

VÉGÉPHYL – 12^{ÈME} CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES RAVAGEURS ET AUXILIAIRES EN
AGRICULTURE
26, 27 ET 28 OCTOBRE 2021 - MONTPELLIER SUPAGRO

APPÂTER LES LARVES DE TAUPINS POUR PROTÉGER LE MAÏS

J-B. THIBORD⁽¹⁾, P. LARROUDE⁽¹⁾

⁽¹⁾ ARVALIS – INSTITUT DU VEGETAL - 21 chemin de Pau - 64 121 Montardon – France

jb.thibord@arvalis.fr

RÉSUMÉ

Le maïs est sensible aux attaques de larves de taupins à partir de la levée et jusqu'au stade 10-12 feuilles. Afin de limiter l'exposition des jeunes maïs à ces ravageurs, une des stratégies de lutte consiste à proposer aux larves de taupins une nourriture alternative, c'est-à-dire un appât, au moment du semis afin de les détourner des plantules de maïs.

Cette stratégie fait l'objet d'expérimentations mises en œuvre par Arvalis depuis près de 20 ans. Les travaux ont d'abord majoritairement été réalisés avec des granulés appâts constitués de céréales, puis ils ont été poursuivis et intensifiés en focalisant les expérimentations avec des plantes de services utilisées comme appâts.

Les résultats de ces travaux permettent de décrire les conditions de mises en œuvre - choix des espèces d'appâts, dose, positionnement par rapport à la ligne de semis - dans lesquelles la stratégie des plantes appâts peut présenter une efficacité potentiellement intéressante pour protéger les cultures de maïs contre les attaques de taupins. Ces nombreux travaux permettent également de mettre en évidence les limites actuelles de la stratégie à base de plantes appâts et de proposer des pistes de recherches pour l'optimiser.

Mots-clés : Taupins, maïs, appâts

ABSTRACT

BAIT WIREWORMS TO PROTECT MAIZE

Maize is susceptible to attacks by wireworm from emergence to the 10-12 leaves stage. In order to limit the exposure of young maize to these pests, a new control strategy consists in offering wireworm an alternative food, a bait, applied during sowing in order to reduce damage on the seedlings.

This strategy has been implemented by Arvalis for almost 20 years. The works were first carried out mainly with bait granules made of cereals, then they were continued and intensified by focusing the experiments with plants used as trap.

The results help to describe the best conditions of implementation - choice of trap plants species, rate of sowing, positioning in relation to the sowing line - in which the strategy of trap crop can present a potentially interesting effectiveness for protecting maize against wireworm damages. These numerous trials help to highlight the limits of the bait-based strategy and to propose priorities for researches to optimize this promising strategy.

Keywords: Wireworms, maize, bait

INTRODUCTION

Les larves de taupins occasionnent d'importants dégâts sur une grande diversité d'espèces cultivées dont le maïs. En France, les taupins représentent les principaux ravageurs du maïs : environ 25% des surfaces de maïs sont exposées à ce ravageur et les pertes potentielles de production sont estimées à environ 8% de la production nationale de maïs grain en l'absence de protection insecticide (Thibord, 2017).

Pour protéger les semis de maïs contre les attaques de taupins, les producteurs disposent actuellement de produits microgranulés dont la substance active appartient à la famille des pyréthriinoïdes et dont les efficacités oscillent seulement entre 50 et 75%. Par ailleurs, il n'existe pas de solution satisfaisante pour protéger le maïs contre les taupins en agriculture biologique. Il est donc nécessaire de poursuivre la recherche de solutions afin d'augmenter l'efficacité de la protection des semis de maïs et de disposer d'une solution efficace en agriculture biologique.

Une nouvelle stratégie de protection des cultures consiste à proposer aux larves de taupins une nourriture alternative, c'est-à-dire un appât, au moment du semis afin de les détourner des plantes à protéger (Vernon 2000, 2005, 2016 ; Chaton 2003, 2007 ; Staudacher 2013 ; Adhikari & Reddy 2017). Appliquée à la culture de maïs, la stratégie vise à diminuer l'exposition des plantes aux attaques de larves de taupins entre la levée et le stade 6-8 feuilles, période de grande sensibilité des plantules de maïs.

Cette stratégie fait l'objet d'expérimentations mises en œuvre par Arvalis depuis près de 20 ans. Lors des premiers travaux, les appâts étaient constitués soit de substances inertes à base d'amidon de céréales, soit de semences de maïs. Arvalis a poursuivi et intensifié les expérimentations au cours des 10 dernières années en focalisant les travaux de recherche sur les plantes appâts, fonction recherchée de plantes compagnes de la culture du maïs.

Les résultats de ces travaux permettent de décrire les conditions dans lesquelles la technique des appâts peut présenter une efficacité potentiellement intéressante pour protéger les cultures de maïs contre les attaques de taupins. Cela permet également de mettre en évidence les limites de la stratégie à base de plantes appâts si sa mise en œuvre n'est pas optimale.

MATERIELS ET METHODES

Dispositifs expérimentaux

Les expérimentations ont été réalisées dans le sud de Nouvelle-Aquitaine (Landes, Pyrénées-Atlantiques) et en Bretagne (Morbihan) dans des parcelles naturellement infestées par des populations abondantes de taupins. Les modalités étaient comparées selon un dispositif expérimental comportant des microparcelles de 4 rangs et 10 mètres de long (ou 3 rangs et 20 mètres de longs dans les essais réalisés avant 2009), avec 4 répétitions en blocs. Les modalités expérimentales étaient comparées à une modalité témoin dépourvue de protection insecticide et à une modalité de référence comportant une substance active insecticide appliquée soit en traitement de semences (s. a. : imidaclopride, thiamethoxam), soit en microgranulés en localisation dans la raie de semis (s.a : carbofuran, téfluthrine, cyperméthrine, lambda-cyhalothrine) selon les années et les produits de références.

