

**AFPP – 11<sup>e</sup> CONFÉRENCE INTERNATIONALE  
SUR LES RAVAGEURS ET AUXILIAIRES EN AGRICULTURE  
MONTPELLIER – 25 ET 26 OCTOBRE 2017**

**INTERET DE L'UTILISATION DE *METARHIZIUM BRUNNEUM*  
POUR LUTTER CONTRE LES TAUPINS (*AGRIOTES SP.*) EN GRANDES CULTURES**

P. LARROUDE <sup>(1)</sup>, J.-B. THIBORD <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> ARVALIS INSTITUT DU VEGETAL. 21 chemin de Pau – 64121 MONTARDON - FRANCE  
[p.larroude@arvalis.fr](mailto:p.larroude@arvalis.fr)

**RÉSUMÉ**

Les taupins (*Agriotes sp.*) sont des ravageurs polyphages de multiples cultures. Leur gestion devient de plus en plus difficile en l'absence de solutions efficaces qui permettraient de contenir les populations dans les parcelles cultivées. L'utilisation de la formulation MET 52 Granulé<sup>®</sup>, produit commercial contenant la souche *Metarhizium brunneum* F52 a été testée dans la lutte contre les taupins. Les résultats prometteurs en laboratoire sur larves ont permis d'envisager des recherches plus poussées au champ en protection des cultures de maïs et de pommes de terre. Les applications à fortes doses réalisées en plein au moment du semis ou de la plantation permettent de réduire les dégâts en moyenne d'environ 50% sur jeunes plantes ou tubercules. Ce résultat très encourageant est tout de même variable et semble lié aux conditions du milieu (humidité, température, sol) et au ravageur lui-même (espèce, stade larvaire). La prise en compte de ces différents leviers sera nécessaire pour obtenir des efficacités optimales.

Mots-clés : *Agriotes*, *Metarhizium brunneum*, lutte biologique, maïs, dose.

**ABSTRACT**

**INTEREST OF THE USE OF *METARHIZIUM BRUNNEUM* FOR FIGHT AGAINST WIREWORMS (*AGRIOTES SP.*) IN LARGE CROPS**

Wireworms (*Agriotes sp.*) are polyphagous pests of several crops. Their control becomes more and more difficult due to the lack of efficient solutions that could limit their populations in cultivated fields. The use of MET 52 Granulé<sup>®</sup>, containing the strain *Metarhizium brunneum* F52, was tested for wireworms control. Showing promise results on larvae in laboratory conditions enabled to look to more advanced studies in field with corn and potato crop protection. The applications of high rates on the field at sowing or planting enable the reduction of about 50 % of damage on young plants or tubers. But this very encouraging result is variable and seems to be linked to environmental conditions (moisture, temperature, soil) and to the pest itself (specie, larval stage). These parameters must be taken into account to obtain optimized results.

Keywords: *Agriotes*, *Metarhizium brunneum*, biological control, corn, rate.

## INTRODUCTION

Les cultures de maïs et de pommes de terre notamment subissent des attaques de la part de ravageurs souterrains : les taupins (Coleoptera : Elateridae). Sur la multitude d'espèces présentes en France peu sont nuisibles aux cultures mais certaines espèces en abondance dans les parcelles cultivées peuvent provoquer d'importants dégâts entraînant des pertes de rendement ou des défauts de qualité.

Aujourd'hui les moyens de protection contre ce ravageur sont limités à des moyens chimiques montrant une efficacité partielle.

La recherche de solutions alternatives est nécessaire pour améliorer les niveaux de protection actuels.

Dans le registre des pistes prometteuses en matière de protection, certaines solutions peuvent être évoquées.

De nombreux microorganismes sont naturellement présents dans le sol et sont susceptibles de provoquer des épizooties sur des arthropodes. Parmi ceux-ci, les champignons entomopathogènes (*Metarhizium sp.*, *Beauveria sp.*, ...) ont depuis très longtemps intéressé les chercheurs pour les mycoses qu'ils peuvent transmettre aux ravageurs. Mais tous les genres, espèces et souches ne semblent pas avoir le même niveau d'efficacité comme le montre Razinger et al. (2013) ou Eckard et al. (2014).

Une des espèces fréquemment observées est *Metarhizium anisopliae*, champignon responsable de la muscardine verte. Les premières observations de ce champignon sur des taupins sont signalées en 1932 outre Atlantique. Son action pathogène a été confirmée en conditions contrôlées dans les années 1960. De nouvelles observations effectuées au Canada au début des années 2000, suite à une épizootie, ont relancé l'intérêt de la communauté scientifique pour ce champignon dans la lutte contre les taupins.

