sur grandes cultures* - Conférence Internationale sur les Ravageurs et Auxiliaires en Agriculture, 26-28 octobre 2021, Montpellier

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.