Les notations ont consisté à dénombrer les plantes de la culture de maïs (et non des plantes appâts) présentes à la levée (stade 3 feuilles, BBCH 13), puis à dénombrer les plantes présentes et les plantes présentant un symptôme d'attaque par une larve de taupins. Les comptages ont été effectués sur les 2 rangs centraux (ou sur le rang central pour les microparcelles de 3 rangs) pour chaque parcelle élémentaire. Les notations ont été réalisées à trois ou quatre dates différentes après le stade 3 feuilles (BBCH 13) et jusqu'au stade 9-10 feuilles (BBCH 19) dans le but d'obtenir une cinétique des attaques et de s'assurer que la disparition de plantes était bien imputable à des attaques de taupins. Ainsi, le pourcentage de plantes attaquées par les larves de taupins a pu être calculé pour chaque date de notation réalisée après le stade 3 feuilles en rapportant la somme des plantes présentant des symptômes d'attaques et des plantes disparues sur le nombre de plantes présentes lors de la notation réalisée au stade 3 feuilles. Les résultats présentés correspondent à la dernière notation pour chacun des essais et sont exprimés en pourcentage d'efficacité.

Modalités expérimentales :

Les modalités expérimentales ont été très variées. Elles peuvent être déclinées selon le type d'appâts utilisés, la dose appliquée et le positionnement spatio-temporel.

-Nature de l'appât : Les appâts en évaluation appartiennent à une des deux catégories suivantes :

- o Des appâts inertes constitués essentiellement de granulés ou microgranulés d'amidon de blé dur (semoule) associés à une substance active insecticide (fipronil 0.5 %, cyperméthrine 0.8 %) ou non. La recherche de produits appâts nous a conduit à évaluer d'autres produits parmi lesquels nous pouvons citer des granulés de produits molluscicides ou des croquettes comportant des protéines animales. Les résultats trop irréguliers n'ont pas permis de conclure à l'intérêt de ces produits (résultats non présentés).

- o Des plantes appâts, issues de semis de graines appliquées directement dans le sol et dont la germination, puis les plantules, sont susceptibles d'attirer les larves de taupins et de les détourner des plantules de maïs de la culture à protéger. Les travaux ont consisté à comparer l'intérêt de différentes espèces appartenant à la famille des poacées et sensibles aux attaques de taupins dès les premiers stades de développement : avoine, blé, maïs, orge, triticales. Ces espèces ont été évaluées seules ou en mélange.

-Dose d'appâts : Les doses des appâts ont varié selon la nature de l'appât et selon le positionnement choisi. Les appâts inertes, formulés en granulés ou en microgranulés, ont été appliqués à des doses comprises entre 5 et 20 kg par hectare. Concernant les plantes appâts, les doses de graines ont varié de 60 à 360 kg par espèce et par hectare (certaines modalités étaient composées de mélange de deux espèces). Les doses ont été calculées en tenant compte du PMG de la graine de la plante appât et en considérant l'application en plein et enfouie sur le premier horizon du sol sur une profondeur de 15 centimètres de telle sorte que la distance entre graines soit comprise entre 3 centimètres dans le cas du maillage le plus dense à 9 centimètres dans le cas du maillage le plus large.

-Positionnement des appâts dans l'espace : Différents positionnements des appâts ont été testés dans le but de trouver l'optimum entre un positionnement des appâts suffisamment :

- proche par rapport à la ligne de semis de maïs pour augmenter les chances que les larves de taupins trouvent un appât avant de trouver une plantule de maïs de la culture à protéger, mais au risque d'attirer les larves sur la ligne de semis et que les plantes appâts, en se développant, exercent une forte concurrence à la culture,

- éloigné par rapport à la ligne de semis pour ne pas attirer les larves sur la ligne de semis et pour éviter une trop forte concurrence des plantes appâts sur la culture, mais au risque que les larves de taupins attaquent les plantes de maïs avant de trouver l'appât.

La recherche du positionnement optimal a fait l'objet d'essais spécifiques sur quelques modalités appâts préalablement choisies. Les appâts constitués de matière inerte ont été appliqués dans la raie de semis sans diffuseur de microgranulés (pour concentrer les appâts à proximité de la semence de maïs à protéger), dans la raie de semis avec diffuseur de microgranulés (pour diluer les appâts dans les premiers centimètres autour de la ligne de semis de maïs à protéger), dans l'inter-rang à l'aide d'un couteau ou appliqués en plein sur le sol puis incorporés dans les 10-15 centimètres du sol juste avant le semis du maïs.

Concernant les plantes appâts, les graines ont été positionnées soit à l'aide de deux coutres (profondeur de 10 à 15 cm selon les essais) localisés de chaque côté de la ligne de semis de maïs à protéger, soit localisés à l'aide d'un seul couteau positionné dans l'inter-rangs à différentes distances de la ligne de semis à protéger, soit appliqués sur une bande de 20, 40 ou 60 centimètres de large dans l'inter-rang et incorporés dans les 10-15 centimètres du sol, soit appliqués en plein sur le sol puis incorporés dans les 10-15 centimètres du sol juste avant le semis du maïs.

-Positionnement des appâts dans le temps : Dans la plupart des expérimentations, les appâts ont été appliqués le jour du semis, soit en même temps que le semis de la culture de maïs lors d'application dans la raie de semis ou entre les rangs de maïs, soit juste avant le semis de maïs lors d'une application en plein suivie d'une incorporation au sol.