Une souche de *Metarhizium anisopliae* est inscrite à l'annexe 1 et un produit commercial, MET52 Granulé® est actuellement homologué en France pour la protection de certaines cultures contre l'otiorhynque et des thrips. Cette souche ayant montré une mortalité des larves de taupins significative en conditions de laboratoire (Ansari et al., 2009 sur *Agriotes lineatus*) ou un taux de plantes attaquées plus faible au champ en présence d'autres élatéridés (*Limonius californicus* et *Hypnoidus bicolor* - Reddy et al., 2014), il est apparu logique de travailler cette souche en plein champ pour évaluer son intérêt vis-à-vis des espèces de taupins dommageables aux cultures en France.

Le travail a consisté (i) à définir une cinétique d'infestation et de mortalité des larves de taupins en conditions de laboratoire, (ii) à identifier les techniques d'application permettant d'obtenir une efficacité optimale de la formulation MET52 Granulé® (MET52). Ces expérimentations devraient nous aider au positionnement spatio-temporel du champignon entomopathogène dans la protection des plantes maïs et des tubercules de pommes de terre contre les larves de taupins.

## MATERIELS ET MÉTHODES

### CHAMPIGNON ENTOMOPATHOGENE

*Metarhizium anisopliae* (renommée *Metarhizium brunneum* depuis quelques années par la communauté scientifique) souche BIPESCO 5/F52 a été isolée en Autriche sur *Cydia pomonella* (carpocapse). Cette souche inscrite à l'annexe I au niveau européen a été formulée sur support grain de riz, produit commercial MET52 Granulé®. La formulation contient  $9 \times 10^8$  UFC/g.

## EXPERIMENTATIONS EN CONDITIONS DE LABORATOIRE

Des larves de taupins de l'espèce *Agriotes sordidus* (Illiger, 1807) ont été prélevées au champ au printemps 2014. Elles ont été identifiées morphologiquement avec la clé de détermination de Cocquempot et al., 1999.

Deux expérimentations ont été mises en place avec les objectifs suivants (i) connaître la cinétique de mortalité des larves de taupins après infestation, (ii) définir le stade larvaire de plus grande sensibilité des larves à une contamination par le champignon.

Expérience 1 : elle a été réalisée avec des larves dont la taille était comprise entre 15 et 18 mm sur deux supports différents : un sol à 5% de matière organique (terres de touyas) et terreau à 14 % de matière organique en présence ou non de MET52. Au total quatre modalités ont été testées.

Expérience 2 : elle a été réalisée avec 3 lots de larves de tailles différentes (i) < 13 mm, (ii) de 13 à 18 mm, (iii) > 18 mm sur un support sol à 5 % de matière organique en présence de grains de MET52. Trois modalités étaient testées.

Dans les deux expériences, les supports étaient stériles (passage à l'autoclave), placés à température ambiante (20-25°C), l'humidité maintenue constante par apport régulier (pesée). Les larves (15 par modalité) étaient placées individuellement dans des boîtes de pétri (13 cm<sup>2</sup>) en présence ou non de 10 grains de MET52 (équivalent à une dose de 125 kg/ha au champ).

La mortalité a été contrôlée tous les 7 jours jusqu'à 24 jours pour l'expérience 1 et jusqu'à 67 jours pour l'expérience 2. Elle a été jugée dans un premier temps par observation de la mobilité des larves puis confirmée par l'observation de mycélium sur cadavre.

## EXPERIMENTATIONS AU CHAMP

Des expérimentations ont été réalisées au champ sur deux cultures : maïs et pommes de terre. Ces essais poursuivaient deux objectifs (i) définir le positionnement spatial du produit pour la protection des plantes, (ii) définir la dose optimale. Ils ont été conduits selon la méthode CEB n° 248, méthode officielle d'évaluation des solutions de lutte contre les ravageurs du sol. Le dispositif expérimental était un dispositif en blocs de Fischer à 4 répétitions avec témoin non traité inclus pour chacun des essais.

Les sites et notations spécifiques pour chacune des cultures sont détaillés ci-dessous.

### Maïs :

Les essais ont été réalisés entre 2012 et 2016 dans deux régions agricoles : la Bretagne et le sud de l'Aquitaine. Les parcelles utilisées sont caractérisées par le type de sol et les espèces de taupins présentes. Des identifications morphologiques des larves ont été réalisées sur la base de la clé de détermination de Cocquempot et al. (1999). *Agriotes lineatus* et *Agriotes sputator* sont retrouvés sur les parcelles de Bretagne (3 essais) ; *Agriotes sordidus* en sud Aquitaine (11 essais).

Après mesure de peuplement initial au stade 3 feuilles, les mesures de dégâts ont été réalisées régulièrement (4-5 dates) entre le stade 3 feuilles et le stade 10-11 feuilles du maïs par comptage de plantes présentes et de plantes attaquées. Ces notations réalisées sur 20 mètres linéaires (rangs centraux) ont permis d'obtenir une fréquence de plantes attaquées ou disparues selon la formule :

% plantes attaquées ou disparues = 100 \* (peuplement initial – plantes présentes le jour de l'observation + plantes attaquées le jour de l'observation)/peuplement initial.

### Pommes de terre

Les essais pommes de terre ont été réalisés entre 2013 et 2014 par des prestataires de services en régions Bretagne et Nord Pas de Calais.

Les notations ont été réalisées par parcelle élémentaire sur 100 tubercules de pommes de terre de taille commercialisable (> 35 mm) prélevés sur 15 plantes situées au milieu des deux rangs centraux de la parcelle élémentaire. La notation est effectuée sur chaque tubercule. L'opérateur compte le nombre de tubercules présentant au moins un trou ou une galerie dont la profondeur est supérieure à 3.5 mm (deux passages d'économiste) et le nombre de trous ou galeries par tubercule.

## ANALYSES STATISTIQUES

Avant toute analyse statistique, les indicateurs exprimés en pourcentage « plantes attaquées ou disparues » pour le maïs ou « tubercules troués » dans le cas de la pomme de terre font l'objet d'une transformation Arcsinus et sont soumis à une analyse de variance (ANOVA) en utilisant le logiciel STATBOX (V6.5). Les différences entre traitements ont été comparées par un test de Newman & Keuls ( $p < 0.05$ ).

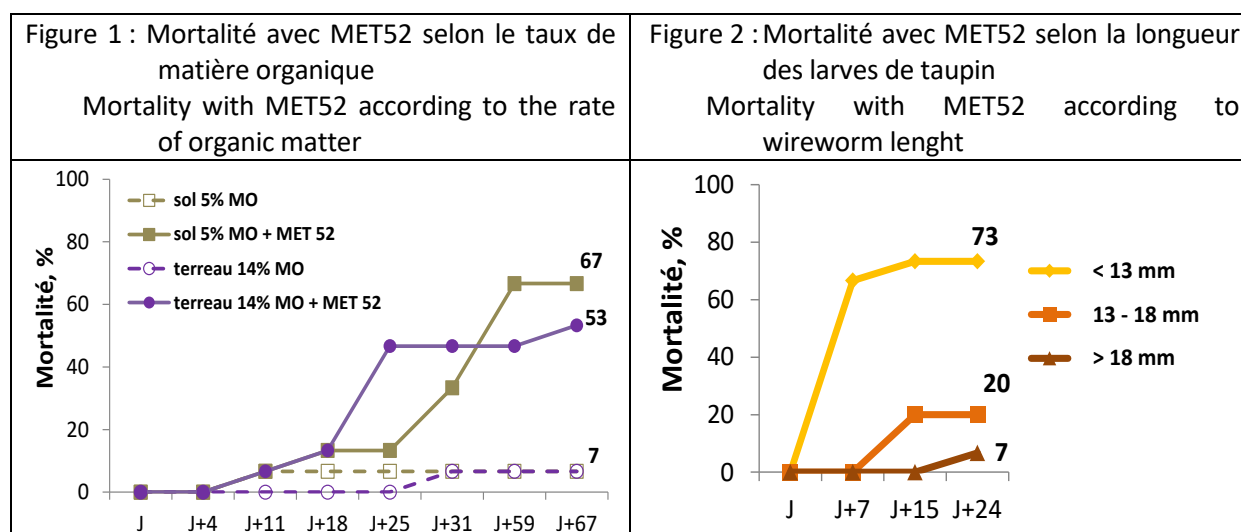
## RESULTATS

### EXPERIMENTATIONS EN CONDITIONS DE LABORATOIRE

Les expériences se sont déroulées au printemps 2014 de mai à juillet.