Considérant qu'une levée plus précoce des plantes appâts de quelques jours par rapport à la culture à protéger serait susceptible d'augmenter l'efficacité de la stratégie, deux essais ont permis d'évaluer l'intérêt d'un semis des plantes appâts réalisé 10 jours avant le semis de la culture de maïs à protéger.

La destruction des plantes appâts a été réalisée à l'aide de produits de la famille des sulfonilurées ou de cycloxydime (selon les essais) lorsque la culture était entre les stades 3 à 6 feuilles (selon les essais). Les principales modalités expérimentales évaluées sont récapitulées dans le tableau I.

Tableau I : Modalités expérimentales évaluées de 2002 à 2019 pour la protection du maïs contre les taupins
(En **gras** : modalités dont les résultats sont présentés dans l'article).

Table I : Experimental modalities evaluated from 2002 to 2019 for the protection of maize against wireworms
(In **bold letters** : modalities whose results are presented in the article).

Appâts		Dose (kg/ha)	Positionnement		
			Raie de semis	Inter-Rang	En plein et incorporé au sol avant semis
Appâts inertes	Granulés appâts + cyperméthrine	12	Avec / sans diffuseur, raie de semis élargie	✓	✓
	Granulés appâts + fipronil	5	Avec / sans diffuseur	✓	✓
	Granulés appâts sans substance active	12, 20	Avec / sans diffuseur, raie de semis élargie	✓ + décalage temporel	✓
	Riz	25			✓
	Triticale	120			✓
Plantes appâts	Blé	60 120 240 360			✓
	Maïs (grain, semence)	120 200 300		Localisé ou sur une bande de 60 cm	✓
	Blé + Maïs	60 +60 120+300	2 lignes de chaque côté	Localisé sur une ligne ou appliqué sur une bande de 20, 40 ou 60 cm	✓ + décalage temporel
	Orge	120			✓
	Avoine	120		✓	✓
	Triticale	120			✓
Plantes appâts + insecticide	Microgranulés & Blé + Maïs	12 60+60	✓	✓	✓
	Microgranulés & Avoine	12 120	✓	✓	✓
	Blé avec cyperméthrine en traitement de semence	120			✓
	Blé avec cyperméthrine en traitement de semence + Maïs (non traité)	60 60			✓

RESULTATS

Appâts inertes avec ou sans substance active insecticide :

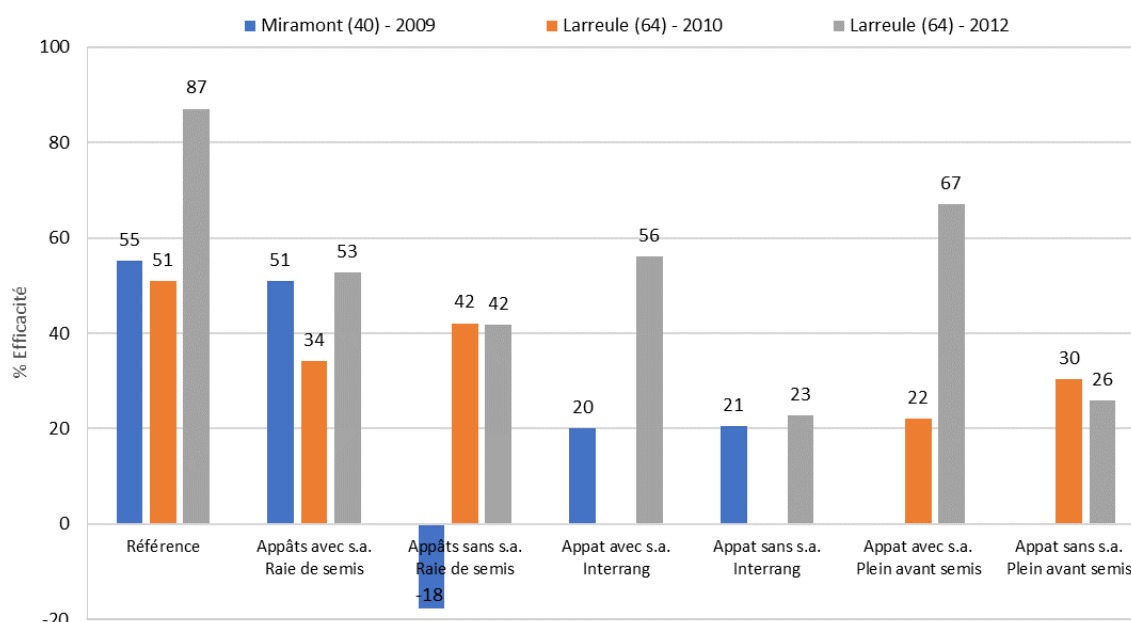
Trois essais ont permis de comparer des modalités composées de formulation de granulés appâts comportant ou non une substance active insecticide (s.a. : cyperméthrine, fipronil) et avec plusieurs modalités de positionnement des granulés au moment des semis : localisés en raie de semis avec diffuseur, localisé dans l'inter-rang, ou appliqués en plein puis incorporé au sol avant semis. Les résultats sont présentés dans la figure 1.

Appliquées dans la raie de semis, les granulés appâts avec substance active présentent des efficacités comprises entre 34% et 53%. Dans les mêmes conditions d'application, les granulés appâts sans substance active présentent des efficacités variables ; les attaques sont plus importantes que dans le témoin dans un seul essai. En revanche, l'efficacité est de 42% dans les deux autres essais.