L'expérience 1 (figure 1) montre, sur des larves de 15 à 18 mm en présence de MET52 une cinétique de mortalité croissante jusqu'à 67 jours d'expérience sans effet marqué du support (taux de matière organique). Le niveau atteint respectivement 67 et 53 % pour 5 et 14% de matière organique.

Dans l'expérience 2 (figure 2), le taux de mortalité apparaît clairement lié à la taille des larves de taupins, les larves dont la taille est inférieure à 13 mm réagissent plus précocement et de façon plus marquée à la présence de MET52 ; le taux maximal de mortalité (73%) étant atteint 15 jours après infestation. A l'opposé, les larves de plus de 18 mm meurent plus tardivement, les premières larves infestées (7%) étant observées après 24 jours. Pour une taille intermédiaire, les premières mortalités sont observées à partir de 7 à 15 jours d'infestation, ces résultats sont proches de ceux obtenus dans l'expérience 1.



## EXPERIMENTATIONS AU CHAMP

### Maïs :

Appliqué à la dose de 25 kg/ha, le positionnement spatial du produit MET52 ne semble pas avoir d'impact sur la protection des plantes (tableau 1A – 5 essais). L'application en raie de semis ou en plein avant semis conduisent à des résultats similaires quel que soit le niveau d'attaques. Les niveaux d'efficacité oscillent entre 30 et 42 % selon les situations alors que la référence permet d'obtenir une efficacité avoisinant les 70%, ces différences ne sont cependant pas significatives au seuil de 5%. Le niveau d'attaques n'a pas d'impact sur l'efficacité du produit testé à la dose considérée de 25 kg/ha.

Une dose élevée appliquée en plein avant semis de maïs conduit à des performances améliorées (tableau 1B – 4 essais). Ce résultat est obtenu aussi bien pour des attaques modérées que fortes mais en situation d'attaques modérées, l'efficacité de MET52 est légèrement supérieure (+15 points – 67 vs 52 % en situation d'attaques fortes à la dose de 125 kg/ha) et l'effet dose est moins marqué. Dans les deux cas, la dose la plus élevée (125 kg/ha) permet une réduction significative du taux de plantes attaquées ou disparues du même ordre que celle observée avec les références chimiques, la dose de 50 kg/ha n'est pas suffisante pour espérer protéger de façon optimale les jeunes plants de maïs des attaques de larves de taupins.

Ce résultat est confirmé par la synthèse de 8 essais (2 en conditions d'attaques modérées et 6 en situation d'attaques fortes (tableau 1C). Les niveaux d'efficacité sont respectivement de 57 et 47 % en fonction de la pression du ravageur ; efficacité significative par rapport au témoin non traité mais en dessous de la référence dans le cas d'une pression d'attaque de taupins plus élevée. En situations d'attaques fortes, dans le sud de l'Aquitaine, la formulation MET52 permet également d'accroître de façon significative le rendement de près de 10 % par rapport au témoin non traité ; performance proche de celle mesurée avec la référence.

Tableau I : Recherche d'une technique d'application de MET52 optimale dose-positionnement spatial, plantes attaquées (%)

*Search for an optimal application technique of MET52, dose-spatial positioning, % damage*

<b>A - Positionnement du produit – dose 25 kg/ha</b>								
Niveau d'attaques	n	Témoin	Référence	MET52 RDS (2)	MET52 PAS (3)	Proba. sous H0 (4)	ETr	CV, %
Faibles à modérées	2	22.5 a	5.4 b	13.1 ab	15.2 ab	*	3.2	22.5
Fortes	3	39.9 a	14.1 c	28.0 b	24.8 bc	**	5.5	20.5
<b>B - Recherche de la dose – application PAS (3)</b>								
Niveau d'attaques	n	Témoin	Référence	MET52 50 kg/ha	MET52 125 kg/ha	Proba. sous H0 (4)	ETr	CV, %
Faibles à modérées	1	16.0 a	8.3 ab	8.8 ab	5.3 b	*	3.4	40.0
Fortes	3	35.5 a	9.3 b	26.8 a	17.2 b	**	4.8	21.7
<b>C - Validation de la dose – application PAS (3)</b>								
Niveau d'attaques	n	Témoin	Référence	MET52		Proba. sous H0 (4)	ETr	CV, %
Faibles à modérées	2	16.3	7.6	-	125 kg/ha	0.05	1.7	16.6
Fortes								
Plantes attaquées, %	6	33.9 a	8.2 c	-	18.4 b	**	5.2	25.7
Rendement, q/ha	4	78.1 b	92.2 a	-	85.7 a	**	3.9	4.6

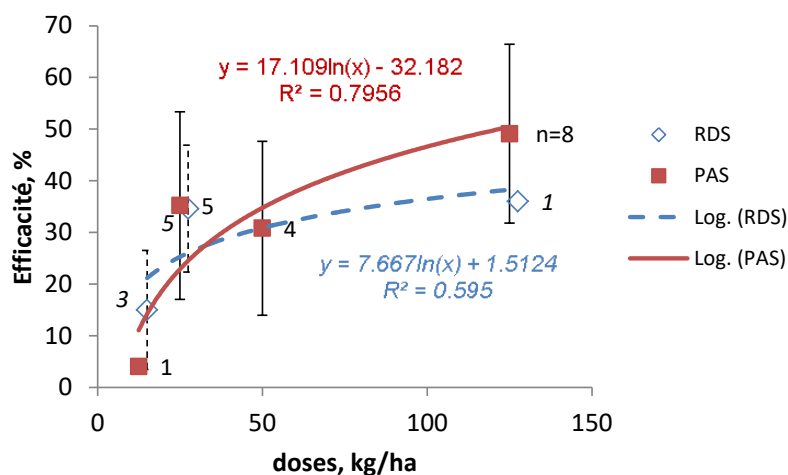
(1) n : nombre d'essais (2) RDS : application en Raie De Semis (3) PAS : application en Plein Avant Semis avec incorporation au sol sur 10-15 cm de profondeur

(4) Probabilité sous H0 au seuil  $\alpha = 5\%$  : \*\* =  $p < 0.01$ , hautement significatif ; \* =  $p < 0.05$  ; significatif ; NS = non significatif. Les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes.

La prise en compte de l'ensemble des résultats (figure 3) montre une efficacité qui tend à être limitée lorsque le produit est appliqué en raie de semis, la faisabilité technique de l'application à des doses fortes est également plus complexe.

A l'inverse, l'application en plein avant semis permet d'apporter des doses plus élevées de MET52 pour obtenir une efficacité plus importante. Dans le cas d'une dose faible, l'efficacité du produit est insuffisante.

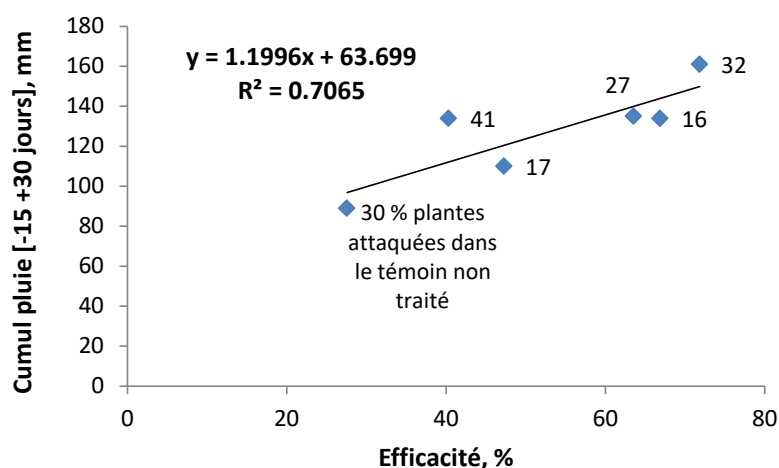
Figure 3 : Efficacité de MET52 selon son positionnement spatial (14 essais maïs grain –maïs fourrage)  
*MET52 efficacy according to spatial positioning (grain & forage corn, 14 trials)*



L'analyse de 6 essais réalisés sur maïs grain dans le sud de l'Aquitaine (*Agriotes sordidus*) tend à montrer que l'efficacité de la formulation MET52 appliquée à la dose de 125 kg/ha en plein et incorporée sur les 10-15 premiers centimètres avant semis de maïs est fortement liée aux conditions climatiques et notamment au cumul de pluie mesuré au cours de la période [15 jours avant semis - 30 jours après semis] ( $R^2=0.70$  ; figure 4). L'efficacité du produit varie pratiquement du simple au double (de 40 à 72 %) pour des niveaux d'attaques sur les témoins non traités variant de 16 à 41 %.

Figure 4 : Efficacité de MET52 (125 kg/ha PAS) en fonction de la pluviométrie cumulée (6 essais maïs grain réalisés dans le sud Aquitaine).