Lorsque les granulés appâts sont appliqués dans l'inter-rang ou en plein puis incorporés avant semis, l'efficacité de la protection est globalement plus faible par rapport à une application dans la raie de semis. Dans des conditions d'applications des granulés appâts plus éloignés par rapport à la ligne de semis, l'intérêt

de la substance active semble diminuer : les granulés appâts permettent encore d'abaisser les attaques sur maïs avec une efficacité de l'ordre de 20 à 30%, que ceux-ci comportent une substance active ou non. Les résultats acquis avec des granulés appâts comportant du fipronil tendent à confirmer que l'efficacité de la protection est améliorée lorsque les granulés appâts sont éloignés de la ligne de semis à protéger.

Figure 1 : Efficacité d'appâts associés ou non à une substance active (s.a.) insecticide selon leur positionnement
Figure 1 : Effectiveness of baits associated or not with an insecticide active ingredient depending on their location



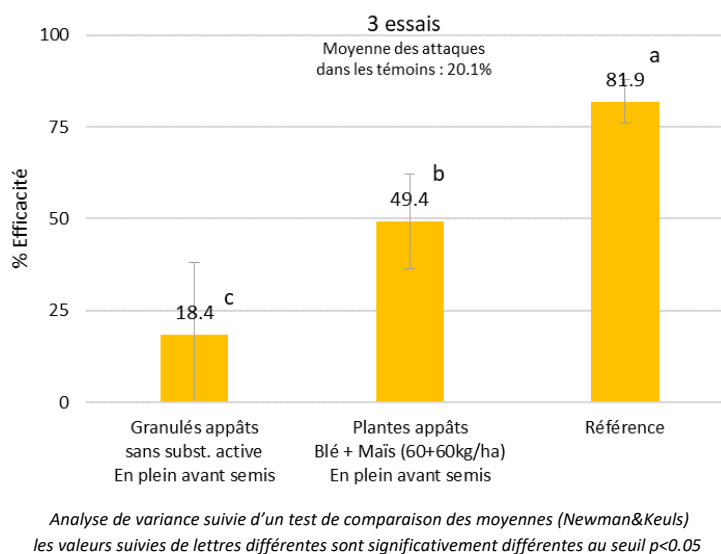
Miramont 2009 [% d'attaques dans le témoin : 41%] et Larreule 2010 [% d'attaques dans le témoin : 75%] ; Appâts appliqués à 12 kg/ha sans ou avec substance active (s.a. : Cyperméthrine).
Larreule 2012 [% d'attaques dans le témoin : 33%] ; Appâts sans substance active appliqués à 20 kg/ha, appâts avec substance active (s.a. : Fipronil) appliqués à 5 kg/ha.

Comparaison entre appâts inertes et plantes appâts :

Les essais visant à comparer l'efficacité de granulés appâts inertes à des plantes appâts ont été réalisés de 2011 à 2013. Les granulés appâts inertes (sans substance active) ont été appliqués à une dose de 20 kg/ha en plein puis incorporés au sol juste avant semis. Pour les modalités de plantes appâts, un mélange comportant des grains de blé tendre et de semences de maïs a été appliqué en plein à la dose de 120 kg/ha (60 kg de chaque espèce) et incorporé au sol juste avant le semis de maïs. Les résultats sont présentés dans la figure 2. En moyenne, le mélange de plantes appâts composé de blé et de maïs présente une efficacité de 49 % alors que les appâts inertes, appliqués dans des conditions comparables, présentent une efficacité de seulement 18 %.

Figure 2 : Comparaison entre appâts inertes et plantes appâts pour la protection du maïs contre les taupins [2011, 2012, 2013]

Figure 2 : Comparison between inert baits and plant baits for the protection of maize against wireworms [2011, 2012, 2013]

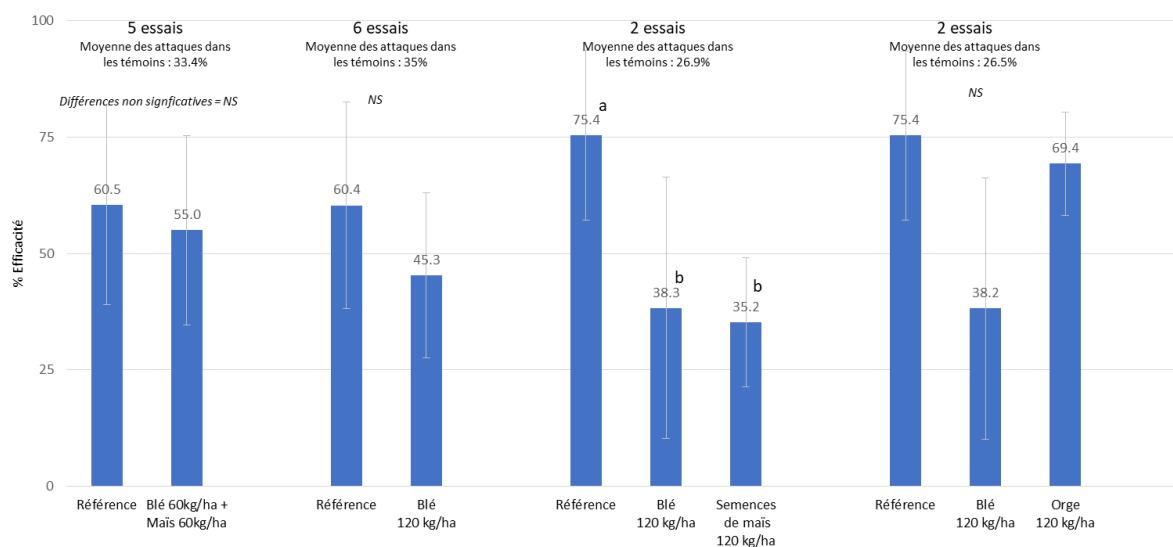


Plantes appâts : comparaison d'espèces ou de mélange d'espèces

Des expérimentations visant à évaluer l'intérêt de différentes espèces de plantes appâts ont été mises en œuvre à partir de 2012. La liste des espèces testées a évolué au fil des années. Pour ces comparaisons, nous avons privilégié le mode d'application ayant démontré le plus d'intérêt dans les travaux antérieurs, c'est-à-dire l'application des graines en plein puis leur incorporation dans le sol juste avant le semis du maïs. La synthèse présentée dans la figure 3 fait état des résultats valides disponibles fin 2019.

Figure 3 : Comparaison de l'intérêt de plantes appâts utilisées seules ou en mélanges pour protéger le maïs contre les taupins [8 essais, 2012-2019]

Figure 3: Comparison of the efficacy of bait plants used alone or in mixtures against wireworms damage on maize [8 trials, 2012-2019]



Les modalités composées d'un mélange de blé (60 kg/ha) et de maïs (60 kg/ha) présentent régulièrement l'efficacité la plus intéressante avec une efficacité de 55 % (moyenne calculée sur 5 essais). Ce niveau de

protection est comparable à celui obtenu avec la modalité protégée avec un produit insecticide en microgranulés.

Lorsque l'appât est composé uniquement de blé tendre, la stratégie des plantes appâts présente une efficacité de 38 à 45 % selon les regroupements d'essais. Les résultats sont comparables lorsque l'appât est constitué uniquement de semences de maïs.

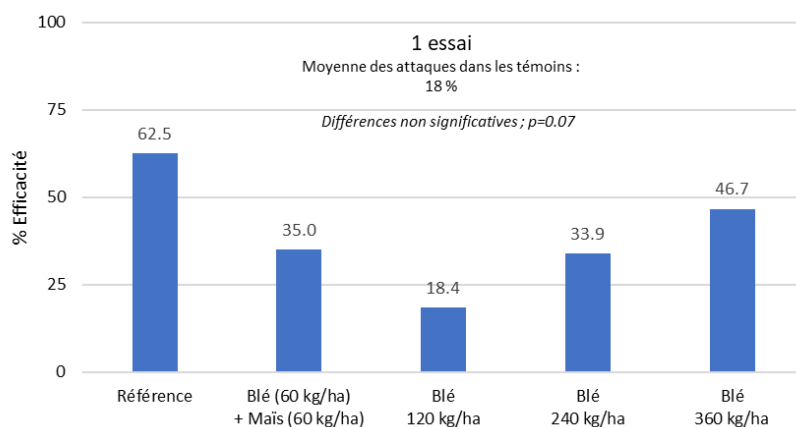
Des résultats encourageants ont été obtenus avec des appâts à base d'orge avec 74% d'efficacité en moyenne sur deux essais ayant subi des attaques de taupins d'intensité moyenne, résultats comparables à la référence conventionnelle). Les essais se poursuivent pour évaluer l'intérêt d'autres espèces telles que par exemple le triticale ou l'avoine susceptibles d'être utilisées comme plantes appâts.

Plantes appâts : comparaison de doses

Le nombre d'expérimentations permettant de comparer différentes doses de plantes appâts demeure encore limité. Un essai comparant 3 doses de blé tendre (120, 240 et 360 kg/ha) tend à mettre en évidence une amélioration de la protection du maïs lors de l'augmentation de la dose de plante appât (cf. figure 4). L'efficacité de la modalité comportant la plus forte dose de blé tendre (360 kg/ha) n'est cependant pas significativement supérieure à l'efficacité de la modalité appât constituée d'un mélange de blé tendre et de maïs (60 kg/ha de chaque espèce).

Figure 4 : Comparaison de l'efficacité de la protection selon différentes doses de plantes appâts

Figure 4 : Comparison of the efficacy of protection according to different doses of bait plants

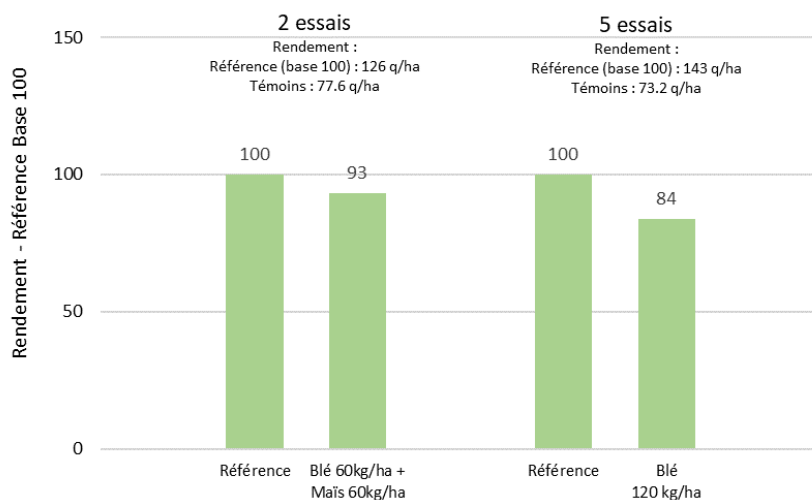


Plantes appâts : Incidence de la stratégie des plantes appâts sur le rendement du maïs

Certains essais ont pu être conduits jusqu'à la maturité de la culture permettant ainsi de comparer les rendements des différentes modalités en évaluation. Les essais ayant subi de fortes attaques de taupins bénéficient d'une meilleure précision avec une relation cohérente entre l'efficacité de la protection contre les taupins et le rendement mesuré lors de la récolte sur les modalités témoin et de référence. Même si le nombre de situations comparables n'est pas le même, la stratégie qui associe blé et maïs apportés en plein et incorporés avant semis permet d'obtenir un rendement plus proche de la référence que la stratégie composée uniquement de blé (figure 5).