*MET52 efficacy according to rainfall (grain corn in south of Aquitaine, 6 trials)*

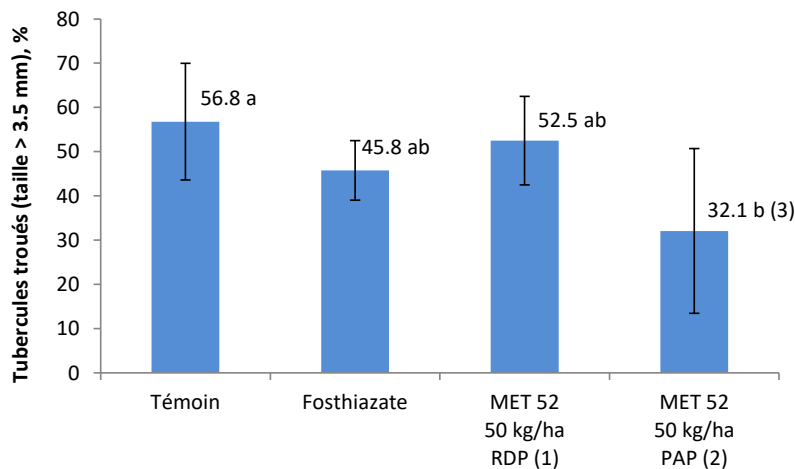


## Pommes de terre :

En culture de pommes de terre, les résultats obtenus sur le positionnement du granulé confirment ceux observés en culture de maïs à savoir, une meilleure efficacité dans le cas d'une application en plein pour une dose de 50 kg/ha incorporé avant plantation des tubercules de pommes de terre. L'effet est significatif avec 43 % d'efficacité en moyenne pour un taux de tubercules troués très élevé dans les témoins sans protection (56.8%). Le manque de référence du produit appliqué à des doses plus faibles (12.5 et 25 kg/ha) ou plus élevées (125 kg/ha) ne nous permet pas de juger de l'intérêt de la dose de produit.

Figure 3 : Performance de MET52 dans la lutte contre les taupins en culture de pommes de terre - synthèse de 3 essais 2013-2014, taux de tubercules troués.

*Performance of MET52 in the control of wireworms in potato crops - synthesis of 3 trials 2013-2014, holed tubers %.*



(1) RDP : application en Raie De Plantation

(2) PAP : application en Plein Avant Plantation avec incorporation au sol sur 10-15 cm de profondeur

(3) Les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil  $\alpha = 0.05$ .

## DISCUSSION

Les essais en laboratoire montrent de façon claire, un effet remarquable de la souche *Metarhizium brunneum* F52 et nous permettent de tirer quelques enseignements. Cette souche a déjà fait l'objet d'une évaluation en conditions de laboratoire : Ansari et al. (2009) ont montré, 21 jours après infestation, un taux de mortalité de 40 % sur larves d'*Agriotes lineatus* de 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> stade (larves de 10-15 mm de deuxième ou troisième année après la ponte).

Dans nos conditions, les taux de mortalité sont également significatifs sur une autre espèce : *Agriotes sordidus*. Comparativement aux résultats observés sur *Agriotes lineatus* même si les conditions d'expérimentations ne sont pas les mêmes, les taux de mortalité semblent cependant légèrement plus faibles (20%) pour des larves de plus de 13 mm, 24 jours après infestation. Ce résultat nous interpelle quant à la virulence de la souche à l'égard des différentes espèces de taupins. Eckard et al. (2014) observent qu'après 56 jours d'exposition à différentes souches de *Metarhizium brunneum*, la souche F52 apparaît beaucoup plus efficace sur *Agriotes sputator* que sur *Agriotes lineatus* à même stade larvaire (7<sup>ème</sup>). Kabaluk et al. (2005) avaient déjà fait le constat d'une interaction souche (14 isolats) x espèce de taupins (*Agriotes lineatus* et *Agriotes obscurus*).

Un lien fort est observé entre la cinétique de mortalité et l'âge des larves. Les jeunes larves (de moins de 1 an) sont plus rapidement mycosées que les larves âgées. Ce résultat n'est pas surprenant et pourraient orienter les périodes d'application du produit en fonction du stade de développement biologique du ravageur. Une application en présence d'œufs et de larves de jeunes stades courant de l'été – début d'automne (en première année après la ponte) semblerait plus judicieuse que lors de stades avancés au printemps de l'année suivante. Elle pourrait contenir les populations larvaires de taupins.