Figure 5 : Rendement avec différentes plantes appâts dans des essais ayant subi de fortes attaques de taupins (> 50% de plantes attaquées dans les témoins) [2012-2019]

Figure 5: Yield with different bait plants in trials having suffered high level of wireworm attacks (> 50% of plants attacked in the control) [2012-2019]

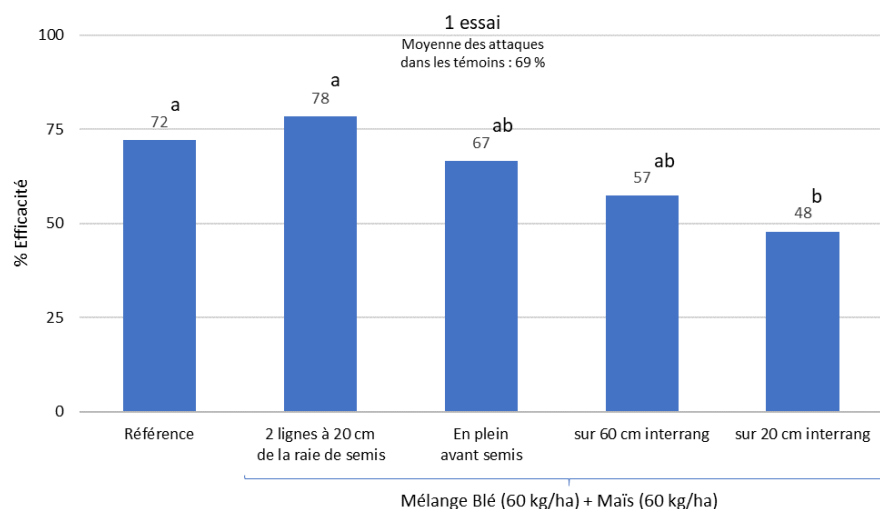


Positionnement spatial des plantes appâts par rapport à la culture à protéger

Les travaux réalisés avec des appâts inertes avaient permis de mettre en évidence une certaine efficacité de la protection lors d'apports en plein et incorporés avant semis ainsi que lors d'une localisation dans l'inter-rangs (Figure 1). Une expérimentation similaire a été réalisée avec une modalité de plantes appâts constituée d'un mélange de blé tendre (60kg/ha) et de maïs (60 kg/ha) afin de comparer différentes modalités de positionnement des plantes appâts : en ligne de part et d'autre de la ligne de semis du maïs, sur une bande de 20 cm dans l'inter-rangs, sur une bande de 60 cm dans l'inter-rangs ou en plein et incorporés juste avant semis. Les résultats (Figure 6) montrent l'intérêt de positionner les plantes appâts au plus proche de la ligne de semis pour augmenter l'efficacité de la protection de la culture contre les attaques de taupins.

Figure 6 : Efficacité de la protection contre les taupins selon différents positionnements des plantes appâts [2019]

Figure 6: Effectiveness of protection against wireworms according to different location of bait plants [2019]



Analyse statistique réalisée sur les mesures de plantes attaquées.

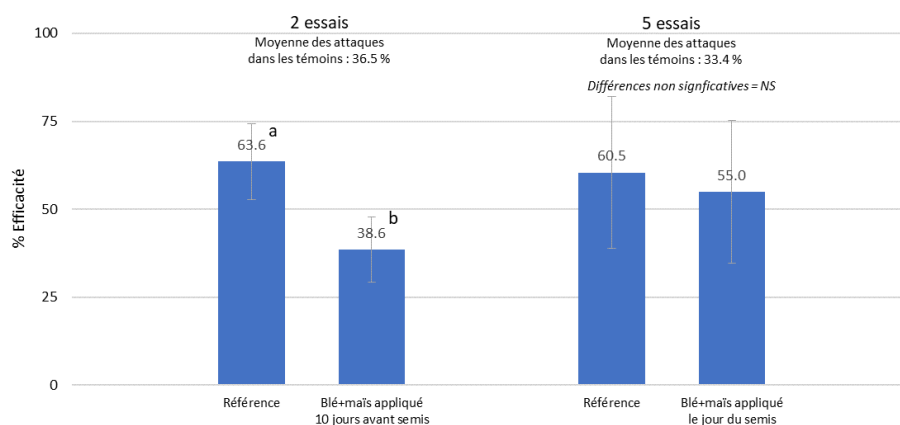
Positionnement temporel des plantes appâts par rapport à la culture à protéger

Deux essais avaient pour but d'évaluer l'intérêt d'une application des plantes appâts réalisée 10 jours avant le semis de la culture de maïs à protéger. Les résultats, présentés dans la figure 7, ne permettent pas de mettre en évidence une amélioration de l'efficacité lors d'une application plus précoce des plantes appâts.

par rapport à la culture à protéger en comparaison à une application des plantes appâts réalisée le jour du semis de la culture à protéger.

Figure 7 : Comparaison de deux dates de mise en œuvre des appâts constitués de blé et de maïs [2015, 2016]

Figure 7 : Comparison of two implementation dates with wheat and maize baits [2015, 2016]



DISCUSSION

Avantage technique aux plantes appâts

Nos résultats mettent en évidence une efficacité des granulés appâts pour la protection des plantules de maïs contre les dégâts de taupins, que ceux-ci soient associés ou non à une substance active insecticide. Ces résultats sont cohérents avec ceux acquis sur blé de printemps (Sharma, 2020). L'efficacité des granulés appâts est démontrée pour différents positionnements : en localisation dans la raie de semis, dans l'inter-rangs ou en plein avant d'être incorporés dans le sol juste avant semis. Ces résultats démontrent l'intérêt de recourir à des appâts pour détourner les larves de taupins des plantes à protéger.

Lorsque les granulés appâts sont éloignés de la ligne de semis de maïs (positionnés dans l'inter-rang) ou bien dilués dans le sol (appliqués en plein puis incorporés au sol), et sans recours au fipronil, les niveaux d'efficacité sont compris entre 20 et 30%. Ces niveaux d'efficacité sont malheureusement insuffisants pour assurer une protection satisfaisante de la culture de maïs.

La mise en œuvre de la stratégie avec des plantes appâts en substitution des granulés appâts apporte des résultats plus encourageants. Parmi les modalités étudiées à ce jour, le meilleur niveau de protection est obtenu avec un appât constitué d'un mélange associant des grains de blé et de maïs. Lorsque l'appât est constitué uniquement de blé ou de maïs, l'efficacité est plus limitée. D'autres céréales (orge, avoine, triticale...) ont été évaluées en appâts (seules les modalités pour lesquelles plusieurs références sont disponibles ont été présentées), mais le mélange associant des grains de maïs et de blé présente à ce jour des efficacités régulièrement plus intéressantes. Les résultats montrent que la stratégie est plus efficace lorsque les graines germent et produisent des plantes appâts par rapport aux situations où les graines ne germent pas (les résultats obtenus avec du riz ou du triticale n'ayant pas germé sont proches de ceux obtenus avec des appâts inertes).

Positionner les plantes appâts en plein permet d'obtenir le meilleur niveau de protection

Les plantes appâts doivent être positionnées à proximité de la plante cultivée pour apporter une protection intéressante de la culture contre les attaques de taupins. Cependant, plus les appâts sont proches de la ligne de semis, plus la concurrence exercée sur la jeune plante de maïs sera importante. Le compromis le plus satisfaisant est donc d'appliquer les grains en plein sur le sol, par exemple avec un semoir centrifuge, puis de les incorporer dans la couche superficielle du sol sur 10-15 cm de profondeur au cours de la dernière préparation du sol, permettant de constituer un maillage des graines d'appâts dans le sol. Par la suite, les larves de taupins qui remontent des couches plus profondes du sol rencontrent les plantes appâts. Ainsi, les attaques sur les graines et plantules de la ligne de semis de maïs sont moins abondantes car diluées

entre la culture et les plantes appâts. Un semis plus précoce des plantes appâts par rapport à la date de semis de la culture n'a pas permis d'améliorer l'efficacité de la stratégie dans nos conditions expérimentales.

La destruction des appâts doit être sécurisée

La stratégie des plantes appâts présente des résultats intéressants dans le cadre de la protection du maïs contre les dégâts de taupins, mais elle peut s'avérer plus nuisible qu'une attaque de taupins si les plantes appâts ne sont pas détruites à temps car elles sont susceptibles de concurrencer rapidement la culture de maïs.

Pour sécuriser la destruction des plantes appâts, une technique proposée consiste à utiliser des appâts à base de blé et de maïs sensibles à la cycloxydime et de semer une culture de maïs avec une variété tolérante à la cycloxydime. Le désherbage réalisé au stade 3-4 feuilles à l'aide du produit commercial Stratos Ultra (substance active : cycloxydime) permet de lutter contre les graminées et de détruire les plantes appâts tout en préservant la culture de maïs (à condition que la variété semée soit tolérante à cet herbicide) et ceci sans augmenter le nombre de passages de désherbage. Une autre possibilité qui peut être envisagée est de recourir à des plantes appâts autre que du maïs. Cela diminue l'efficacité de la protection contre les taupins mais ouvre la possibilité de détruire les plantes appâts avec un produit de désherbage appartenant à la famille des sulfonilurées. Cependant, l'action de l'herbicide est plus lente et la destruction des plantes appâts plus aléatoire que lors d'application d'un produit à base de cycloxydime. Dans nos conditions expérimentales, la destruction des plantes appâts avec un produit de la famille des sulfonilurées a souvent présenté un intérêt plus limité et la nuisibilité des plantes appâts sur maïs était accrue.

La destruction mécanique est également envisageable, voire la seule solution disponible en agriculture biologique. La contrainte la plus forte reste la gestion du rang : soit les appâts sont répartis dans l'inter-rang ce qui facilite leur élimination grâce au binage mais diminue l'efficacité pour la protection contre les taupins, soit les appâts sont appliqués en plein ce qui assure une meilleure protection contre les taupins mais qui occasionne une nuisibilité sur la culture d'autant plus importante que le désherbage sur le rang sera compliqué (selon le matériel disponible).

La destruction des appâts est une étape à ne surtout pas négliger. Il est fortement recommandé de prendre en considération ce point critique dès l'élaboration de l'itinéraire technique, c'est-à-dire dans le choix de la variété de maïs (en privilégiant une variété tolérante à la cycloxydime) et dans le choix de la stratégie de désherbage (chimique ou mécanique).

PERSPECTIVES

Le recours aux plantes appâts apparaît comme un nouveau levier pour protéger le maïs contre les taupins. Il reste néanmoins nécessaire de préciser l'itinéraire technique permettant d'optimiser l'efficacité de la protection de la culture vis-à-vis des attaques de taupins et de garantir une destruction rapide et sans faille de ces plantes compagnes afin que la stratégie mise en œuvre n'occasionne pas de nuisibilité sur la culture.