Dans un premier temps, nous nous sommes orientés vers des applications au printemps dans le but de protéger les jeunes plantules de maïs contre les attaques de taupins. Mais cela implique de mieux connaître les conditions favorables au champignon entomopathogène qui doit être efficace très rapidement dès le semis jusqu'au stade 6-7 feuilles.

Le temps d'exposition/incubation doit alors être défini pour obtenir une efficacité optimale, il sera fonction des conditions du milieu et notamment de la température. Kabaluk et al. (2005) observent, pour *Agriotes lineatus* et *Agriotes obscurus* dont le stade larvaire n'est pas spécifié, pour une humidité équivalente entre modalités, une mortalité significative des larves exposées pendant 4 jours à 18°C dans un mélange de sol et de *Metarhizium anisopliae* ( $10^6$  conidies/g sol) et après 30 jours d'incubation dans un sol sain à la même température, le taux de mortalité maximal de 70 % étant atteint après 70 jours d'incubation. La mortalité est totale pour une durée d'exposition de 10 jours à 18°C. Pour des températures d'exposition plus faible, les taux de mortalité sont réduits (30 % après exposition de 10 jours à 12°C et 70 jours d'incubation à 18°C). En résumé, plus le temps d'exposition est important avec des températures suffisantes, meilleure sera l'efficacité du produit.

Dans nos conditions de laboratoire (température comprise entre 20 et 25°C), pour atteindre une mortalité significative, le temps d'exposition/incubation est d'autant plus court que les larves sont plus jeunes. Moins d'une dizaine de jours seront nécessaires pour infecter très significativement des larves de moins de 13 mm ( $\approx 67\%$ ) quand il faudra plus de 30 jours pour réduire de moitié une population de larves de plus de 15 mm. Ces résultats sont importants et devraient permettre d'aider au positionnement temporel du produit avant mise en place de la culture même si il sera difficile de prévoir le stade biologique des larves de taupins au moment de l'application. Toutefois la connaissance du cycle biologique des différentes espèces (Furlan, 2004a et 2004b ; Sufyan et al. 2014 ; différents auteurs 1920-1960 pour les espèces à cycle long) pourra nous aider à optimiser l'efficacité de cette solution.

Au champ, très peu de références sont disponibles pour juger de l'efficacité de champignons entomopathogènes directement sur la réduction des dégâts provoqués par les larves de taupins sur céréales. Reddy et al., (2014) ont montré sur blé de printemps une augmentation significative du taux de plantes saines et du rendement avec l'utilisation de la souche F52 appliquée sous forme de granulés dans la raie de semis ou en liquide sur la bande de semis. Sur maïs, peu de travaux ont été publiés. Les résultats obtenus lors de nos expérimentations au champ sont très encourageants même si il reste encore quelques interrogations à lever. S'il est établi que la dose appliquée à une importance dans l'efficacité de la souche entomopathogène, Kabaluk et al. (2005) ont montré qu'une dose trop élevée pouvait également entraîner un effet répulsif sur les larves de taupins. Cet effet est d'autant plus marqué lorsqu'il n'y a pas de sources d'alimentation, la présence de nourriture permettant de maintenir les larves dans la zone infestée. Kabaluk et al. (2007) montrent une mortalité significative sur *Agriotes obscurus* à partir de  $4 \times 10^6$  conidies  $\text{cm}^{-3}$  de sol. Malgré des niveaux d'infestation plus faibles utilisés dans nos expérimentations ( $1.13 \times 10^5$  conidies  $\text{cm}^{-3}$  de sol soit 125 kg/ha de produit formulé), la formulation MET52 donnent des résultats très intéressants avec une efficacité significative de 46 % sur le taux de plantes attaquées. Mais cette efficacité moyenne cache une certaine variabilité liée en grande partie aux conditions climatiques et notamment au cumul de pluie de début de cycle pour des niveaux de température du sol assez

similaires dans le sud de l'Aquitaine sur des larves d'*Agriotes sordidus*. La taille des larves pouvant être légèrement différente en fonction des années, mais ce critère n'a pas été mesuré.

La répartition spatiale du produit est également très importante et il est difficile de concilier doses et concentration du produit dans un espace restreint. Pour cela, l'application en plein sur toute la surface de la parcelle à protéger permet de travailler avec des doses suffisantes pour atteindre une efficacité maximale. Les applications en raie de semis limitent l'efficacité du produit résultant d'un effet concomitant entre des doses faibles et une concentration des larves sur cette même raie de semis après semis.

## CONCLUSION - PERSPECTIVES

L'efficacité de la protection de la culture de maïs avec la formulation MET52 Granulé® varie selon :

- la pression et l'intensité des attaques de taupins sur la culture,
- la dose et le mode d'application ; une application à forte dose en plein et incorporée au sol s'avère plus pertinente qu'une application localisée autour de la plante,
- les conditions climatiques après application ; des conditions humides favorisent l'efficacité de *Metarhizium brunneum* pour la protection de la culture contre les attaques de taupins.

Actuellement, le coût de cette technique ne permet pas d'envisager son utilisation en plein champ à très court terme. Cependant, ces premiers résultats démontrent l'intérêt technique potentiel de ces champignons entomopathogènes pour la protection des cultures contre les taupins. D'autres pistes devront être poursuivies pour approfondir les connaissances concernant la biologie de ces champignons (conditions favorables à son maintien et son développement dans le sol, humidité, température), déterminer les conditions de pathogénicité maximale en fonction de la souche et de la cible visée (espèce et stade de développement du ravageur) afin que les champignons entomopathogènes deviennent un outil – à utiliser seul ou en combinaison - pour lutter contre les taupins en Grandes cultures.

## REMERCIEMENTS

Aux équipes régionales ARVALIS de Bignan (56) et de Montardon (64) pour la réalisation des essais sur culture de maïs et aux partenaires Bretagne Plant Innovation et Fredon Nord Pas-de-Calais pour la réalisation des essais sur culture de pomme de terre.

A la société NOVOZYMES France pour la fourniture du produit MET52 Granulé®.

## BIBLIOGRAPHIE

Ansari M.A., Evans M., Butt T.M. 2009. Identification of pathogenic strains of entomopathogenic nematodes and fungi for wireworm control. *Crop protection* 28 : 269-272.

Cocquempot C., Martinez M., Courbon R., Blanchet A.P.C. 1999. Nouvelles données sur l'identification des larves de taupins (Coleoptera : Elateridae): une aide à la connaissance biologique et à la cartographie des espèces nuisibles. In *Proceedings of ANPP - 5ème conférence internationale sur les ravageurs en agriculture*, Montpellier, France, pp. 477-486.

Eckard S., Ansari M.A, Bacher S., Butt T.M., Enkerli J., Grabenweger G. 2014. Virulence of in vivo and in vitro produced conidia of *Metarhizium brunneum* strains for control of wireworms. *Crop protection* 64 : 137-142.

Furlan L., 2004a. The biology of *Agriotes sordidus* Illiger (Col., Elateridae). *J. Appl. Entomol.* 128, 696-706.

Furlan L., Garofalo N., Toth M. 2004b. Comparative biology of *Agriotes sordidus* Illiger in Northern and Central-Southern Italy. *Informatore Fitopatologico*, 54, 32-37.

Kabaluk J.T., Goettel M.S., Erlandson M., Ericsson J., Duke G., Vernon R.S. 2005. *Metarhizium anisopliae* as a biological control for wireworms and a report of some other naturally-occurring parasites. *IOBC/wprs Bulletin* 28 : 109-115.

Kabaluk J.T., Vernon R.S., Goettel M.S. 2007. Mortality and infection of wireworm, *Agriotes obscurus* (Coleoptera: Elateridae), with inundative field applications of *Metarhizium anisopliae*. *Phytoprotection* 88 : 51-56.

Razinger J., Lutz M., Schroers H.J., Urek G., Grunder J. 2013. Laboratory testing of insect associated fungi for the control of wireworms (*Agriotes* sp. L.). *IOBC/wprs Bulletin* 90 : 103-107.

Reddy G.V.P., Tangtrakulwanich K., Wu S., Miller J.H., Ophus V.L., Prewett J., Jaronski S.T. 2014. Evaluation of the effectiveness of entomopathogens for the management of wireworms (Coleoptera: Elateridae) on spring wheat. *Journal of Invertebrate Pathology* 120 : 43-49.

Sufyan M., Neuhoﬀ D., Furlan L., 2014. Larval development of *Agriotes obscurus* under laboratory and semi-natural conditions. *Bulletin of Insectology* 67 (2): 227-235.

Méthode CEB n° 248 : Méthode d'essai d'efficacité pratique d'insecticides destinés à protéger les cultures contre les larves de taupins et autres ravageurs souterrains. AFPP 2010. pp. 21.