De nombreux travaux de recherche et de développement sont encore nécessaires dans le but de sélectionner des espèces de plantes appâts plus pertinentes et de définir leur dose d'emploi optimale. L'idéal serait de pouvoir disposer d'une plante appât au moins aussi attractive que le maïs, mais n'appartenant pas à la famille des graminées pour faciliter sa destruction chimique.

Le positionnement spatio-temporel des plantes appâts doit également être optimisé. La mise en œuvre en plein avant semis telle que réalisée dans nos expérimentations peut difficilement être plus facile à réaliser car elle ne nécessite aucune adaptation de matériel. Une localisation des plantes appâts plus loin par rapport à la ligne de semis présenterait néanmoins l'avantage de simplifier la destruction de l'appât, qu'elle soit mécanique ou chimique (notamment lorsque la variété de maïs n'est pas tolérante à la cycloxydime) mais diminuerait l'efficacité de la protection.

Une fois que l'itinéraire technique des plantes appâts aura été optimisé, ce levier pourra être utilisé seul ou en combinaison avec une protection insecticide à l'aide de produits phytopharmaceutiques (conventionnel ou de biocontrôle). Les premiers résultats acquis par Arvalis qui combinent les plantes appâts et une

protection insecticide à l'aide de microgranulés dans la raie de semis de maïs laissent augurer des efficacités additives. Cela pourrait permettre de retrouver un niveau d'efficacité de la protection du maïs proche de celui connu antérieurement et qui n'est plus accessible à ce jour suite à la disparition de certaines solutions insecticides.

Comme toute évolution de stratégie induisant des modifications de l'itinéraire technique, les études devront permettre d'évaluer des conséquences à moyen-long terme. Une des principales interrogations concerne notamment l'incidence de cette technique sur l'évolution des populations de taupins dans la parcelle et la question sous-jacente de l'intérêt d'associer les plantes appâts à une protection insecticide pour abaisser les populations de taupins. La stratégie des plantes appâts commence à être déployée en parcelles d'agriculteurs et cela permet également d'ouvrir des perspectives intéressantes pour la protection du maïs contre d'autres ravageurs tels que la géomyze, les corvidés, les sangliers...

La stratégie des plantes appâts s'inscrit comme une déclinaison des plantes de services. Sa mise en œuvre sera variée pour répondre à la diversité des besoins et s'adapter aux différents contextes agronomiques de la production du maïs, voire d'autres cultures.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été réalisés avec les concours financiers du Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural (CASDAR) géré par le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation et de l'Agence Française pour la Biodiversité grâce au soutien du projet STARTAUP (projet ECOPHYTO II, chef de file : Inrae). Les auteurs remercient les fournisseurs de granulés appâts dépourvus de substance active, ainsi que les expérimentateurs qui ont cru en la stratégie des appâts et qui ont réalisé ces nombreuses expérimentations permettant désormais d'entrevoir une nouvelle stratégie dans la protection contre les taupins et autres ravageurs du maïs.

BIBLIOGRAPHIE

- Adhikari, A., & Reddy, G. V. (2017). Evaluation of trap crops for the management of wireworms in spring wheat in Montana. *Arthropod-Plant Interactions*, 11(6), 755-766.
- Barsics, F., Haubruge, É., Francis, F., & Verheggen, F. (2014). The role of olfaction in wireworms: a review on foraging behavior and sensory apparatus. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18(4), 524-535.
- Chaton, P. F., Liégeois, M. H., Meyran, J. C., Ravanel, P., & Tissut, M. (2003). Feeding behaviour as a limiting step in insecticide absorption for the wireworm *Agriotes* sp. (Coleoptera: Elateridae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 77(3), 106-114.
- Chaton, P. F., Lempérière, G., Tissut, M., & Ravanel, P. (2008). Biological traits and feeding capacity of *Agriotes* larvae (Coleoptera: Elateridae): A trial of seed coating to control larval populations with the insecticide fipronil. *Pesticide biochemistry and physiology*, 90(2), 97-105.
- Gfeller, A., Laloux, M., Barsics, F. et al. Characterization of Volatile Organic Compounds Emitted by Barley (*Hordeum vulgare* L.) Roots and Their Attractiveness to Wireworms. *J Chem Ecol* 39, 1129–1139 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0302-3>
- Sharma, A., Jaronski, S., & Reddy, G. V. (2020). Impact of granular carriers to improve the efficacy of entomopathogenic fungi against wireworms in spring wheat. *Journal of Pest Science*, 93(1), 275-290.
- Staudacher, K., Schallhart, N., Thalinger, B., Wallinger, C., Juen, A., & Traugott, M. (2013). Plant diversity affects behavior of generalist root herbivores, reduces crop damage, and enhances crop yield. *Ecological Applications*, 23(5), 1135-1145.
- Thibord J-B (2017) Evaluation de la nuisibilité des ravageurs du maïs en France — CIRAA, Conférence Internationale sur les Ravageurs et Auxiliaires en Agriculture, Montpellier, France, 22-24 octobre 2017- Asso. Fr. de Protection des Plantes (AFPP).
- Vernon, R. S., Kabaluk, T., & Behringer, A. (2000). Movement of *Agriotes obscurus* (Coleoptera: Elateridae) in strawberry (Rosaceae) plantings with wheat (Gramineae) as a trap crop. *The Canadian Entomologist*, 132(2), 231-241.
- Vernon, R. S. (2005). Aggregation and mortality of *Agriotes obscurus* (Coleoptera: Elateridae) at insecticide-treated trap crops of wheat. *Journal of economic entomology*, 98(6), 1999-2005.
- Vernon, R. S., van Herk, W. G., Clodius, M., & Tolman, J. (2015). Companion planting attract-and-kill method for wireworm management in potatoes. *Journal of Pest Science*, 89(2), 375-389.